

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПРОЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ

Методические указания к практическим занятиям

Часть 1

Разработка проектов в MS Project

Направление подготовки 09.03.02 Информационные системы и
технологии

Направленность (профиль) Информационные системы управления
технологически-ми и сервисными процессами

Квалификация выпускника – бакалавр

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	с.4
План	с.5
Тема 1. Введение в проектную деятельность	
Занятие №1	с.14
Тема 1. Введение в проектную деятельность	
Занятие №2	с.19
Тема 1. Введение в проектную деятельность	
Занятие №3	с.25
Тема 6. Риски проекта	
Занятие №4	с.31
Тема 6. Риски проекта	
Занятие №5	с.36
Тема 6. Риски проекта	
Занятие №6	с.43
Тема 6. Риски проекта	
Занятие №7	с.49
Тема 6. Риски проекта	
Занятие №8	с.58
Литература	с.67

ВВЕДЕНИЕ

Проекты изменяют наш мир: строительство жилых и общественных зданий, возведение промышленных объектов, разработка комплекса программ для ЭВМ, создание новых технологий и техники, конверсия оборонного предприятия, полет на Луну, создание новой организации, акционирование, проведение международного симпозиума, подготовка спектакля, введение новой налоговой системы, развитие региона, введение новой специальности в ВУЗе - все это примеры мероприятий, носящих характер проекта. Так что же такое проект?

Например, председателем Российской Ассоциации Управления Проектами СОВНЕТ Воропаевым В.И. предложено следующее определение: «*Проект* - это ограниченное по времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией».

Microsoft Project представляет собой специализированную систему управления базами данных (СУБД), в которой Ваш проект представлен в виде базы данных. Примерами пользовательских данных могут служить задачи, длительности задач, ссылки, названия ресурсов, календари, назначения, затраты, критические сроки и т.п. Каждая единица хранимой информации связана с другими и во многом влияет на остальные данные. В основе базы данных лежит средство планирования, которое обрабатывает разрозненные данные, вводимые пользователем и отображает результаты проведенных расчетов. Например, могут быть рассчитаны сроки начала и завершения выполнения задачи, доступность ресурсов, общие затраты на реализацию проекта.

Настоящие методические указания представляют собой описание лабораторных работ по курсу управления проектами с использованием MS Project 2002. При этом ставились две задачи: с одной стороны дать представление о структуре и функциональных возможностях Microsoft Project, а с другой – привить навыки проектирования. В связи с этим в издание включены как лабораторные работы, содержащие работу с уже имеющимися шаблонами проектов, так и предполагающие создание собственного проекта по выбранной теме. Методические указания предназначены для студентов, изучающих управление проектами. Они могут быть использованы как при проведении лабораторных работ, так и самостоятельном изучении основ управления проектами студентами различных форм обучения.

Структура практических занятий по дисциплине «Проектная деятельность»

1. Актуальность и классификация проекта.
2. Описание дерева целей Вашего проекта: явные и неявные цели, структура целей.
3. Расписание проекта.
 - 3.1. Перечень основных задач. Декомпозиция задач проекта.
 - 3.2. Взаимосвязи между задачами. Различные временные связи задач Вашего проекта. Длительность задач.
 - 3.4. Вехи проекта, критические даты.
4. Команда проекта. Участники и их роли.
5. Ресурсы проекта. Использование ресурсов различными задачами. Особенности трудовых и материальных ресурсов.
6. Стоимость проекта. Бюджет проекта. Расход денежных средств на различных стадиях проекта.
7. Анализ реализуемости проекта.

7.1. Временная реализуемость

Цель анализа: определить выполнимость Вашего проекта в заданные временные сроки и рассчитать риски невыполнения проекта из-за превышения длительности.

- 7.1.1. Указать сколько времени занимает ваш проект и какой общий объем работ.
- 7.1.2. Построить сетевую модель. Рассчитать временные резервы полный и свободный для всех задач вашего проекта.
- 7.1.3. Посчитать сколько % от общего числа задач критические.
- 7.1.4. Описать какие настройки календарей использовались.

7.2. Стоимостная реализуемость

Цель анализа: определить возможность выполнения Вашего проекта с учетом бюджетных ограничений.

- 7.2.1. Использовать отчеты из группы Отчеты о затратах.
- 7.2.2. Проанализировать использование бюджета Вашего проекта и движение денежных средств.
- 7.2.3. Указать основные факторы стоимости Вашего проекта.

7.3. Ресурсная реализуемость

Цель анализа: выявить перегрузку и недогрузку ресурсов (назначений). Избавиться от ресурс-конфликтов.

7.3.1 Анализ Листа ресурсов проекта.

7.3.2 Использование предлагаемых отчетов из группы отчетов о назначениях. Отчет Использование ресурсов.

8. Риски. Виды рисков проекта. Оценка рисков. Управление рисками.

9. Выводы. Вы должны определить, что необходимо изменить в Вашем проекте, чтобы его можно было реализовать на практике. Перспективы развития Вашего проекта.

Пояснения к плану:

Для удобства анализа проектов существует множество их классификации, например:

1. По масштабу (размеры, стоимость количество участников) проекты могут быть поделены на:
 - *монопроект* - это отдельный проект различного типа, вида и масштаба;
 - *мультипроект* - это комплексный проект, состоящий из ряда монопроектов и требующий применения многопроектного управления;
 - *мегапроект* - целевые программы развития регионов, отраслей и других образований, включающие в свой состав ряд моно- и мультипроектов.
2. По типу проекты могут быть поделены на:
 - *инвестиционные проекты;*
 - *проекты исследования и развития;*
 - *организационные проекты;*
 - *экономические проекты;*
 - *социальные проекты;*
 - *другие типы* (в зависимости от отрасли главной цели проекта);
 - *смешанные* (сочетающие в себе несколько типов).
3. По длительности проекты могут быть поделены на:
 - *краткосрочные* (до 1 года);
 - *среднесрочные* (от 1 года до 5 лет);
 - *долгосрочные* (свыше 5 лет).
4. По сложности проекты могут быть поделены на:
 - *Простые.*
 - *Сложные.*
 - *Очень сложные.*
5. Проекты могут быть классифицированы по видам в зависимости от характера предметной области проекта.

Результат проекта характеризуется понятиями цель и задача. Цель - желаемый результат деятельности, достигнутый в пределах некоторого интервала времени. Тогда как задача- желаемый результат деятельности, достижимый за заданный интервал времени и характеризующийся набором количественных данных или параметров этого результата. Таким образом, цель становится задачей, если указан срок ее достижения и заданы коли-

чественные характеристики желаемого результата. Каждая цель может быть декомпозирована на составляющие ее задачи или подцели. Проект обычно предполагает целый комплекс взаимосвязанных целей. Например, основной целью проекта, связанного с компьютерным программным обеспечением, может быть разработка информационной системы управления предприятием. Промежуточными целями (подцелями) могут быть разработка базы данных, разработка математического и программного обеспечения, тестирование системы. Формирование дерева целей начинается с анализа заинтересованных сторон (участников команды проекта) и построения дерева проблем.

Анализ заинтересованных сторон включает определение отдельных лиц, групп, организаций, интересы которых проект может затронуть, определение их основных ключевых проблем, столкновения интересов, ограничений и возможностей. Заинтересованные стороны проекта также называются участниками команды проекта. Состав участников проекта их роли, распределение функций и ответственности зависят от типа, вида, масштаба и сложности проекта, а также от фаз жизненного цикла проекта. Таким образом постоянными являются функции по реализации проекта на протяжении его жизненного цикла, а состав участников, их роли, распределение ответственности и обязанностей могут меняться.

Неизменными можно считать следующие функции по осуществлению проекта:

1. Проект должен быть осмыслен, "придуман" и инициирован - значит у него должен быть *инициатор*.
2. Проект должен обрести главное заинтересованное лицо (организацию) - сторону, которая является будущим *владельцем (заказчиком)* и *пользователем результатов* проекта и несет за него ответственность.
3. Осуществление проекта требует привлечения инвестиций - значит у него должны быть *инвесторы*, т.к. средств заказчика обычно недостаточно.
4. Проект нужно готовить и осуществлять - значит у него должны быть соответствующие *исполнители*.
5. В результате реализации большинства проектов должно что-то производиться или оказываться какие-то услуги - значит у проекта должны быть свои *производители, продавцы* и *потребители*, которые в конечном счете должны возместить все расходы по проекту и принести прибыль его остальным участникам.
6. Проектом нужно управлять. Значит у проекта должен быть *менеджер*.
7. Каждый проект кроме того может затрагивать интересы и других сторон: местных властей, общественных групп, населения и отдельных граждан - это все участники проекта.

Очевидно, что для любого проекта принципиальный состав функций остается неизменным. Однако в простейшем, вырожденном случае (например, теплица на дачном участке) все основные функции проекта могут осуществляться одним лицом.

На этапе *анализа проблем* осуществляется формулировка проблем, определение их причинно-следственных связей и построение дерева проблем. Дерево проблем представляет собой просто иерархическое расположение проблем. В своем первоначальном выборе центральной проблемы каждая из заинтересованных сторон будет руководствоваться своим собственным интересом в проекте и своими собственными проблемами. Пример- проект поддерживаемый Международным банком реконструкции и развития по поддержке и реформированию городского общественного транспорта в ряде городов Российской Федерации. С точки зрения руководителей транспортных предприятий участвующих городов первоочередной проблемой является острая нехватка транспортных средств, а с точки зрения федеральных и местных органов власти- неэффективность всей системы организации работы и финансирования городского общественного транспорта, включая проблемы льготников, недостаточную эффективность работы предприятий городского общественного транспорта и др. Исходным пунктом построения древа проблем должна стать одна центральная проблема.

При рассмотрении второй проблемы, связанной с ней, поступают следующим образом:

- если проблема является причиной, она помещается уровнем ниже;
- если проблема является следствием, она помещается уровнем выше;
- если проблема не является ни причиной, ни следствием, она помещается на тот же самый уровень.

По мере разрастания дерева оставшиеся проблемы добавляются к нему по тому же принципу. Дерево целей строится на основании дерева проблем.

При формулировании целей важно обеспечить их:

- *Реальность*- возможность достижения в рамках заданных ресурсов и ограничений (финансовых, физических, временных, др.);
- *Определенность*- условие того, что цели проекта достигнуты благодаря проекту, а не по другим причинам;
- *Измеримость*- возможность количественной оценки при приемлемой затрате средств и усилий.

В управлении проектами используются следующие основные термины:

Работа в плане проекта представляет некоторую деятельность, необходимую для достижения конкретных результатов (конечных продуктов нижнего уровня). Таким образом, работа является основным элементом деятельности на самом нижнем уровне детализации, на выполнение которого требуется время, и который может задержать начало выполнения других работ. Момент окончания работы означает факт получения конечного продукта (результата работы). Работа является базовым понятием и предоставляет основу для организации данных в системах управления проектами. На практике для ссылки на детальный уровень работ часто используется термин *задача*. В общем смысле эти два термина являются синонимами.

Связи (логические зависимости) - отображают природу зависимостей между работами. Большинство связей в проектах относятся к типу "конец-начало", когда последующая работа может начаться только по завершении предшествующей работы. Связи образуют структуру сети. Комплекс взаимосвязей между работами часто также называют логической структурой проекта, поскольку он определяет последовательность выполнения работ.

Сетевая диаграмма (сеть, PERT диаграмма) - графическое отображение работ проекта и их взаимосвязей. В планировании и управлении проектами под термином сеть понимается полный комплекс работ и вех проекта с установленными между ними зависимостями. Сетевые диаграммы отображают *сетевую модель* в графическом виде как множество вершин, соответствующих работам, связанных линиями, представляющими взаимосвязи между работами.

Структура разбиения работ - иерархическая структура последовательной декомпозиции задач проекта на подзадачи с учетом связей между ними. Структура разбиения работ (СРР) является изначальным инструментом для организации работ, обеспечивающим разделение общего объема работ по проекту в соответствии со структурой их выполнения в организации. На нижнем уровне детализации выделяются работы, соответствующие детализированным элементам деятельности, отображаемым в сетевой модели. СРР предоставляет иерархический формат, который помогает в:

- структуризации работ на основные компоненты и подкомпоненты;
- обеспечении направленности деятельности на достижение всего комплекса целей;
- разработке системы ответственности за выполнение работ проекта;
- разработке системы отчетности и обобщения информации по проекту.

Для сокращения продолжительности проекта используются *методы сетевого планирования*, основанные на разработанных практически одновременно и независимо методе критического пути МКП и методе оценки и пересмотра планов PERT (Program Evaluation and Review Technique). Первый метод разработан в 1956 году для составления планов-графиков крупных комплексов работ по модернизации заводов фирмы "Дюпон". Второй метод разработан корпорацией "Локхид" и консалтинговой фирмой "Буз, Аллен энд Гамильтон" для реализации крупного проекта разработки ракетной системы "Пола-рис".

Критический путь - максимальный по продолжительности полный путь в сети называется критическим; работы, лежащие на этом пути, также называются критическими. Именно определяет наименьшую общую продолжительность работ по проекту в целом. Длительность выполнения всего проекта в целом может быть сокращена за счет сокращения длительности задач, лежащих на критическом пути. Соответственно, любая задержка выполнения задач критического пути повлечет увеличение длительности проекта. Концепция критического пути обеспечивает концентрацию внимания менеджера на критических работах. Основным достоинством метода критического пути является возможность манипулирования сроками выполнения задач, не лежащих на критическом пути. Метод критического пути позволяет рассчитать возможные календарные графики выполнения комплекса работ на основе описанной логической структуры сети и оценок продолжительности выполнения каждой работы, определить критический путь проекта.

Временной резерв или *запас времени* - это разность между самым ранним возможным сроком завершения работы и самым поздним допустимым временем ее выполнения. Управленческий смысл временного резерва заключается в том, что при необходимости урегулировать технологические, ресурсные или финансовые ограничения проекта он позволяет менеджеру задержать работу на это время без влияния на общую продолжительность проекта и продолжительность непосредственно связанных с ней задач. Работы, лежащие на критическом пути, имеют временной резерв, равный нулю.

Анализ реализуемости проекта имеет ряд своих разновидностей: логическая реализуемость (учет логических ограничений на возможный порядок выполнения работ во времени); временной анализ (расчет и анализ временных характеристик работ: ранняя/поздняя дата начала/окончания работы, полный, свободный временной резерв и другие); физическая (ресурсная) реализуемость (учет ограниченности наличных или доступных ресурсов в каждый момент времени выполнения проекта); финансовая реализуемость (обеспечение положительного баланса денежных средств).

Тема 1. Введение в проектную деятельность. Занятие №1

Создание нового проекта

Цель работы – создание проекта и заполнение базовой информации о проекте. **Порядок выполнения работы**

1. Создание нового проекта любым способом
2. Заполнение сведений о проекте
3. Изменение базовых календарей проекта
4. Включение в проект дополнительной документации

Пояснения к выполнению работ

Новый проект в программе MS Project может быть создан как с нуля, так и используя один из предлагаемых стандартных шаблонов. Шаблон представляет собой особенный тип файла проекта, содержащий набор информации, призванной упростить работу над проектом. В состав шаблона обычно входит список заранее организованных и размещенных определенным образом задач, а также информация о ресурсах, пользовательские представления, календари, отчеты, макросы и т.д. Любая информация, предлагаемая шаблоном, может быть изменена в соответствии с требованиями конкретного проекта. В качестве шаблона также может быть использован созданный ранее проект.

При создании проекта из шаблона необходимо выбрать на панели *Консультанта* ссылку *Общие шаблоны*. Далее на вкладке *Шаблоны проектов* (рис.1) выбирается необходимый шаблон.

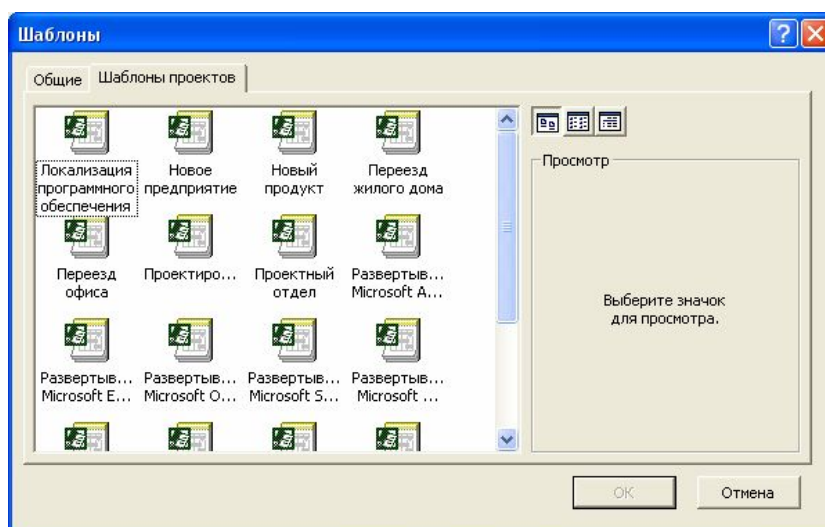


Рис.1. Выбор шаблона проекта

Рабочее пространство программы называется видом или представлением. По умолчанию после создания проекта активен вид *Диаграмма Ганта* (рис.2). Данная диаграмма служит для отображения последовательности задач проекта как в текстовом так и в графическом виде.

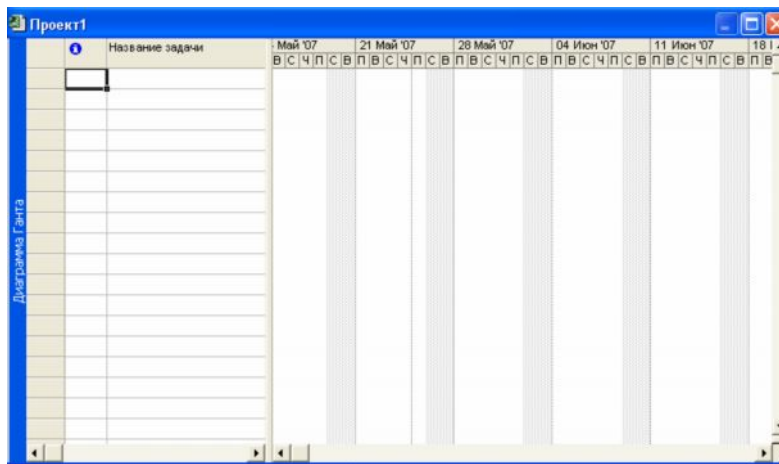


Рис.2. Окно диаграммы Ганта

После создания проекта необходимо настроить его основные параметры. Для этого удобно использовать мастер *Новый проект*. Для этого нажимаем кнопку *Задачи* на панели *Консультанта* и выбираем ссылку *Определение проекта*. Ответив на вопросы о дате начала проекта и совместной работе над проектом и сохранив результат, выбираем ссылку *Определение рабочего времени проекта* для запуска мастера *Рабочее время проекта*. Таким образом мы можем настроить календарь проекта.

Следующим решением, которое необходимо принять на стадии создания, является выбор исходной даты проекта. План проекта может быть составлен от даты начала или завершения проекта. Для настройки планирования от начальной даты выберите в меню Проект пункт сведения о проекте. В появившемся окне (рис.3) выбираем планирование *От даты начала проекта* и ставим *Дату начала*. Да окончания будет рассчитана далее автоматически. В случае планирования от конечной даты выбираем *От даты окончания проекта* и ставим *Дату окончания*. В этом случае автоматически будет рассчитываться дата начала.

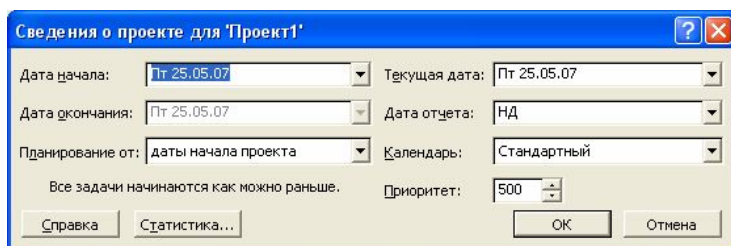


Рис.3. Настройка сведений о проекте

Также в этом окне мы можем выбрать календарь для проекта. В состав пакета MS Project входит три базовых календаря – стандартный, ночная смена и 24 часа.

В *стандартном календаре* рабочий день начинается с 8:00 и заканчивается в 17:00 с обеденным перерывом с 12:00 до 13:00. Рабочая неделя начинается с понедельника и заканчивается в пятницу. Это календарь, применяемый по умолчанию.

В *календаре ночной смены* рабочий день начинается с 23:00 и заканчивается в 8:00 с часовым перерывом с 03:00 до 04:00.

В *календаре «24 часа»* рабочее время продолжается круглые сутки без выходных и обеденных перерывов.

Базовые календари можно редактировать для этого в меню *Сервис* необходимо выбрать пункт *Изменение рабочего времени*. В появившемся окне (рис.4.) выбираем базовое расписание, которое мы хотим отредактировать. Для изменения рабочего времени одного дня необходимо выбрать этот день в календаре. Далее, если необходимо сделать этот день выходным, мы выбираем параметр *нерабочее время*, если же мы хотим только изменить временные рамки рабочего дня, то выбираем параметр *нестандартное рабочее время* и в полях ниже вводим время начала и завершения рабочего дня.

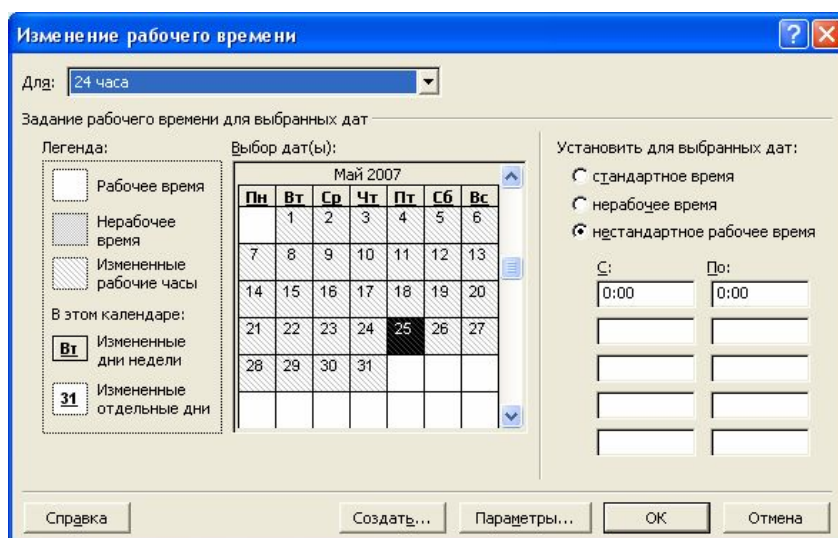


Рис.4. Изменение рабочего времени.

Можно также создать новое базовое расписание. Для этого в окне *Изменение рабочего времени* нажимаем кнопку *Создать*. В появившемся окне (рис.5) выбираем создание нового календаря на основе стандартного или создание копии любого другого календаря. Значения рабочего времени для вновь созданного календаря могут также быть отредактированы через окно *Изменение рабочего времени*.

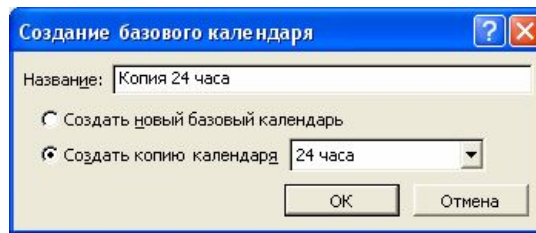


Рис.5. Создание базового календаря.

Создаваемый проект может быть использован в качестве хранилища проектной документации, например обзора проекта, результатов проведенных анализов или спецификации создаваемого продукта. Для присоединения такой документации целесообразно использовать т.н. суммарную задачу проекта, содержащую итоговую информацию о датах и стоимости проекта. Для отображения суммарной задачи на диаграмме Ганта необходимо в меню *Сервис* выбрать пункт *Параметры* и перейти на вкладку *Вид*. На данной вкладке необходимо выбрать параметр *Показать суммарную задачу проекта* под заголовком *Параметры структуры для проекта*. Суммарная задача появится в нулевом ряду диаграммы Ганта.

Проектная документация может как включаться в файл проекта, так и быть доступной через гиперссылки. Для включения документов в файл проекта необходимо выбрать суммарную задачу проекта и нажать кнопку *Сведения о задаче* , расположенную на стандартной панели задач. В открывшемся окне (рис.6) выбираем вкладку *Заметки*. На вкладке нажимаем кнопку *Вставить объект*. В открывшемся окне необходимо выбрать опцию *Создать из файла*. После этого указываем путь к файлу документа, который предполагается включить в проект.

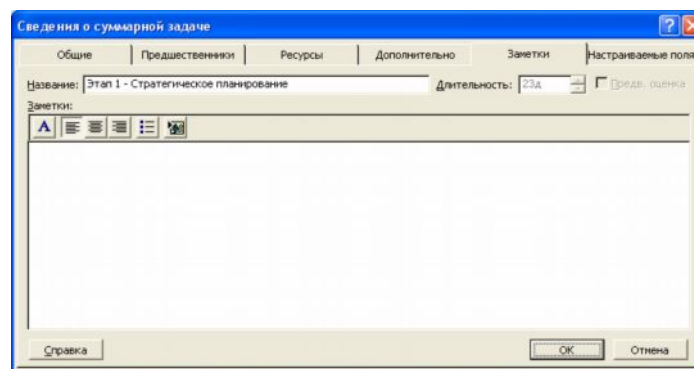


Рис.6. Сведения о задаче.

После закрытия окна сведений о суммарной задаче в диаграмме Ганта появится индикатор примечаний ()

Для создания гиперссылки к документу необходимо нажать кнопку Гиперссылка  на панели задач. В поле Текст открывшегося диалогового окна *Добавление гиперссылки* (рис.7) введите название связываемого документа, затем выберите документ в списке. В поле индикаторов диаграммы Ганта появится индикатор гиперссылок. ().

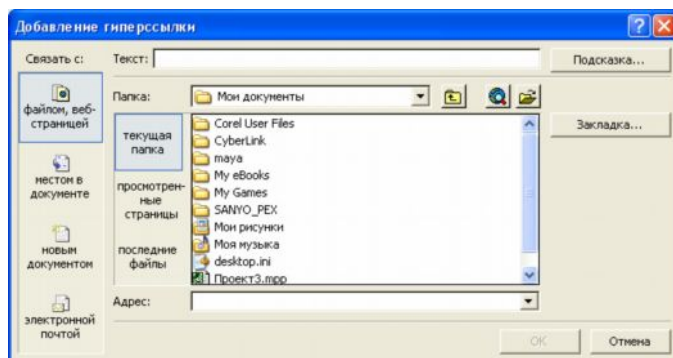


Рис.7. Добавление гиперссылки.

Контрольные вопросы:

1. Зачем необходимы шаблоны проектов?
2. В чем разница между планированием проекта от даты начала или даты его окончания?
3. Какие существуют базовые календари в программе MS Project?
4. Как внести изменения в базовый календарь?
5. Как включить в проект проектную документацию?

Тема 1. Введение в проектную деятельность. Занятие №2

Расписание проекта

Цель работы – создание развернутого расписания работ.

Порядок выполнения работы

1. Внести задачи проекта в табличную часть диаграммы Ганта.
2. Упорядочить задачи проекта в соответствии с логикой проекта.
3. Ввести кода структурной декомпозиции работ.

Пояснения к выполнению работ

Для создания расписания работ в программе MS Project необходимо внести задачи в диаграмму Ганта в соответствии с их иерархией. Для перехода в режим диаграммы Ганта необходимо выбрать из меню *Вид* пункт *Диаграмма Ганта*.

Существуют несколько методик внесения задач в диаграмму Ганта:

- *Произвольный ввод* – задачи вносятся без соблюдения последовательности или группировки задач. Необходимые изменения вносятся позже;
- *Последовательный ввод* – задачи вводятся последовательно, от начала до завершения проекта (или наоборот);
- *Обозначение фаз* – вносятся только главные задачи. Далее следует их декомпозиция;
- *Обозначение вех* - внесение ключевых задач. Далее в расписание вносятся задачи, необходимые для выполнения ранее внесенных задач.

Для добавления задачи в столбец *Название задачи* вводится название задачи. В дальнейшем название и другие свойства задачи можно редактировать двойным нажатием на любом столбце табличной части диаграммы Ганта.

Данные о задачах также могут быть импортированы из программного продукта MS Excel. Для этого необходимо, чтобы поля таблиц MS Excel полностью соответствовали полям диаграммы Ганта. Поэтому сначала создаем на основе *Шаблона импорта списка задач Microsoft Project* новую таблицу MS Excel (рис.8).

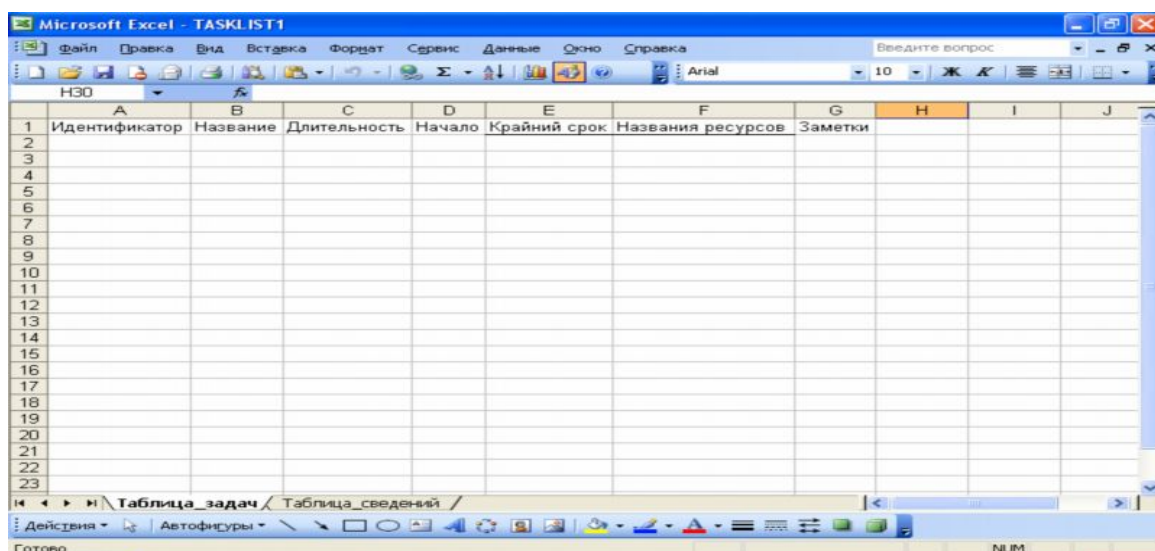


Рис.8. Шаблон импорта списка задач Microsoft Project.

