

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Сейсмограф»

Информация о кейсе для участников:

Компетенция	Сложность			
Анализ принципов работы технологий				
Моделирование систем и процессов				
Постановка и проведение эксперимента				
Обработка и представление полученных данных				

Рекомендуемый уровень подготовки для реализации кейса:

Компетенция	Рекомендуемый уровень подготовки
Анализ принципов работы технологий	<p>Знать: примеры механических колебаний, отличие свободных, вынужденных и резонансных колебаний; что такое резонанс, собственная частота, затухание, добротность; чем отличаются импульсные и гармонические воздействия.</p> <p>Уметь: выделить в конструкции элементы, отвечающие за массу, жесткость и демпфирование; сформулировать, как изменение каждого из них может повлиять на характер вибраций и регистрируемый сигнал.</p>
Моделирование систем и процессов	<p>Знать: модель линейного затухающего осциллятора с одной степенью свободы («масса – пружина – демпфер»), связь параметров модели с частотой, затуханием и резонансным откликом системы.</p> <p>Уметь: рассматривать прототип сейсмографа как колебательную систему, оценивать ее параметры по экспериментальным данным, сопоставлять модельные представления с наблюдаемым откликом и анализировать причины расхождений.</p>
Постановка и проведение эксперимента	<p>Знать: что такое воспроизводимые условия эксперимента, почему важно одинаково прикладывать внешние воздействия; основные способы регистрации вибраций (видео, сенсоры, анализ по кадрам).</p> <p>Уметь: собирать устойчивую экспериментальную установку, выбирать и реализовывать способы возбуждения колебаний (удар, вибратор, мотор, звук), фиксировать параметры воздействия, проводить серии испытаний с изменением условий.</p>
Обработка и представление полученных данных	<p>Знать: что такое временной ряд, спектр/АЧХ; как по записи колебаний определяются частота, амплитуда, затухание; основные источники погрешностей измерений.</p> <p>Уметь: анализировать временные ряды и спектры, выделять собственные частоты и резонансные пики,</p>

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Сейсмограф»

	строить графики и таблицы, оценивать погрешности и учитывать их при интерпретации результатов.
--	--

Актуальность

Вибрации – частая скрытая причина ускоренного износа/отказов оборудования и конструкций. Они присутствуют в бытовой технике, зданиях и транспорте, затрагивают высокоточную аппаратуру. Небольшие колебания со временем расшатывают соединения, ускоряют развитие усталостных трещин, снижают точность, повышают шум и энергопотребление. Поэтому в практике эксплуатации оборудования и сооружений все чаще используют вибродиагностику – для контроля качества и своевременного профилактического обслуживания.

Ключевой риск – резонанс: когда частота внешнего воздействия совпадает с одной из собственных частот конструкции, амплитуда резко возрастает. Чтобы управлять риском, важно знать собственные частоты и добротность, уметь строить амплитудно-частотную характеристику и оценивать передаточную функцию «основание → объект». Эти параметры позволяют сравнивать варианты крепления, демпфирования и принимать инженерные решения, обеспечивающие снижение вибраций и рисков резонанса.

Особенно это важно в экстремальных условиях эксплуатации: геологоразведка, строительные и монтажные работы на морских платформах, удаленных северных площадках, эксплуатация инфраструктуры в сейсмоопасных регионах часто ведутся в среде с повышенным уровнем внешних вибраций. В таких условиях критично поддерживать устойчивость измерительного оборудования и точность показаний, оперативно выявлять резонансные режимы и принимать решения по креплению, демпфированию и размещению приборов, чтобы исключить ложные сигналы, дрейф параметров и преждевременный износ.

Сейсмограф – удобный прикладной прибор для такого анализа. Он переводит сложные колебания в измеряемые временные ряды и спектры, по которым выявляют опасные режимы, проверяют влияние добавленной массы и демпфирующих прокладок, а также прогнозируют последствия изменения жесткости и места установки оборудования. Таким образом, сейсмограф дает объективные измерения, на основе которых принимают инженерные решения, направленные на снижение резонансных рисков и обеспечение требуемой точности работы изделия.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Сейсмограф»

Целью данного исследования является разработка и верификация собственного прототипа сейсмографа/вибродатчика, а также его исследование как модельной колебательной системы для регистрации вибраций и резонансных свойств исследуемых конструкций. По полученным данным предстоит определить влияние массы конструкции, крепления и демпфирования, чтобы обосновать рекомендации по снижению резонансных рисков.

