**Skolkovo Junior Challenge. Промтех. Кубсаты.**

**Участникам команды *«Los Beatles»* являются:**

* **Севрюк Даниил** – Руководитель проекта, ответственный за оформление пояснительной записки и презентации.
* **Степанюк Аврора** – Проектирование и производство CubeSat, оформление презентации, технология обработки металлов.
* **Мацаль Ева** – экономический анализ и описание, а также экономический расчет и сравнение.
* **Турейский Леонид** – жизненный цикл космического аппарата, технический анализ МТО на базе Сколковского Института Науки и Технологий.

**Цель:**

* изучить этапы производства и проектирования CubeSat, провести научно-технический анализ

**Задачи:**

* провести анализ проектирования и производства CubeSat, а также современных материалов.
* Определить наиболее перспективные технологии производства и описать их на основе физических процессов, лежащих в их основе.
* Составить экономический расчет по выявленным ключевым характеристикам.
* Создать оценочную 3D модель аппарата в САПР Autodesk Fusion 360.
* Описать жизненный цикл спутника.
* Провести технический анализ на основе МТО Сколково.

**Строение Космического Аппарата:**

Космический аппараты зачастую оснащены множеством бортовых компьютеров для проведения исследований, а также для управления ориентацией, подруливающими устройствами и коммуникациями.

Миниатюрные компоненты, обеспечивающие управление ориентацией, состоят из маховиков, движителей, звездных трекеров, датчиков Земли и Солнца, датчиков угловых скоростей, GPS-приемников и антенн.

Для связи CubeSat полагается на антенну, которая работает в *VHF, UHF, L-, S-, C- или X-диапазонах.* [2]

**Использованное оборудование:**

* Плата магнитной стабилизации;
* *УКВ-восходящий/УВЧ-нисходящий* полнодуплексный трансивер;
* Электрическая энергетическая система iEPS;
* Бортовой компьютер;
* Корпус (из сплава Алюминия Д16Т);
* Солнечные панели (боковые и торцевые);

**Технологии производства деталей:**

**Фрезерование** — это механическая обработка резанием плоскостей, пазов, лысок, при которой режущий инструмент (фреза) совершает вращательное движение, а обрабатываемая заготовка — поступательное.  
**Этапы процесса:**

* Изделие осторожно подводят со стороны поверхности, необходимой для обработки, к фрезеру, который в это время вращается.
* Отведя стол, отключают шпиндель, чтобы он не вращался.
* После этого нужно задать требуемую глубину прорезания.
* Запускают шпиндель.
* Изделие, расположенное на столе, вместе с ним подводят к стыковке с фрезой.

Обработку металлических деталей цилиндрической фрезой производят при длине фрезы на 10-15 мм более, чем есть изделие, а диаметр её подбирается, исходя из толщины разрезания и ширины. Производительность предприятия будет высокой при использовании набора фрез, так как во многом упрощается задача. Все зависит от применяемых фрез, а это: совместные фрезы, зубила, двумя дисками одновременно, набора фрез, расположенных с разных боков заготовки и пр. Фрезерование плоскостей несколькими торцевыми фрезами делает сразу несколько обрезаний, а также исключает удары при работе.  
  
Современные технологии позволяют проводить безопасную и с меньшим процентом брака обработку на токарно-фрезерных станках, оборудованных системами ЧПУ. В некоторых случаях, как при обработке деталей повышенной твердости, можно на них делать шлифовку. Они гарантируют получение изделий по максимуму точной геометрической формы, а также производительность.

**Плюсы:**

* создание рельефа при наличии насадок для гравировки;
* работа с толстыми плитами и листами;
* высокая точность;
* получение сложной геометрической поверхности;
* низкий процент брака;
* безопасность благодаря отсутствию нагрева, приводящего к выделению токсичных веществ;
* возможность автоматической смены используемых головок;

**Минусы:**

* низкая скорость движения головки
* необходимость в надежной фиксации заготовки;
* высокий радиус скругления углов, что неприемлемо для некоторых задач;
* большие затраты материала, не бережное производство
* сложность обработки хрупких материалов.

**Литье** - Изготовление заготовки или изделия из жидкого материала заполнением им полости заданных форм и размеров с последующим затвердением.

**Изготовлении деталей методом литья:**

* Статический, при котором расплавленный металл заполняет закрепленную форму. При охлаждении застывает и вынимается. Получаются отливки простейшей конфигурации.
* В металлические формы (кокиль);
* Отливка под давлением;
* В оболочковые формы;
* В выплавляемые модели;

**Кокильное литье.**

Технологический процесс состоит из заливки металла при температуре плавления в форму кокиль без принудительного давления. Форма состоит из двух частей, которые соединяются замками. Внутренняя полость кокиля очищается и покрывается слоем огнеупорной краски, для предохранения внутренней поверхности от соприкосновения с расплавами. В конце процесса, чтобы вынуть готовое изделие форма охлаждается либо естественным путем, либо принудительно. Все элементы конструкции чугунные или стальные.

