

Методические рекомендации по решению задач  
практического этапа  
Московского конкурса межпредметных навыков и умений  
**Интеллектуальный мегаполис. Потенциал**  
в номинации  
**Инженерный класс**  
по направлению  
**Космические классы**

## Кейс №1

### Постановка задачи

Необходимо решить практическую задачу по исследованию коэффициента трения, создав экспериментальную установку и программу, позволяющие проводить исследование. Используя брусок с крючком, груз и электронные части, определить экспериментально коэффициент трения скольжения между бруском и поверхностью стола.

Необходимо помнить, что любому измерительному прибору присуще отклонение полученного значения измерения от истинного. Для учета правильности результатов измерений необходимо проводить калибровку прибора с использованием известных величин (масса, расстояние, ускорение свободного падения). Для снижения погрешности измерений используются многократные измерения – результат этого измерения получают из нескольких последующих однократных измерений (не менее 4). Измерение силы трения и веса тела без использования динамометра возможно косвенными методами.

Используемый прибор должен позволять проводить его калибровку и измерять значение силы трения. Рекомендуется использовать международную систему единиц (СИ).

Для выполнения задания участнику необходимо:

- предложить (нарисовать) варианты реализации схемы экспериментальной установки;
- записать все формулы для определения коэффициента трения согласно эксперименту;
- собрать и запрограммировать экспериментальную установку;
- провести калибровку экспериментальной установки;
- определить вес бруска с грузом;

- определить силу трения скольжения;

- вычислить значение коэффициента трения скольжения и определить точность проведенных измерений.

При проведении экспериментальных исследований, калибровке экспериментальной установки, определении веса бруска с грузом, определении силы трения, а также при определении точности проводимых измерений необходимо использовать многократные измерения.

Список необходимого оборудования: персональный компьютер с выходом в сеть Интернет, плата контроллера (Arduino или ESP), набор сопротивлений номиналом от 1 Ом до 100 кОм (не менее 3 сопротивлений), двигатель или сервопривод с драйверами, аккумуляторные батареи с батарейным отсеком или источник напряжения для платы контроллера, макетная плата, брусок с крючком и груз с известной массой (от 100 г до 500 г), плетеный полимерный шнур (толщина 0,16 – 0,25 мм), линейка, листы чистой бумаги.

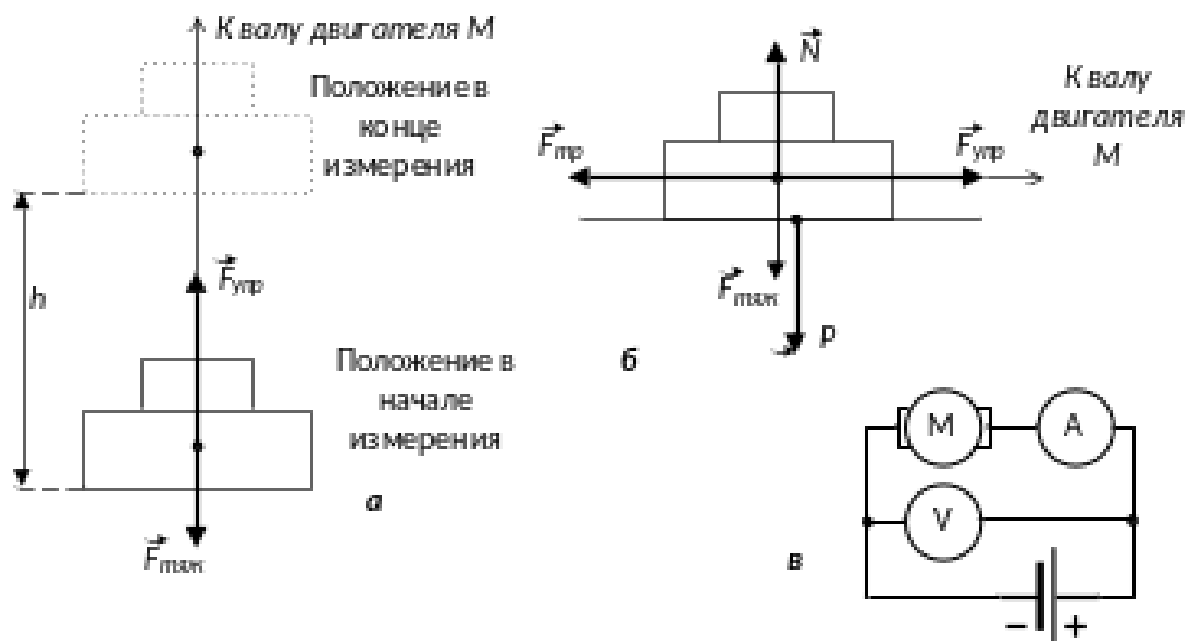


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для калибровки измерительного прибора и определения веса бруска (а), измерения силы трения скольжения (б), и обобщенная электрическая схема экспериментальной установки (в)