Этапы работы над кейсом

Анализ литературы

Пользуясь доступной вам литературой или интернетом, изучите основные понятия теории механических колебаний: параметры колебаний и их затухания, резонансные явления в конструкциях, методы спектрального анализа сигналов и простейшие модели «масса – пружина – демпфер» для описания отклика системы на внешние воздействия.

Важно понять:

- резонанс и собственная частота конструкции; от чего она зависит и как меняется при добавлении массы, изменении жесткости, способа крепления;
- затухание колебаний, добротность и логарифмический декремент: что означают, как связаны между собой и по каким экспериментальным данным оцениваются;
- амплитудно-частотная характеристика (АЧХ): как по ней находят резонансные пики и сравнивают различные состояния системы;
- передаточная функция «основание → объект»: зачем нужна и чем полезно сравнение «вход – выход» при известном возбуждении;
- спектральный анализ сигналов: временной ряд, спектр/плотность спектральной мощности, частота дискретизации; чем полезен спектр для распознавания источников вибраций;
- инженерные факторы: влияние добавленной массы, демпфирующих прокладок, точки и жесткости крепления, места установки; что обычно происходит с резонансной частотой и высотой пика.

Экспериментальная работа

Экспериментальная работа включает разработку прототипа сейсмографа, задание контролируемых и воспроизводимых вибраций, регистрацию сигналов и последующую интерпретацию полученных данных в рамках модели линейного затухающего осциллятора с одной степенью свободы.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Сейсмограф»

Разработка прототипа сейсмографа

Изначально необходимо спроектировать собственный прототип сейсмографа, предназначенного для регистрации вибраций, и кратко обосновать выбор его конструкции. Подумайте, что именно вы будете измерять (ускорение или перемещение), по какой оси чувствительности, в каком частотном диапазоне и как закрепите датчик. В качестве базовых подходов можно использовать:

- смартфон как датчик ускорения: жестко закрепите смартфон на поверхности и запишите ускорения по трем осям в файл;
- механический подвес с оптическим считыванием: масса на упругом подвесе (нить/пружина/резинка) с зеркальцем или яркой меткой; считывание перемещения лазерной точкой на экране или по видеозаписи;
- пьезодатчик: пьезокерамический диск, приклеенный к поверхности; запись электрического сигнала на звуковой вход/мультиметр;
- графический вариант: масса с маркером над движущейся лентой бумаги для наглядной «сейсмограммы» с последующей оцифровкой.

Подходы допустимо комбинировать или предложить свой. Обязательно опишите способ калибровки времени и, при необходимости, амплитуды, а также приложите схему или фото вашей установки.

Создание контролируемых и воспроизводимых вибраций

Далее необходимо продумать способ задания вибрационных воздействий, позволяющий получать повторяемые сигналы с различными характеристиками. Важно обеспечить возможность изменять параметры воздействия и корректно сравнивать результаты между собой. Заранее решите, какой тип событий вы будете использовать и как зафиксируете условия. Рекомендации (выберите несколько):

- импульсные события: маятниковый ударник (малый груз на нити, отпускаемый с одинакового угла), падение небольшого груза на мягкую прокладку с фиксированной высоты, щелчок палочкой с мягким наконечником;
- гармонические воздействия: синусоидальный сигнал от колонки (например, разных частот или амплитуд);
- реальные события для сравнения: шаги рядом, хлопок дверью, работа небольших двигателей/вентиляторов.

В отчете фиксируйте точку и способ возбуждения, массу/высоту/угол или частоту и громкость; для каждого сценария выполните не менее трех повторов.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Сейсмограф»

Регистрация сигналов и отклика сейсмографа

С помощью разработанного прототипа следует зарегистрировать отклик сейсмографа на заданные вибрации при различных условиях эксперимента. Полученные сигналы необходимо представить в наглядной форме, позволяющей выделить характерные особенности колебаний и сравнить их между собой. После получения сигналов необходимо выделить и оценить ключевые величины. Обязательный минимум включает:

- собственные частоты (по периоду свободных колебаний или по положению пиков на амплитудно-частотной характеристике);
- затухание и добротность (по вершинам затухающей осцилляции и/или по ширине резонансного пика);
- амплитудно-частотную характеристику или спектр с указанием положения и ширины пиков;
- среднеквадратичный уровень вибраций для разных сценариев как количественную «шкалу шумности».