**Достоинства метода:**

* стабильные характеристики свойств отливок.
* доступно получение сложных конфигураций изделий.
* реальное создание автоматизированного процесса из-за редкой замены кокиля. Не тратится время на операцию.
* достаточно экологически чистое производство.

**Недостатки:**

* Быстрота охлаждения не подходит всем изготовляемым деталям.
* Выгодно использовать процесс только для больших объемов выпускаемых изделий, чугунный кокиль 20 крупных и 400 небольшого размера изделий за год.

**Отливка под давлением.**

**Принцип процесса** – *формирование отливки под давлением в интервале 7 – 700 МПа.* Пресс-поршень двигает горячий сплав в полость формы. Затем отливки затвердевают и выталкиваются. Детали получаются с характеристиками, близкими к заданным значениям.

**Преимущества метода:**

* Большой выпуск изделий за единицу времени.
* Удешевление производства за счет длительного использования одной формы. Отработанные части конструкции подвергаются переплавке. Получается работа без отходов.

**Недостатки:**

* Нельзя выполнять изделия сложной конструкции, при вынимании из рабочей камеры, они деформируются.

**Порошковая металлургия:**

**Порошковая металлургия** — технология получения металлических порошков и изготовления изделий из них (или их композиций с неметаллическими порошками). В общем виде технологический процесс порошковой металлургии состоит из четырёх основных этапов: производство порошков, смешивание порошков, уплотнение (прессование, брикетирование) и спекание.

**Приготовление смеси**

**Смешивание** — это приготовление с помощью смесителей однородной механической смеси из металлических порошков различного химического и гранулометрического состава или смеси металлических порошков с неметаллическими. Смешивание является подготовительной операцией. Некоторые производители металлических порошков для прессования поставляют готовые смеси.

**Формование порошка**

Формование изделий осуществляется путём холодного прессования под большим давлением (30-1000 МПа) в металлических формах. Обычно используются жёсткие закрытые пресс-формы, пресс-инструмент ориентирован, как правило, вертикально. Смесь порошков свободно засыпается в полость матрицы, объёмная дозировка регулируется ходом нижнего пуансона. Прессование может быть одно- или двусторонним. Пресс-порошок брикетируется в полости матрицы между верхним и нижним пуансоном (или несколькими пуансонами в случае изделия с переходами). Сформированный брикет выталкивается из полости матрицы нижним пуансоном. Для формования используется специализированное прессовое оборудование с механическим, гидравлическим или пневматическим приводом. Полученная прессовка имеет размер и форму готового изделия, а также достаточную прочность для перегрузки и транспортировки к печи для спекания.

**Спекание**

Спекание изделий из однородных металлических порошков производится при температуре ниже температуры плавления металла. С повышением температуры и увеличением продолжительности спекания увеличиваются усадка, плотность, и улучшаются контакты между зёрнами. Во избежание окисления спекание проводят в восстановительной атмосфере (водород, оксид углерода), в атмосфере нейтральных газов (азот, аргон) или в вакууме. Прессовка превращается в монолитное изделие, технологическая связка выгорает (в начале спекания).

**Плюсы:**

* Повышенная термостойкость;
* лучше переносят циклические перепады температур и напряжения деформации;

**Минусы:**

* Cсравнительно высокая стоимость металлических порошков;
* Необходимость спекания в защитной атмосфере;
* Невозможность изготовления в некоторых случаях заготовок больших размеров;
* Необходимость использования чистых исходных порошков для получения чистых металлов;

**Индустрия 4.0:**

**Индустрия 4.0** ведет к массовым внедрениям киберфизических систем в производстве, к автоматизации большинства производственных процессов, наделению устройств искусственным интеллектом и внедрению многих других современных технологий. Все это существенно сказывается на повышении производительности и снижении себестоимости продукции. [3]

Четвертая промышленная революция берет начало в 2011 году, как Германская частно-государственная программа industrie 4.0, в рамках которой германские компании при поддержке федерального правительства в виде грантов создают цифровые, умные производства, устройства и изделия которых взаимодействуют друг с другом, и обеспечивают персонализированный выпуск продукции.

**Принципы Индустрии 4.0:**

В Германии были сформулированы некоторые принципы Индустрии 4.0:

1. **Совместимость** – все устройства и машины должны уметь общаться друг с другом на одном языке посредством интернета вещей, т. е. они должны быть совместимы.