Ускорение свободного падения принять равным  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

## Решение кейса

Для решения задачи участникам предстоит собрать установку, которая позволит проводить измерения, согласно рисунку 1в. В реальности схема будет содержать плату управления, которая должна позволить вычислить падение напряжения и величину тока, протекающего в схеме. Для проведения измерений участнику необходимо собрать схему, показанную на рисунке 2. Батарея питания через сопротивление малой величины подключается к электродвигателю и резистивному делителю. Выход резистивного делителя подключается ко входу АЦП использующейся схемы (Arduino или ESP). Если используется плата с одним АЦП, то программная реализация должна проводить измерение величины тока в момент работы электродвигателя, а измерение напряжения – в момент, когда электродвигатель отключен, при этом АЦП всегда измеряет напряжение. Случай использования нескольких АЦП или многоканального АЦП в данных методических рекомендациях не рассматривается.

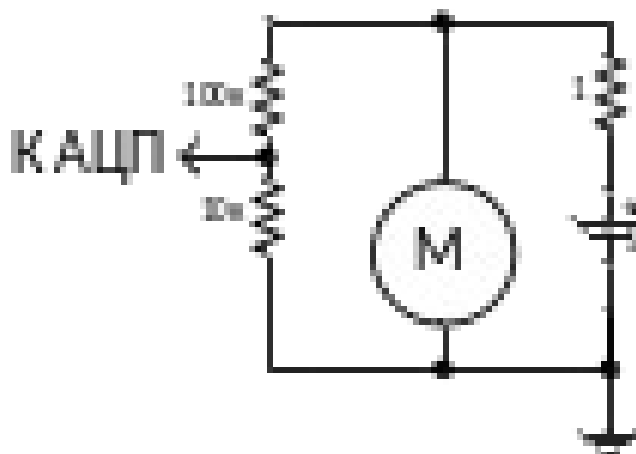


Рисунок 2 – Схема измерения напряжения на батарее и тока, протекающего через электродвигатель, при использовании платы с одним АЦП

Программа, выполняющаяся на контроллере, должна позволять выполнять следующие измерения:

- измерение напряжения до запуска двигателя;
- измерение напряжения после запуска электродвигателя;
- измерение времени от старта до остановки.

Кроме того, программа должна проводить следующие вычисления:

- вычисление величины тока во время работы электродвигателя;
- вычисление массы поднимаемого предмета;
- вычисление веса тела;
- вычисление силы трения;
- вычисление коэффициента трения.

После сборки схемы измерения участникам необходимо собрать схему экспериментальной установки, которая будет позволять калибровать измерительный прибор и определять вес бруска (рисунок 1). Для этого электродвигатель должен быть зафиксирован, например, на краю поверхности стола, к валу ротора электродвигателя должен быть прикреплен плетеный полимерный шнур способом, избегающим проскальзывание при вращении ротора. Сила, с которой ротор электродвигателя натягивает шнур, наматывающийся на вал ротора, прямо пропорциональна силе тока, текущего в обмотке ротора.

Работа по подъему тела с постоянной скоростью на высоту  $h$ , определяемая по формуле  $A = mgh$ , равна работе электрического тока (вращающей вал электродвигателя) на участке цепи и пропорциональна силе тока, времени прохождения заряда и напряжению на концах участка цепи:  $A = U \cdot I \cdot t$ .

Тогда, подвешивая груз с известной массой  $m_0$  и измеряя величину тока, напряжения и время подъема на известную величину, можно провести программную калибровку прибора.

После проведения калибровки устанавливается масса бруска с крючком, используя формулу  $m = \frac{U \cdot I \cdot t}{g \cdot h}$ . Рекомендуется проводить несколько измерений для более точной оценки массы бруска, в том числе оценивая отдельно массу

бруска и массу бруска с грузом. Далее определяется вес бруска с грузом (по формуле  $W = mg$ ).

После проведения оценки производится оценка силы трения скольжения, используя метод движения тела по горизонтальной поверхности. Для данного метода используется формула  $\mu = \frac{F_{mp}}{N}$ , где  $\mu$  – искомый коэффициент трения скольжения,  $F_{mp}$  – сила трения,  $N$  – сила нормальной реакции поверхности, которая по третьему закону Ньютона равна  $N = mg = W$ . Таким образом, измеряя силу трения, можно определить коэффициент трения. Измерение силы трения происходит через измерение величины работы силы трения:  $A_{mp} = F_{mp} \cdot s$ , где  $s$  – путь, пройденный бруском с грузом по поверхности стола. Работа силы трения равна работе силы тока, вращающей вал электродвигателя, тогда сила трения будет определена по выражению:  $F_{mp} = \frac{U \cdot I \cdot t}{s}$ , а коэффициент трения скольжения  $\frac{U \cdot I \cdot t}{m \cdot g \cdot s}$ .