Кратко опишите, как именно вы определяли периоды, амплитуды и ширину пиков, какой шаг частот использовали и как обеспечивали повторяемость. При обработке зарегистрированных сигналов необходимо учитывать погрешности измерений, а также проанализировать, как погрешности регистрации сигналов, дискретизации (шаг записи данных во времени) и выбора метода обработки могут влиять на оценку параметров колебательной системы и интерпретацию экспериментальных результатов.

Чтобы увидеть, от чего именно зависят резонанс и уровень вибраций: как сдвигается собственная частота, меняется высота/ширина пика и добротность, проварьируйте условия и сопоставьте результаты по единому плану. Выберите несколько факторов (желательно три и более):

- добавленная масса/нагрузка на поверхности;
- наличие и тип демпфирующей прокладки;
- точка и способ крепления датчика (центр или край; жестко или через прокладку);
- тип основания/место установки (разные столы, полка, подоконник);
- тип возбуждения (импульсные события и разные частоты синуса).

Во всех выбранных случаях снимайте один и тот же набор параметров и представляйте сравнение в таблицах и на графиках.

Построение физической модели

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Сейсмограф»

Опишите вашу модельную колебательную систему как линейный затухающий осциллятор с одной степенью свободы (модель «масса – пружина – демпфер» с возбуждением от основания) и по экспериментальным данным оцените ее параметры: отношение жесткости к массе (через значение резонансной частоты), величину демпфирования и добротность (через затухание и ширину резонансного пика). По желанию оцените передаточную функцию «основание → объект» при гармоническом воздействии и эффективную массу конструкции по сдвигу резонансной частоты при добавлении известного груза. На основе сравнений дайте практические рекомендации: что в вашем прототипе сейсмографа эффективнее снижает резонансные риски – добавление массы, повышение жесткости, изменение крепления или места установки, выбор конкретной прокладки; от каких частот целесообразно уйти.

Не забывайте о качестве данных и безопасности: выбирайте частоту записи, достаточную для видимости целевых частот; проверяйте повторяемость; избегайте перегрузки датчиков; ударные воздействия выполняйте через мягкие прокладки; тяжелые предметы не ставьте на край поверхности; лазер не направляйте в глаза.

Примерный перечень средств и материалов для выполнения задания:

Базовые датчики (выберите один, можно комбинировать):

- смартфон/планшет с акселерометром и приложением для записи в CSV;
- инерционная масса на упругом подвесе (нить/резинка/пружина) + оптический съем (зеркальце/светоотражающая метка) и экран/стена;
- пьезокерамический диск + нагрузочный резистор 1-10 МОм, провода;
- графический вариант: легкая масса с тонким фломастером/телевой ручкой и лента бумаги (ватман/калька/кассовая бумага).

Считывание и регистрация:

- смартфон/ПК для записи данных; при оптике – лазерная указка или видеозапись (30-60 кадров в секунду);
- для пьезодиска – звуковой вход ноутбука/телефона (через аудио-адаптер) или мультиметр (режим MAX/MIN);
- для графического варианта – ровная направляющая для протяжки бумаги (папка-скоросшиватель/поднос на ролике) и карандаш для меток времени.

Фиксация датчиков и узлов:

- двухсторонний скотч, изолента/липучки, стяжки;

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Сейсмограф»

- мягкие прокладки (резина/войлок/фетр) для безопасных ударов и демпфирования;
- линейка/рулетка, маркер, штатив/книга-«пресс» для фиксации телефона или подвеса.

Источники контролируемых вибраций:

- маятниковый ударник: шнур/нить 30-50 см и небольшой груз 20-100 г (гайка, болт, мячик);
- малые грузы (монеты, мешочек с крупой) и мягкая подкладка для падения с фиксированной высоты;
- акустическая колонка/наушник-«излучатель» + генератор тона на телефоне/ПК (ступени);
- для сравнения «реальных» событий – небольшой вентилятор/электросчетка.