2. **Прозрачность** – создание цифровой копии продукта, сбор данных с микрочипов и датчиков, посредством которых устройства общаются.

3. **Техническая поддержка**– программное обеспечение производит сбор, анализ, систематизацию, визуализацию данных, полученных с датчиков, и помогает человеку принимать решение или принимает их в автоматическом режиме, тем самым высвобождая человеческие ресурсы.

4. **Децентрализация управленческих решений**, **автоматизация различных решений системами**, *максимально полное человекозамещение*.

**Жизненный цикл CubeSat:**

Первый этап – это проектирование. В самом начале нужно получить лицензию на космические полеты. После этого нужно выбрать материалы для CubeSat в соответствии со спецификацией. Когда материалы выбраны, надо спроектировать сам космический объект, придумать, как расставить все необходимое оборудование в пределах 10 х 10 см (или больше, это зависит от того, какой стандарт).  
Следующим этапом является производство. В этом этапе необходимо закупить оборудование и материалы, и собрать сам CubeSat.  
После этого идет следующий этап – тестирование. В это входит проверка на соответствия аппарата требования международной спецификации. Кроме проверки на соответствие стандартам, космический аппарат должен пройти проверку физической силой. В эту проверку входит проверка на устойчивость к вибрации, перепадам температур, перепадам давления, проверка силы магнитного поля. Также в этот этап входит поиск неочевидных ошибок в проектировании аппарата и серьезных ошибок, которые проявляются в условиях, в которых аппарат не был протестирован.  
Если в ходе предыдущего этапа были найдены проблемы, то устройство необходимо доработать и исправить ошибки. Когда ошибки исправлены, то следующий этап – это запуск.  
В этом этапе необходимо найти компанию, которая занимается запуском частных спутников в космос, заплатить ей за запуск и дать готовый CubeSat. В компании устройство могут дополнительно протестировать. После этого аппарат ждет запуска. Когда приходит очередь спутника его запускают и при покидании корабля-носителя в космическом аппарате активируются вся электроника, необходимая для его функционирования, сбора и передачи информации на землю.  
Потом спутник летает по орбите, а спустя какое-то время сгорает в атмосфере.

**Технический анализ:**

**Технический анализ** (оценить ограничения применяемых технологий в рамках имеющегося материально-технического оснащения (МТО) на базе Сколковского Института Науки и Технологий, а также с учетом общепринятых условий эксплуатации и тестирования аппаратов)

**Ограничения в общепринятых условиях эксплуатации:**

* Запускать не более 100 киловатт в час (3.1.6)
* Магнитная индукция не более 0.5 гаусс от магнитного поля земли (3.1.10) – опционально и не очень важно. 3.3.9.1 про то же
* 3.2.10-3.2.13 – ограничению по весу
* 3.2.14 – ограничение по центру.
* 3.4.5 – что-то может пойти не так, а разработчики не узнают (но это скорее не ограничение, а я сам придумал)

**Ограничение в общепринятых условиях тестирования:**

* Нельзя запустить некачественный аппарат

Рамки имеющегося материально-технического оснащения (МТО) на базе Сколковского Института Науки и Технологий

**Производство:**

* Имеется все необходимое оборудование

Экономический расчет по выявленным ключевым характеристикам

Мы выбрали **алюминий Д16Т**, как основу для корпуса, потому что у него:

* стабильная структура;
* высокие прочные характеристики;
* легче остальных стальных изделий;
* повышенное сопротивление микроскопической деформации в процессе эксплуатации; [4]

Так же мы выбрали именно такие служебные системы потому, что они являются основными составляющими космического аппарата и более выгодными. Общая стоимость служебных систем обойдется в 2.349.914 рублей. [5]

Цена испытаний самого аппарата, транспортировки и отправки в космос составляет около 761.300 рублей.

Таким образом полная стоимость сборки и запуска аппарата в космос оценивается в 3.220.814 рублей.

**Источники:**

**1.** Официальная спецификация CubeSat.

(https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/56e9b62337013b6c063a655a/1458157095454/cds\_rev13\_final2.pdf)

**2**. Миниатюрные спутники стандарта CubeSat. (https://www.researchgate.net/publication/311675796\_Miniaturnye\_sputniki\_standarta\_CubeSat)

**3.** Четвёртая промышленная революция: интернет вещей, циркулярная экономика и блокчейн (http://www.furfur.me/furfur/changes/changes/216447-4-aya-promyshlennaya-revolyutsiya)

**4.** Д16т характеристики и расшифровка марки. (https://cu-prum.ru/alyuminij1/splav-d16t.html)

**5.** Официальный сайт ISISpace. Магазин компонентов для CubeSat. (https://www.isispace.nl/building-blocks/cubesat-subsystems/)