Все эксперименты необходимо повторять не менее четырех раз, а получаемые в результате экспериментов данные необходимо занести в таблицу и получить усредненные значения по каждому из экспериментально полученных значений.

Параметры	Измерение 1	Измерение 2	Измерение 3	Измерение 4	Среднее значение	Точность измерения
Параметры, измерение которых необходимо для каждого эксперимента						
Напряжения до запуска двигателя, В						
Напряжения после запуска электродвигателя, В						
Время от старта до остановки, мс						
Ток во время						

работы электродвигателя, А						
Параметры, вычисляемые при измерении веса бруска						
масса бруска без груза, кг						
масса бруска с грузом, кг						
Вес бруска с грузом, Н						
Параметры, вычисляемые при измерении коэффициента трения						
Вычисление силы трения						
Вычисление коэффициента трения						

## Кейс №2

### Постановка задачи

Построить 3D-модель фрагмента полезной нагрузки для космического аппарата формфактора CubeSat 3U в соответствии с рисунком 3, целевым является Исполнение 2 (для упрощения модель сплошная). Отсутствующие размеры необходимо брать с Исполнения 1. Деталь представляется в формате STL (5 баллов). Для выполнения задания рекомендуется использовать одну из следующих программ: T-Flex версии не ниже 17 или «Компас 3D» версии не ниже 21.

Построить 3D-модель сборки полезной нагрузки для космического аппарата формфактора CubeSat 3U, состоящую из ранее разработанного фрагмента (2 шт.), в соответствии с габаритным чертежом на рисунке 4. В сборке участвуют 2 печатные платы-носителя (рисунок 3) и металлический корпус микроскопа. Корпус микроскопа симметричный, выполнен из листового алюминия толщиной 1,5 мм. Выступающие элементы на платах, включая головки винтов (М3х10 ГОСТ 17473), выполняются в виде сплошного заполнения области для размещения высоких компонентов, используя размеры, указанные в Исполнение 1 на рисунке 3. Окно микроскопа предоставляет доступ к внутренним элементам. Внутреннее расположение элементов микроскопа не прорисовывается (для упрощения модель полая). Сборка представляется в формате STL (15 баллов).

Подготовить 3D-модель сборки для печати габаритного макета полезной нагрузки (10 баллов). Используя программу Ultimaker Cura версии не ниже 5.2, добавить новый принтер из библиотеки – Voron 0 (без подключения к сети). Установки принтера – по умолчанию, при выборе параметров печати использовать печатающую голову типа V6 с соплом 0,4 мм. Задайте параметры, указанные в таблице 1. Температуру печати и температуру стола укажите наиболее подходящую для материала ABS. Остальные параметры остаются по умолчанию.