После заполнения и сохранения файла таблицы необходимо открыть этот файл в MS Project. Для этого, нажав в меню *Файл* пункт *Открыть*, в диалоговом окне открытия файла указываем тип файла *Книги Microsoft Excel* и выбираем файл сохраненной таблицы из списка.

Некоторые задачи повторяются регулярно, например еженедельно. Для задач такого типа нет необходимости вводить несколько раз одну и ту же информацию, достаточно указать, что задача является повторяющейся. В таком случае необходимо в диаграмме Ганта выбрать задачу, после которой вы хотите вставить повторяющуюся задачу. Затем в меню *Вставка* выбрать пункт *Повторяющаяся задача*. В открывшемся окне (рис.9) необходимо заполнить название задачи, указать частоту и диапазон повторений. Также в случае необходимости указываем дату окончания задачи.

Сведения о повторяющейся задаче

Название задачи: Длительность:

Повторять

☐ Ежедневно ☐ неделю по:

☒ Еженедельно ☐ воскресенье ☐ понедельник ☐ вторник ☐ среда

☐ Ежемесячно ☐ четверг ☐ пятница ☐ суббота

Ежегодно

Пределы повторения

Начало: ☐ Окончание после повторений

☒ Окончание:

Календарь для планирования этой задачи

Календарь: ☐ Не учитывать календари ресурсов при планировании

Рис.9. Сведения о повторяющейся задаче.

В диаграмме Ганта повторяющаяся задача отмечена специальным индикатором . Повторяющаяся задача показана в виде суммарной задачи, где все ее повторения являются отдельными подзадачами.

Для расположения задач в логической последовательности может быть использовано перемещение, добавление, копирование и удаление задач.

Для *перемещения задачи* строку задачи в диаграмме Ганта необходимо выделить целиком, для этого нажимаем на заголовке строки серого цвета. После изменения курсора на «+» перетаскиваем строку в желаемое место.

Для *добавления задачи* выбираем строку в диаграмме Ганта, выше которой будет располагаться новая задача и нажимаем в меню *Вставка* пункт *Новая задача* либо нажимаем кнопку Insert.

Для *копирования задачи* необходимо выбрать задачу и нажать кнопку *Копировать ячейку* на стандартной панели инструментов. Далее, перейдя в свободную строку, нажимаем кнопку *Вставить*. Можно скопировать одновременно несколько задач, для этого нажав Ctrl (для несмежных задач) или Shift (для задач, расположенных рядом), выделяем необходимые задачи.

Для *удаления задачи* необходимо выбрать соответствующую строку таблицы и нажать Delete.

После расположения задач в логической последовательности необходимо создать структуру, представляющую иерархию выполняемых задач. Задача, расположенная на самом верхнем уровне структуры расписания, называется суммарной задачей. Задачи более низкого уровня называются подзадачами. Каждая такая подзадача, в свою очередь, может быть также разделена на подзадачи. MS Project поддерживает до девяти уровней вложенности задач. Для структурирования задач можно использовать следующие средства MS Project:

- *Перемещение задачи на один уровень ниже.* Для этого необходимо выделить перемещаемую задачу в диаграмме Ганта и нажать кнопку *На уровень ниже* на панели инструментов *Форматирование*. Выбранная задача становится подзадачей, а вышестоящая становится для нее суммарной. Перемещать можно и несколько задач, предварительно выделив их с помощью Ctrl или Shift.
- *Перемещение задачи на один уровень выше.* Для этого необходимо выбрать перемещаемую задачу и нажать кнопку *На уровень выше* на панели инструментов *Форматирование*.

- *Отображение всех задач, вплоть до указанного уровня вложенности* Для этого необходимо нажать кнопку *Показать* на панели инструментов *Форматирование*. Из списка выбрать необходимый уровень. Будут отображаться только задачи данного уровня или более высоких.
- *Скрыть или показать все подзадачи для данной задачи*. Для этого необходимо нажать знак «плюс» или «минус» слева от заголовка задачи.

После структуризации можно настроить *кода структурной декомпозиции работ* (СДР). Каждый уровень и элемент структурной декомпозиции работ описывается с помощью уникального кода. Как правило, каждая цифра, присутствующая в таких кодах, указывает на уровень в структурной иерархии. По умолчанию, MS Project создает кода СДР на основе структурных номеров. Для отображения структурных номеров в диаграмме Ганта необходимо нажав правой кнопкой на заголовке табличной части диаграммы выбрать пункт меню *Вставить столбец*. В открывшемся окне (рис.10) выбираем имя поля *Номер в структуре*.

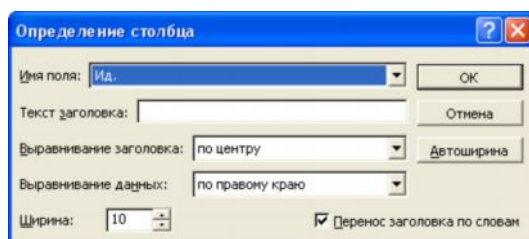


Рис.10. Определение столбца.

Для настройки собственной схемы СДР необходимо в меню *Проект* выбрать пункт *СДР/Определить код*. В открывшемся окне (рис.11) выбираем префикс кода проекта, далее в поле *Последовательность* выбираем формат кода для уровней иерархии, начиная с первого. После закрытия окна в табличную часть диаграммы Ганта вставляем столбец с заголовком *СДР*.

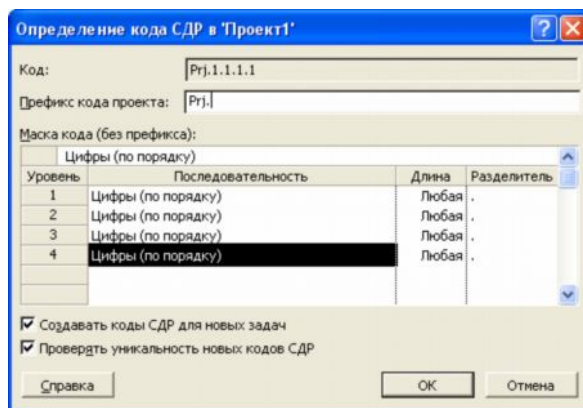


Рис.11. Определение кода СДР в проекте.

Контрольные вопросы:

1. Что такое расписание проекта?
2. Как отображаются задачи в диаграмме Ганта?
3. Как провести импорт задач проекта из MS Excel?
4. Как добавить в проект повторяющуюся задачу?
5. Какие существуют в MS Project средства для управления иерархией проекта?
6. Для чего предназначены коды структурной декомпозиции работ?

Тема 1. Введение в проектную деятельность. Занятие №3

Временные связи

Цель работы – расстановка временных связей между задачами.

Порядок выполнения работы

1. Установить длительность всех дочерних задач.
2. Указать зависимости задач.
3. Настроить ограничения задач.
4. Настроить напоминания о крайних сроках.
5. Добавить вехи.
6. Настроить календари задач.

Пояснения к выполнению работы

После заполнения списка задач и упорядочивания его, необходимо внести информацию о количестве рабочего времени, необходимого для завершения каждой задачи. Для этого необходимо внести значение продолжительности задачи в поле *Длительность* табличной части диаграммы Ганта, например «1 день». Значение длительности также может быть внесено как приблизительное. MS Project рассчитывает такую длительность как и подтвержденную, однако данная возможность позволяет указать предварительный характер длительности, который необходимо уточнить по ходу разработки проекта. Для внесения приблизительной длительности необходимо после временной единицы добавить знак вопроса, например «1 нед?» (рис.12). Удалив знак вопроса, приблизительную длительность задачи можно изменить на подтвержденную.

		Название задачи	Длительность	Начало	Окончание	Предшк
1		Шаблон локализации продукта	146 дней?	Чт 01.01.04	Чт 22.07.04	
2		Область охвата	25 дней?	Чт 01.01.04	Ср 04.02.04	
3		Изучение задачи	2 дней	Чт 01.01.04	Пт 02.01.04	
4		Оценивание требуемых усилий (наприме	1 нед	Пн 05.01.04	Пт 09.01.04	3
5		Подготовка спецификации локализации (о	2 дней	Пн 12.01.04	Вт 13.01.04	4
6		Предварительная оценка затрат	3 дней	Ср 14.01.04	Пт 16.01.04	5
7		Определение рисков	2 дней?	Пн 19.01.04	Вт 20.01.04	6
8		Закрепление финансирования проекта	1 день	Ср 21.01.04	Ср 21.01.04	7
9		Предварительное определение ресурсов	1 нед	Чт 22.01.04	Ср 28.01.04	8
10		Определение матрицы и способов обмена	3 дней	Чт 22.01.04	Пн 26.01.04	8
11		Закрепление ключевых ресурсов	1 нед	Чт 29.01.04	Ср 04.02.04	9
12		Область охвата завершена	0 дней	Ср 04.02.04	Ср 04.02.04	11;10

Рис.12. Длительность задач

Для задания длительности в проекте могут использоваться различные временные единицы, включая:

- минуты (мин);

- часы (ч);
- дни (д);
- недели (нед);
- месяцы (мес).

При вводе длительности задач могут использоваться как полные названия временных единиц, так и их аббревиатуры. Если единицу измерения времени не указывать, MS Project автоматически будет использовать дни.

Для получения достоверной информации о длительности задач можно использовать четыре возможных источника:

- Знания сотрудников, работающих над проектом;
- Экспертные оценки;
- Информация о предыдущих проектах;
- Промышленные стандарты.

При существовании расхождений в оценке длительности задач или необходимости моделирования альтернативных сценариев выполнения проекта используется методика PERT (Program, Evaluation and Review Technique). При анализе методом PERT для расчета длительности задачи используются средневзвешенные значения оптимистической, пессимистической и ожидаемой длительности. Анализ PERT является эффективным методом предупреждения рисков. Он позволяет рассчитывать расписание проекта с учетом возможного или имеющегося времени, ресурсов или стоимости.

Для выполнения анализа методом PERT необходимо выбрать пункт *Анализ по методу PERT* в меню *Вид/Панели инструментов*. На появившейся панели инструментов *Анализ по методу PERT* нажмите кнопку *Лист ввода PERT* (). Введите для каждой задачи значения оптимистической, пессимистической и ожидаемой длительности в соответствующие поля таблицы (рис.13). Если длительность известна точно, то во всех полях таблицы указывается одинаковая длительность.

	Название задачи	Длительность	Оптимистическая длительность	Ожидаемая длительность	Пессимистическая длительность
1	 Шаблон локализ	143,33 дней?	134 дней	143 дней	154 дней
2	 Область охвата	22,33 дней?	13 дней	22 дней	33 дней
3	Изучение зад	2 дней	1 день	2 дней	3 дней
4	Оценивание т	1,67 нед	6 дней	8 дней	12 дней
5	Подготовка сг	2 дней	1 день	2 дней	3 дней
6	Предваритель	2 дней	1 день	2 дней	3 дней
7	Определение	2 дней?	1 день	2 дней	3 дней
8	Закрепление	2 дней	1 день	2 дней	3 дней
9	Предваритель	0,4 нед	1 день	2 дней	3 дней
10	Определение	2 дней	1 день	2 дней	3 дней
11	Закрепление	0,4 нед	1 день	2 дней	3 дней
12	Область охва	0 дней	0 дней	0 дней	0 дней

Рис 13. Лист ввода PERT

При нажатии на кнопку *Вычисления по методу PERT* на этой же панели инструментов программа рассчитает приблизительную длительность задачи, которая будет внесена в поле таблицы *Длительность*.

Следующим шагом в построении базового расписания является установка взаимосвязей между задачами. Связь между задачами возникает в том случае, если начало и/или конец одной задачи как-либо зависит от другой задачи. В MS Project можно создать связь между предыдущей задачей, называемой *предшественником* и следующей задачей - *последователем*, и тем самым создать зависимость между ними. Для этого необходимо перейти в режим диаграммы Ганта. Выбираете две задачи, которые необходимо связать между собой. Если задачи расположены в списке задач не рядом, выделяем задачу-предшественник, а затем, удерживая клавишу Ctrl, выбираем задачу-последователь. Далее нажимаем кнопку *Связать задачи* на панели задач (). После этого связь будет показана на диаграмме Ганта стрелкой и в столбце *Предшественники* появится номер задачи-предшественника. Также связь может быть установлена указанием задачи-предшественника в столбце *Предшественники* напрямую.

По умолчанию всегда строится связь типа «конец-начало», когда вторая задача начинается сразу после конца первой. Однако MS Project поддерживает и другие типы связей (рис.14). Для их создания на диаграмме Ганта выберите задачу, являющуюся последователем в устанавливаемой связи. Двойным нажатием мыши открываем окно *Сведения о задаче*. На вкладке *Предшественники* выбираем любую свободную ячейку в поле *Имя задачи*. В строке появится раскрывающийся список, содержащий задачи проекта. Выберите задачу, являющуюся предшественником в устанавливаемой зависимости. Нажав на поле *Тип* выберите из списка тип связи. Для частичного совмещения задач необходимо в поле *Запаздывание* ввести устанавливаемое время опережения. Это значение вводится либо в процентах, либо во временных единицах и для случая совмещения задач должно быть отрицательным. В случае, если при выполнении задачи-последователя возникает запаздывание, в поле *Запаздывание* указывается положительное значение.



Рис.14. Типы связей.

Для удаления связи необходимо на вкладке *Предшественники* в окне *Сведения о задаче* для удаляемой связи указать тип связи (*Нет*). После закрытия окна связь исчезнет.

Любая задача в MS Project имеет ограничения по времени выполнения. По умолчанию это *Как можно раньше*. MS Project поддерживает следующие типы ограничений:

- Гибкие – *Как можно раньше* и *Как можно позже*. Наличие таких ограничений повышает гибкость времени выполнения задачи;
- Изменяемо-гибкие – *Начало не ранее*, *Начало не позднее*, *Окончание не ранее* и *Окончание не позднее*. Такие ограничения позволяют использовать при работе с ними временной интервал и допускают наличие вариантов времени выполнения;
- Негибкие – *Фиксированное начало* и *Фиксированное окончание*. Все остальные ограничения будут второстепенными по отношению к данным. Вне зависимости от взаимосвязей задач они должны выполняться с учетом фиксации дат начала/окончания.

Для изменения ограничений необходимо на вкладке *Дополнительно* окна *Сведения о задаче* (рис.15) поменять *Тип ограничения* и *Дату ограничения*. Также при установке даты начала или конца задачи в табличной части диаграммы Ганта тип ограничения также автоматически изменится на *Фиксированное начало/окончание*.

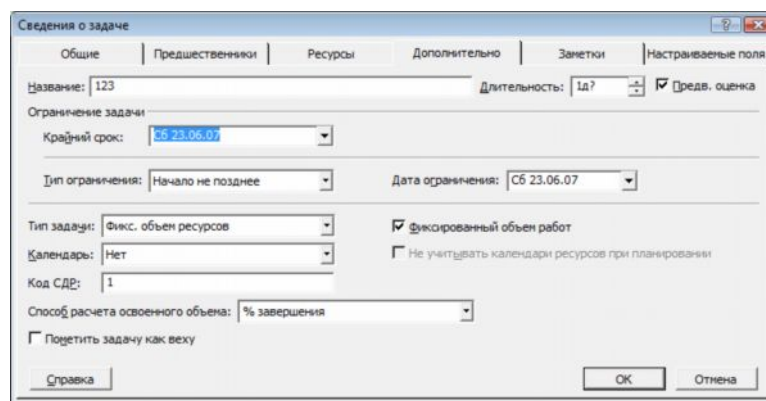


Рис.15. Сведения о задаче.

В тех случаях, когда задача должна быть завершена к определенному сроку, но расписание менять нежелательно, используются напоминания о крайних сроках. Такое напоминание не влияет на расписание проекта, при выполнении задачи после крайнего срока в столбце индикаторов появляется предупреждение. Для установки крайнего срока необходимо выбрать дату в поле *Крайний срок* вкладки *Дополнительно* окна *Сведения о задаче*. После этого в графической части диаграммы Ганта появится указатель крайнего срока (рис.16).



Рис.16. Указатель крайнего срока.

Также крайние сроки можно сразу ввести в столбец *Крайний срок* табличной части диаграммы Ганта.

Для указания начала или завершения основных фаз проекта, либо для указания завершения назначений проекта могут использоваться *вехи*, специально выделяемые задачи, отображающие достижение промежуточных результатов проекта. Вехи также не влияют на расписание проекта, однако, как правило, они взаимосвязаны с другими задачами проекта. Простейшим способом создания вехи является ввод задачи нулевой длительности. Указатель вехи появляется на графической части диаграммы Ганта (рис.17).



Рис.17. Указатель вехи

Для ввода вех ненулевой длительности, например последней задачи, выполняемой на каждой фазе проекта, необходимо установить флажок *Пометить задачу как веху* на вкладке *Дополнительно* окна *Сведения о задаче*, предварительно выделив желаемую задачу.

В случае если необходимо планировать задачу с учетом рабочего времени, отличного от принятого в календаре проекта или календаре ресурса, задаче назначается свой календарь. В качестве такого календаря можно выбрать один из уже имеющихся базовых календарей или создать новый. Для создания нового календаря необходимо в меню *Сервис* выбрать пункт *Изменить рабочее время*. В открывшемся окне нажимаем кнопку *Создать...* Задав имя нового календаря и выбрав исходный календарь, вносим желаемые изменения в рабочее время. Закрыв окно, мы можем назначить созданный календарь задаче. Для этого в окне *Сведения о задаче* на вкладке *Дополнительно* заполняем поле *Календарь*. После выбора календаря в поле индикаторов появляется индикатор календаря ().

Контрольные вопросы:

1. Как установить длительность родительской задачи?
2. Какие существуют виды временных зависимостей задач?
3. Как настроить временные ограничения задач?
4. В чем заключаются основные функции напоминаний о крайних сроках и вех проекта?
5. Как взаимосвязаны календари проекта, ресурсов и задач?

Тема 6. Риски проекта

Занятие №4

Ресурсы

Цель работы – добавление в проект ресурсов.

Порядок выполнения работы

1. Добавить в проект трудовые ресурсы.
2. Добавить в проект материальные ресурсы.
3. Настроить календари рабочего времени ресурса.
4. Назначить ресурсы задачам.
5. Профилирование загрузки ресурса.

Пояснения к выполнению работы

Выполнение любых задач обеспечивается тремя видами ресурсов – людьми, машинами и оборудованием. В программе MS Project все ресурсы делятся на две категории – люди и оборудование относятся к трудовым ресурсам. За единицу измерения усилий, затраченных такими ресурсами при выполнении задачи, принято время. Материалы относятся к материальным ресурсам. Для них измеряемой величиной по отношению к выполняемым задачам является потребление ресурса, а единицей измерения – количество ресурса.

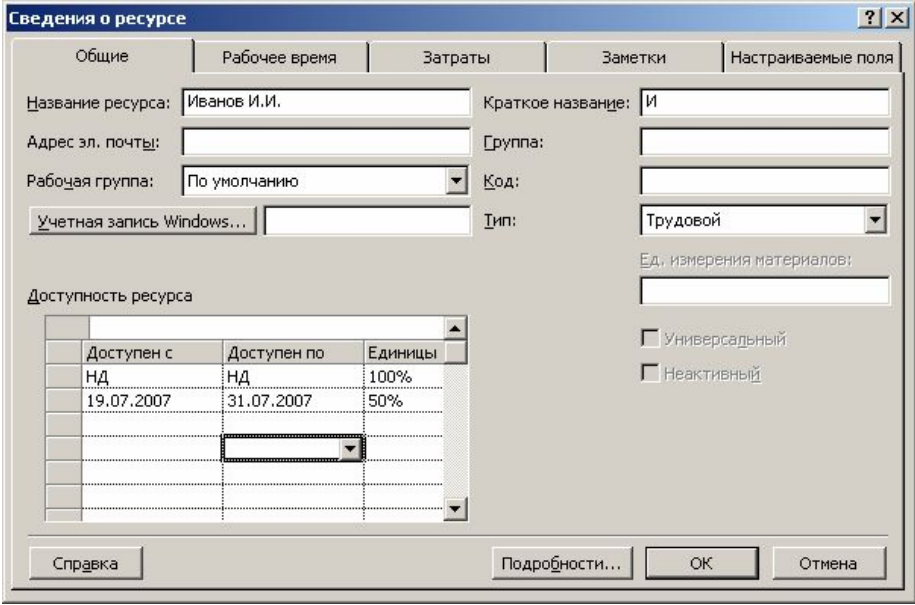
Для добавления ресурсов в проект необходимо выбрать представление листа ресурсов, для этого выбираем пункт *Лист ресурсов* в меню *Вид* (Рис.18). В открывшейся таблице вводим название ресурса и выбираем его тип.

	Название ресурса	Тип	Единицы измерения	Краткое название	Группа	Макс. единиц	Стандартная ставка	Ставка сверхурочных	Затраты на использо.	Начисление	Базовый календарь
1	Иванов И.И.	Трудовой	материалов	ИИИ	Менеджеры	100%	200,00р./ч	350,00р./ч	0,00р.	Пропорциональное	Стандартный
2	Ст. мастер	Трудовой		С		100%	120,00р./ч	180,00р./ч	0,00р.	Пропорциональное	Стандартный
3	Стройматериалы	Материальный		СМ			150 000,00р.		0,00р.	Пропорциональное	Стандартный

Рис.18. Лист ресурсов

Для трудового ресурса необходимо указать максимальное количество доступных единиц. Ресурсам, работающим на полную ставку, присваивается 100%. Далее указываем стандартную ставку оплаты труда и сверхурочную (если есть). По умолчанию используется почасовая оплата, но можно указывать и месячную ставку. Также можно указать *затраты на использование* – дополнительные одноразовые затраты, применяемые при каждом назначении ресурса. *Начисление* затрат на ресурсы может осуществляться в конце или

начале задаче или пропорционально ее выполнению. По умолчанию в качестве базового календаря применяется стандартный, однако в случае особых условий труда можно выбрать любой другой календарь или создать свой. В случае если максимум доступных единиц трудового ресурса будет изменяться по ходу выполнения проекта, необходимо настроить доступность ресурса. Для этого выделяем ресурс в *Листе Ресурсов* и нажимаем кнопку *Сведения о ресурсе* () на панели инструментов *Стандартная*. В открывшемся окне (рис.19) таблицу доступности ресурса добавляем диапазоны дат и максимальное количество единиц ресурса в данном диапазоне.



Доступен с	Доступен по	Единицы
НД	НД	100%
19.07.2007	31.07.2007	50%

Рис.19. Сведения о ресурсе.

Для материального ресурса заносится единица измерения материала и в качестве стандартной ставки используется стоимость за единицу измерения.

При вводе ресурсов можно использовать как конкретные, так и универсальные названия. Под *универсальным ресурсом* подразумевается ресурс, обозначающий определенную должность, ей могут соответствовать разные сотрудники. *Конкретный ресурс* относится к определенному сотруднику. По мере разработки проекта универсальные ресурсы заменяются конкретными.

К любому ресурсу можно добавить любую дополнительную информацию. Для этого необходимо, выделив ресурс в *Листе ресурсов*, нажать кнопку *Заметки ресурса* () на панели инструментов *Стандартная*. В области заметок можно внести свои комментарии или вставить любой файл данных.

Для назначения ресурсов перейдите в диаграмму Ганта и выделите задачу, на которую Вы хотите назначить ресурс. На панели инструментов *Стандартная* нажмите кнопку *Назначить ресурсы* (). В открывшемся окне *Назначение ресурсов* (Рис.20) выберите

ресурс, который вы хотите назначить и нажмите кнопку *Назначить*. После этого в столбце *Единицы* появится выделенный по умолчанию процент рабочего времени, равный либо максимальным единицам данного ресурса (максимум до 100%), либо 100% (максимум 100% или более). Процент может быть изменен на любой другой в пределах максимальных единиц ресурса. Для материальных ресурсов единицами являются количество ресурса. На одну задачу может быть назначено несколько ресурсов.

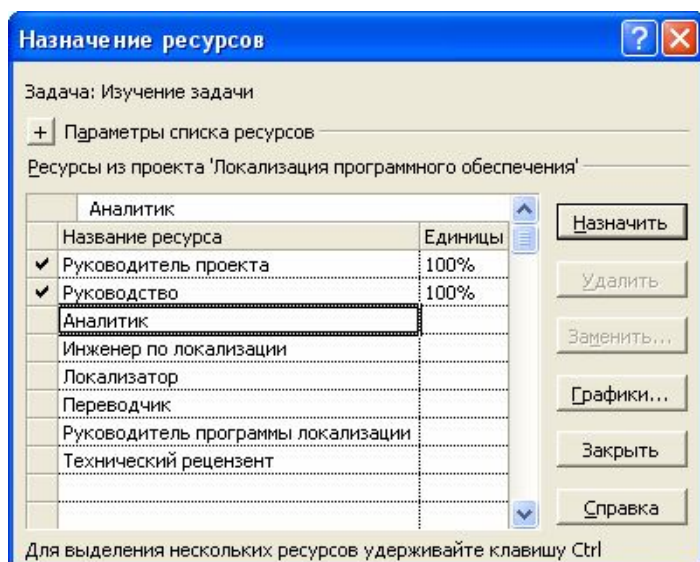


Рис.20. Окно назначения ресурсов.

Также через окно назначения вы можете снять ресурс с задачи (нажав кнопку *Удалить*), заменить один ресурс на другой (кнопка *Заменить*) или вывести график трудозатрат (кнопка *Графики*).

Для задач с фиксированным количеством ресурса и фиксированными трудозатратами добавление новых ресурсов снижает длительность. Если же задача имеет фиксированную длительность, то добавление новых ресурсов снижает количество единиц для каждого из назначенных ресурсов. Для тех случаев, когда добавление новых ресурсов не должно приводить к изменению длительности, отключают фиксированный объем работ в окне *Сведения о задаче* на вкладке *Дополнительно*.

При назначении ресурса задаче, рабочее время ресурса по умолчанию равномерно распределяется по всей длительности задачи. Форма распределения трудозатрат называется профилем загрузки. Для его изменения можно внести свои значения загрузки в табличную часть представления использования ресурса (пункт *Использование ресурса* меню *Вид*). Также можно применить к назначению один из встроенных профилей загрузки. Для этого выбрав назначение, которому необходимо придать определенный профиль, нажимаем кнопку *Сведения о назначении*. На вкладке *Общие* выбирается профиль загрузки из предложенного списка (рис.21).

Сведения о назначении

Общие Отслеживание Заметки

Задача: Изучение задачи

Ресурс: Руководство

Трудозатраты: 16ч Единицы: 100%

Профиль загрузки: Плоский

Начало: Плоский

Окончание: Загрузка в конце

Затраты: Двойной пик

Таблица норм затрат: А

ОК Отмена

Рис.21. Изменение профиля загрузки.

Контрольные вопросы:

1. Как изменить единицу измерения ресурса?
2. В чем разница между видами начисления затрат?
3. Как изменить календарь, чтобы трудовой ресурс был задействован в проекте один день через каждые два свободных?

Занятие №5

Проверка и корректировка плана проекта

Цель работы – проверка и корректировка проекта с учетом ограничений.

Порядок выполнения работы

1. Обзор планируемых затрат проекта.
2. Работа с критическими путями и критическими задачами.
3. Балансировка загрузки ресурсов.

Пояснения к выполнению работ

Для любого проекта наиболее актуальны три группы ограничений – затраты, длительность и использование ресурсов.

Просмотреть затраты на назначения можно, применив таблицу *Затраты* к представлению задач или ресурсов. Для этого в меню *Вид* выбираем команду *Использование задач* или *Использование ресурсов*. После этого также в меню *Вид* выбираем пункт *Таблица: Затраты*. В представлении использования задач отображаются затраты на отдельные назначения, а также общие затраты на каждую задачу (рис.22). В представлении использования ресурсов отображаются затраты на отдельные назначения и общие затраты на каждый ресурс.

	Название задачи	Фиксированные затраты	Начисление фикс. затрат	Общие затраты	Базовые	Откл.	Подробно	В	С	К
1	Развертывание Microsoft	0,00р.	пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			
2	Формирование пр	0,00р.	пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			
3	Оценка возможнс	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			
4	Определение цел	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			
5	Формулировка пр	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			
6	Определение обл	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			
7	Определение осн	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			
8	Получение финан	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			
9	Формирование пр	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			
10	Перед началом пла	0,00р.	пропорциональное	0,00р.	0,00р.		Трудозатр			

Рис.22. Представление использования задач с указанием затрат.

Повременное распределение затрат можно увидеть, добавив сведения о затратах в табличную часть представления использования задач или ресурсов. Для этого, перейдя в представление *Использование задач* или *Использование ресурсов*, необходимо в меню *Формат* выбрать пункт *Подробности/Затраты*. После этого в столбец *Подробности* табличной части представления будет добавлено поле *Затраты*.

Для просмотра данных в другом временном масштабе используются кнопки *Увеличить/Уменьшить* на панели инструментов *Стандартная* ( ).

Для того, чтобы увидеть затраты, связанные с выполнением ресурсами назначенных им задач, необходимо в таблицу ресурсов вставить столбец *Затраты*. Для этого, вы-

брав представление *Лист ресурсов*, нажимаем на заголовке столбца, справа от которого мы хотим вставить столбец затрат. В меню *Вставка* выбираем команду *Столбец*. В открывшемся окне (рис.23) в списке *Имя поля* выбираем *Затраты*. После закрытия окна в таблице появится поле *Затраты*, в котором будут показаны планируемые затраты на все назначения для каждого ресурса.

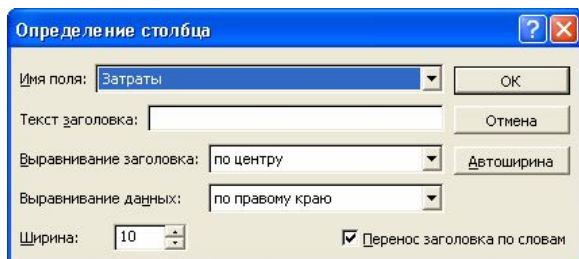


Рис.23. Определение столбца.

Ресурсы можно сортировать, группировать и фильтровать по затратам:

- Для сортировки по затратам необходимо, открыв представление *Лист ресурсов*, выбрать пункт меню *Сортировка/по затратам* в меню *Проект*. Пункт меню *Сортировка/по идентификатору* возвращает исходный порядок.
- Для фильтрации необходимо выбрать в меню *Проект* команду *Фильтр/Другие фильтры*. Из открывшегося списка выбираем вариант *Затраты больше чем*. После нажатия на кнопку *Применить* необходимо ввести пороговое значение затрат. Выбрав фильтр *Все ресурсы* возвращаем исходную ситуацию.
- Для группировки необходимо выбрать команду *Группировать по/Стандартной ставке* в меню *Проект*. Для отмены группировки выбираем пункт меню *Группировать по/нет группировки*.

Планируемые затраты можно увидеть в отчетах о бюджете и движении денежных средств. Для отображения отчета *Бюджет* необходимо выбрать пункт *Отчеты* в меню *Вид*. Далее выбираем категорию *Затраты* и вид отчета *Бюджет* (рис.24.). В появившемся отчете отображаются фиксированные затраты и общие затраты по задачам.

Отчет о бюджете от 4т 16.08.07
Развертывание Microsoft SharePoint Portal Server

Ид.	Название задачи	Фиксированные затраты	Начисление фикс. затрат	Общие затраты
3	Оценка возможностей сервера Microso	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.
4	Определение целей организации для г	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.
5	Формулировка предварительного анал	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.
6	Определение области охвата проекта (	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.
7	Определение основных вех	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.
8	Получение финансирования от руково,	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.
9	Формирование представления и опред	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.
12	Определение и замещение должности	0,00р.	Пропорциональное	0,00р.

Рис.24. Отчет о бюджете.

Отчет *Движение денежных средств*, также выбираемый из категории Затраты, отражает общие планируемые затраты на задачи за недельные периоды (рис. 25).

Движение денежных средств от Чт 16.08.07
Новое предприятие

	29.12.03	05.01.04
Этап 1 - Стратегическое планирование		
Самооценка		
Формирование представления о новом предприятии	800,00р.	
Определение имеющихся умений, навыков, информации и поддержки	800,00р.	
Принятие решения о продолжении		800,00р.
Определение перспектив		
Исследование рынка и конкуренции		

Рис.25. Отчет о движении денежных средств.

Общие затраты на весь проект можно увидеть в окне статистики проекта (рис.26). Для этого необходимо в меню *Проект* выбрать команду *Сведения о проекте*. В открывшемся окне нажимаем на кнопку *Статистика*.

Статистика проекта для 'Новое предприятие'

	Начало	Окончание
Текущее	Чт 01.01.04	Вт 22.06.04
Базовое	НД	НД
Фактическое	НД	НД
Отклонение	0д	0д

	Длительность	Трудозатраты	Затраты
Текущие	124д	1 368ч	56 000,00р.
Базовые	0д?	0ч	0,00р.
Фактические	0д	0ч	0,00р.
Оставшиеся	124д	1 368ч	56 000,00р.

Процент завершения
Длительность: 0% Трудозатраты: 0%

Закреть

Рис.26. Статистика проекта.

Планирование в MS Project осуществляется на основании метода критического пути. Для этого анализируются все последовательности связанных задач в проекте и определяется, какая из последовательностей имеет наименьший временной резерв, она и обозначается как критический путь. В норме задачи, лежащие на критическом пути, имеют нулевой временной резерв. Однако, можно поменять определение критической задачи, используемое программой. Для этого необходимо выбрать пункт *Параметры* в меню *Сервис* и в открывшемся окне перейти на вкладку *Расчет* (рис.27). Значение максимального временного резерва критической задачи устанавливается в поле *Считать критическими задачи, имеющие резерв не более*. Также на этой вкладке можно настроить режим использования нескольких критических путей. В этом случае Microsoft Project изменяет расчет критического пути таким образом, что любая задача, не имеющая последователя, становится критической. Это значит, что ее дата позднего окончания устанавливается равной дате раннего окончания и временной резерв оказывается равным нулю. Любая последовательность задач, предшествующих данной, становится критическим путем.

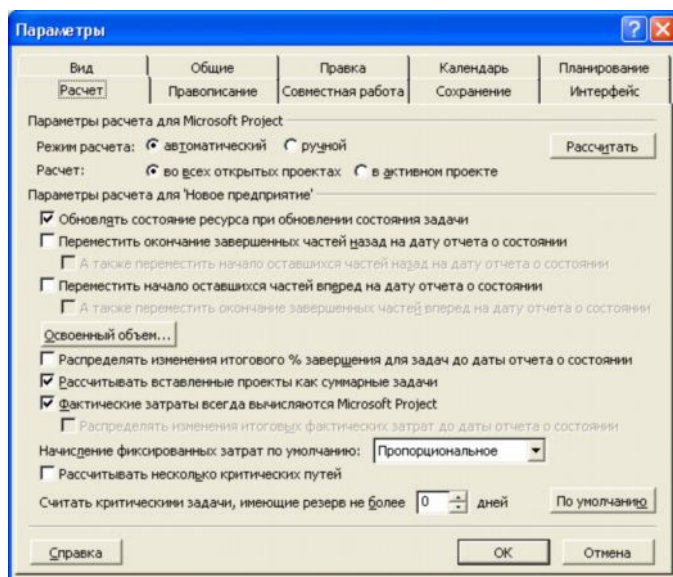


Рис.27. Параметры расчета.

Для того, чтобы узнать величину свободного и полного временного резерва необходимо, открыв диаграмму Ганта, выбрать пункт *Таблица:Календарный план* из меню *Вид*. После этого в табличной части появятся поля *Свободный временной резерв* и *Общий временной резерв*. Для того, чтобы увидеть критический путь на диаграмме Ганта, необходимо выбрать пункт *Диаграмма Ганта с отслеживанием* в меню *Вид*. На этой диаграмме критический путь отображается красным цветом в графической части представления (рис.28).



Рис.28. Диаграмма Ганта с отслеживанием.

В проекте, ограниченном по ресурсам, необходимо обеспечить максимальное использование всех ресурсов, назначение их на правильные задачи и недопущение превышения доступности.

Ресурсы с превышением доступности обозначаются в *Листе ресурсов* красным цветом. Чтобы увидеть, на какие задачи назначены ресурсы с превышением доступности необходимо в добавит в представление задач (например, диаграмму Ганта) столбец *Превышение доступности*. Для этого необходимо, перейдя в представление задач, выбрать пункт *Столбец* из меню *Вставка*. В открывшемся окне в списке *Имя поля* выберите *Превышение доступности*. Если у задачи есть перегруженные ресурсы, то в данном столбце будет значение *Да*. Чтобы увидеть какое количество работы назначено ресурсу в течение

определенного времени можно использовать *График ресурсов*. Для этого необходимо выбрать представление *График ресурсов* в меню *Вид*. По умолчанию показываются пиковые единицы, однако можно выбрать например трудозатраты или процент загрузки. Для этого нажимаем в области окна вида правой кнопкой мыши и выбираем нужный режим из контекстного меню. Более подробно сведения об использовании ресурса отображаются в *Форме ресурса* (рис.29). Для того, чтобы ее увидеть, необходимо открыть представление Лист ресурсов и затем выбрать в меню *Окно* команду *Разделить*. После этого в нижней части окна появится форма ресурсов, в которой будет показана информация о выбранном ресурсе.

	Название ресурса	Тип	Единицы измерения материалов	Краткое название	Группа	Макс. единиц	Стандартная ставка	Ставка сверхурочных	Зг
1	Ответственный за пер	Трудовой		О		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
2	Руководитель офиса	Трудовой		Р		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
3	Администратор систем	Трудовой		А		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
4	Руководитель сетевой	Трудовой		Р		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
5	Администратор почтов	Трудовой		А		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
6	Специалист по охране	Трудовой		С		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
7	Бухгалтер	Трудовой		Б		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
8	Местная телефонная ком	Трудовой		М		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
9	Служба уборки	Трудовой		С		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
10	Веб-мастер	Трудовой		В		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	
11	Перевозчики	Трудовой		П		100%	0,00р./ч	0,00р./ч	

Название:	Администратор систем связи	Краткое назв.:	А	Макс. ед:	100%	Предыдущий	Следующий
Затраты							
Стандартная ставка:	0,00р./ч	На использование:	0,00р.	Баз. календарь:	Стандартный		
Ставка сверхурочных:	0,00р./ч	Начисление:	Пропорциональное	Группа:			
Код:							

Проект	Ид.	Название задачи	Трудозатраты	Выравн. задержка	Задержка	Начало	Окончание
Переезд о	14	Оценка требований к телеф	8ч	0д	0д	Пн 08.03.04	Пн 08.03.04
Переезд о	15	Заказ нового номера телефо	8ч	0д	0д	Пн 08.03.04	Пн 08.03.04
Переезд о	16	Заказ нового номера факса	8ч	0д	0д	Пн 08.03.04	Пн 08.03.04
Переезд о	34	Заказ телефонной системы	8ч	0д	0д	Чт 20.05.04	Чт 20.05.04
Переезд о	35	Заказ телефонных линий	8ч	0д	0д	Пт 21.05.04	Пт 21.05.04
Переезд о	55	Подключение международн	8ч	0д	0д	Чт 27.05.04	Чт 27.05.04

Рис.29. Форма ресурсов.

При перегрузке ресурсов можно:

- заменить перегруженный ресурс на другой. Для этого необходимо, выбрав на диаграмме Ганта задачу с перегруженными ресурсами, нажать кнопку Назначение ресурсов () на панели инструментов Стандартная. В диалоговом окне Назначение ресурсов выбрать заменяемый ресурс и нажать кнопку *Заменить*. В окне Замена ресурсов выбрать тот ресурс, на который необходимо провести замену;
- назначить дополнительный ресурс;
- отложить задачу или назначение до тех пор, пока у ресурса не появится свободное время. Для этого используется выравнивающая задержка и задержка назначения. *Выравнивающая задержка* — количество времени которое должно пройти от планируемой даты начала задачи до момента фактического начала выполнения. При этом задерживаются все назначения по данной задаче. Для добавления выравнивающей задержки необходимо, перейдя в представление *Диаграмма Ганта с отслеживанием*, выбрать из меню *Вид*

пункт *Таблица/Другие таблицы*. Из предлагаемого списка выбираем таблицу *Задержка* и нажимаем *Применить*. После этого выравнивающая задержка вводится в соответствующее поле. *Задержка назначения* – количество времени, которое должно пройти от планируемой даты начала выполнения задачи до планируемой даты начала назначения. Для добавления задержки назначения необходимо вставить в табличную часть диаграммы Ганта с отслеживанием столбец *Задержка назначения*;

- назначить сверхурочные. Для этого переходим в представление *Использование ресурсов* и добавляем в табличную часть столбец *Сверхурочные трудозатраты*. Для отображения сверхурочных затрат по временным периодам необходимо в меню *Формат* выбрать пункт *Стили подробных данных*. В открывшемся окне (рис.30) в списке *Доступные поля* выбираем *Сверхурочные трудозатраты* и нажимаем на кнопке *показать*. После закрытия окна сверхурочные затраты появляются в обеих частях представления.

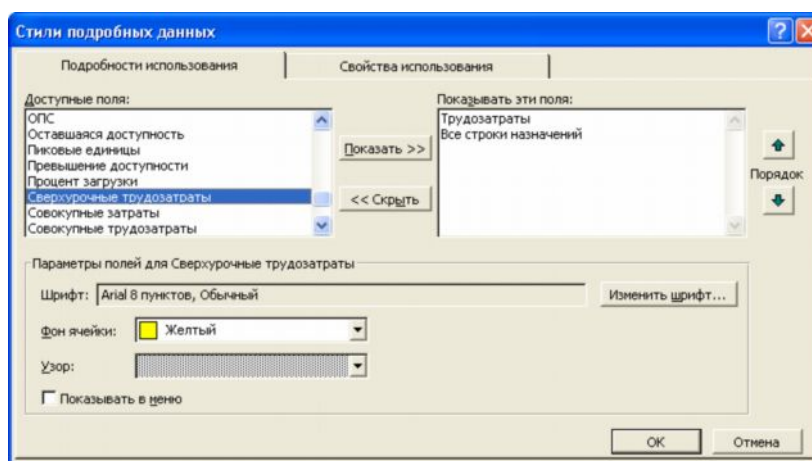


Рис.30. Добавление полей подробных данных.

Сверхурочные затраты можно добавить только в табличную часть, изменить их автоматическое распределение по временным периодам нельзя.

- прервать задачу. Для того, чтобы прервать выполнение задачи и вернуться к ней с определенной даты, необходимо перейти в представление *Диаграмма Ганта*, и нажать кнопку *Прервать задачу*. После этого в графической части необходимо выбрать прерываемую задачу и указать дату, где должно произойти прерывание. Вторую часть отрезка перетаскиваем к той дате, где должно произойти прерывание.

Контрольные вопросы:

1. Что нам дает группировка ресурсов?
2. Как взаимосвязаны между собой свободный и полный временной резерв задачи?
3. В каких случаях и какие методы избавления от перегрузки ресурсов используются?

Тема 6. Риски проекта

Занятие №6

Сопровождение проекта

Цель работы – контроль за ходом выполнения проекта и его оптимизация в процессе выполнения.

Порядок выполнения работы

1. Работа с базовыми планами.
2. Отслеживание выполнения задач.
3. Контроль и оптимизация календарного плана, затрат и загрузки ресурсов.

Пояснения к выполнению работ

План проекта, утвержденный для выполнения после внесения всех необходимых изменений, считается базовым планом. Базовый и текущий план совпадают только в момент сохранения базового плана. В ходе выполнения проекта текущий план может изменяться. Для того, чтобы иметь возможность сравнить базовый план с текущим его надо сохранить. Для этого необходимо выбрать пункт меню *Отслеживание/Сохранить базовый план* в меню *Сервис*. В открывшемся окне (рис.31) убедитесь, что выбран пункт *Сохранить базовый план* и в списке базовых планов выбран *Базовый план* без номера. Также в группе *Для* должно быть выбрано значение *всего проекта*.

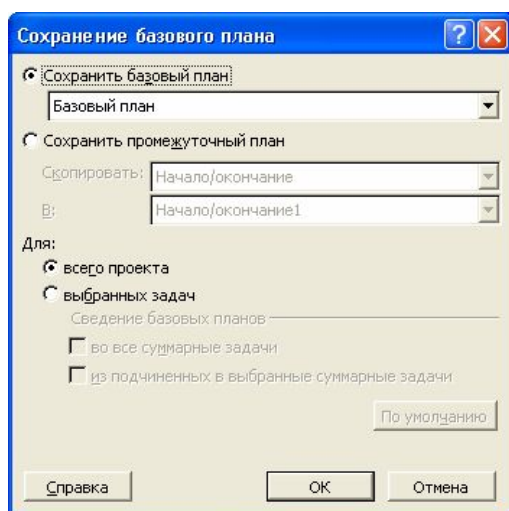


Рис.31. Сохранение базового плана

Добавлять задачи в базовый план можно и после его сохранения. Для этого в окне сохранения базового плана необходимо выбрать базовый план, в который мы хотим добавить задачи и переключатель *Для* установить в значение *выбранных задач*. Флаги из группы *Сведение базовых планов* указывают как будет обновляться суммарная задача при об-

новлении базового плана. Установка флага *во все суммарные задачи* приводит к тому, что выделенные задачи учитываются во всех суммарных задачах, к которым относятся. Флаг *из подчиненных в выбранные суммарные задачи* приводит к тому, что выделенные задачи сводятся только в выбранной суммарной задаче.

Сохранение базового плана не тождественно сохранению полного плана проекта. При сохранении базового плана записываются следующие поля всех задач, ресурсов и назначений:

- затраты – в поле *Базовые затраты*;
- длительность – в поле *Базовая длительность*;
- окончание – в поле *Базовое окончание*;
- начало – в поле *Базовое начало*;
- трудозатраты – в поле *Базовые трудозатраты*.

Для просмотра информации базового плана после его сохранения можно использовать диаграмму Ганта с отслеживанием, на которой отрезки, соответствующие базовому плану, отображаются под отрезками текущего плана (рис.32).

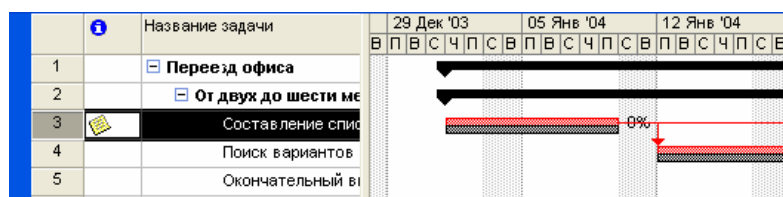


Рис.32. Отображение базового плана на диаграмме Ганта с отслеживанием.

Также поля базового плана, например *Базовая длительность*, могут быть добавлены к любой таблице, где есть соответствующие поля актуального плана. Для этого необходимо, перейти в представление данной таблицы и выбрать пункт *Столбец* из меню Вставка. В поле *Имя поля* выбрать необходимое поле базового плана.

В промежуточных планах сохраняются только даты начала и окончания задач. Данные о датах сохраняются в настраиваемых полях вида *Начало1-10* и *Окончание1-10*.

Для очистки базовых и промежуточных планов проекта необходимо выбрать пункт меню *Отслеживание/Очистить базовый план* в меню *Сервис*. В открывшемся окне (рис.33) необходимо выбрать очищаемый план и будет ли очищаться весь проект, либо только выбранные задачи.

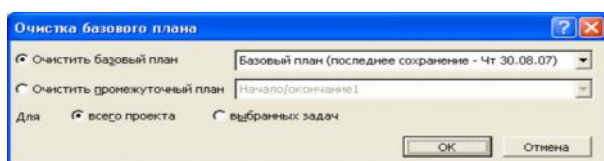


Рис.33. Очистка базового плана.

Отслеживание выполнения задач соответствует регулярному обновлению информации о состоянии проекта по ходу его выполнения. Для этого в план проекта должны вноситься следующие сведения:

- процент завершения;
- фактическая длительность и оставшаяся длительность;
- фактическое начало и фактическое окончание;
- процент завершения трудозатрат;
- фактические трудозатраты и оставшиеся трудозатраты;
- фактические трудозатраты за оставшийся период времени.

При вводе любого из этих параметров остальные вычисляются программой автоматически. При этом также корректируются расписание и бюджет проекта. Многие функции отслеживания доступны через панель *Отслеживание*. Для вывода ее на экран необходимо выбрать пункт *Панели инструментов/Отслеживание* в меню *Вид* (рис.34).

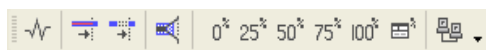


Рис.34. Панель Отслеживание.

Кнопки на панели *Отслеживание* имеют следующие функции (слева направо):

- *Статистика проекта*. Открывает диалоговое окно *Статистика проекта* со сведениями о текущих, базовых и фактических датах начала и окончания проекта и их отклонениях от базовых дат, а также текущих, базовых, фактических и оставшихся длительности, трудозатратах и стоимости;
- *Обновить по графику*. Добавляет в выделенные задачи информацию, показывающую, что они выполняются точно по графику;
- *Изменить график работ*. График работ по всем задачам проекта изменяется таким образом, чтобы все незавершенные дела начинались после даты отчета. Если дата отчета не указана, то она считается соответствующей текущей дате;
- *Добавить линию хода выполнения*. Превращает курсор в инструмент выделения, с помощью которого можно указать дату выполнения для которой будет строиться линия хода выполнения. Для этого надо окно подходящего представления, например диаграммы Ганта, должно быть активным;
- *0%, 25%, 50%, 75%, 100%- завершено*. Устанавливает для выделенных задач соответствующий процент выполнения;

- *Обновить задачи.* Открывает диалоговое окно *Обновление задач* (рис.35), где можно настроить фактические даты начала и окончания, % выполнения и длительность выделенных задач;
- *Панель инструментов совместной работы.* Выводит на экран панель *Совместная работа*. С ее помощью можно опубликовать назначения, обновлять и запрашивать сведения о ходе выполнения проекта и пользоваться различными функциями взаимодействия через Microsoft Project Server.

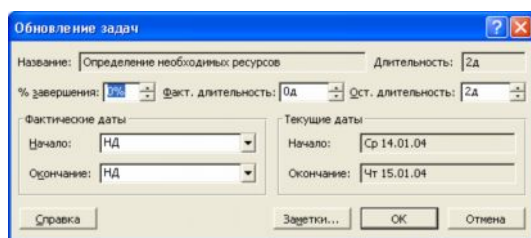


Рис.35. Обновление задач.

Кроме отслеживания через сведения о задачах можно применять отслеживание через сведения о трудозатратах ресурсов. Трудозатраты появляются в проекте только после назначения ресурсов в результате пересчета длительности задач во время работы ресурсов. Для учета трудозатрат можно либо ввести процент завершенных трудозатрат или значения фактических и оставшихся трудозатрат. Для того, чтобы ввести процент завершенных трудозатрат необходимо сначала перейти в представление со списком задач, например диаграмму Ганта. К данному представлению необходимо применить таблицу Трудозатраты. Выбираем пункт меню *Таблица/Трудозатраты* в меню *Вид*. В поле *% заверш. по труд.* задачи, данные о ходе работ которой необходимо обновить, указывается значение процента завершенных трудозатрат.

Для того, чтобы указать процент завершенных трудозатрат по конкретному назначению необходимо открыть представление *Использование задач*. Выберите назначение, которому вы хотите ввести процент завершенных трудозатрат. Можно выбрать несколько назначений, если необходимо ввести одинаковый процент. Нажав кнопку *Сведения о назначении* на панели *Стандартная* отображаем соответствующее окно. В нем выбираем вкладку *Отслеживание* (рис.36). И в поле *% завершения по трудозатратам* вводим необходимое значение.

Рис.36. Ввод процента завершения по трудозатратам.

Для ввода фактических трудозатрат по задаче необходимо ввести значение в поле *Фактические* любого представления со списком задач при включенной таблице *Трудозатраты*. При этом значения в полях *Оставшиеся* и *% заверш. по труд.* будут пересчитаны автоматически.

В тех случаях, когда проект по каким-либо причинам прерывался, и данные о его выполнении стали неактуальными, необходимо перенести незавершенные задачи на новую дату. Для этого необходимо выбрать пункт *Отслеживание/Обновить проект* в меню *Сервис*. В открывшемся окне (рис.37) необходимо установить переключатель *Перепланировать незавершенные трудозатраты с началом после* и указать дату возобновления проекта в соответствующем поле.

Рис.37. Перепланировка проекта.

Контрольные вопросы:

1. Сколько всего базовых и промежуточных планов может быть в Вашем проекте?
Зачем необходимо использовать в проекте несколько базовых планов?
2. В чем заключаются особенности различных способов отслеживания информации о ходе выполнения проекта?

Тема 6. Риски проекта

Занятие №7

Отчеты и анализ проекта

Цель работы – использование отчетов MS Project для анализа проекта.

Порядок выполнения работы

1. Планирование отчетности проекта.
2. Публикация сведений о проекте в Интернет.
3. Анализ сведений о проекте в MS Excel.
4. Анализ хода работ и затрат методом освоенного объема.

Пояснения к выполнению работ

Эффективное взаимодействие по проекту заключается в регулярном получении, сборе и предоставлении информации заинтересованным лицам, прежде всего это участники команды проекта. Первым этапом управления взаимодействием в рамках проекта всегда является планирование. При планировании проекта важно определить требования к отчетам, а именно:

- получатели отчетов;
- информация, включаемая в отчет;
- частота подготовки отчетов.

Эффективность информационного взаимодействия между членами команды зависит от набора используемых средств – от регулярных собраний и рассылок по электронной почте до использования Microsoft Project Server и Web Access. Информация предоставляется в форме отчетов. В MS Project отчеты разделяются на шесть категорий – *Обзорные, Текущая деятельность, Затраты, Назначения, Загрузка, Настраиваемые*. Для вывода отчетности используется пункт Отчеты в меню Вид. В открывшемся окне (рис.38) выбираем категорию отчета.

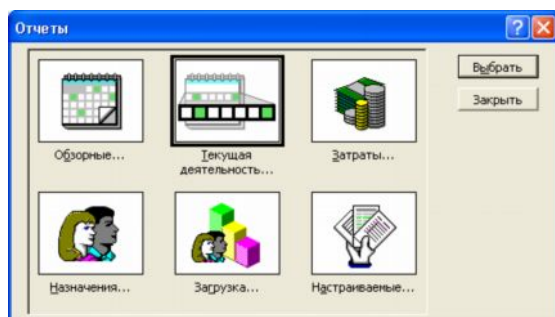


Рис.38. Окно выбора отчета.

В категорию *Обзорные*, предназначенную для отображения общей информации по проекту, включаются отчеты:

- *Сводка по проекту* содержит основные сведения из плана проекта- длительность, трудозатраты, состояние работ и ресурсов и т.п.. Позволяет сравнить фактические и планируемые данные;
- *Задачи верхнего уровня* содержит сведения о суммарных задачах проекта. В него входят результаты суммарных задач верхнего уровня, объединяющие данные по всем подзадачам;
- *Критические задачи* применяет к проекту фильтр, оставляющих только те задачи, которые могут повлиять на дату окончания проекта. Помимо сведений о критических задачах, этот отчет содержит сведения о последующих задачах, что позволяет определить на какие задачи проекта в первую очередь повлияет задержка критических задач;
- *Вехи* показывает отчетность по вехам проекта;
- *Рабочие дни* выводит сведения о рабочих и нерабочих днях каждого из базовых календарей, используемых в проекте. Каждый календарь отображается в отдельной таблице.

Отчеты по *текущей деятельности* показывают ход работ по проекту. В эту группу включены следующие отчеты:

- *Неначатые задачи* показывает те задачи, по которым не были введены фактические данные. Общее количество задач в данном отчете сокращается по мере выполнения проекта, поэтому данный проект становится особенно полезным при приближении сроков окончания проекта. Ресурсы, назначенные данным задачам, выводятся в отдельных таблицах;
- *Задачи, которые скоро начнутся* представляет собой сокращенный вариант отчета Неначатые задачи. При выборе данного отчета необходимо последовательно ввести начальную и конечную даты, по которым необходимо построить отчет;
- *Выполняющиеся задачи* показывает те задачи, которые в данный момент выполняются. Задачи группируются по месяцам, это позволяет оценить как объем начатых работ, так и отставание задач от графика;
- *Задачи, которые должны были начаться* показывает те задачи, которые должны уже были начаться по графику, но данные об их фактическом выполнении не приведены;
- *Завершенные задачи* отображает все задачи, для которых указан процент выполнения - 100%. Данные группируются по месяцам;

- *Запаздывающие задачи* используется только в том случае, если предварительно был сохранен базовый план проекта. В отчет включаются те задачи, которые уже начались, но должны закончиться позже запланированной даты окончания. Это позволяет выявить задачи, для которых необходима перепланировка. В данный отчет включаются суммарные задачи, примечания, а также таблицы со сведениями о последующих задачах.

В категорию *Затраты* включены отчеты:

- *Движение денежных средств* – таблица с перекрестными ссылками, показывающая запланированную и фактическую стоимость каждой задачи. Данные группируются по неделям. В отчет выводятся сведения о накопленной стоимости, причем для задач суммируются все типы затрат;
- *Бюджет* содержит все задачи проекта, упорядоченные в порядке убывания общих затрат. В нем отражаются фактические и общие затраты, метод их начисления и оставшиеся затраты;
- *Задачи с превышением бюджета* позволяет быстро найти задачи, фактическая или запланированная стоимость которых превышает базовую. Задачи сортируются в порядке убывания отклонения. Для вывода отчета необходимо сохранение базового плана;
- *Ресурсы с превышением бюджета* содержит сведения о тех ресурсах, затраты на которые превышают или должны превысить базовые. Ресурсы сортируются в порядке убывания разницы. Для вывода данного отчета также необходимо сохранение базового плана;
- *Освоенный объем* выводит проектную информацию согласно концепции освоенного объема – метода сравнения фактических и планируемых затрат. Используемые в отчете термины приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Термины метода освоенного объема

Термин	Пояснение
Базовая стоимость запланированных работ (БСЗР)	Изначально определенная стоимость работ по задаче до даты отчета о состоянии
Базовая стоимость выполненных работ (БСВР)	Изначально запланированная стоимость работ, помноженная на рассчитанный процент завершения задачи.
Фактическая стоимость выполненных работ (ФСВР)	Затраты, понесенные в результате выполнения фактических работ по задаче, а также всех накопленных фиксированных затрат.
Отклонение от календарного плана (ОКП)	Разность базовой стоимости запланированных и выполненных работ.
Отклонение по стоимости (ОПС)	Разность базовой стоимости и фактической стоимости выполненных работ.
Предварительная оценка по завершении (ПОПЗ)	Сумма фактических и оставшихся затрат по задаче.
Бюджет по завершении (БПЗ)	Полная базовая стоимость задачи, включая стоимость ресурсов и все фиксированные затраты.
Отклонение по завершении (ОПЗ)	Разность запланированных и базовых затрат на задачу.
Индекс отклонения стоимости (ИОС)	Рассчитываемый индикатор освоенного объема по затратам. Отношение базовой к фактической стоимости выполненных работ.
Индекс отклонения от календарного плана (ИОКП)	Отношение базовой стоимости выполненных работ и выполненных работ.
Относительное отклонение по стоимости (ООПС)	Отличие ожидавшейся стоимости задачи от фактической стоимости на дату отчета о состоянии. Выражается в процентах.
Относительное отклонение от календарного плана (ООКП)	Показывает опережение или отставание от графика выполнения задачи в процентах.
Показание эффективности выполнения (ПЭВ)	Отношение незавершенных работ к запланированным неизрасходованным средствам для данной задачи.
Физический процент завершения	Пользовательская оценка завершения. Имеет приоритет перед расчетной на основании даты начала, окончания и отчета о состоянии.