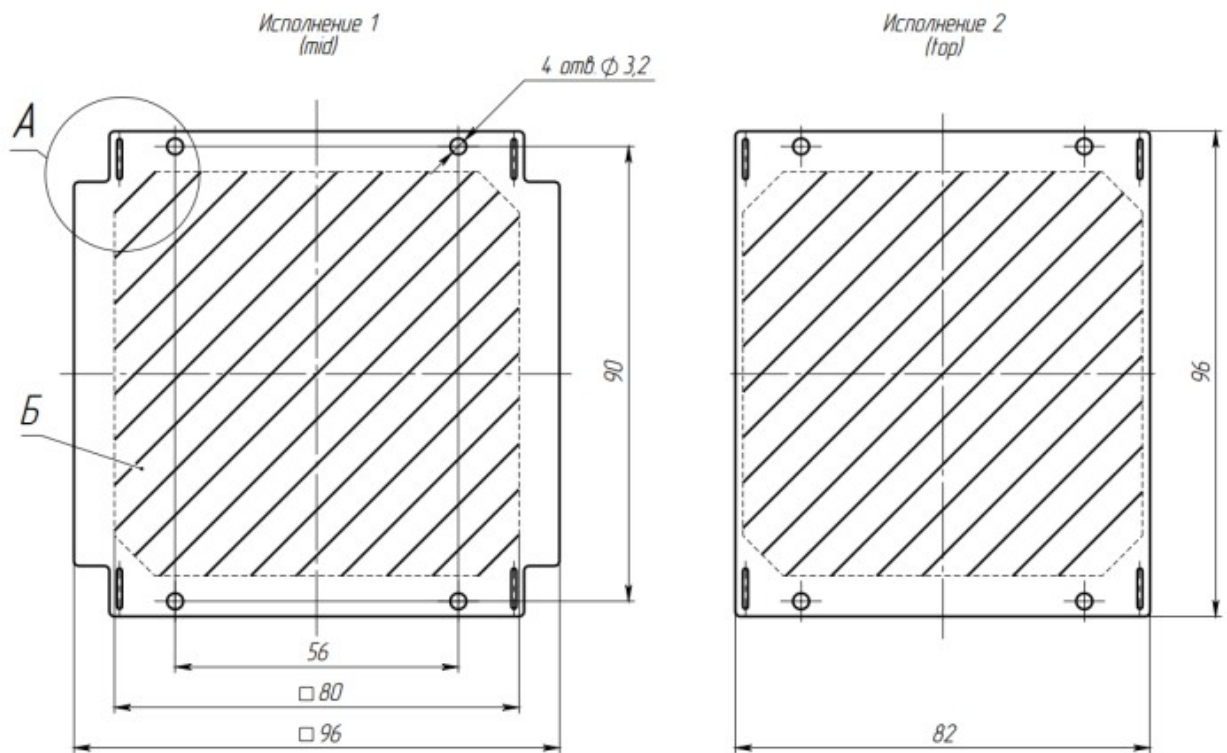


Таблица 1 – Параметры печати

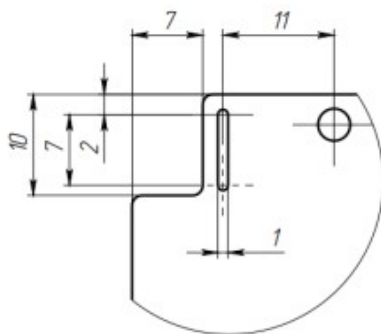
Параметр	Значение
Профиль	Fine
Высота слоев	0,3 мм
Толщина слоя	0,4 мм
Плотность заполнения	30 %
Шаблон заполнения	Четверть куба
Остальные	На усмотрение участника

Расположение сборки на печатной платформе должно быть таким, чтобы минимизировать количество поддерживающих структур.

Проделанную работу необходимо сохранить в формате \*gcode, а также предоставить снимки экрана с параметрами настроек (print screen).



*A (2 : 1)*  
4 элемента



1. Толщина платы 1,6 мм
2. Неуказанные радиусы 1 мм
3. Область А для тоннельной укладки кабельных жгутиков и их фиксации
4. Область Б для размещения высоких компонентов