В категорию *Назначения* включены следующие отчеты:

- *Дела по исполнителям* содержит список задач, назначенных каждому ресурсу. Подробности о задаче и имя ресурса приводятся в отдельной таблице. В отчет также включаются индикаторы примечаний и необходимость выравнивания загрузки;
- *Дела по исполнителям и времени* уточняет сведения отчета Дела по исполнителям, дополняя их количеством часов, отводящихся на каждую задачу в каждый рабочий день;
- *Ресурсы с превышением доступности* включает сведения только о тех ресурсах, которым назначен объем работ, превышающий их возможности согласно календарю ресурсов. Отчет включает также сведения о назначенных ресурсам задачах.

В категорию *Загрузка* входят отчеты:

- *Использование задач* содержит данные о том, сколько времени ресурсы тратят на каждую из задач проекта. Итоговые значения выводятся по каждой неделе и по каждой задаче проекта;
- *Использование ресурсов* показывает сведения о работе, осуществляемой каждым ресурсом. Для ресурсов выводятся названия недельные трудозатраты по каждому назначению.

Последняя категория отчетов называется *Настраиваемая*. В программе MS Project предусмотрено три метода создания настраиваемых отчетов:

- *Создание нового отчета с нуля*. Необходимо выбрать один из общих форматов отчетов: *Задача*, *Ресурс*, *Месячный календарь* или *Перекрестная таблица*. Создание отчета осуществляется путем ввода данных в поля на вкладках появляющегося диалогового окна.
- *Выбор и редактирование существующего отчета*. В этом случае редактируется существующий встроенный отчет.
- *Копирование и редактирование существующего отчета*. Создается копия встроенного отчета, в которую и вносятся изменения.

Все три метода начинаются одинаково. Необходимо выбрать категорию отчетов *Настраиваемые*. В открывшемся окне (рис.39) указываем вид отчета и нажимаем кнопку *Создать*, *Изменить* или *Копировать* в зависимости от того, каким способом создается отчет.

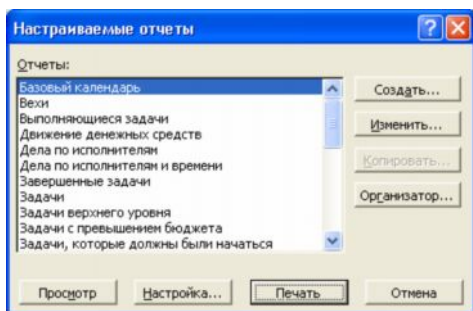


Рис.39. Настраиваемые отчеты.

После выбора метода создания в следующем окне (рис.40) необходимо определить содержимое отчета.

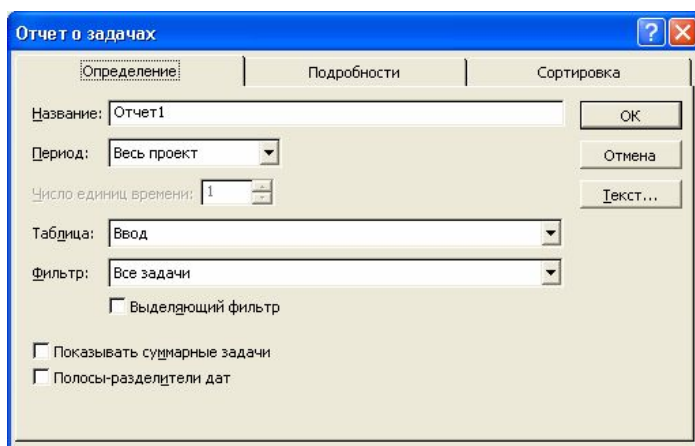


Рис.40. Настройка пользовательского отчета

В связи с широким распространением сети Интернет имеет смысл публикация сведений о проекте на веб-странице. Для этого необходимо открыть представление данных которое мы хотели бы опубликовать и настроить его так, как он должен выглядеть на странице. После этого выбираем пункт *Сохранить как Веб-страницу* в меню *Файл*. В открывшемся окне выбираем место сохранения и имя файла. После нажатия *Сохранить* открывается окно мастера экспорта. Нажимаем кнопку *Далее*. В следующем окне выбираем пункт *Создать новую схему*. На следующем экране (рис.41) необходимо выбрать тип экспортируемых данных и параметры страницы.

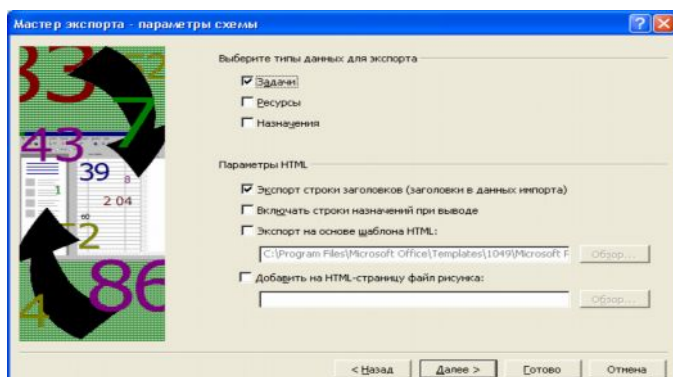


Рис.41. Параметры экспорта.

Для каждого типа экспортируемых данных мастер открывает свое окно сопоставления для выбора экспортируемых данных. Например, в форме сопоставления задач (рис.42) необходимо добавить поля задач проекта. Можно добавить все поля нажав кнопку *Добавить все*, выбрать конкретное поле, нажав *Добавить строку* или использовать в качестве образца таблицу, нажав *На основе таблицы*. После выбора необходимых полей нажимаем *Готово*. Это завершает работу мастера.

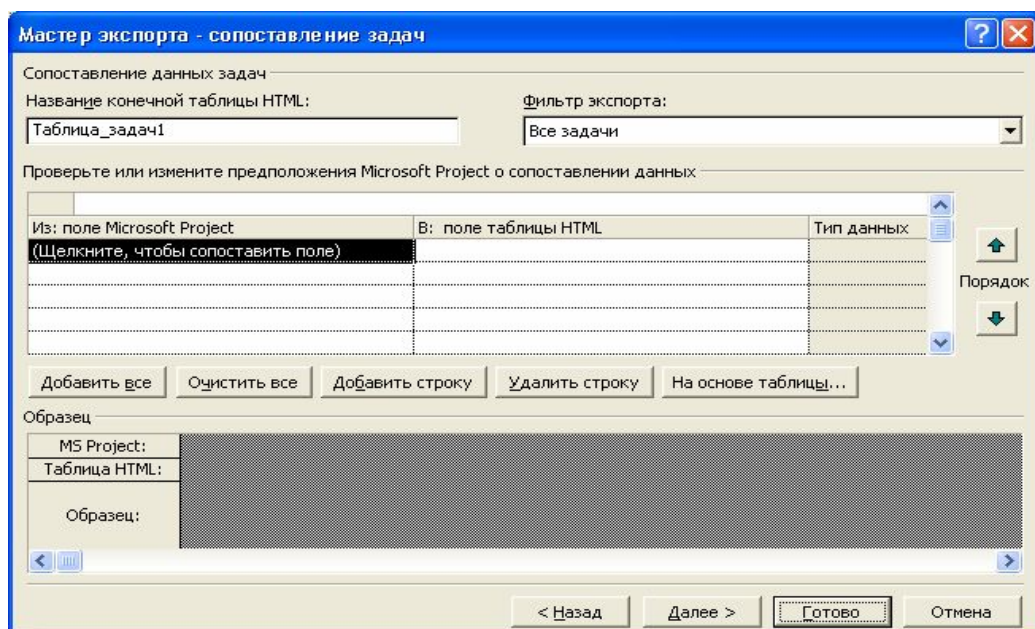


Рис.42. Окно сопоставления задач мастера экспорта.

В случае если анализ проекта предполагает интенсивную работу с числовыми данными, сложное форматирование или вывод диаграмм, полезно использовать MS Excel. Для экспорта данных необходимо выбрать подходящее представление данных и выделить в нем экспортируемые данные. Если необходимо выделить таблицу целиком, то нажимаем на верхнюю левую клетку. После отбора данных выбираем пункт *Сохранить как* в меню *Файл*. В открывшемся окне *Сохранение документа* необходимо выбрать тип файла *Книга Microsoft Excel (*.xls)*. После нажатия на кнопку *Сохранить* появляется окно мастера экспорта, аналогичное использовавшемуся для публикации в виде веб-страницы. Нажав кнопку *Далее*, выбираем формат экспортируемых данных. В данном случае необходимо выбрать формат *Выбранные данные*. На следующих экранах выбираем создание новой схемы экспорта и типы данных для экспорта. Далее в окнах сопоставления данных (соответственно это может быть сопоставление задач, ресурсов или назначений) выбираем поля экспортируемых данных и указываем то, как они будут представляться в MS Excel. После нажатия на кнопку *Готово* работа мастера экспорта завершается.

Для некоторых видов анализа необходимо разделять данные по наиболее общим типам, для MS Project это задачи, назначения и ресурсы. Для этого необходимо при экс-

порте данных указать формат данных *Шаблон проекта (Excel)*. В созданной книге MS Excel будет четыре листа: *Таблица_ресурсов*, *Таблица_задач*, *Таблица_назначений* и *Таблица_сведений*, содержащие данные, упорядоченные по типам.

В большинстве случаев анализ сведений о проекте осуществляется методом сравнения фактических параметров с базовыми. Сравнение показывает соответствие хода работ запланированному графику, либо отклонение одного от другого. В MS Project доступны следующие методы анализа отклонений:

- Освоенный объем;
- Индекс отклонения стоимости;
- Индекс отклонения от календарного плана;
- Предварительная оценка по завершении;
- Отклонение по завершении.

Метод освоенного объема – систематизированный метод вычисления этих характеристик выполнения проекта. Для отображения показателей метода освоенного объема (табл. 1) необходимо выбрать одно из представлений, отображающих задачи, например диаграмму Ганта. Далее выбрать пункт *Таблица/Другие таблицы* из меню *Вид*. В открывшемся списке выбираем таблицу *Освоенный объем*. После этого в табличной части представления появляются поля характеристик проекта, рассчитанные по методу освоенного объема. Также, кроме таблицы *Освоенный объем*, можно выбрать таблицы *Показатели календ. плана (освоенный объем)* и *Показатели затрат (освоенный объем)*. Данные таблицы предоставляют дополнительные поля для оценки выполнения соответственно задач и затрат по данному методу.

Контрольные вопросы:

1. Как создать настраиваемый отчет по задачам проекта, выводящий только выполняющиеся задачи, сортирующий их по проценту завершения с указанием затрат по назначениям?
2. Как опубликовать на веб-странице сведения о ресурсах Вашего проекта, фактический объем назначения которых превышает запланированный?
3. Какие показатели метода освоенного объема, применяемое в MS Project позволяют оценить наличие достаточных средств для завершения задачи.

Занятие №8

Управление несколькими проектами

Цель работы – использование MS Project для управления сложными проектами.

Порядок выполнения работы

1. Планирование структуры сложных проектов.
2. Объединение проектов.
3. Пул ресурсов

Пояснения к выполнению работ

Microsoft Project позволяет вставлять один проект внутрь другого. В любом представлении со списком задач подпроекты выглядят как суммарные задачи. Ко всем задачам подпроекта имеется полный доступ: Вы можете просматривать и изменять их содержимое, при этом меняются сведения о задачах в исходном файле проекта. Необходимость разбиения проекта на главный проект плюс подпроекты может быть вызвана как сложностью проекта и наличием подчиненных руководителей проекта, так и необходимостью переключаться между проектами с разными уровнями детализации.

Для создания главного проекта необходимо в проект, который станет главным, добавить все остальные подчиненные проекты. Для этого открываем проект, который будет главным и выбираем представление со списком задач, например *диаграмму Ганта*. Выделяем строку, под которой мы хотим вставить подпроект. Задача в этой строке может находиться на любом уровне существующей структуры. Вставленный проект будет находиться на том же уровне, что и выделенная задача. Выберите пункт *Проект* в меню *Вставка*. В появившемся окне (рис.43) выберите имя вставляемого проекта и нажмите кнопку *Вставить*. После вставки название проекта появится в выделенной строке списка задач и в столбце индикаторов будет отображаться значок вставленного проекта (). Повторяем вставку проекта для всех остальных подпроектов, относящихся к главному проекту.

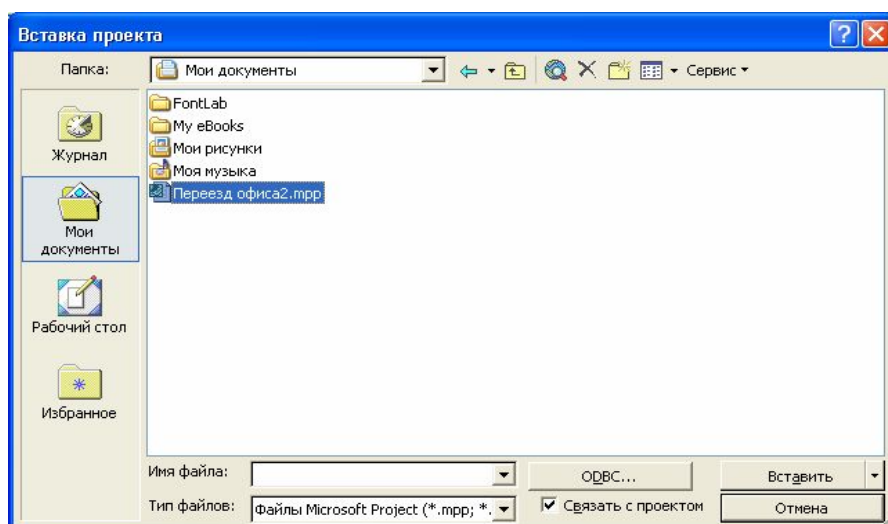


Рис.43. Вставка проекта.

Для контроля связей между проектами необходимо выбрать пункт *Связи* между проектами из меню *Сервис*. В открывшемся диалоговом окне будут показаны сведения о всех внешних предшественниках и внешних последователях (рис.44). Также в любом представлении задач можно добавить в табличную часть поле *Внешняя задача*, в котором будет указана является ли данная задача внешней по отношению к данному проекту, и поле *Проект* в котором будет указано имя проекта, к которому относится задача.

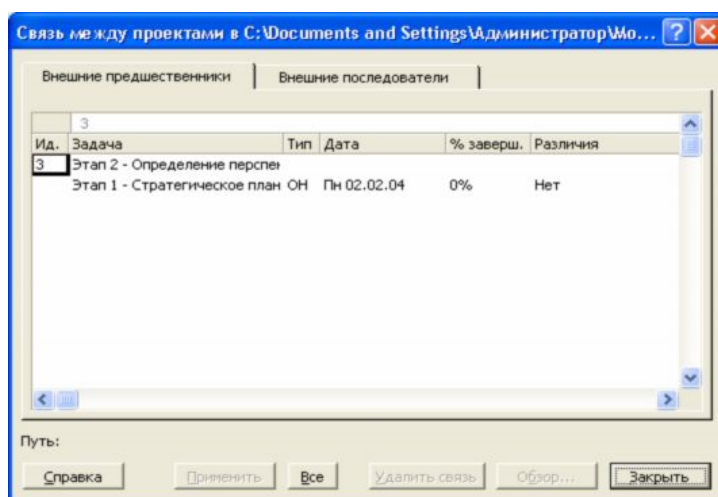


Рис.44. Окно настройки связей между проектами.

Для удаления связей между проектами можно использовать диалоговое окно *Связи между проектами*. Перейдя на вкладку внешних предшественников или последователей, выделите связь, которую необходимо удалить, и нажмите кнопку *Удалить связь*.

Сведения о ресурсах и задачах могут быть перенесены из одного проекта в другой. Для этого можно использовать стандартные команды *Копировать ячейку*, *Вырезать ячейку*.

ку и *Вставить* из меню *Правка*. При вырезании ячейки, она будет удалена из исходного проекта, это применимо, если необходимо разбить сложный проект на несколько подпроектов. Для копирования открываем проект, из которого необходимо скопировать данные и выбираем соответствующее представление данных. Например, для копирования информации о задачах можно использовать диаграмму Ганта. Выделив необходимые данные, выбираем пункт меню *Копировать* из меню *Правка*. Далее открываем проект, куда необходимо скопировать данные, и выбираем аналогичное представление данных. Выделяем строку, после которой мы хотим добавить копируемые данные. После этого выбираем пункт меню *Вставить* из меню *Правка*.

В тех случаях, когда необходимость изменять данные подпроекта отсутствует, можно сделать подпроект доступным только для чтения. Для настройки доступа необходимо в диаграмме Ганта выделить суммарную задачу, относящуюся к подпроекту и нажать кнопку *Сведения о задаче* на панели инструментов *Стандартная*. В диалоговом окне (рис.45) переходим на вкладку *Дополнительно* и устанавливаем флажок *Только для чтения*. В этом же окне можно разорвать связь между данным подпроектом и основным проектом, для этого убираем флажок *Связь с проектом*.

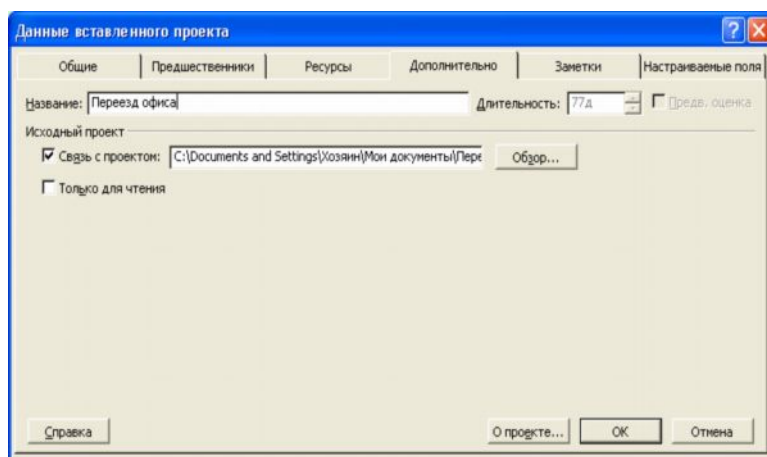


Рис.45. Установка доступа только для чтения.

Кроме подхода «главного проекта плюс подпроекты» сведения из нескольких проектов также могут быть собраны в один *объединенный проект*. Такой проект также создается с помощью функции *Вставка проекта*, но имеет следующие отличия:

- Объединенный проект не обязательно должен иметь иерархическую структуру. Все вложенные проекты могут находиться на одном уровне;
- Проекты могут не иметь абсолютно никакого отношения друг к другу. Объединенный проект может быть только хранилищем нескольких файлов;

- Объединение проектов в одном файле может быть временным и применяться, например для формирования отчета.

Для объединения проекта необходимо создать новый проект, затем вставить в него все необходимые файлы проектов через пункт *Проект* меню *Вставка* как и для главного проекта. Специфическим вариантом объединенного проекта является *пул ресурсов*, такой проект служит исключительно для хранения сведений о ресурсах, их доступности, стоимости и текущем использовании. В качестве пула можно использовать как один из имеющихся проектов, содержащий все необходимые ресурсы, так и создать новый. Для создания нового пула ресурсов необходимо во вновь созданном проекте заполнить информацию о ресурсах, например, используя *Лист ресурсов*. Необходимо ввести, по крайней мере имя ресурса, единицу измерения и стандартную ставку.

После сохранения пула ресурсов как обычного проекта, его можно подключать к другим файлам проектов. Для этого необходимо открыть файл пула ресурсов и файл проекта, к которому планируется добавить ресурсы. Далее в проекте выбираем пункт *Доступ к ресурсам* из меню *Сервис/Общие*. В открывшемся диалоговом окне *Общий доступ к ресурсам* (рис.46) устанавливаем переключатель *Использовать ресурсы*. В списке *из* выбираем имя файла пула ресурсов. Указываем метод обработки конфликта ресурсов. После нажатия на кнопку *ОК* файл проекта станет клиентом пула ресурсов. Все сведения из пула отображаться в проекте, а информация о ресурсах из файла проекта будет добавлена в файл пула.

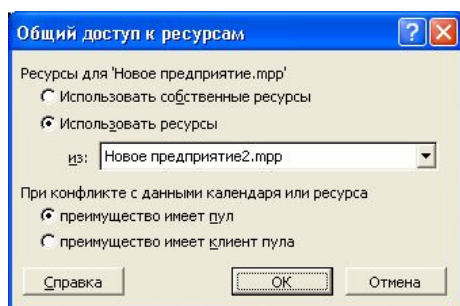


Рис.46. Общий доступ к ресурсам.

При следующем открытии файла проекта, Вам будет предложено открыть и файл пула. Если пул ресурсов не будет открыт, то доступа к его ресурсам тоже не будет. В следующем окне (рис.47) можно выбрать режим доступа к файлу пула, включая только чтение, чтение и запись, а также чтение и запись с созданием главного проекта для всех файлов связанных с пулом ресурсов.

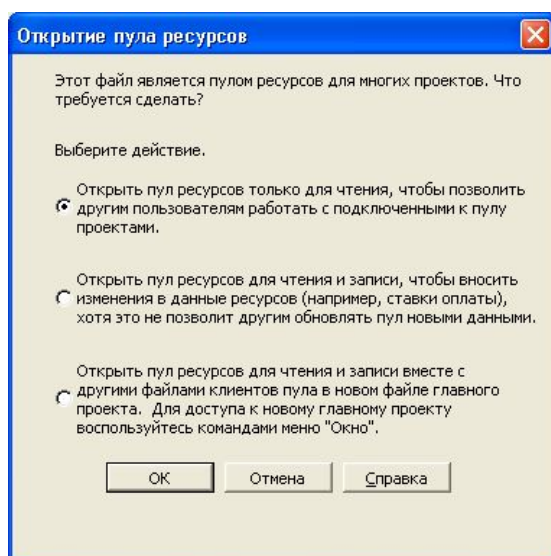


Рис 47. Выбор режима доступа к ресурсам пула.

При использовании пула ресурсов в нескольких проектах, необходимо периодически обновлять информацию о его состоянии. Для этого необходимо выбрать пункт *Обновить пул ресурсов* меню *Сервис/общие ресурсы*.

Для отключения использования пула ресурсов необходимо в окне *Общий доступ к ресурсам* установить переключатель *Использовать собственные ресурсы*.

Контрольные вопросы:

1. Как настроить задержку между окончанием задач главного проекта и началом задач его подпроекта?
2. Как связаны между собой проекты в рамках объединенного проекта?
3. Как сформировать отчет, включающий информацию из нескольких проектов сразу?

Тема № 6. Риски проекта

Риски проекта – вероятность наступления события, негативно воздействующего на проект.

Управление рисками – это процесс обнаружения, анализа, контроля и уведомления о рисках. Под *обнаружением рисков* понимается идентификация основных элементов проекта и связанных с ним рисков. Для этого необходимо обработать информацию от всех участников команды проекта, а также просмотреть документацию, касающуюся различных аспектов проекта, от правил выполнения задач и требований к выполняемым задачам до условий прерывания проекта. На основе полученной информации проводится *анализ рисков* – процесс классификации различных элементов проекта согласно их уровням риска. На этой стадии необходимо сравнить желаемые и существующие управляющие воздействия с учетом вероятности появления данного риска. На основании такого анализа проводится *контроль рисков* – определение управляющих воздействий, которые способны снизить риски. Сюда включается принятие решения о том, при каких обстоятельствах принимать меры для снижения или предотвращения рисков. Под *уведомлением о рисках* понимается информирование участников команды проекта и высшего руководства о рисках.

В любом динамическом окружении проект всегда будет сталкиваться с рисками. Поэтому необходимо не устранять риски, а управлять ими. Управляя рисками, мы определяем приоритеты для фокусировки деятельности и имеющихся ресурсов. Это позволяет разработать более эффективный план проекта и повысить вероятность его успешной реализации.

Основные факторы, влияющие на риски проекта:

- *Размер команды проекта.* Чем больше размер команды, тем больше вероятность возникновения проблем. Большее количество взаимодействий требует более высокой координации;
- *История проекта.* Инновационные проекты более рискованны из-за непроработанности процессов. Чем больше выполняется подобных проектов, тем больше вероятность успеха;
- *Опыт и профессионализм персонала.* Недостаток знаний и опыта в предметной области проекта сотрудники будут восполнять в процессе выполнения проекта, что повышает длительность проекта и приводит к дополнительным ошибкам;
- *Сложность.* Чем сложнее проект, тем больше вероятность ошибок и простоев;

- *Стабильность менеджмента.* Со сменой руководства появляется вероятность смены приоритетов и направлений деятельности. Это приводит к нереалистичному расписанию проекта и неэффективному использованию ресурсов и проблемам в достижении целей проекта.
- *Сроки проекта.* При достаточно малом времени, отводимом на проект, риски увеличиваются. Большее время означает большую гибкость и возможность исправить возникшие ошибки.
- *Доступность ресурсов.* Чем больше ресурсов доступно, тем больше возможностей реагировать на возникающие проблемы. Это, конечно, не дает гарантию решения проблем, но предоставляет новые способы воздействия на ситуацию.

Существуют различные классификации рисков проекта:

- Риски могут быть финансовыми, техническими или операционными. *Финансовые риски* связаны с ограниченностью бюджета проекта. *Технические риски* связаны с ограничениями существующих технологий, используемых в проекте. *Операционные риски* связаны с ошибками процессов проекта.
- Риски могут быть приемлимыми или неприемлимыми. *Приемлимыми* считаются риски, негативно воздействующие на задачу на некритическом пути. *Неприемлимым* риском называется риск, связанный с критическим путем.
- Риски бывают долгосрочными и краткосрочными. *Краткосрочные* риски оказывают свое действие сразу. *Долгосрочные* воздействуют на проект в будущем.
- Риски бывают управляемыми и неуправляемыми. К *управляемым* рискам можно приспособиться, их воздействие относительно невелико. К *неуправляемым* рискам приспособиться невозможно, они могут привести к краху всего проекта.
- Риски могут быть внутренними и внешними. *Внутренние* риски возникают в рамках проекта, тогда как *внешние* происходят из его окружающей среды.

Можно выделить два подхода к управлению рисками- *количественный* и *качественный*. *Количественный подход* для определения риска, его вероятности появления и степени воздействия на проект использует статистические методы. Примерами такого подхода являются анализ дерева решений, метод оценки ожиданий, метод Монте-Карло. *Качественный метод* основан на качественных оценках с использованием системы критериев для получения результата. К качественным методам относят, например, метод последовательности диаграмм, использующий целые числа для определения приоритетов и итоговых значений, а также различные эвристические методы.

Варианты стратегии реагирования на риски:

1. *Принятие риска.* В этом случае для предотвращения или уменьшения воздействия риска ничего не делается. Применимо в случае, если нет возможности как-либо управлять фактором риска или риск слишком маловероятен либо негативный эффект от него незначителен. Например, риск внесения неблагоприятных для проекта изменений в законодательство.
2. *Адаптация риска.* В этом случае принимаются меры для уменьшения воздействия риска. Применим как наиболее общий вариант реагирования в самых различных ситуациях. Например, для уменьшения воздействия рисков сокращения бюджета проекта можно снизить требования к нему, упростить контроль и т.п.
3. *Избежание риска.* При таком варианте реагирования на риски сокращается масштаб проекта или удаляются некоторые элементы проекта таким образом, чтобы устранить влияние или серьезно уменьшить влияние риска. Например, сократив количество продуктов проекта можно резко повысить вероятность всего успеха проекта.
4. *Передача риска.* В этом случае риск принимает на себе кто-либо еще. Например, риски, связанные с недостаточной поддержкой программного обеспечения проекта, можно избежать, передав процесс информационного сопровождения проекта сторонней организации.

После идентификации, анализа рисков и определения возможной реакции на них необходимо довести информации о рисках до тех сотрудников, которых это касается. Кроме описания риска имеет смысл указать его воздействие, вероятность возникновения и меры по снижению эффекта, например в виде таблицы (см. табл. 2).

Таблица 2.

Форма описания рисков

Наименование	Вероятность появления	Воздействие	Мероприятия по уменьшению воздействия риска
Критические ошибки в технологии производства	Низкая	Полный провал проекта	Детальный технологический анализ

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. Гульяев, А. К. Microsoft Project 2002. Управление проектами / А. К. Гульяев. – М. : Корона-Принт, 2003. – 592 с.
2. Пайрон, Т. Использование Microsoft Project 2003. - Специальное издание / Т. Пайрон. – М. : Вильямс, 2005 . - 1184 с.
3. Официальный учебный курс Microsoft. Microsoft Office Project 2002 и 2003 (+ CD-ROM). – М. : Эком, Бинум: Лаборатория знаний, 2007. - 416 с.

Дополнительная:

1. Блэк, Р. Управление проектами при помощи Microsoft Project 2000. The Complete Idiot's Guide to Microsoft Project 2000 / Р.Блэк. - М. : АСТ: Астрель, 2005. - 284 с.
2. Богданов, В. Управление проектами в Microsoft Project 2002 : учеб. курс (+CD-ROM) / В. Богданов. - СПб. : Питер, 2003. - 640 с.
3. Бьяфоре, Б. Все по плану! Успешное управление проектами с использованием Microsoft Project (+ CD-ROM)/ Б. Бьяфоре. - М. : Русская Редакция, 2006. - 304 с.
4. Кортер, Дж. Microsoft Project 2002 / Дж. Кортер, А. Марквис. - М. : Лори, 2006. - 736 с.
5. Кудрявцев, Е. М. Project 2003. Сетевое планирование и управление проектами / Е. М. Кудрявцев.- М. : ДМК Пресс, 2006., - 238 с.
6. Куперштейн, В. Microsoft Project в делопроизводстве и управлении (+ дискета) / В. Куперштейн. – СПб. : BHV - Санкт - Петербург, 2003. - 470 с.
7. Мармел, Э. Microsoft Project 2002 : Библия пользователя / Э.Мармел.- М. : Диалектика, 2003. - 624 с.
8. Сингаевская, Г. И. Microsoft Project 2002. : Самоучитель / Г. И. Сингаевская. - М. : Диалектика, 2004. - 432 с.
9. Смирнов, Д. Разработка и сопровождение проектов Microsoft Project 2003 (+CD-ROM) / Д. Смирнов. - М. : Триумф, 2004. - 352 с.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине
«Проектное моделирование и прототипирование»

Тема: Введение в аддитивные технологии

для студентов направления подготовки
09.03.02 Информационные системы и технологии
Направленность (профиль) Информационные системы управления
технологическими и сервисными процессами

Невинномысск 2026

Содержание

Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ	4
 Тема 9. Проектное моделирование	
1 Проектирование технологических процессов изготовления деталей на основе технологий аддитивного производства	5
 Тема 9. Проектное моделирование	
2 Подготовка трехмерных моделей деталей для изготовления методами на основе технологий аддитивного производства	13
 Тема 10. Проектное прототипирование	
3 Трехмерное сканирование и основы работы с 3D-сканером модели EinScan-Pro	32
 Тема 11. Введение в аддитивные технологии	
4 Изготовление деталей методом FDM-печати и основы работы на 3D-принтере	36
 Тема 11. Введение в аддитивные технологии	
5 Изготовление металлических деталей методом SLM-печати и основы работы на 3D-принтере модели EP-M250	40
 Список литературы	 48

проанализируй
рабочую
программу и
методические
указания
в методических
указаниях

Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ

Общие требования безопасности

Допуск студентов к лабораторным занятиям производится только после инструктажа по технике безопасности, о чем делается соответствующая запись в специальном журнале (бланке).

Требования безопасности перед началом работы

1 Внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы, а также безопасные приемы его выполнения.

2 Перед каждым включением оборудования предварительно убедиться, что его пуск безопасен.

Требования безопасности во время работы

1 Точно выполнять все указания преподавателя.

2 Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрических цепей, к корпусам стационарного электрооборудования.

3 Запрещается во время работы оборудования снимать ограждения и предохранительные устройства, а также держать их открытыми.

4 Во время работы запрещается касаться руками нагретых, вращающихся и перемещающихся частей, вводить руки в зону движения.

Требования безопасности по окончании работы

1 Полностью выключить оборудование.

2 Привести в порядок рабочее место.

3 Предупредить преподавателя обо всех, даже малейших и незначительных, неисправностях оборудования.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

1 В случае травмирования кого-либо немедленно доложить преподавателю.

2 При выходе оборудования из строя необходимо:

– отключить оборудование (обесточить);

– доложить преподавателю о случившемся, а в случае возгорания приступить к немедленной его ликвидации первичными средствами пожаротушения.

Тема 9. Проектное моделирование.

Занятие 1 Проектирование технологических процессов изготовления деталей на основе технологий аддитивного производства

Цель работы: освоение методики проектирования технологических процессов изготовления деталей на основе технологий аддитивного производства с соблюдением принципов рациональности, производительности, экономичности, обеспечения качества и технических требований.

1.1 Производственные технологии

Большинство производственных технологий можно отнести к одной из трех групп. На простейшем уровне эти группы можно определить как:

1) *формовочное производство*: лучше всего подходит для крупно-серийного производства одной и той же детали, требующего больших первоначальных инвестиций в оснастку (пресс-формы), но затем способного производить детали по очень низкой цене за единицу продукции;

2) *субтрактивное производство*: лучше всего подходит для деталей с относительно простой геометрией, производимых в малых и средних объемах;

3) *аддитивное производство (АП)*: лучше всего подходит для мелко-серийных сложных конструкций, которые формовочными или субтрактивными методами не могут быть произведены. Обычно используется для уникальных быстрых прототипов или деталей для конечного использования.

Стоимость любого типа производства в основном связана с объемом производства, а производительность изготовления детали сильно зависит от её геометрии.

Технологическая цепочка формовочного производства: чертеж – подготовка модельного комплекта – подготовка материалов для изготовления литейной формы – формовка – плавка материала – заливка формы – охлаждение формы – извлечение отливки – термообработка – очистка отливок – термообработка – контроль – среднее количество отходов.

Технологическая цепочка субтрактивного производства: чертеж – разработка технологического процесса, выбор оборудования, режущего и вспомогательного инструмента, технологической оснастки – разработка и изготовление специального режущего и вспомогательного инструмента, технологической оснастки – получение заготовки – субтрактивные методы изготовления деталей и термообработка – постобработка (слесарная операция, промывка, мойка, маркировка и др.) – деталь и её контроль – большое количество отходов.

Технологическая цепочка аддитивного производства: чертеж – CAD-модель – оптимизированная CAD-модель – разработка технологического процесса, выбор оборудования, выбор материала (порошок, филамент, смола и др.) – STL-файл – слайсинг и генерация управляющей программы – аддитивные методы изготовления деталей – постобработка – деталь и её контроль – малое количество отходов.

STL (от англ. stereolithography) – формат файла, широко используемый для хранения трёхмерных моделей объектов для использования в аддитивных технологиях. Информация об объекте хранится как список треугольных граней, которые описывают его поверхность, и их нормалей.

Слайсинг (от англ. slicing) – процесс перевода STL-файла трехмерной модели в управляющий код. Модель режется (слайстится) по слоям. Каждый слой состоит из периметра и/или заливки. Модель может иметь разный процент заполнения заливкой, также заливки может и не быть (пустотелая модель).

Постобработка (от англ. post-processing) – процесс или последовательность операций, которую необходимо совершить с изделием или материалом, перед или после 3D-печати, для получения необходимых характеристик детали и преодоления ограничений аддитивного производства.

Ключевым аспектом аддитивного производства является его способность создавать детали со сложной и оптимизированной геометрией. Это означает, что данный тип производственных технологий идеально подходит для изготовления высокопроизводительных деталей. С другой стороны, он не масштабируется так же хорошо, как обработка на станках с ЧПУ или литьё при больших объёмах.

1.2 Технологии аддитивного производства

В 2015 г. был создан стандарт ISO/ASTM 52900, а в 2017 г. – ГОСТ Р 57558–2017 / ISO/ASTM 52900:2015 с целью стандартизации всей терминологии и классификации каждого типа аддитивного производства.

В общей сложности на сегодняшний день выявлено и установлено семь категорий процессов аддитивного производства. Эти семь процессов 3D-печати породили множество различных типов технологий, которые сегодня используют 3D-принтеры [1–3].

1 *Экструзия материала (material extrusion)*: процесс, в котором материал выборочно подается через сопло или жиклер (рисунок 1.1).

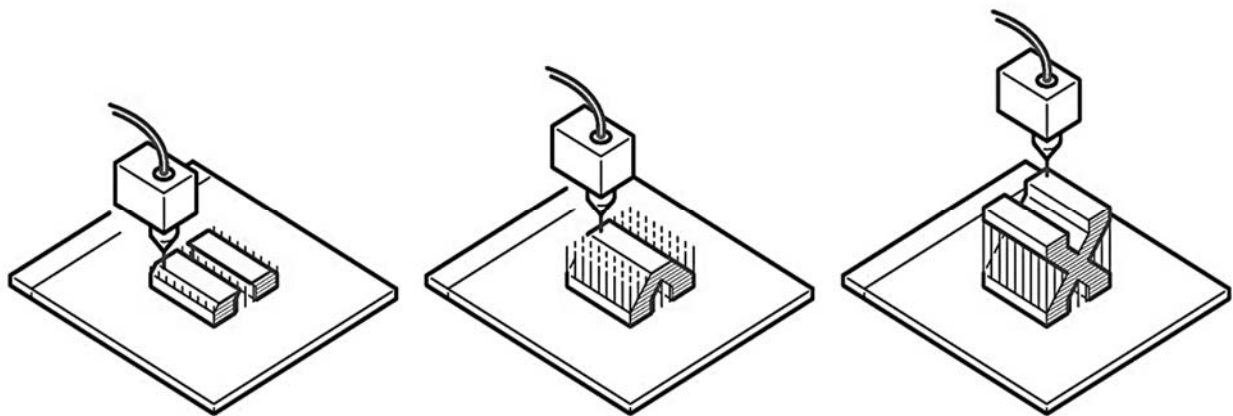


Рисунок 1.1 – Принцип процесса экструзии материала (material extrusion)

Типы технологии: fused deposition modeling (FDM) или fused filament fabrication (FFF).

Материалы: полимерный филамент (PLA, ABS, PET, PETG, TPU, Nylon, ASA, PC, HIPS, PEEK, PEI, PPE, PP, PE, PS, PA12, PA11, PA6, углеродное волокно и др.), металлизированный филамент и др.

Размерная точность: $\pm 0,5 \%$ (нижний предел $\pm 0,5$ мм).

Область применения: корпуса электрических устройств, быстрое прототипирование, модели для литья по выплавляемым моделям и др.

Преимущества: низкая стоимость; время выполнения печати приемлемое; технология достаточно доступна; широкий выбор материалов и расцветки.

Недостатки: самая низкая размерная точность и разрешение по сравнению с другими технологиями 3D-печати, поэтому она не подходит для моделей со сложной геометрией и мелкими деталями; конечный продукт будет иметь видимые линии слоев, поэтому для лучшего вида требуется постобработка; механизм адгезии слоя делает детали анизотропными.

Постобработка: удаление поддержки (support removal): стандартные и растворимые; шлифование (sanding); холодная сварка (cold welding); заполнение пропусков (gap filling); полировка (polishing); грунтовка и покраска (priming and painting); сглаживание парами растворителя (vapor smoothing); погружение в растворитель (dipping); эпоксидное покрытие (epoxy coating); металлическое покрытие (metal plating).

2 Фотополимеризация в ванне (vat photopolymerization): процесс, в котором жидкий фотополимер выборочно отверждается (полимеризуется) в ванне световым излучением (рисунок 1.2).

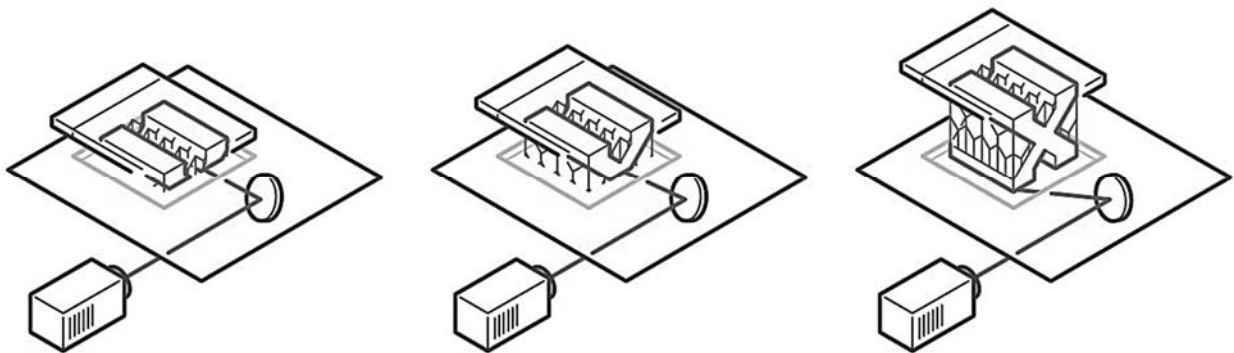


Рисунок 1.2 – Принцип процесса фотополимеризации в ванне (vat photopolymerization)

Типы технологии: stereolithography (SLA), masked stereolithography (MSLA), microstereolithography (μ SLA) и др.

Материалы: фотополимерные смолы.

Размерная точность: $\pm 0,5 \%$ (нижний предел $\pm 0,15$ мм или 5 нм с μ SLA).

Область применения: полимерные прототипы, подлежащие изготовлению методом литья под давлением; ювелирное литье; стоматологическое применение.

Преимущества: высокая точность размеров; возможность получения деталей со сложной геометрией; детали будут иметь очень гладкую поверхность, что делает их идеальными, например для визуальных прототипов.

Недостатки: детали, как правило, хрупкие и не подходят для функциональных прототипов; механические свойства и внешний вид этих деталей со временем ухудшаются; поддержки и постобработка при печати требуются всегда.

Постобработка: промывка; дополнительная засветка фотополимерной смолы; удаление элементов поддержки; шлифование; склеивание; грунтовка; покраска и др.

3 Синтез на подложке (*powder bed fusion*): процесс, в котором энергия от внешнего источника используется для избирательного спекания/сплавания предварительно нанесенного слоя порошкового материала (рисунок 1.3).

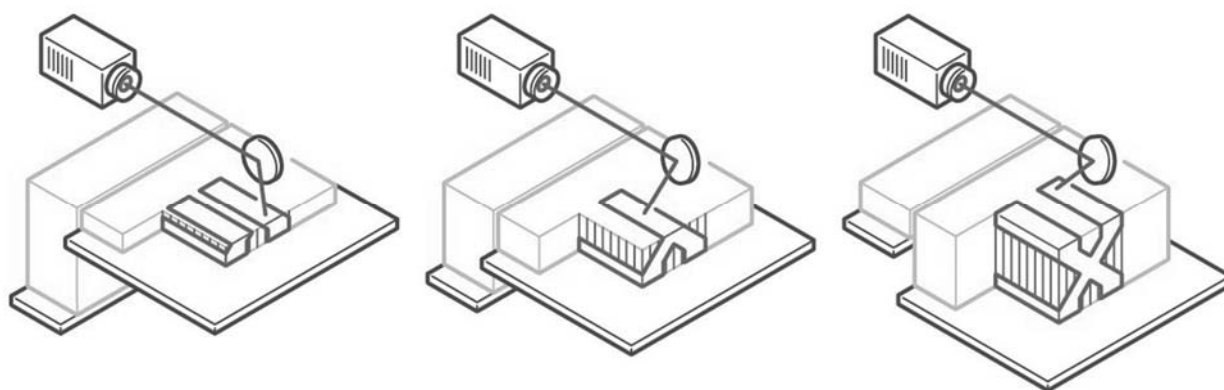


Рисунок 1.3 – Принцип процесса синтеза на подложке (*powder bed fusion*)

Типы технологии: selective laser sintering (SLS), selective laser melting (SLM), electron beam melting (EBM), direct metal laser sintering (DMLS), multi jet fusion (MJF).

Материалы: термопластичные порошки (Nylon 6, Nylon 11, Nylon 12 и др.), металлические порошки (сталь, титан, алюминий, кобальт и др.), керамические порошки.

Размерная точность: $\pm 0,3$ % (нижний предел $\pm 0,3$ мм).

Область применения: функциональные детали, сложные воздуховоды (полые конструкции), мелкосерийное производство деталей.

Преимущества: возможность изготовления функциональных деталей со сложной геометрией, которую традиционные методы производства не смогут обеспечить; детали могут быть оптимизированы; отличные механические свойства готовых деталей.

Недостатки: высокие затраты и стоимость расходного материала; размер рабочей области ограничен.

Постобработка: отделение моделей от стола (резка на проволочном электроэрозионном станке, резка на ленточнопильном станке, резка на дисково-отрезном станке); удаление порошка в полостях и элементов поддержки; терми-

ческая обработка (термический отжиг) для снятия остаточных напряжений и улучшения механических свойств детали; обработка на металлорежущих станках (обработка отверстий, резьбы и др.); пескоструйная обработка; галтование; шлифование; полировка и др.

4 *Прямой подвод энергии и материала (directed energy deposition)*: процесс, в котором энергия от внешнего источника используется для соединения материалов путем их сплавления в процессе нанесения (рисунок 1.4).

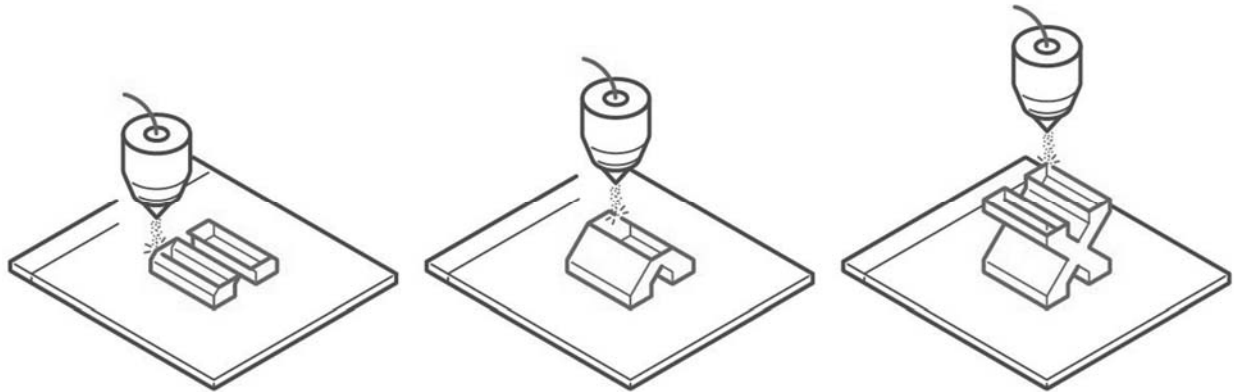


Рисунок 1.4 – Принцип процесса прямого подвода энергии и материала (directed energy deposition)

Типы технологии: laser engineered net shaping (LENS); electron beam additive manufacturing (EBAM); cold spray.

Материалы: металлы (проволока, порошок).

Размерная точность: $\pm 0,1$ мм.

Область применения: ремонт высококачественных автомобильных и аэрокосмических компонентов; функциональные прототипы и готовые детали.

Преимущества: поддерживающие конструкции требуются редко; смешивание металлов; работа в трёх координатах; высокая плотность и механическая прочность распечатков; возможность печатать прямо на готовом объекте.

Недостатки: низкое качество финишной поверхности, требующей последующей обработки; высокая стоимость; необходимость прочной поддержки.

Постобработка: термообработка; фрезерование, шлифование, полирование, и другие операции, характерные в том числе для ремонта и восстановления деталей.

5 *Струйное нанесение связующего (binder jetting)*: процесс, в котором порошковые материалы соединяются выборочным нанесением жидкого связующего (рисунок 1.5).

Типы технологии: binder jetting (BJ).

Материалы: песок, полимер или металлический порошок: нержавеющая сталь / бронза, полноцветный песок, кремнезём (литье в песчаные формы); металлокерамические композиты.

Размерная точность: $\pm 0,2$ мм (металл) или $\pm 0,3$ мм (песок).

Область применения: функциональные металлические детали, полноцветные модели, литьё в песчаные формы.

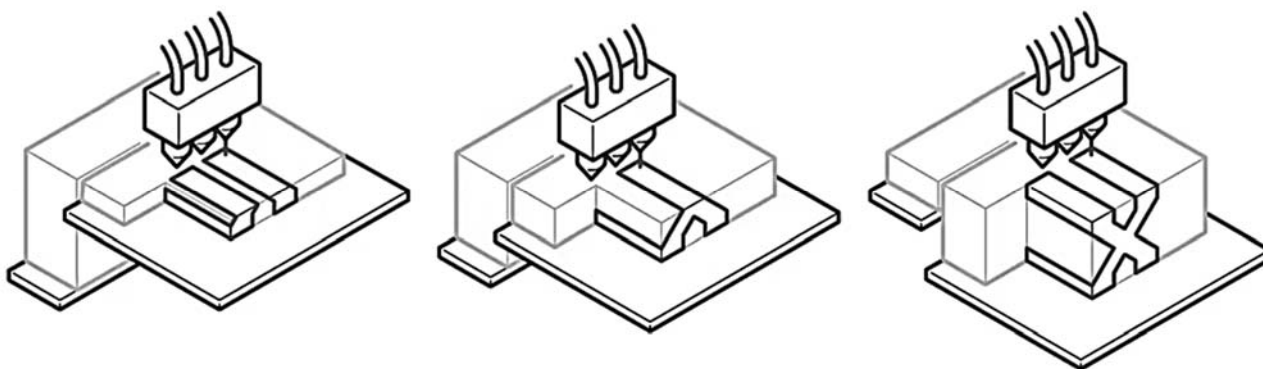


Рисунок 1.5 – Принцип процесса струйного нанесения связующего (binder jetting)

Преимущества: низкая стоимость; высокая производительность при производстве малых и средних партий; высокая точность; нет ограничений по габаритным размерам; улучшенные свойства готовой продукции; возможность изготовления изделий со сложной геометрией; возможность печати полноцветных прототипов; отсутствие деформации при печати; отсутствие поддержек; возможность использовать оставшийся после печати материал для новой распечатки.

Недостатки: высокая пористость моделей, что приводит к меньшей механической прочности; хрупкость детали в процессе до термообработки; необходимость закладывать разницу в размерах на усадку при печати моделей под запекание; ограниченное количество материалов.

Постобработка: термообработка (инфильтрация, спекание); обработка на металлорежущих станках (обработка отверстий, резьбы и др.); пескоструйная обработка; шлифование; полировка и др.

6 Струйное нанесение материала (*material jetting*): процесс, в котором изготовление объекта осуществляют нанесением капель строительного материала (рисунок 1.6).

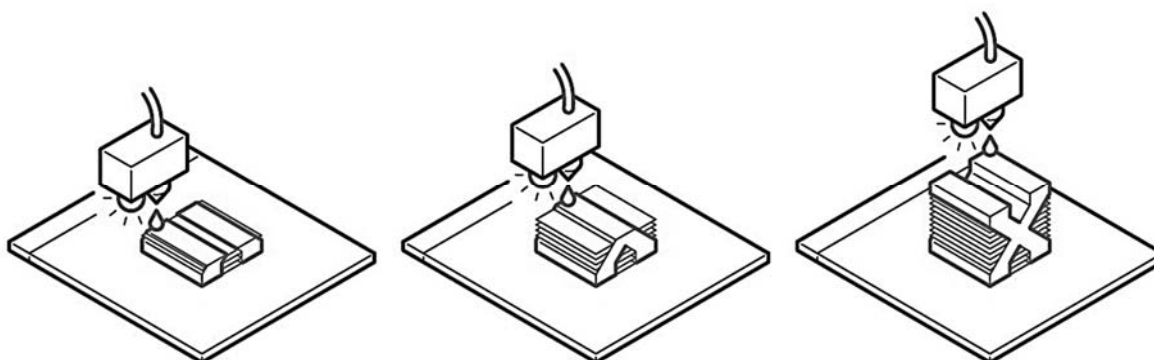


Рисунок 1.6 – Принцип процесса струйного нанесения материала (*material jetting*)

Типы технологии: *material jetting* (MJ), *drop on demand* (DOD).

Материалы: фотополимерная смола (стандартная, литьевая, прозрачная, высокотемпературная).

Размерная точность: $\pm 0,1$ мм.

Область применения: полноцветные прототипы продукции; прототипы,

изготовленные методом литья под давлением; пресс-формы для литья под давлением; медицинские модели.

Преимущества: высокая точность и детализация (печать очень тонких слоёв); доступность полноцветного и мультиматериального производства; гладкая поверхность распечатков.

Недостатки: хрупкость, не подходит для механических частей; высокая стоимость принтеров и материалов для печати.

Постобработка: дополнительная засветка фотополимерной смолы; удаление элементов поддержки и остатков смолы; шлифование; склеивание; грунтовка; окрашивание и др.

7 *Листовая ламинация (sheet lamination)*: процесс, в котором изготовление детали осуществляется послойным соединением листовых материалов (рисунок 1.7).

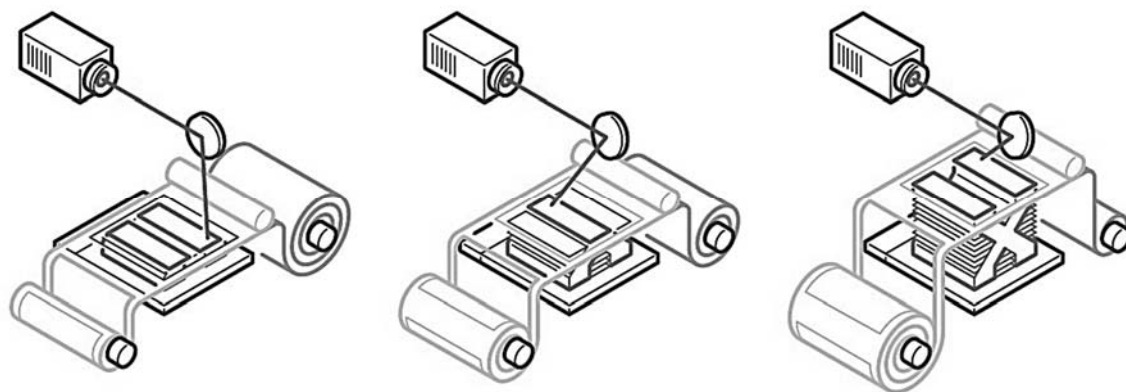


Рисунок 1.7 – Принцип процесса листовой ламинации (sheet lamination)

Типы технологии: laminated object manufacturing (LOM), ultrasonic consolidation (UC) и др.

Материалы: бумага, полимеры и металлы в листовой форме.

Размерная точность: $\pm 0,1$ мм.

Область применения: нефункциональные прототипы, многоцветная печать, формы для литья.

Преимущества: низкая стоимость; возможность быстрого изготовления; составная печать; производство крупных моделей.

Недостатки: низкая точность; много отходов; много постобработки; невысокая прочность моделей; ограниченность применения; низкое разрешение печати (толщина слоя равна толщине материала).

Постобработка: шлифование; полирование; механическая обработка отверстий и полостей; окрашивание и др.

1.3 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получить чертеж или CAD-модель детали у преподавателя.

2 Проанализировать информацию о детали: объем выпуска, размеры и допуски, сложность геометрии, материал, функциональное назначение.

3 Проанализировать применение различных методов производственных технологий и составить технологическую цепочку изготовления детали одним из типов технологии аддитивного производства.

4 Оформить отчёт.

1.4 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- анализ информации о детали;
- технологическая цепочка изготовления детали;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

Контрольные вопросы

1 В чем отличие технологической цепочки аддитивного производства от цепочек других производственных технологий?

2 Какие категории процессов аддитивного производства Вы знаете?

3 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получение деталей из металлов?

4 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получение деталей из полимеров?

5 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получение деталей из фотополимерной смолы?

6 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получение деталей из композитов?

7 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получение деталей из бумаги?

8 Какие категории процессов и типы технологии аддитивного производства предназначены для получение деталей из песка?

9 Что такое постобработка?

10 Какие операции может в себя включать постобработка?

Тема 9. Проектное моделирование.

Занятие 2 Подготовка трехмерных моделей деталей для изготовления методами на основе технологий аддитивного производства

Цель работы: освоение методики проектирования и оптимизации трехмерных моделей деталей для изготовления методами на основе технологий аддитивного производства.

2.1 Этапы подготовки модели к печати

Из технологической цепочки аддитивного производства можно выделить этапы, связанные с подготовкой трехмерной модели к печати: чертеж – CAD-модель – оптимизированная CAD-модель – ... – STL-файл – слайсинг и генерация управляющей программы –

Рассмотрим каждый из этих этапов.

Этап 1. Чертеж и CAD-модель.

На первых этапах жизненный цикл «аддитивно-технологичного» изделия почти не отличается от традиционного. Чертежи и 3D-модели создаются теми же САПР (Компас-3D, SolidWorks, AutoCAD, Autodesk Inventor, NX, CATIA и др.). Правда уже здесь у конструктора на порядок больше свободы – деталь может быть более сложной формы, легче и функциональнее обычной.

Этап 2. Оптимизированная CAD-модель.

Для пользователя программного обеспечения оптимизации (Autodesk Netfabb, Autodesk Within, Materialise Magics, ANSYS SpaceClaim и др.) этот этап начинается с импорта модели из САПР. Здесь неоценимую помощь ему окажет возможность прямого импорта данных из самых распространенных САПР и поддержка широкого набора нейтральных форматов файлов, в том числе STL-файлы и файлы после слайсинга.

Специальные модули оптимизации, встроенные в программное обеспечение, позволяют автоматизировано превращать обычные САПР-модели в облегченную систему из оболочек и внутренней решетчатой структуры переменной плотности, которая при этом сохранит необходимую надежность. Детали в этом случае могут быть оптимизированы по массе, объему, прочности, технологичности исполнения на выбранном принтере и по еще целому ряду характеристик. Конструктор может даже изменить свойства самого материала печати как для всей модели, так и для отдельных ее участков. Можно создавать пористые участки и гладкие, упругие и жесткие, причем упругость может быть анизотропной (неравной по разным осям). Типовой процесс оптимизации представлен на рисунке 2.1.