Рисунок 3 – Печатная плата-носитель

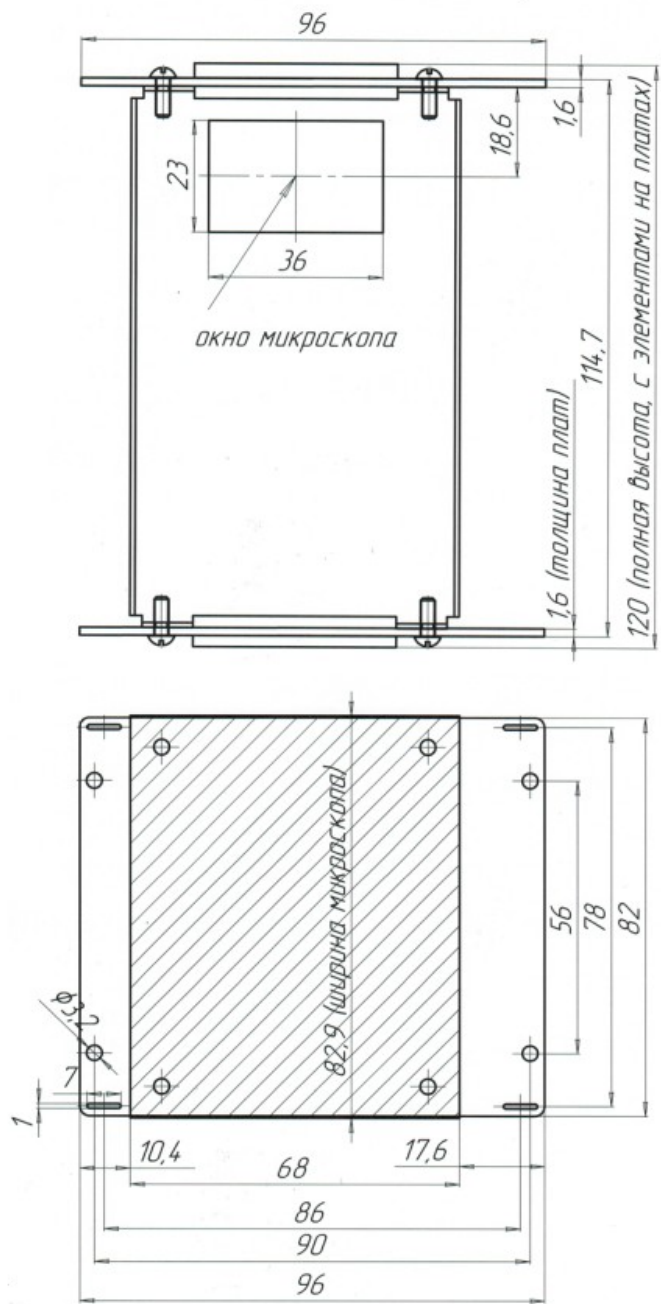


Рисунок 4 – Габаритный чертеж полезной нагрузки

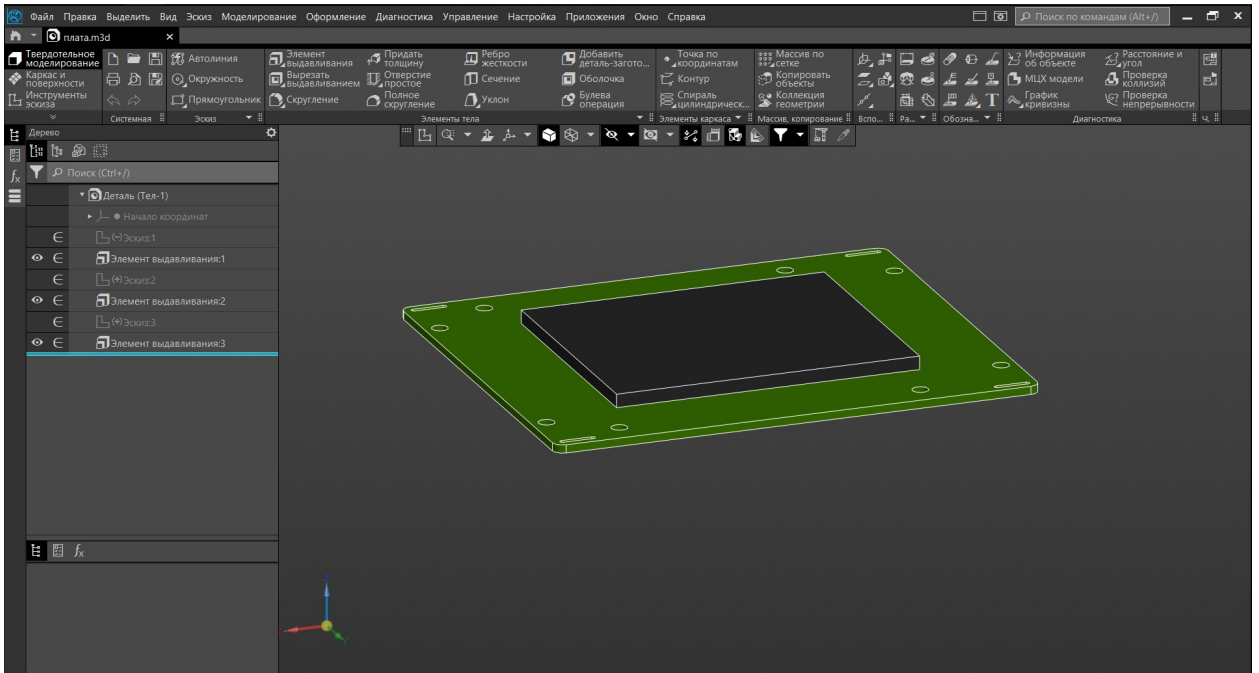
## **Решение кейса**

Для успешного выполнения задания экзаменуемым желательно ознакомиться со следующими темами инженерных дисциплин: САПР – системы автоматизированного проектирования; 2D-эскиз (набросок, sketch); моделирование как способ создания 3D-объектов для последующей печати; геометрические примитивы; формообразующие операции в 3D-моделировании.

Для построения деталей с помощью САПР следует придерживаться следующей последовательности действий:

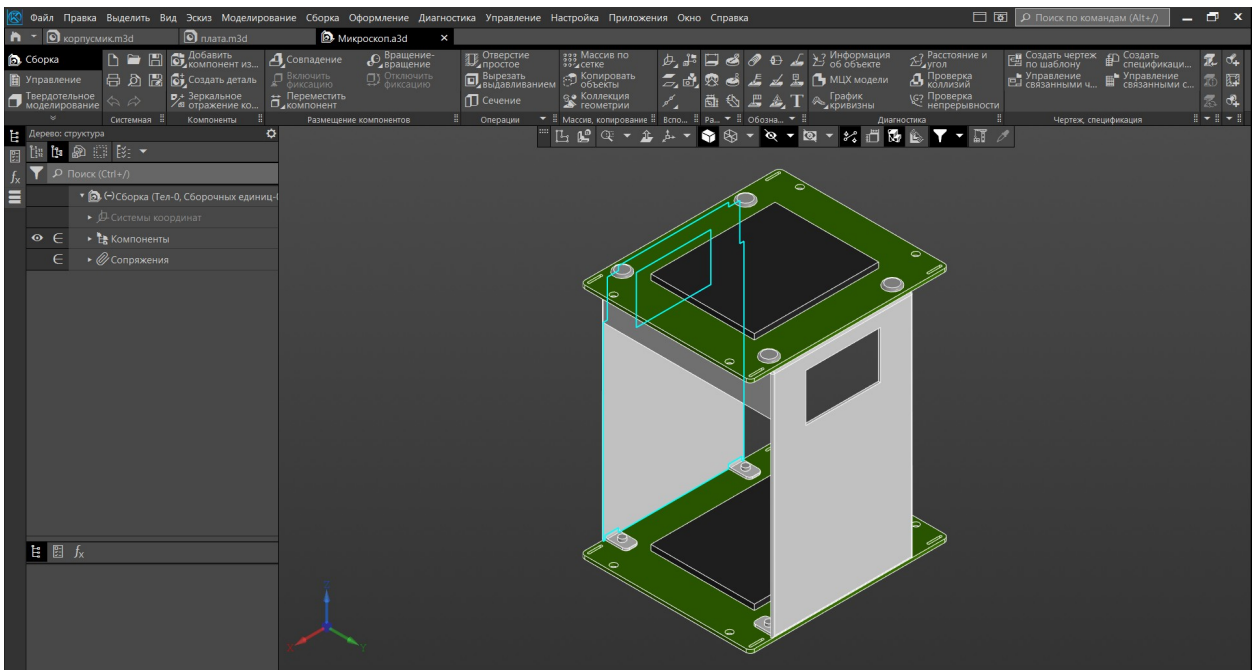
1. общая оценка всей детали;
2. построение 2D-эскиза детали на основе геометрических примитивов;
3. построение тела на основе данного 2D-эскиза с использованием формообразующих операций в 3D-моделировании.