Этап 3. STL-файл.

На этом этапе выполняется обработка данных – конвертация, исправление сетки (при необходимости) и др.

Новый формат файлов для аддитивного производства (AMF), который впоследствии заменит формат файлов STL, был разработан группой экспертов технического комитета ИСО по аддитивному производству ИСО/ТК 261,

в партнерстве с ASTM International.

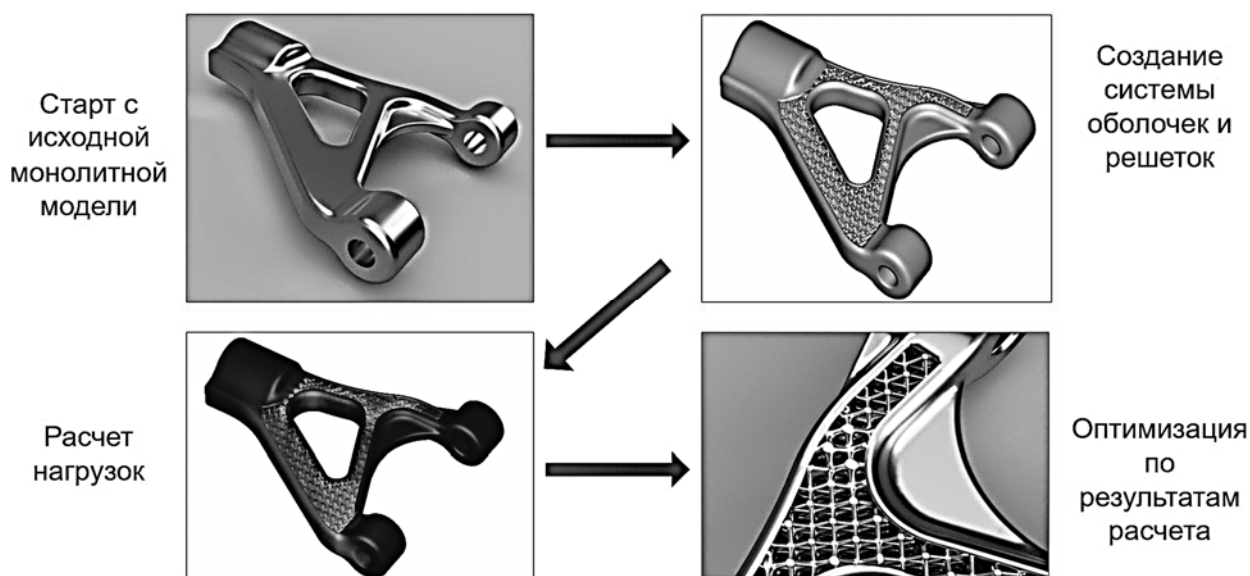


Рисунок 2.1 – Оптимизация структуры крепёжного элемента

Этап 4. Слайсинг (нарезка) и генерация управляющей программы.

После формирования STL-файла полученную модель нужно подготовить к печати – оптимально разместить модели деталей в рабочем пространстве принтера, добавить структуру опор, разбить модель на слои, сгенерировать траектории инструмента под выбранную технологию печати. В завершении необходимо проанализировать деталь и провести имитацию процессов печати для предсказания и исключения возможных ошибок.

Структура опор необходима для частей детали, которые нависают над платформой, не имея снизу уже пропечатанного материала. Чтобы эти части при печати не отвалились от модели или не покособили всю модель, под ними моделируются временные, тонкие и легко удаляемые после производства структуры – так называемые «поддержки». В программном обеспечении они, в большинстве случаев, создаются автоматически. Хотя, конечно, инструменты ручного их создания и редактирования тоже предусмотрены. Поддержки бывают разных типов: прямые, ветвящиеся, древовидные, стеночные, объемные или комбинированные.

Кроме того, программное обеспечение может автоматически предложить пользователю оптимальные варианты ориентации детали при печати, исходя из соотношения объема поддержек, общей поддерживаемой площади и общего времени печати. Пользователю останется только выбрать наиболее подходящий вариант ориентации из списка, предложенного системой.

Инструменты пакования деталей в рабочее пространство принтера – это размещения множества деталей в области построения для одновременной печати. Автоматическое пакование позволяет достигать небывалой плотности размещения деталей, недостижимой в случае ручного расположения. Благодаря

этому за одну операцию печати можно изготовить максимально возможное количество деталей, сэкономив не только время, но и материалы.

В программном обеспечении могут использоваться различные алгоритмы пакования – плоские, трехмерные, контурные. Для технологий печати, не требующих поддержек, возможно расположение детали друг над другом максимально тесно. Вокруг групп мелких деталей можно автоматически генерировать временные легкие коробки, чтобы детали при извлечении не растерялись. При трехмерном размещении программное обеспечение будет следить даже за тем, чтобы детали не сцепились и не переплелись между собой.

Аналитический модуль программного обеспечения предназначен для исследования и имитации печати. Он позволяет заранее обнаружить и исключить множество потенциальных проблем печати. На основании виртуальной имитации процесса печати он предскажет, рассчитает и визуализирует остаточные напряжения и деформации детали, возникающие от неравномерного нагрева в процессе печати. Более того, он предложит автоматически компенсировать эти деформации, особым образом изменив модель перед печатью. Модуль также может предсказать разрыв системы поддержек в результате деформации детали. Предсказание и предварительная компенсация остаточных напряжений и деформаций детали позволяет в разы сократить количество требуемых итераций печати до получения идеального результата. Это, естественно, снижает себестоимость всего производства и радикально ускоряет его.

При всех операциях подготовки и настройки печати программное обеспечение позволяет учитывать параметры и специфику конкретной машины. В него может быть встроена обширная библиотека оборудования или же оператор может задать параметры вручную. Выбор машины из библиотеки автоматически устанавливает необходимые параметры подготовки к печати и ограничивает область построения.

По итогам контроля готовой детали можно внести корректировки в предыдущие этапы.

2.2 Инструменты для оптимизации дизайна

Современные CAD-/CAM-/CAE-пакеты предлагают инструменты, которые помогают в полной мере воспользоваться геометрической свободой 3D-печати. Используя эти инструменты проектирования на основе встроенных алгоритмов, можно создавать структуры, подобные органическим, которые превосходят детали, разработанные с использованием традиционных методов.

На сегодняшний момент принято использовать три основные стратегии построения трехмерных моделей деталей для 3D-печати. Эти стратегии могут либо оптимизировать производительность существующей конструкции, либо помочь в создании структур с нуля на основе набора требований к детали.

Решетчатые структуры. Применение решетчатого узора – отличный способ оптимизировать существующий дизайн (рисунок 2.2). Решетчатые структуры помогают создавать легкие детали, максимально увеличивать

площадь поверхности теплообменников или улучшать возможности печати и снижать стоимость производства существующей конструкции.



Рисунок 2.2 – Пример решетчатой структуры

Оптимизация топологии. Оптимизация топологии на основе моделирования помогает создавать конструкции с минимальной массой и максимальной жесткостью (рисунок 2.3). При оптимизации топологии определяемое пользователем проектное пространство и варианты нагрузки анализируются для определения областей, из которых можно удалить материал. Затем результат моделирования можно использовать для проектирования деталей с оптимальными характеристиками для подобных сценариев нагрузки.

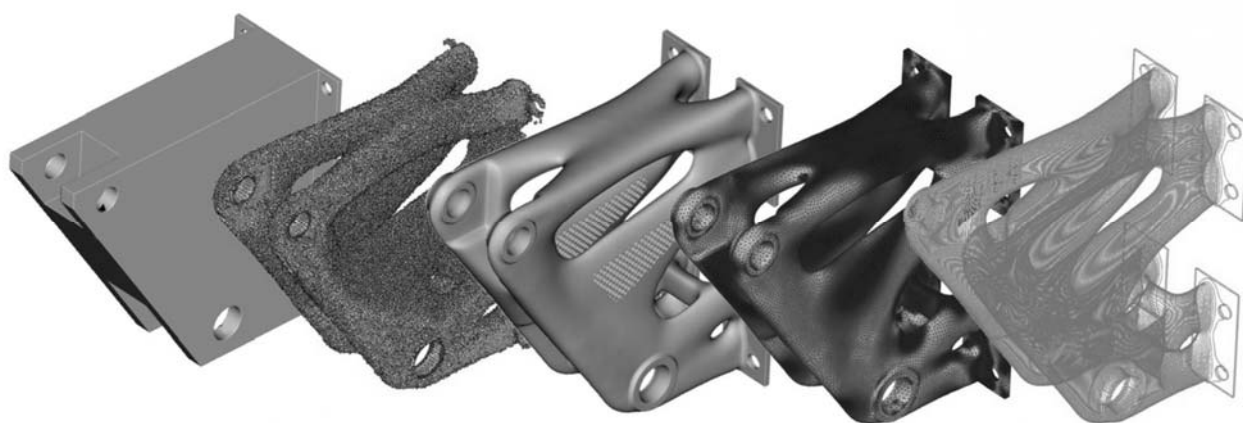


Рисунок 2.3 – Пример оптимизации топологии

Порождающее моделирование (генеративный дизайн). Порождающее моделирование – это разновидность процесса оптимизации топологии на основе моделирования (рисунок 2.4). В генеративном дизайне вместо одного вывода анализ создает несколько вариантов дизайна. Все полученные конструкции пригодны для изготовления и соответствуют проектным требо-

ваниям. Таким образом, конструктор может изучить различные решения и выбрать то, которое подходит для производства (например, на основе вторичных критериев выбора).

В отличие от традиционных инструментов дизайна и проектирования, генеративные системы полуавтономно создают и первично отбирают варианты решений, что изменяет характер взаимодействия человека с системой: программа воспринимается не как средство, а как полноценный участник творческого процесса.

Некоторые генеративные системы позволяют пользователю переформулировать, корректировать и уточнять задачу по промежуточным результатам, а также самообучаются в процессе поиска решений.

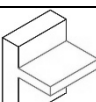
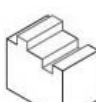
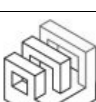
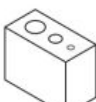
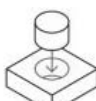
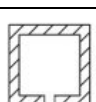


Рисунок 2.4 – Пример генеративного дизайна

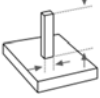
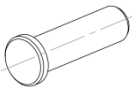
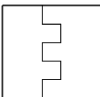
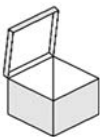
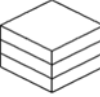
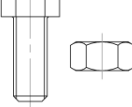
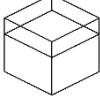
2.3 Дизайн для аддитивного производства (DfAM)

Даже при использовании передовых инструментов САПР конструктор при подготовке чертежа или CAD-модели детали и изделия в целом должен следовать определенным правилам проектирования дизайна. Они связаны с базовой механикой процессов 3D-печати. Список наиболее важных правил дизайна для различных типов технологий аддитивного производства представлен в таблице 2.1.

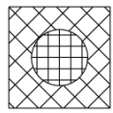
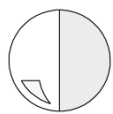
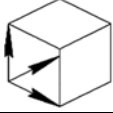
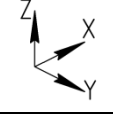
Таблица 2.1 – Правила дизайна для аддитивного производства

Элемент конструкции			Технология					
Характеристика	Единица измерения	Эскиз	FDM	SLA	SLS	DMLS (SLM)	BJ	MJ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Минимальная толщина опорных стенок	мм		0,8	0,4	0,7	0,4	2	1
Минимальная толщина свободных стенок	мм		0,8	0,6	0,8	0,5	3	0,5
Поддержки и нависания	град		45	19	Не нужны	Всегда	н/д ¹	Всегда
Растворимые поддержки			+ ²	н/д	н/д	– ³	н/д	+
Нависания (вылет) без поддержек	мм		н/д	1	н/д	0,5	20	0,5
Рельефы и гравировка ($\frac{\text{ширина}}{\text{высота/глубина}}$)	мм		$\frac{0,6}{2}$	$\frac{0,4}{0,1/0,4}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{0,5}{0,5}$
Перемычки	мм		5	21 широкие	н/д	2	н/д	н/д
Минимальный диаметр отверстия	мм		Ø2	Ø0,5	Ø1,5	Ø1,5	Ø1,5	Ø0,5
Зазор между сопрягаемыми деталями ($\frac{\text{неподвижные}}{\text{подвижные}} \frac{\text{монтажные}}{\text{монтажные}}$)	мм		$\frac{0,5}{0,5}$ н/д	$\frac{0,1}{0,5}$ 0,2	$\frac{0,1}{0,3}$ н/д	н/д	н/д	$\frac{0,2}{0,2}$ н/д
Отверстия для извлечения материала	мм		н/д	Ø4	Ø3,5	Ø5	Ø5	н/д
Минимальный размер элемента	мм		2	0,2	0,8	0,6	2	0,25
Диаметр стержня (штифта)ы	мм		3	0,5	0,8	1	2	0,5

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Максимальное соотношение сторон (высота : ширина)			н/д	н/д	н/д	8:1	8:1	8:1
Галтели (радиусы)	мм		н/д	н/д	0,4	н/д	1	н/д
Текст	мм		н/д	0,1	2	н/д	н/д	н/д
Ось	мм		н/д	н/д	0,3 (для ходовых осей)	н/д	н/д	н/д
Взаимосвязанные элементы (замковые элементы)	мм		0,5	0,2	0,2	н/д	н/д	0,1
Резервуары	мм		н/д	2	1	н/д	н/д	н/д
Живой шарнир ($\frac{\text{толщина}}{\text{длина}}$)	мм		0,4...0,6 (2 слоя) н/д	н/д	$\frac{0,3...0,8}{5}$	н/д	н/д	$\frac{0,4...0,8}{\text{н/д}}$
Толщина слоя	мкм		50...400	25...100	80...120	30...50	100	16...30
Резьба (резьбовые вставки)			+	+	+	—	—	+
Резьба (закладные гайки)			+	+	+	+	+	+
Резьба (саморезы)			+	+	+	—	—	+
Резьба (нарезание резьбы)			+	+	+	+	+	+
Резьба (3D-печать)			+	+	+	+	+	+
Усадка	%		0,2...1	н/д	3-3,5	н/д	н/д	—

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деформации			+	+	н/д	н/д	н/д	–
Многоцветность			–	–	–	–	–	+
Мультиматериальная печать			+	+	н/д	н/д	н/д	+
Текстура поверхности ($\frac{\text{глянцевый}}{\text{матовый}}$)			н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	$\frac{+}{+}$
Водонепроницаемость			н/д	+	н/д	н/д	н/д	н/д
Изотропность			–	+	н/д	+	н/д	н/д
Ориентация			+	+	+/- ⁴	+	–	+/-
Размерная точность (настольный принтер)			±0,5 % (нижний предел ±0,5 мм)	±0,5 % (нижний предел ±0,15 мм)	±0,3 % (нижний предел ±0,3 мм)	±0,1 мм	±0,2 мм (металл); ±0,3 мм (песок)	±0,1 мм
Размерная точность (промышленный принтер)			±0,15 % (нижний предел ±0,02 мм)	±0,15 % (нижний предел ±0,01 мм)				
Примечания 1 Знак «н/д» – нет данных. 2 Знак «+» – характеристика присуща для технологии или важна. 3 Знак «–» – характеристика не присуща для технологии или не важна. 4 Знак «+/-» – характеристика присуща для технологии или не сильно важна								

Описание элементов конструкции.

1 *Опорные стенки* – это стенки, соединенные с остальной частью распечатка как минимум с двух сторон.

ВJ: минимальная толщина опорных стенок гарантирует, что деталь может быть извлечена из порошка и обработана в сыром состоянии без повреждения.

2 *Свободные стенки* – это неподдерживаемые стенки, соединенные с остальной частью, распечатка менее чем с двух сторон.

BJ: минимальная толщина свободных стенок (включая плавники и ребра) гарантирует меньший риск повреждения во время обработки.

SLA: тонкие свободные стенки должны иметь закругленные основания (там, где стенка соединяется с остальной частью распечатка), чтобы уменьшить концентрацию напряжений вдоль стыка.

3 *Поддержки и нависания* характеризуются максимальным углом наклона стенок, которые могут быть напечатаны без использования поддержек. Также поддержки характеризуются возможностью отделения от модели при помощи растворения.

FDM: под углом 45° вновь напечатанный слой опирается на 50 % предыдущего слоя. Это создает достаточную поддержку и адгезию, на которые можно опираться. При углах выше 45° необходима поддержка, чтобы вновь напечатанный слой не выпирал вниз и не отходил от сопла. Еще одна проблема, возникающая при печати выступов, – это скручивание. Новый слой становится тоньше на краю выступа. Это приводит к дифференциальному охлаждению, заставляя его деформироваться вверх. Ключевой момент при проектировании: вы можете преодолеть ограничения, связанные с выступами, используя опоры для углов стены более 45° . Для больших выступов, требующих поддержки, ожидайте, что на окончательной поверхности будут присутствовать дефекты, если они не прошли постобработку.

SLA: рекомендуется ориентировать деталь таким образом, чтобы визуальнo важные поверхности не соприкасались с опорными конструкциями. Если только модель не печатается без соответствующих внутренних и внешних опорных конструкций, выступы не представляют большой проблемы при печати. Печать без поддержек часто приводит к короблению отпечатка, но если необходимо печатать без поддержек, любые неподдерживаемые выступы должны соответствовать рекомендациям. Технологии печати «сверху вниз» и «снизу вверх» используют поддержку по-разному.

DMLS, SLM: металлическая печать плавит или спекает слои порошка при очень высокой температуре. Из-за этого для каждого слоя требуется что-то «твердое», а не просто рассыпчатая пудра, как в процессе SLS. Для этого для секций, не прикрепленных к рабочему столу, сначала печатаются опорные конструкции, а затем поверх них строятся твердые секции. Остаточное напряжение, возникающее в результате дифференциального охлаждения, означает, что каждый слой металлического распечатка стремится свернуться и деформироваться. Добавление поддержки помогает отводить тепло от недавно напечатанных участков, а также закреплять их на твердом основании. Поддержка увеличивает стоимость сборки (поскольку она использует дополнительный материал), а также должна быть удалена после завершения печати. Поверхности, соприкасающиеся с опорой, всегда требуют некоторой последующей обработки для достижения такой же чистоты поверхности, как у деталей, где опора не требовалась.

MJ: одним из самых больших преимуществ струйной печати материалов является то, что все детали печатаются из двух разных материалов; один для основного строительного материала, а второй в качестве растворимой

поддержки. Это означает, что в отличие от других методов 3D-печати, при которых опору необходимо вручную отрезать от детали, опора растворяется и легко удаляется. При правильной постобработке это может привести к тому, что поверхность вообще не будет иметь никаких признаков поддержки. Это также означает, что ориентация деталей гораздо более гибкая, чем другие технологии 3D-печати. Это в сочетании с относительной однородностью материалов, изготавливаемых с помощью струйной печати, обеспечивает большую свободу проектирования и позволяет создавать очень сложные и замысловатые конструкции.

4 Нависания (вылет) без поддержек характеризуются максимальным вылетом стенок, которые могут быть напечатаны без использования поддержек. Рекомендуется рассматривать возможность устранения нависания (вылета), добавив фаску под неподдерживаемые кромки.

BJ: хотя для технологии окружающие детали из порошка обеспечивают поддержку на этапах построения, незакрепленные края подвержены высокому риску поломки при обработке в сыром состоянии.

5 Рельефы и гравировка – элементы на модели, которые приподняты или утоплены ниже поверхности модели.

SLA: если элементы слишком малы, эти элементы, которые впечатаны или утоплены в модели, рискуют слиться с остальной частью модели во время печати.

6 Перемычки (мосты) характеризуются размером горизонтального участка, который технология печати может обеспечить без необходимости применения поддержек.

FDM: образование мостов происходит, когда принтер должен печатать между двумя опорами или опорными точками. Поскольку строить не на чем, первоначальный печатаемый слой не поддерживается, и материал имеет тенденцию провисать. Мосты чаще всего встречаются в отверстиях по горизонтальной оси. Одним из решений является уменьшение расстояния перемычки, но эффект от этого зависит от конструктивных ограничений детали. Еще одно решение, позволяющее избежать провисания – добавить поддержку. Поддержка обеспечивает временную платформу для создания связующего уровня. Поддерживающий материал удаляется после завершения печати, хотя он может оставить следы или повредить поверхность, где поддержка была соединена с деталью. Если требуется гладкая, ровная поверхность, передовым решением будет разделение дизайна на отдельные части или выполнение какой-либо формы постобработки.

SLA: перемычки между двумя точками на модели можно успешно напечатать, но более широкие горизонтальные перемычки должны быть короче, чем тонкие перемычки. Широкие перемычки имеют большую площадь контакта по оси Z, что увеличивает вероятность сбоя печати во время отслаивания.

7 Минимальный диаметр отверстия – диаметр отверстия с наименьшими размерами, который технология печати может обеспечить. Отверстия, по возможности, должны быть ориентированы вертикально, чтобы обеспечить округлость элемента.

FDM: процесс печати вертикального отверстия и причину уменьшения его диаметра можно резюмировать следующим образом. Когда сопло печатает периметр отверстия по вертикальной оси, оно прижимает вновь напечатанный слой к существующим слоям, чтобы улучшить адгезию. Сила сжатия сопла деформирует экструдированный круглый слой из круга в более широкую и плоскую форму. Это увеличивает площадь контакта с ранее напечатанным слоем, улучшая адгезию, но расширяя экструдированный сегмент, что приводит к уменьшению диаметра печатаемого отверстия. Это уменьшение может быть проблемой, особенно при печати отверстий малого диаметра, где эффект больше из-за отношения диаметра отверстия к диаметру сопла. Если диаметр отверстия вертикальной оси имеет решающее значение, рекомендуется напечатать его меньшего размера, а затем просверлить отверстие до нужного диаметра.

SLA: если диаметр отверстий слишком мал по осям X, Y и Z, то отверстия могут закрыться во время печати.

8 *Сопрягаемые детали* характеризуются рекомендуемым зазором между двумя сопрягаемыми деталями (подвижными и неподвижными). Этот зазор также должен быть каким-то образом доступен для очистки/удаления поддерживающего материала, который может скапливаться в зазоре.

9 *Отверстия для извлечения материала* характеризуются минимальным диаметром выхода для извлечения строительного материала (например, металлического нерасплавленного порошка из полых деталей). Использование нескольких выпускных отверстий значительно упростит удаление материала.

10 *Минимальный размер элемента* характеризуется наименьшим размером единичного элемента с обеспечением того, что печать пройдет без ошибок.

BJ: основной проблемой минимального размера элемента является возможность его повреждения. Хотя этот процесс позволяет производить детали с очень мелкими деталями, проблема заключается в обращении с очень хрупкими деталями в сыром состоянии. Если элемент или деталь слишком хрупкие, одно из решений состоит в том, чтобы добавить в конструкцию дополнительные распорки, чтобы повысить её жёсткость и обеспечить поддержку. Эти элементы крепления могут быть удалены после инфильтрации или спекания (когда деталь прочнее). Оптимальным решением является увеличение размеров этих элементов в соответствии с рекомендациями на рисунке 2.5. Тонкие элементы, прикрепленные к большим и тяжелым элементам, подвержены высокому риску поломки при обращении (рисунок 2.5, а). Эти области следует укрепить, добавив распорки (рисунок 2.5, б) или увеличив их размер (рисунок 2.5, в).

11 *Диаметр стержня (штифта)* – минимальный диаметральный размер стержня, который технология печати может обеспечить.

FDM: если дизайн содержит стержни диаметром менее 5 мм, добавьте небольшое скругление у основания стержня. Если функция имеет решающее значение, подумайте о том, чтобы включить в конструкцию отверстие в месте расположения штифта, просверлите отверстие до нужного размера и вставьте имеющийся в наличии штифт.

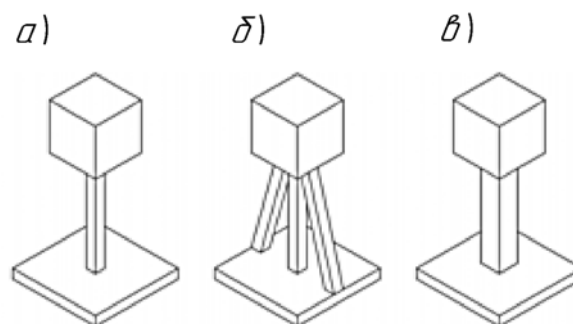


Рисунок 2.5 – Дизайн тонких элементов

12 *Соотношение сторон* – максимальное соотношение между высотой печати по вертикали и сечением детали в горизонтальной плоскости для обеспечения устойчивости напечатанной детали на рабочем столе. К высоким элементам можно добавить дополнительную устойчивость с помощью опорных ребер (аналогично литью под давлением).

13 *Галтели* характеризуются минимальным радиусом.

BJ: все скругления должны по возможности использоваться на всех краях модели. Это гарантирует, что они не будут повреждены в сыром состоянии. Галтели особенно важны для внутренних полостей, чтобы облегчить удаление порошка и обеспечить точность конструкции.

14 *Текст* характеризуется минимальной высотой шрифта для всех направлений.

SLS: рекомендуется шрифт без засечек.

15 *Ось* характеризуется минимальным зазором до поверхности подшипника или опоры.

SLS: нейлон как материал подшипника обеспечивает гладкую посадку с низким коэффициентом трения для соединений с низкой нагрузкой и низкой скоростью. Важно помнить, что порошок должен быть удален после процесса печати, чтобы обеспечить плавный ход соединения.

16 *Взаимосвязанные элементы (замковые элементы)* характеризуются размерной точностью соединения. Включение небольшого радиуса на краях деталей поможет при сборке соединений.

FDM: подходит для создания недорогих прототипов взаимосвязанных соединений, когда точность и долговечность не имеют критического значения.

SLS и MJ: лучше всего подходят для взаимосвязанных соединений благодаря их высокой точности печати и прочности материала.

17 *Резервуары* характеризуются минимальной толщиной стенки.

SLS: нейлон обладает хорошей химической стойкостью и часто применяется в нестандартных конструкциях резервуаров. Для дополнительной водонепроницаемости или при использовании агрессивных жидкостей, таких как топливо или растворители, ёмкость может иметь покрытие или облицовку. Избыток порошка должен быть удален изнутри бака.

SLA: если распечаток не предназначен для использования в качестве функциональной детали, наличие полости в модели значительно сокращает

количество необходимого материала и время печати. При печати полых деталей добавляйте дренажные отверстия, чтобы предотвратить попадание незатвердевшей смолы внутрь готового распечатка. Неотвержденная смола создает дисбаланс давления внутри полых камер.

18 *Живой шарнир (интегрированный шарнир, подшипник изгиба)* характеризуется максимальной толщиной и минимальной длиной тела шарнира. Живой шарнир представляет собой тонкий гибкий шарнир, сделанный из того же материала, что и две жесткие части, которые он соединяет.

FDM: оптимальный дизайн для живого шарнира – это попытаться напечатать шарнир с помощью одной нити термопластика, интегрированной в жесткие секции сборки, как показано на рисунке 2.6. Некоторые FDM-принтеры с двойной экструзией предлагают возможность печатать секцию шарнира из вторичного гибкого материала (например, ТПУ), что еще больше улучшит производительность шарнира и количество циклов до отказа.

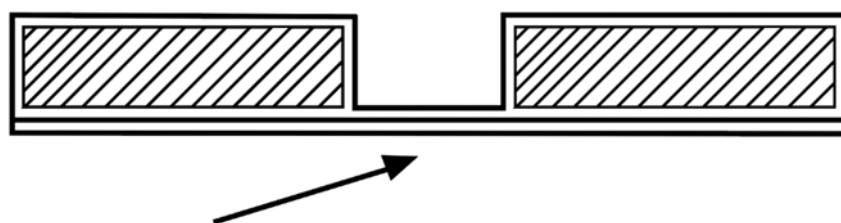


Рисунок 2.6 – Живой шарнир для FDM-печати

SLS: один из немногих методов 3D-печати, который позволяет создавать функциональные живые шарниры. Для получения шарнира отожгите модель путем нагревания (обычно достаточно погрузить её в кипящую воду), а затем согните шарнир вперед и назад.

MJ: обычно жесткие фотополимеры, используемые при струйной обработке материалов, являются хрупкими и не подходят для прототипов, где требуется более 10 циклов. Однако одним из основных преимуществ струйной печати материалов является возможность печати из нескольких материалов. Путем печати части шарнира из гибкого материала можно изготовить живую конструкцию шарнира, которая прослужит большое количество циклов.

19 *Толщина слоя* характеризуется высотой одного слоя при печати, которую обеспечивает технология. Влияние высоты слоя более заметно на кривых и углах и менее заметно на прямых вертикальных стенах из-за послойного характера 3D-печати. Например, чтобы напечатать отверстие вдоль горизонтальной оси, программное обеспечение должно разрезать круглое отверстие на несколько слоев, а затем наложить их друг на друга, создавая негладкий край, похожий на лестницу. Это называется ступенчатым эффектом и становится более заметным на поверхностях с большей кривизной (рисунок 2.7).

Если основной задачей печати является внешний вид, то идеальным вариантом будет выбор более низкой высоты слоя, так как это приведет к более гладкой поверхности. С другой стороны, при 3D-печати функциональной

детали предпочтительнее использовать более высокую высоту слоя, поскольку это приведет к экономии времени и средств, а также к улучшению механических характеристик.

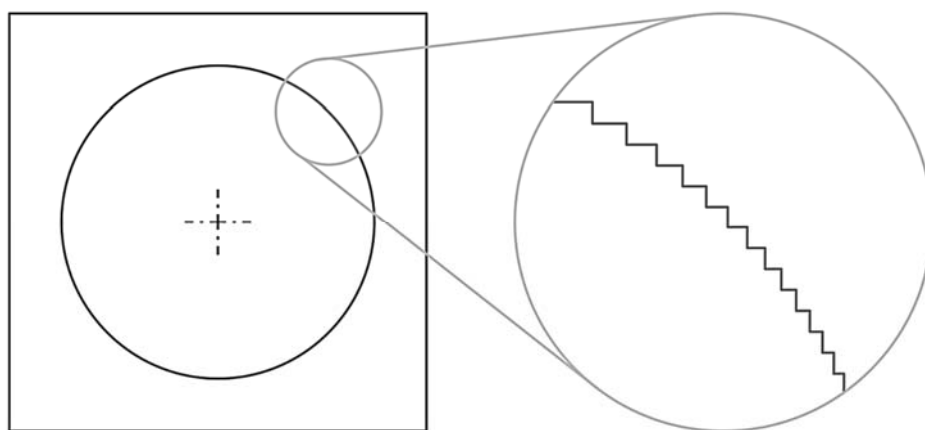


Рисунок 2.7 – Ступенчатый эффект

FDM: напечатанные детали из PLA с толщиной слоя 300 мкм, имеют прочность примерно на 20 % выше, чем детали, напечатанные толщиной 100 мкм.

20 Резьба характеризуется возможностью применения разных способов формирования резьбы. Способы формирования резьбы на деталях рассмотрены ниже.

Резьбовые вставки. Популярный метод, используемый регулярно, который обеспечивает прочное соединение металла с металлом, но требует дополнительных компонентов и установки. Два типа вставок лучше всего подходят для 3D-печати: термоусадочные вставки и врезные вставки.

Закладная гайка. Быстрый способ крепления компонентов. Нужен точный дизайн и печать. Часто для определения оптимальных размеров бобышки гайки требуется несколько итераций. Печать небольших тестовых деталей для определения идеальных размеров может сэкономить время и материальные затраты.

Саморезы. Один из способов крепления деталей, который не подходит для повторной разборки. Для пластика можно использовать специальные саморезы, которые ограничивают радиальное напряжение в отверстиях, напечатанных на 3D-принтере, снижая вероятность вздутия, расслоения или разрушения.

Нарезание резьбы. Нарезание резьбы дает свободу дизайна, однако важна правильная процедура нарезания резьбы.

Резьба на распечатке. Не подходит для небольших размеров резьбы (менее M5) и требует высокой детализации/разрешения принтера.

FDM: как правило, минимальная толщина стенки вокруг резьбы должна соответствовать диаметру крепежного элемента (например, для крепежного элемента M5 требуется минимальная толщина стенки 5 мм вокруг резьбового отверстия). Если толщина стенки слишком мала, детали могут вздуться и деформироваться из-за дополнительного напряжения, а в некоторых случаях может произойти расслоение или разрушение. Высота слоя – важный параметр

при печати резьбы. Ориентировочно, резьба больше M12 может быть успешно напечатана слоями толщиной 0,2 мм, а резьба меньшего размера должна быть напечатана более тонкими слоями.

SLS: шероховатая поверхность, полученная при печати, приводит к повышенному трению и может вызвать некоторые проблемы при соединении резьбовых деталей вместе. Можно сверлить и нарезать резьбу на нейлоне. Идеальным решением является использование нейлона только для одного из элементов резьбовых соединений (либо гайки, либо болта).

21 *Усадка* характеризуется процентным увеличением габаритных размеров модели на этапе предпечатного анализа. С учетом того, что это увеличение не повлияет на конструкцию детали.

SLA: вероятно для неподдерживаемых пролетов и выступов.

SLM, DMLS: технологии высоким риском усадки. Чтобы снизить вероятность этого, используются распорки и поддержки.

MJ: не является проблемой.

22 *Деформация* характеризуется склонностью к изменению формы и размеров под действием температурного воздействия и других факторов. Деформациями называются изменения размеров детали при сохранении её формы, а короблением – изменение формы детали (её может изогнуть, завернуть пропеллером и т. д.).

FDM: большие плоские области (например, характерные для прямоугольной коробки) более подвержены короблению, и их следует по возможности избегать. Тонкие выступающие элементы также склонны к короблению. Коробления можно избежать, добавив расходный материал на краю тонкого элемента, чтобы увеличить площадь, соприкасающуюся с платформой. Острые углы деформируются чаще, чем закругленные формы, поэтому добавление скруглений в дизайн является хорошей практикой. Различные материалы более подвержены деформации. ABS обычно более чувствителен к деформации, чем PLA или PETG.

SLA: одной из самых больших проблем, связанных с точностью деталей, изготовленных с помощью SLA, является скручивание (керлинг). Керлинг похож на деформацию в FDM. В процессе отверждения смола немного сжимается под воздействием источника света принтера. При значительной усадке между новым слоем и ранее затвердевшим материалом возникают большие внутренние напряжения, что приводит к скручиванию детали. Поддержка при печати важна когда нужно закрепить подверженные риску участки распечатка на рабочем столе и снизить вероятность скручивания. Ориентация деталей и ограничение больших плоских слоев также важны. Чрезмерное отверждение (например, подвергание детали воздействию прямых солнечных лучей после печати) также может вызвать скручивание. Лучший способ предотвратить скручивание – помнить об этом в процессе проектирования.

SLS: чтобы уменьшить вероятность коробления, которому подвержены большие плоские поверхности, рассмотрите возможность добавления ребер для увеличения жесткости. Оптимальная ориентация детали на этапе печати также может помочь.

SLM, DMLS: технологии высоким риском деформации. Чтобы снизить вероятность этого, используются распорки и поддержки.

MJ: не является проблемой.

23 *Многоцветность* характеризуется возможностью 3D-печати различными цветами в пределах одной детали или создания полноцветных презентационных прототипов.

MJ: высокий уровень точности, гладкая поверхность и варианты цвета делают струйную печать популярным выбором для презентаций и прототипов. Струйная обработка материалов – единственная технология 3D-печати, которая позволяет создавать полноцветные многоцветные распечатки. При использовании голубого, пурпурного, желтого, черного и белого материалов (СМУК) доступен полный набор цветовых вариантов. Этого можно добиться в процессе настройки печати, назначив частям цветовые коды RGB, или можно сделать в процессе САПР, раскрасив деталь. Текстурные слои также могут быть применены к детали. С помощью этого метода к частям можно добавить такие элементы, как мазки кисти, текстура древесины и градиентные цвета. Возможность многоцветной печати MJ означает, что эта технология позволяет создавать физические модели метода конечных элементов (МКЭ, FEA). Если анализ МКЭ выполняется на детали виртуально, полученный цветовой шаблон можно экспортировать в виде текстуры или слоя и распечатать непосредственно на детали, создавая видимый цветовой шаблон МКЭ на физическом образце для просмотра. Это дает инженерам и конструкторам уникальное представление о том, как деталь будет работать под нагрузкой.

24 *Мультиматериальная печать* характеризуется возможностью печати несколькими материалами в одном цикле.

MJ: некоторые принтеры способны печатать как резиновые, так и жесткие компоненты на одном столе, в одной и той же детали, а также в виде сборки для формирования новых свойств материала (мягкий резиноподобный материал и твердый жесткий материал можно смешивать для получения различных уровней жесткости резины). При проектировании для этого важно создавать сборки в САПР, чтобы разные детали можно было выбирать в качестве разных материалов во время подготовки к печати. При сопряжении этих собранных деталей в САПР не должно быть нахлеста тел. Следует использовать сопряжение с зазором «0 мм». Это позволит частям правильно стыковаться. Любые перекрывающиеся тела в модели САПР будут игнорироваться при печати, что приведет к заполнению области основным материалом сборки.

25 *Текстура* характеризуется возможностью получения глянцевой и матовой поверхности.

FDM: верхняя поверхность сглаживается экструзионным наконечником; поверхность, контактирующая с печатной платформой, обычно будет глянцевой, а поверхности над опорными конструкциями будут иметь следы поддержки.

SLA: нижние поверхности будут иметь метки поддержки и потребуют последующей обработки, а верхние поверхности будут гладкими и не будут иметь меток поддержки.

SLS, BJ: детали будут иметь более зернистую поверхность на нижней поверхности.

MJ: настройка матовости добавит тонкий слой поддержки по всей детали, независимо от ориентации или требований. Глянцевая настройка будет использовать вспомогательный материал только там, где это необходимо для построения модели (выступы, сквозняки, полости и т. д.). Преимущества печати с глянцевой текстурой заключаются в прочности на тонких стенах, эстетике гладкой и готовой детали и снижении расхода материала на сборку. К недостаткам можно отнести неравномерную отделку деталей и незначительное закругление острых кромок и углов на верхних поверхностях. Преимуществами печати с матовой текстурой являются точность детали в целом, а также однородность покрытия. Недостатки включают дополнительные требования к материалу, дополнительное время очистки и более мягкую поверхность. Эта более мягкая поверхность иногда может привести к слабости мелких или тонких элементов.

26 Водонепроницаемость характеризуется тем, при достижении каких значений гидростатического давления материал теряет способность не впитывать и не пропускать через себя воду.

SLA: объекты являются непрерывными, независимо от того, цельные они или имеют внутренние каналы. Водонепроницаемость важна в случаях, когда нужно контролировать и прогнозировать воздействие потоков воздуха или жидкости.

27 Изотропность характеризуется одинаковостью физических свойств во всех направлениях. Поскольку 3D-печать создает модели слой за слоем, прочность готовых деталей может отличаться в зависимости от ориентации детали относительно процесса печати: для осей X, Y и Z будут характерны различные свойства.

FDM: процесс анизотропный за счет подхода к созданию различных слоев в процессе изготовления. Эта анизотропия ограничивает возможности применения технологии или требует внесения дополнительных изменений в конструкцию модели для ее компенсации. Прочность связи между различными слоями всегда ниже базовой прочности материала: их прочность по оси Z всегда меньше, чем их прочность в плоскости XY. По этой причине важно учитывать ориентацию деталей при проектировании деталей для FDM. Влияния нагрузок при их различных направлениях представлены на рисунке 2.8.

SLA: достижение изотропии деталей основано на ряде факторов, которые можно строго контролировать за счет интеграции химического состава материалов с процессом печати. Во время печати компоненты полимеров образуют ковалентные связи, но при создании последующих слоев модель остается в «незрелом» состоянии частичной реакции. В незрелом состоянии смола сохраняет полимеризуемые группы, которые могут образовывать связи между слоями, придавая модели изотропические и водонепроницаемые свойства после окончательного отверждения. На молекулярном уровне между плоскостями X, Y и Z нет различий. Это позволяет получить модели с предсказуемыми механическими характеристиками, критически важными для таких целей, как

производство кондукторов и крепежных приспособлений и готовых деталей, а также функциональное прототипирование.

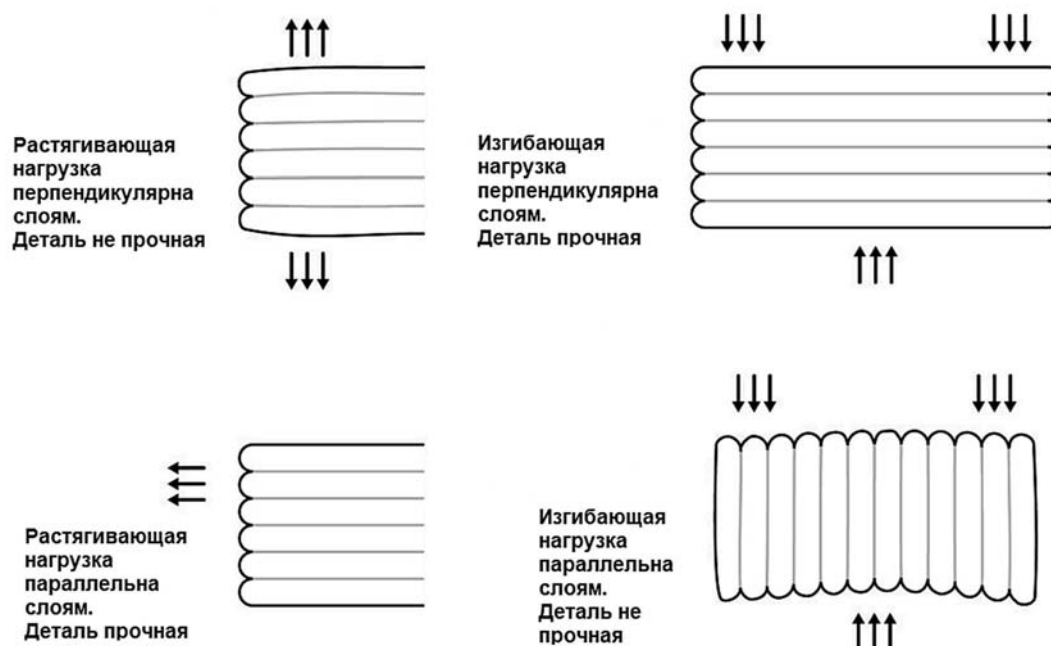


Рисунок 2.8 – Анизотропия FDM-печати

28 *Ориентация* характеризуется пространственным расположением модели при печати для получения поверхности с требуемым качеством.

29 *Размерная точность* – ожидаемая точность размеров и допусков конкретной технологии. Допуск детали в направлении печати составляет: $\pm$ толщина одного слоя.

2.4 Порядок выполнения лабораторной работы

- 1 Получить чертеж или CAD-модель детали у преподавателя.
- 2 Проанализировать информацию о детали: размеры и допуски, сложность геометрии, материал, качество поверхности, функциональное назначение.
- 3 Проанализировать и составить цепочку подготовки модели к печати с учетом выбранного типа технологии аддитивного производства. Проанализировать возможную оптимизацию конструкции детали и условий печати на основании правил дизайна.
- 4 Оформить отчёт.

2.5 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название лабораторной работы;
- цель работы;

- анализ технологичности конструкции детали;
- технологическая цепочка подготовки модели к печати;
- предложения по оптимизации конструкции детали и условий печати на основании правил дизайна;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Как и для каких целей производится оптимизация CAD-модели? Какие при этом применяются инструменты проектирования?
- 2 Какие три основные стратегии построения трехмерных моделей деталей для 3D-печати Вы знаете?
- 3 Что такое решетчатые структуры?
- 4 Что такое оптимизация топологии?
- 5 Что такое порождающее моделирование (генеративный дизайн)?
- 6 Что такое правила дизайна для аддитивного производства? Зачем они необходимы конструктору?
- 7 Что такое поддержки? Какие основные правила дизайна поддержек для технологий аддитивного производства Вы знаете?
- 8 Какие способы формирования резьбы на деталях в условиях аддитивного производства Вы знаете?
- 9 Что такое изотропность? Как анизотропность 3D-распечатков влияет на дизайн деталей в условиях аддитивного производства?
- 10 Какую размерную точность обеспечивают технологии аддитивного производства?

Тема 10. Проектное прототипирование.

Занятие 3 Трехмерное сканирование и основы работы с 3D-сканером модели EinScan-Pro

Цель работы: освоение методики трехмерного сканирования деталей на основе метода структурированного света с использованием 3D-сканера модели EinScan-Pro.

3.1 Оборудование, инструменты и приборы

- 1 Объекты исследования: твердотельные детали.
- 2 3D-сканер модели EinScan-Pro, штатив, поворотный стол, текстурная камера, набор маркеров, калибровочная пластина.
- 3 Рабочая станция или ноутбук.
- 4 Программное обеспечение EinScan-Pro.
- 5 Программное обеспечение SolidWorks.

3.2 Сканирование структурированным светом

3D-сканер – периферийное устройство, анализирующее форму объекта и на основе полученных данных создающее его 3D-модель.

3D-сканеры делятся на два типа по методу сканирования.

1 Контактный.

Такой метод основывается на непосредственном контакте сканера с исследуемым объектом.

2 Бесконтактный.

2.1 Активные сканеры: излучают на объект некоторые направленные волны и обнаруживают его отражение для анализа: чаще всего используется светодиодный или лазерный луч, реже – рентгеновские лучи, инфракрасное излучение или ультразвук.

2.2 Пассивные сканеры: не излучают ничего на объект, а полагаются на обнаружение отражённого окружающего излучения. Большинство сканеров такого типа обнаруживает видимый свет – легкодоступное окружающее излучение.

Существует пять основных методов сбора данных при 3D-сканировании.

1 Фотограмметрия. Программное обеспечение объединяет множество фотографий объекта, сделанных с различных ракурсов, и определяет координаты с помощью триангуляции.

2 Лазер. Сканер излучает лазерный луч. Луч отражается от объекта и возвращается в датчик, который определяет расстояние до поверхности.

3 Координатно-измерительные машины (КИМ). КИМ используют шуп, который контактирует с поверхностью объекта.

4 Компьютерная томография. Метод неразрушающего послойного исследования строения предмета, основанный на измерении и сложной компьютерной обработке рентгеновского излучения проходящего сквозь объект.

5 Структурированный свет. Проектор излучает световые узоры (паттерны), которые деформируются при отражении от объекта. Затем одна или несколько камер распознают 3D-геометрию с помощью алгоритмов триангуляции, как показано на рисунке 3.1.

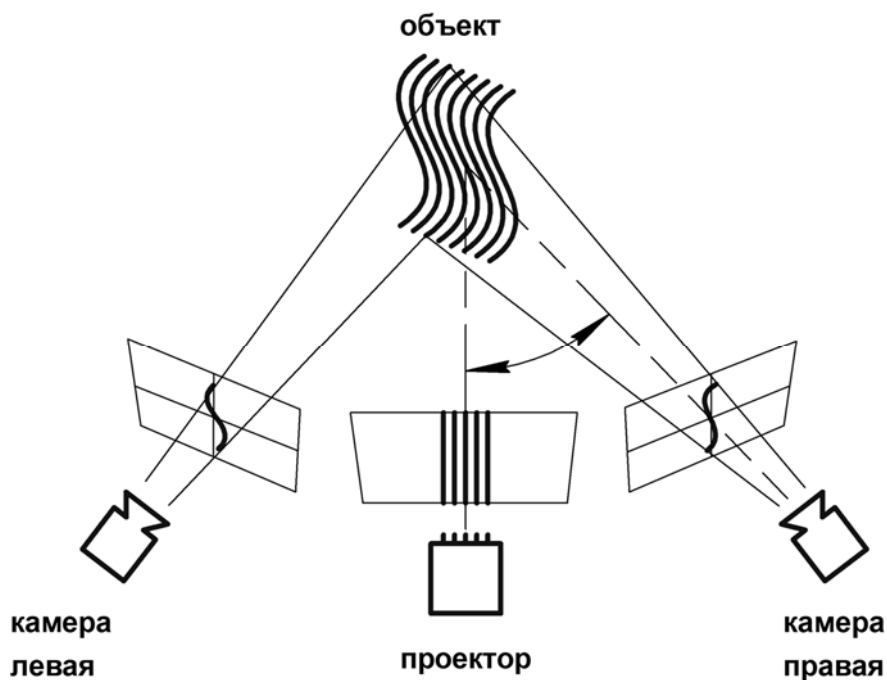


Рисунок 3.1 – Принцип сканирования структурированным светом

Процесс 3D-сканирования структурированным светом в общем случае представлен на рисунке 3.2 и состоит из следующих этапов:

- сканер собирает данные в виде точек, которые состоят из координат XYZ и, если есть такая опция, информацию о цвете (текстуре) и программное обеспечение 3D-сканера преобразует данные в облако точек;
- программное обеспечение 3D-сканера соединяет точки, создавая полигональную сетку;
- программное обеспечение CAD-проектирования преобразует файл полигональной сетки в файл твердотельной модели.

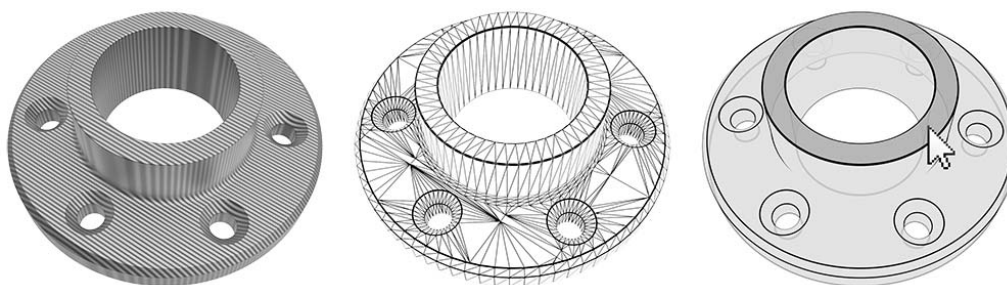


Рисунок 3.2 – Этапы 3D-сканирования

3.3 3D-сканер модели EinScan-Pro

Общий вид комплекта 3D-сканера модели EinScan-Pro представлен на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Комплект 3D-сканера EinScan-Pro

3D-сканер модели EinScan-Pro от компании SHINING 3D обладает следующим набором технических характеристик.

- 1 Режим работы: ручное HD-сканирование.
 - 1.1 Область сканирования: 0,03...4 м.
 - 1.2 Скорость сканирования: 15 кадров/с.
 - 1.3 Точность сканирования: 0,1 мм.
- 2 Режим работы: ручное быстрое сканирование.
 - 2.1 Область сканирования: 0,15...4 м.
 - 2.2 Скорость сканирования: 10 кадров/с.
 - 2.3 Точность сканирования: 0,3 мм.
- 3 Режим работы: автоматическое сканирование.
 - 3.1 Область сканирования: 0,03...0,15 м.
 - 3.2 Скорость сканирования: менее 2 с (один проход).
 - 3.3 Точность сканирования: 0,05 мм (один проход).
- 4 Режим работы: свободное сканирование.
 - 4.1 Область сканирования: 0,03...4 м.
 - 4.2 Скорость сканирования: менее 2 с (один проход).
 - 4.3 Точность сканирования: 0,05 мм (один проход).
- 5 Размер одного снимка: 210 × 150 мм.
- 6 Источник света: LED (белый).
- 7 Количество камер: 2 + 1 (две основные и одна камера для захвата текстур и цвета).
- 8 Поддерживаемые форматы: OBJ, STL, ASC, PLY, 3MF, P3.

9 Сканирование специальных объектов: для сканирования прозрачных, блестящих, темных объектов требуется применение специального спрея.

10 Дополнительное оборудование: калибровочная платформа, поворотный стол.

3.4 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получить деталь у преподавателя.

2 Проанализировать конструкцию детали: размеры, сложность геометрии, текстуру, труднодоступные участки. Подготовить деталь к 3D-сканированию.

3 Выполнить калибровку 3D-сканера модели EinScan-Pro, выполняя пошаговые рекомендации программного обеспечения EinScan-Pro.

4 В программном обеспечении EinScan-Pro создать новый проект, определить параметры сканирования и выполнить 3D-сканирование детали. Сформировать итоговый файл.

5 Проанализировать полученные результаты.

6 Оформить отчёт.

3.5 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- порядок калибровки 3D-сканера EinScan-Pro;
- анализ конструкции и порядок подготовки детали к 3D-сканированию;
- порядок 3D-сканирования детали и работа с программным обеспечением EinScan-Pro;
- ответы на контрольные вопросы;
- анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1 Что такое 3D-сканер? Какие основные элементы его конструкции Вы знаете?

2 Как работают пассивные сканеры?

3 Какие основные методы сбора данных при 3D-сканировании Вы знаете? В чем их отличие?

4 На чем основан метод структурированного света?

5 Какие режимы сканирования 3D-сканера модели EinScan-Pro Вы знаете?

Тема 11. Введение в аддитивные технологии.

Занятие 4 Изготовление деталей методом FDM-печати и основы работы на 3D-принтере

Цель работы: освоение методики 3D-печати на основе технологии FDM с использованием 3D-принтера.

4.1 Оборудование, инструменты и приборы

- 1 Объекты исследования: детали из термопластиков.
- 2 3D-принтер технологии FDM, набор филамента (ABS, PLA, PETG и др.), набор сопел.
- 3 Рабочая станция или ноутбук.
- 4 Программное обеспечение для слайсинга (Sli3er, Cura и др.).
- 5 Программное обеспечение для эмуляции 3D-печати (Repetier-Host и др.).
- 6 Программное обеспечение для 3D-моделирования (SolidWorks, Компас-3D и др.).

4.2 FDM-печать: процесс и оборудование

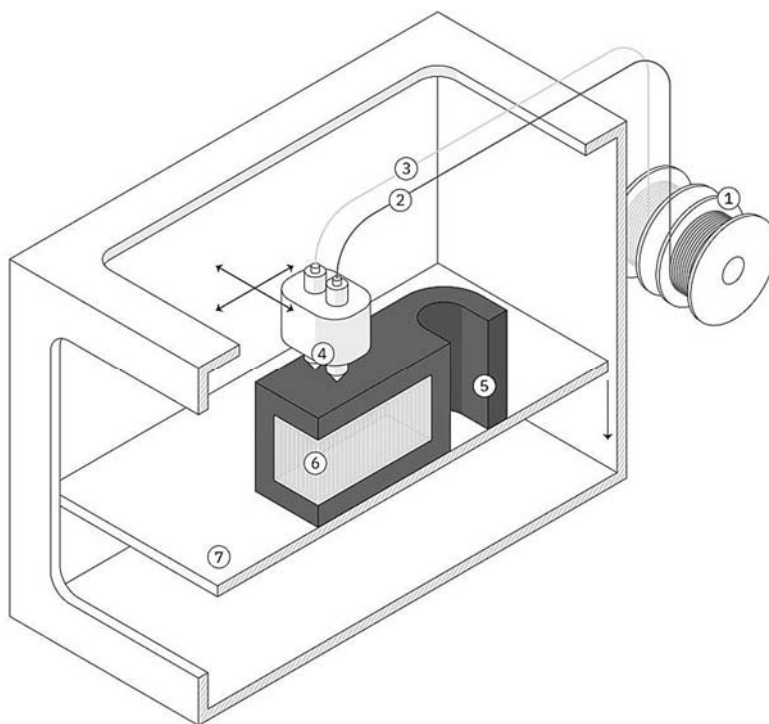
Моделирование методом послойного наплавления (FDM), также известное как изготовление методом плавления филамента (FFF), представляет собой процесс аддитивного производства, относящийся к категории экструзии материала. В FDM-печати объект создается путем выборочного нанесения расплавленного материала по заданному пути, слой за слоем, как показано на рисунке 4.1. Используемые материалы представляют собой термопластичные полимеры, которые выпускаются в форме нити (филамента).

Процесс FDM-печати заключается в том, что сначала в принтер загружается катушка термопластичной нити (филамента). Как только сопло достигает желаемой температуры, филамент подается в сопло через экструдер, где он плавится.

Экструдер прикреплен к трехосевой системе перемещения, которая позволяет рабочему органу перемещаться в осях X, Y и Z. Расплавленный материал подается тонкими полосками и укладывается слой за слоем в заранее определенных местах, где он охлаждается и затвердевает. Для ускорения охлаждения к экструдеру могут быть прикреплены кулеры (вентиляторы).

Для заполнения области построения требуется несколько проходов, аналогично закрашиванию прямоугольника маркером. Когда слой готов, платформа построения перемещается вниз (или в некоторых конфигурациях 3D-принтеров экструдер перемещается вверх) и наносится новый слой. Этот процесс повторяется до тех пор, пока деталь не будет завершена.

Большинство FDM-принтеров позволяют регулировать несколько параметров процесса. К ним относятся температура как сопла, так и платформы построения, скорость построения, высота слоя и скорость охлаждающего кулера.



1 – катушка филамента; 2 – главный филамент; 3 – филамент поддержек; 4 – экструдер; 5 – деталь; 6 – поддержки; 7 – платформа построения

Рисунок 4.1 – Принцип работы и конструкция FDM-принтера

Чтобы сократить время печати и сэкономить материал, детали при FDM-печати обычно не печатаются сплошными. Вместо этого внешний периметр, называемый оболочкой, трассируется с использованием нескольких проходов, а внутренний, называемый заполнением, заполняется внутренней структурой с низкой плотностью.

4.3 FDM-печать: материалы

Одной из сильных сторон FDM-печати является широкий спектр доступных для использования материалов, который включает в себя обычные термополимеры (такие как PLA и ABS), конструкционные материалы (такие как PA, TPU и PETG) и термополимеры с высокими эксплуатационными характеристиками (такие как PEEK и PEI).

Преимущества и недостатки материалов FDM-печати.

ABS:

- + хорошая прочность, стойкость к истиранию и термостойкость;
- + возможна постобработка парами ацетона для придания блеска;
- + постобработка: шлифование, полирование, покраска;
- + ацетон также можно использовать в качестве сильного клея;
- более подвержен деформации;
- чувствительный к ультрафиолетовому излучению;
- запах при печати и потенциально высокие выбросы дыма.

PLA:

- + отличное визуальное качество;
- + легко печатать детали из материала;
- + биоразлагаемый и отсутствие запаха;
- + постобработка: шлифование, полирование, покраска;
- + хорошая устойчивость к ультрафиолетовому излучению;
- низкая ударная вязкость;
- низкая влагостойкость;
- плохо склеивается.

Nylon (PA):

- + высокая прочность и износостойкость;
- + хорошая химическая стойкость;
- низкая влагостойкость;
- потенциально высокие выбросы дыма.

PETG:

- + безопасный для пищевых продуктов;
- + хорошая прочность и хорошая стойкость к истиранию;
- + легко печатать детали из материала;
- + высокая влагостойкость и химическая стойкость;
- + перерабатываемый;
- + постобработка: шлифование, полирование, покраска;
- тяжелее, чем PLA и ABS.

TPU:

- + очень гибкий;
- + хорошая стойкость к истиранию;
- + хорошая стойкость к маслам и жирам;
- затруднена постобработка;
- затруднена печать деталей с высокой точностью;
- плохо склеивается.