Для построения платы можно использовать формирующую операцию «Выдавливание». Результат проектирования платы – на рисунке 5 (плата обозначена зеленым). Здесь плата уже подготовлена для сборки и на ней уже размещены отверстия и расположение выступающих элементов. В этой части задания необходимо контролировать размеры платы, расположение присоединительных размеров к спутнику, а также параметры отверстий для тоннельной прокладки кабельных сборок.



*Рисунок 5 – Проект платы-носителя*

При создании сборки, так как данные показаны не в полном объеме, участник может упрощать проект по своему усмотрению, например, размещая дополнительные стенки или избавляясь от них с учетом задачи уменьшения количества поддержек.



*Рисунок 6 – Сборка полезной нагрузки*

После сборки проекта должен быть продемонстрирован результат, связанный подготовкой сборки к печати. Необходимо выставить все

параметры, указанные в задании. На рисунках 7 и 8 отображается результат установки параметров, заданных в таблице 1, а также параметров, связанных с типом материала 3D-печати.

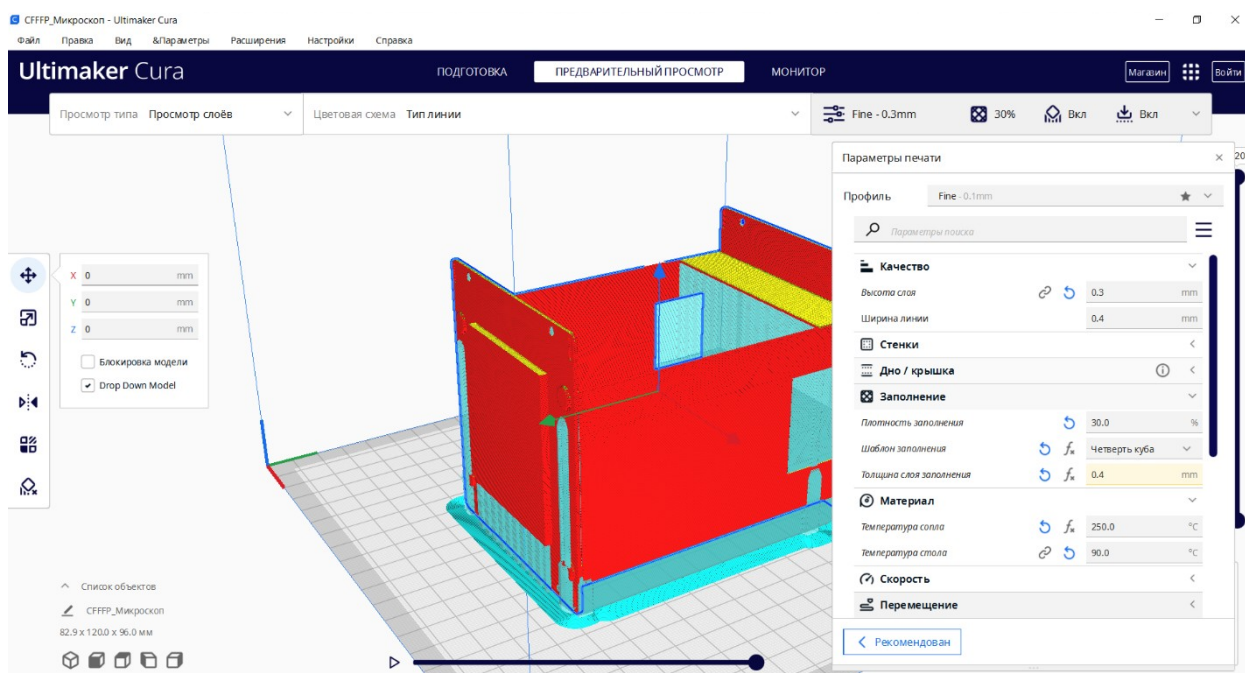


Рисунок 7 – Параметры настройки печати, часть 1

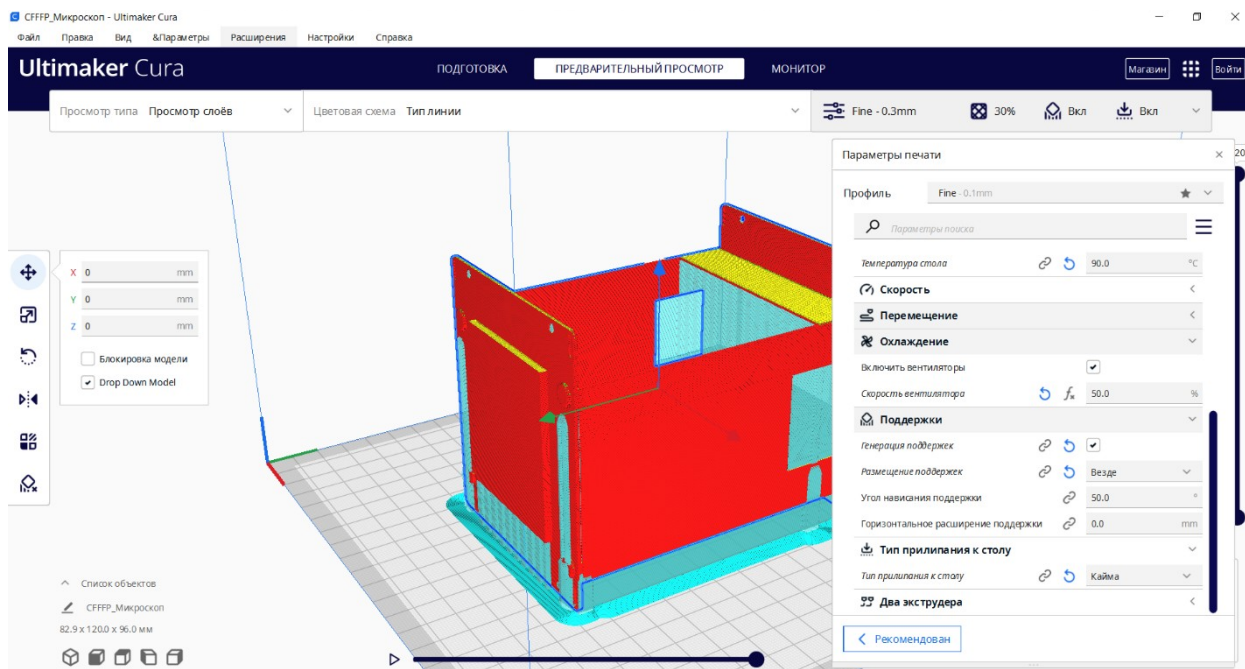
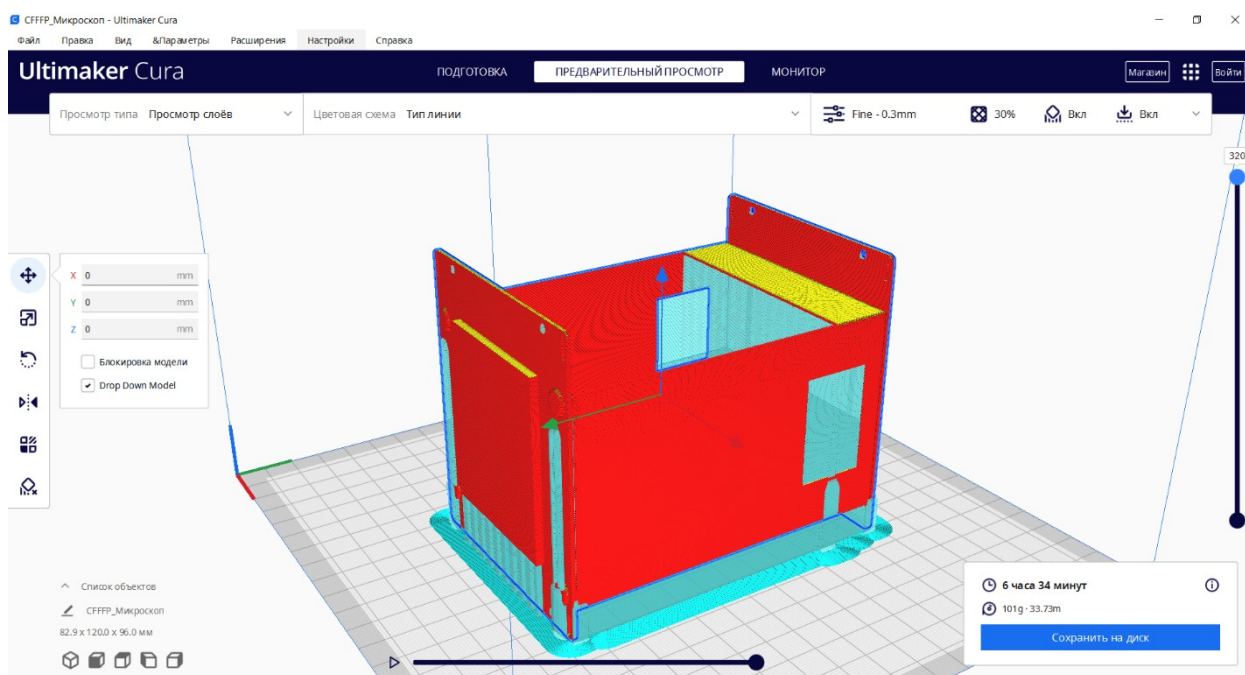