PEI:

- + отличная прочность по отношению к весу;
- + отличная огнестойкость и химическая стойкость;
- высокая стоимость.

PC:

- + возможно обеззараживание (стерилизация);
- + простота последующей обработки (шлифование);
- чувствительный к ультрафиолетовому излучению.

4.4 FDM-печать: постобработка

3D-печать FDM лучше всего подходит для экономичных прототипов, производимых в короткие сроки. Линии слоев обычно присутствуют на распечатках FDM, что делает постобработку необходимым этапом, если требуется гладкая поверхность детали. Некоторые методы постобработки также

могут повысить прочность распечатков, помогая уменьшить анизотропное поведение деталей FDM.

Основные методы постобработки после FDM-печати:

- удаление поддержки (support removal): стандартные и растворимые;
- шлифование (sanding) и полировка (polishing);
- холодная сварка (cold welding);
- заполнение пропусков (gap filling);
- грунтовка и покраска (priming and painting);
- сглаживание парами растворителя (vapor smoothing);
- погружение в растворитель (dipping);
- эпоксидное (epoxy coating) и металлическое покрытие (metal plating).

4.5 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получить чертеж или CAD-модель детали у преподавателя.

2 Проанализировать информацию о детали: размеры и допуски, геометрию, материал, функциональное назначение, качество поверхности.

3 Выполнить оптимизацию конструкции детали – задать параметры печати и произвести операцию слайсинга – проверить управляющую программу в эмуляторе – при необходимости внести корректировки – загрузить управляющую программу в 3D-принтер – при необходимости заменить материал филамента – запустить печать – по окончании печати произвести анализ и дать рекомендации по постобработке детали.

4 Оформить отчёт.

4.6 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название и цель лабораторной работы;
- анализ конструкции и порядок подготовки детали к 3D-печати;
- порядок FDM-печати детали;
- рекомендации по постобработке детали после 3D-печати;
- ответы на контрольные вопросы;
- анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1 Как работает принтер для FDM-печати?

2 Какие материалы применяются для FDM-печати?

3 Что такое филамент?

4 Какие основные методы постобработки деталей после FDM-печати Вы знаете?

5 Какие ограничения присущи 3D-печати по технологии FDM?

Тема 11. Введение в аддитивные технологии.

Занятие 5 Изготовление металлических деталей методом SLM-печати и основы работы на 3D-принтере модели EP-M250

Цель работы: освоение методики 3D-печати на основе технологии SLM с использованием 3D-принтера модели EP-M250.

5.1 Оборудование, инструменты и приборы

- 1 Объекты исследования: детали из металлического порошка.
- 2 3D-принтер технологии SLM модели EP-M250, металлический порошок (316L и др.).
- 3 Рабочая станция или ноутбук.
- 4 Программное обеспечение для слайсинга (EPHatch и др.).
- 5 Программное обеспечение для 3D-моделирования (SolidWorks, Компас-3D и др.).

5.2 SLM-печать: процесс и оборудование

Селективное лазерное плавление (SLM) – это процесс аддитивного производства металлов, который относится к семейству 3D-печати методом сплавления в порошковом слое. Технология использует лазер для сканирования и выборочного плавления частиц металлического порошка, связывая их вместе и создавая деталь слой за слоем. Материалы, используемые в процессе, представляют собой металлы в гранулированной форме как показано на рисунке 5.1. SLM использует металлические порошки с одной температурой плавления и полностью расплавляет частицы. SLM-печать используется в промышленности для создания конечных инженерных продуктов.

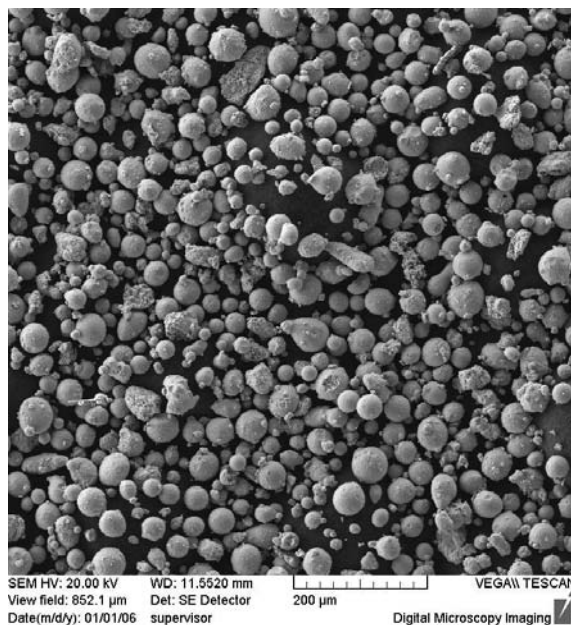
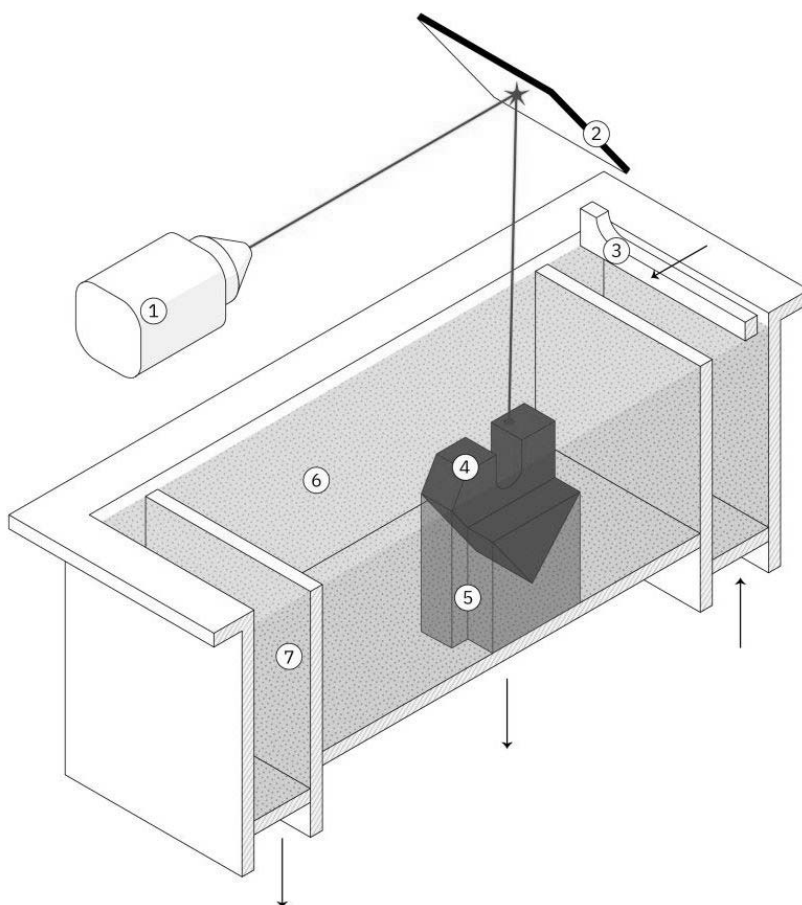


Рисунок 5.1 – Частицы металлического порошка для SLM-печати

В начале процесса подготовки печати на SLM-принтере (рисунок 5.2) камера сборки заполняется инертным газом (аргон, азот), чтобы свести к минимуму окисление металлического порошка, а затем нагревается до оптимальной температуры. Нагреву подлежит и платформа построения.



1 – лазер; 2 – система сканирующих зеркал; 3 – ракель (рекоутер); 4 – деталь; 5 – поддержки; 6 – металлический порошок; 7 – пересыпной бункер

Рисунок 5.2 – Принцип работы и конструкция SLM-принтера

Тонкий слой металлического порошка распределяется по платформе построения, и мощный лазер сканирует поперечное сечение компонента, расплавляя металлические частицы вместе и создавая следующий слой.

Когда процесс сканирования завершен, платформа построения перемещается вниз на один слой толщины, а ракель (рекоутер) наносит ещё один тонкий слой металлического порошка. Процесс повторяется до тех пор, пока печать не будет завершена.

Когда процесс печати закончен, детали полностью инкапсулируются в металлический порошок. В отличие от процесса сплавления полимерного порошкового слоя (например, SLS), детали прикрепляются к платформе сборки через опорные конструкции. Опора в 3D-печати металлом изготавливается из того же материала, что и деталь, и всегда необходима для уменьшения

воздействия деформаций, которые могут возникнуть из-за высоких температур обработки.

5.3 SLM-печать: материалы

SLM-печать позволяет производить детали из широкого спектра металлов и металлических сплавов, включая алюминий, нержавеющую сталь, титан, кобальт-хром и инконель. Эти материалы удовлетворяют потребности большинства промышленных применений, от аэрокосмической до медицины. Драгоценные металлы, такие как золото, платина, палладий и серебро, также могут быть обработаны, но их применение ограничено и в основном ограничивается изготовлением ювелирных изделий. Стоимость металлического порошка очень высока. По этой причине минимизация объема деталей и потребности в поддержках являются ключом к максимально возможному снижению стоимости. Ключевым преимуществом 3D-печати металлом является его совместимость с высокопрочными материалами, такими как никелевые или кобальт-хромовые суперсплавы, которые очень трудно обрабатывать традиционными методами производства.

Преимущества и недостатки материалов SLM-печати.

Алюминиевые сплавы:

- + хорошие механические и термические свойства;
- + низкая плотность;
- + хорошая электропроводность;
- низкая твёрдость.

Нержавеющая сталь и инструментальная сталь:

- + высокая износостойкость и твёрдость;
- + хорошая пластичность и свариваемость.

Титановые сплавы:

- + устойчивость к коррозии;
- + отличное соотношение прочности и веса;
- + низкое тепловое расширение;
- + биосовместимость.

Кобальт-хромовые суперсплавы:

- + отличная износостойкость и коррозионная стойкость;
- + отличные свойства при повышенных температурах;
- + очень высокая твердость;
- + биосовместимость.

Никелевые суперсплавы (инконель):

- + отличные механические свойства;
- + высокая коррозионная стойкость;
- + термостойкость до 1200 °C и применение в экстремальных условиях.

Драгоценные металлы:

- + использование в ювелирном деле.

5.4 SLM-печать: постобработка

Этап 3D-печати – это только начало производственного процесса изготовления деталей по технологии SLM. После завершения печати требуется несколько (обязательных или необязательных) этапов постобработки, прежде чем детали будут готовы к использованию. К обязательным этапам постобработки относятся:

- снятие внутренних напряжений: из-за очень высоких температур обработки во время печати возникают внутренние напряжения. Перед любой другой операцией их необходимо снять с помощью термической обработки;

- удаление деталей: при SLM-печати детали по существу привариваются к платформе построения. Здесь применяется резка на проволочном электроэрозионном станке, резка на ленточнопильном станке, резка на дисково-отрезном станке;

- удаление поддержки: поддержки в SLM всегда требуются для уменьшения коробления и деформаций, возникающих во время печати. Поддержки удаляются вручную или обрабатываются на станках с ЧПУ.

Для соответствия технической документацией часто требуются дополнительные этапы постобработки. К ним могут относиться:

- обработка на станках с ЧПУ: обработка используется в качестве чистового этапа когда требуются более жесткие допуски, чем стандарт $\pm 0,1$ мм. Для данного типа постобработки применяются минимальные припуски;

- термическая обработка: для улучшения свойств материала детали можно использовать термическую обработку или горячее изостатическое прессование (HIP);

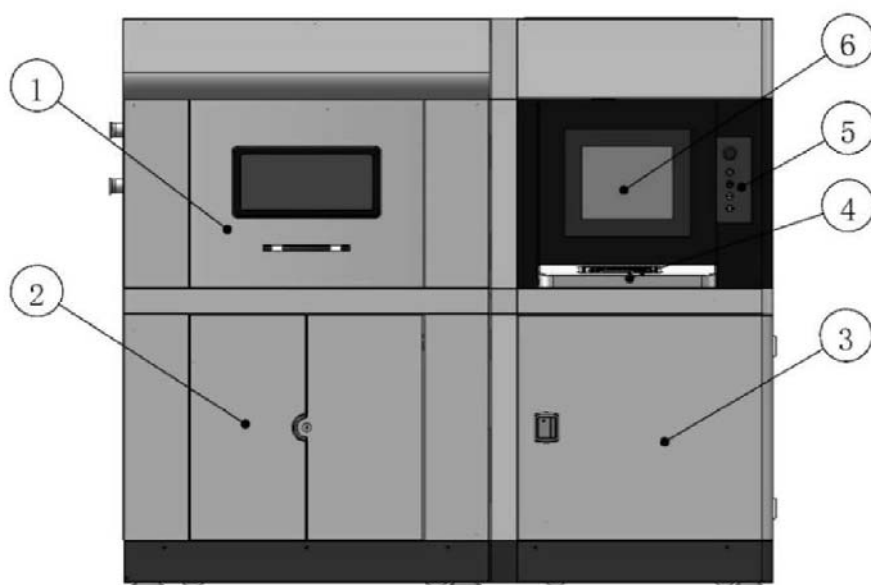
- сглаживание (полировка): для некоторых применений требуется более гладкая поверхность, чем стандартная шероховатость $Ra = 10$ мкм при SLM-печати. Обработку можно производить на универсальных станках и станках с ЧПУ, вибро- или химической полировкой, галтованием, пескоструйной обработкой и др.

5.5 3D-принтер технологии SLM-модели EP-M250: конструкция

EP-M250 – это промышленная установка для селективного лазерного плавления, выпущенная компанией E-Plus 3D (входит в концерн SHINING 3D). Машина плавит порошок слой за слоем с помощью высокоэнергетического лазера и формирует его в твердое металлическое тело на основе принципов послойного производства.

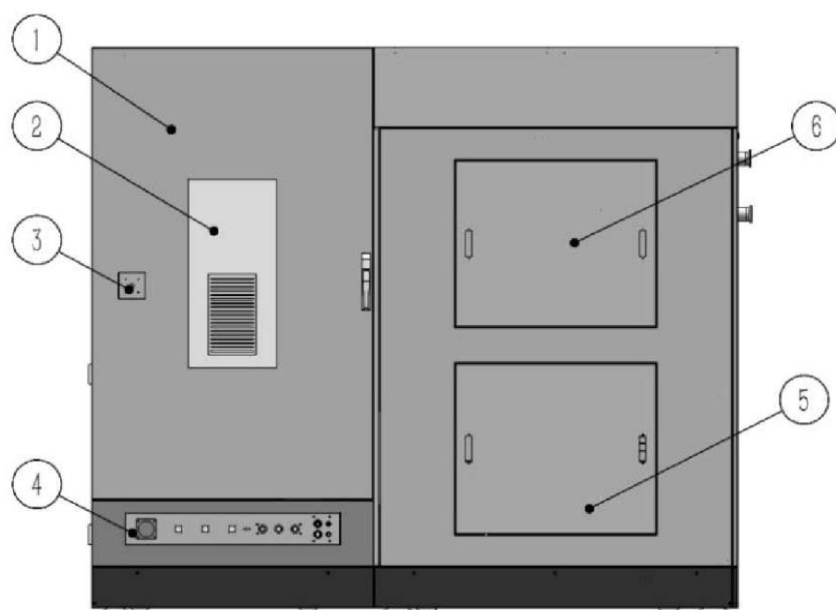
3D-принтер может использоваться для обработки промышленных изделий в таких областях, как аэрокосмическая промышленность, медицинские имплантаты, зубные протезы, пресс-формы, инструменты, детали специальной формы, ювелирные изделия и т. д. Комплекс EP-M250 также может использоваться в научных исследованиях и разработках, в образовании и в других отраслях.

Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (установка подготовки газа не показана) представлен на рисунках 5.3–5.5.



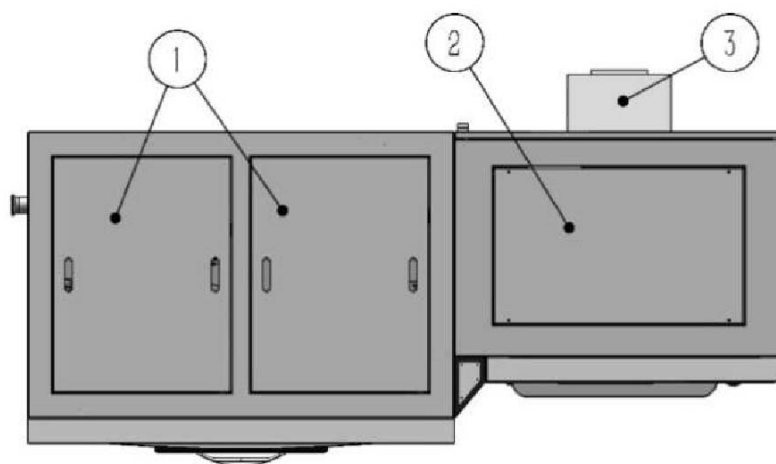
1 – передняя дверь верхней камеры; 2 – передняя дверь нижней камеры; 3 – передняя дверь электрического шкафа управления; 4 – операционная клавиатура; 5 – панель подключения управления; 6 – главный экран управления

Рисунок 5.3 – Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (фронтальный вид)



1 – главная дверь электрического шкафа управления; 2 – кондиционер; 3 – главный выключатель питания; 4 – модуль электрического соединения; 5 – нижняя дверь главной машины; 6 – верхняя дверь главной машины

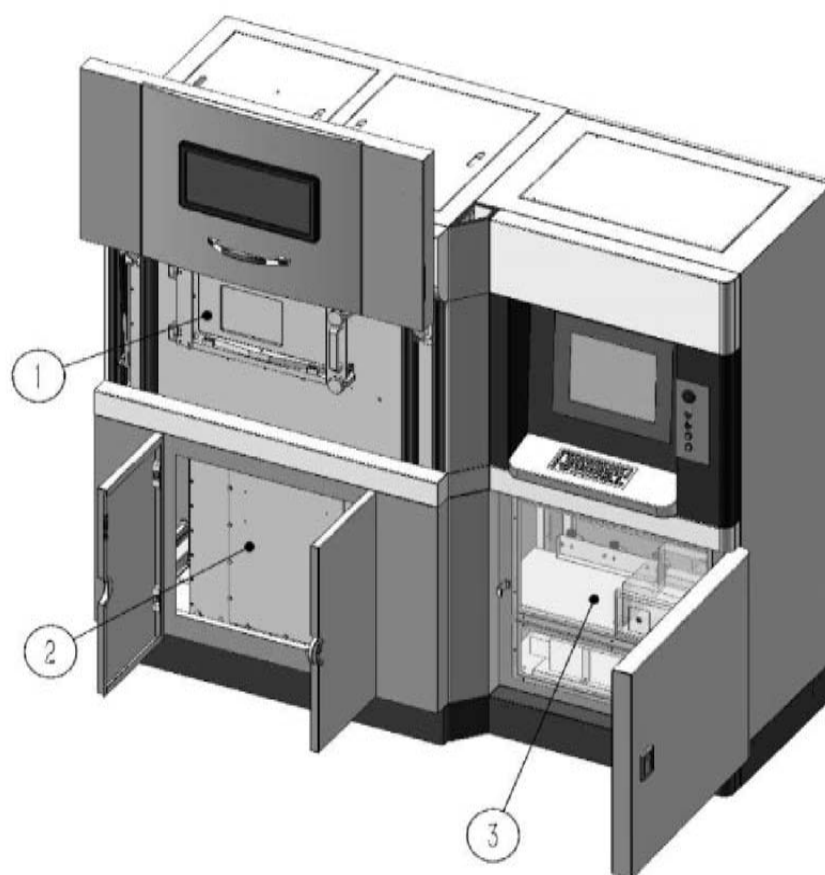
Рисунок 5.4 – Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (задний вид)



1 – верхняя крышка; 2 – верхняя крышка электрического шкафа; 3 – кондиционер

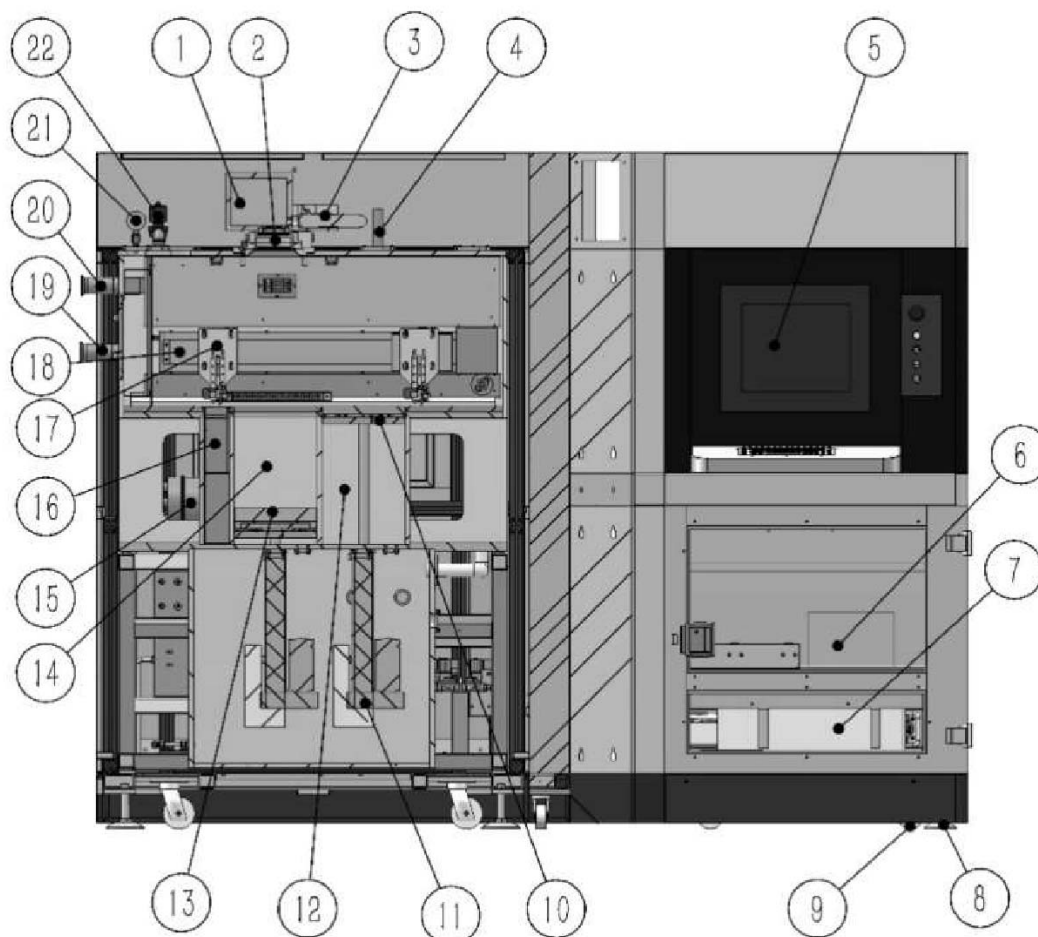
Рисунок 5.5 – Внешний вид 3D-принтера модели EP-M250 (вид сверху)

Основная внутренняя структура 3D-принтера показана на рисунках 5.6–5.8.



1 – внутренняя защитная дверь верхней камеры; 2 – внутренняя защитная дверь нижней камеры; 3 – промышленный компьютер и порт доступа к лазеру

Рисунок 5.6 – Внутренняя структура 3D-принтера модели EP-M250 (фронтальный вид)



1 – гальванометр; 2 – полевое зеркало; 3 – коллиматор (расширитель луча); 4 – датчик давления; 5 – экран; 6 – промышленный компьютер; 7 – оптоволоконный лазер; 8 – опора; 9 – ролик; 10 – поршень привода подачи материала; 11 – линейный привод подачи материала; 12 – цилиндр привода подачи; 13 – поршень платформы построения; 14 – формовочный цилиндр; 15 – блок фильтрации отработавших газов; 16 – бункер для порошка; 17 – ракель; 18 – линейный привод ракеля; 19 – воздухозаборный канал; 20 – возвратный воздуховод; 21 – манометр; 22 – электромагнитный клапан выпускной камеры

Рисунок 5.7 – Внутренняя структура 3D-принтера модели EP-M250 (задний вид)

Функции каждого компонента структуры 3D-принтера следующие.

Гальванометр: основная функциональная часть лазерного сканирования, используемая для управления сканированием лазерного луча в эффективном поле зрения.

Коллимационный расширитель луча: изменение диаметра и угла расходимости луча, излучаемого лазером.

Полевое зеркало: фокусировка лазерного луча.

Датчик давления (манометр): определение давления в камере в режиме реального времени во время работы.

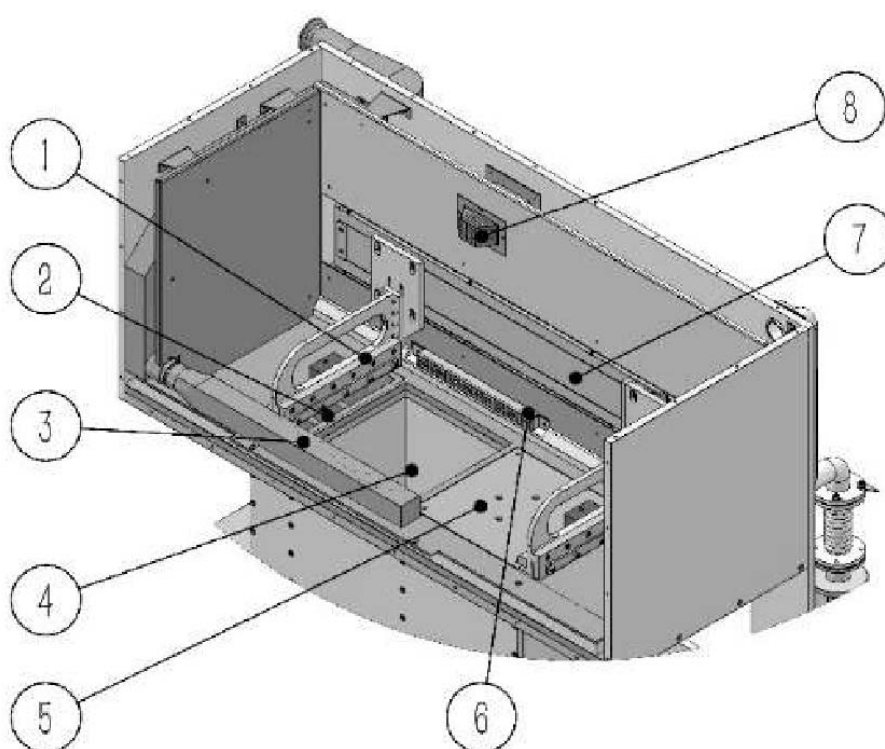
Блок фильтрации отработавших газов: фильтрация газов, выходящих из машины.

Линейный привод ракеля: приводит в движение систему для повторного нанесения покрытия от подающей платформы к платформе построения. Металлический порошок в подающей платформе равномерно распределяется по платформе построения вместе с движением ракеля.

Поршень привода подачи и платформы построения: носитель порошка и деталей.

Воздухозаборный канал и возвратный воздуховод: перенос пыли и пепла, образовавшегося в результате лазерного плавления порошка, в пылеуловитель и возврат отфильтрованного газа в технологическую камеру.

Электромагнитный клапан выпускной камеры: снижение избыточного давления, обеспечивающее поддержание давления в камере в определенном диапазоне.



1 – ракель; 2 – пересыпной канал бункера; 3 – всасывающий патрубок; 4 – платформа построения; 5 – подающая платформа (фидер); 6 – нижний выход инертного газа; 7 – линейный привод ракеля; 8 – верхний выход инертного газа

Рисунок 5.8 – Принципиальная схема формовочной камеры

5.6 Порядок выполнения лабораторной работы

1 Получить чертеж или CAD-модель детали у преподавателя.

2 Проанализировать информацию о детали: размеры и допуски, геометрию, материал, функциональное назначение, качество поверхности.

3 Выполнить оптимизацию конструкции детали – задать параметры печати и произвести операцию слайсинга – загрузить управляющую программу в 3D-принтер – проверить управляющую программу в эмуляторе – при необхо-

димости внести корректировки – запустить печать – по окончании печати произвести анализ и дать рекомендации по постобработке детали.

4 Оформить отчёт.

5.7 Содержание отчета

Отчёт по лабораторной работе выполняется на отдельных листах бумаги или в тетради. Он должен содержать следующее:

- название и цель лабораторной работы;
- анализ конструкции и порядок подготовки детали к 3D-печати;
- порядок SLM-печати детали;
- рекомендации по постобработке детали после 3D-печати;
- ответы на контрольные вопросы;
- анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Как работает принтер для SLM-печати?
- 2 Какие материалы применяются для SLM-печати?
- 3 Какие технические газы применяются для SLM-печати?
- 4 Какие существуют методы постобработки деталей после SLM-печати?
- 5 Какие ограничения присущи 3D-печати по технологии SLM?
- 6 Какие основные элементы внешней конструкции 3D-принтера модели EP-M250 Вы знаете?
- 7 Какие основные элементы внутренней структуры 3D-принтера модели EP-M250 Вы знаете?
- 8 Какое функциональное назначение каждого из основных элементов структуры 3D-принтера модели EP-M250?
- 9 Что такое рапель, материал и назначение?
- 10 Какой тип лазерного источника установлен в 3D-принтере модели EP-M250?

Список литературы

- 1 **Calderaro, D. R.** Selection of additive manufacturing technologies in productive systems : a decision support model / D. R. Calderaro, D. P. Lacerda, D. R. Veit // Gestao & Producao. – 2020. – № 3. – P. 1–45.
- 2 Knowledge base. Design guidelines. Hubs [Electronic resource]. – 2022. – Made of access: <https://www.hubs.com/knowledge-base/design-guidelines/>. – Date of access: 10.01.2022.
- 3 **Зленко М. А.** Аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина. – Санкт-Петербург : Политехн. ун-т, 2013. – 200 с.