Рисунок 7 – Параметры настройки печати, часть 2

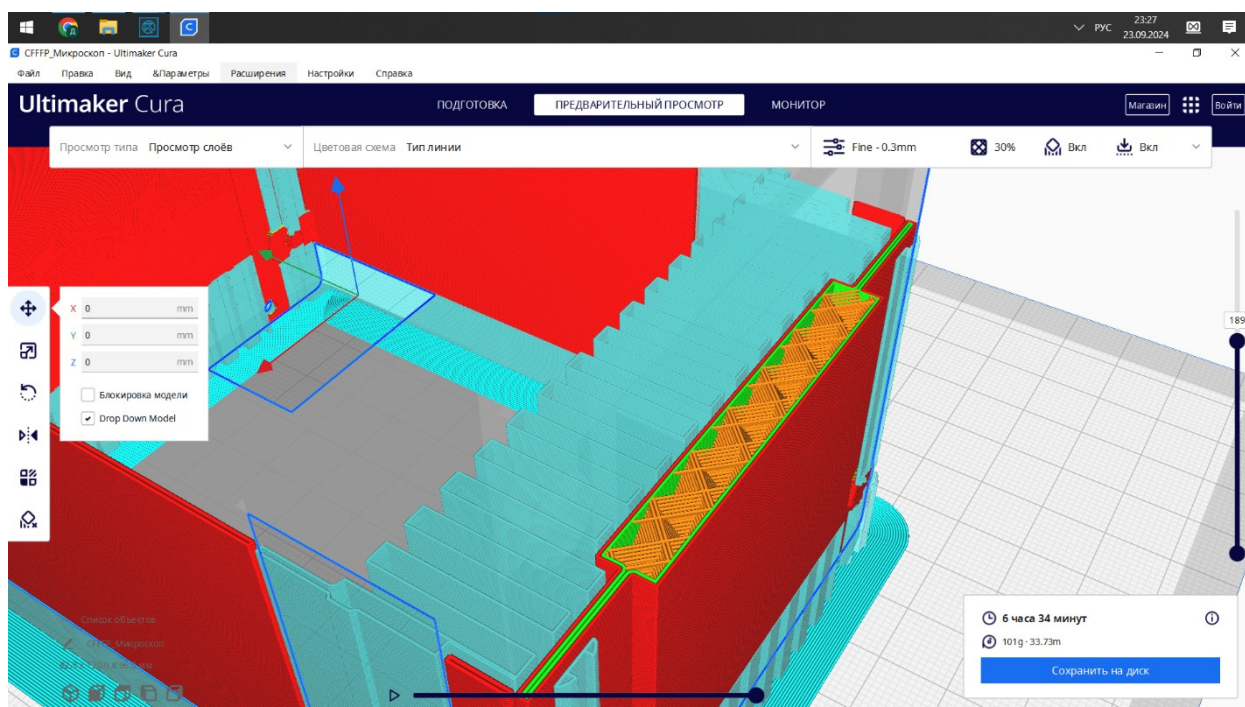
Для оптимального размещения проекта на столе 3D-принтера необходимо размещать проект таким образом, чтобы добиться минимального количества поддержек. Следует обратить внимание, что настройки поддержек



должны быть полные, а не только от стола, так как в противном случае количество поддержек будет минимальным, но напечатан такой объект быть не может. Минимальное количество поддержек определяет время, отводимое на печать с заданными параметрами, а также масса планируемого к использованию пластика, рисунок 9. Кроме объема поддержек можно убедиться в структуре поддержек и структуре выбранного заполнения (рисунок 10).



*Рисунок 9 – Расположение поддержек в проекте при их минимизации*



*Рисунок 10 – Контроль поддержек и заполнения*