Обработка данных:

- ПК/ноутбук с Excel; по желанию – Python/Tracker (для оцифровки видео/кривых и спектрального анализа).

Дополнительно (по возможности):

- небольшое зеркальце/светоотражающая лента (для оптики), экран/лист бумаги;
- вращающийся поднос для равномерной протяжки бумаги;
- метроном (приложение) для разметки шкалы времени.

Требования к представлению решения кейса

Представляемое командой решение кейса должно включать в себя анализ теоретических и экспериментальных аспектов вибраций и резонансных явлений, а также описание разработанного прототипа сейсмографа, результаты измерений и выводы о его эффективности в выявлении и снижении резонансных рисков. Более подробно о структуре и содержании работы смотрите ниже.

Принимается только машинописный вариант текста. Рекомендуется использование шрифтов Calibri или Times New Roman 12-го кегля с интервалом 1,5. Отступы от левого края 3 см; правый, верхний и нижний – 2 см. Выравнивание текста – по ширине. Объем основного текста – не более 30 страниц формата А4, включая рисунки, без учета приложения.

Структура и содержание работы

Работа должна содержать следующие разделы:

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Сейсмограф»

- **Титульный лист** должен содержать следующие сведения: название кейса, сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, учебное заведение, класс), название профиля олимпиады.
- В разделе «**Введение**» обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи работы, а также предоставляется краткий обзор темы исследования.
- В разделе «**Материалы и методы**» описываются материалы, используемые в исследовании, и методология, применяемая для проведения экспериментов или анализа данных. Важно предоставить подробное описание плана эксперимента.
- В разделе «**Результаты**» необходимо предоставить фото экспериментальной установки во время выполнения работы. Полученные числовые данные представляются в табличном виде. Кроме того, полученные результаты должны быть наглядно представлены на рисунках (графики, диаграммы, иллюстрации). Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и иметь подпись.
- В разделе «**Выводы**» формулируются основные выводы на основе результатов исследования. Высказываются обобщения и анализируются результаты в контексте поставленных целей.
- В разделе «**Заключение**» подводят итоги исследования и обсуждаются его практические и теоретические значимости. Также могут быть предложены дополнительные направления исследований.
- В разделе «**Список литературы**» приводится список использованных источников, статей, книг и другой литературы, на которые ссылается исследование.
- Кроме того, работа может содержать **приложения** с иллюстративным материалом (рисунки, схемы, таблицы, фотографии и т. п.). На каждое приложение должна быть дана ссылка в тексте работы.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Капля как микролинза»

Информация о кейсе для участников:

Компетенция	Сложность			
Анализ принципов работы технологий				
Моделирование систем и процессов				
Постановка и проведение эксперимента				
Обработка и представление полученных данных				

Рекомендуемый уровень подготовки для реализации кейса:

Компетенция	Рекомендуемый уровень подготовки
Анализ принципов работы технологий	<p>Знать: основные законы геометрической оптики, понятие преломления света и фокусного расстояния, особенности формирования изображений линзами.</p> <p>Уметь: анализировать принцип работы капли как оптического элемента, выделять ключевые факторы, влияющие на формирование изображения, и связывать особенности конструкции и материала с наблюдаемыми оптическими эффектами.</p>
Моделирование систем и процессов	<p>Знать: модель тонкой линзы и ее основные ограничения, связь между геометрическими параметрами линзы и ее фокусным расстоянием и увеличением.</p> <p>Уметь: применять модель тонкой линзы для расчета оптических параметров капли, сравнивать расчетные и экспериментальные результаты, анализировать причины расхождений и область применимости модели.</p>
Постановка и проведение эксперимента	<p>Знать: принципы организации простых оптических экспериментов, роль освещения, расстояний и углов наблюдения при формировании изображения.</p> <p>Уметь: собирать экспериментальную установку, формировать устойчивую каплю, обеспечивать повторяемость условий, корректно располагать источник света и камеру, безопасно работать с жидкостями и оптическими элементами.</p>
Обработка и представление полученных данных	<p>Знать: способы количественной оценки оптических характеристик – увеличение, фокусное расстояние, разрешающая способность, а также источники погрешностей измерений.</p> <p>Уметь: измерять размеры объектов по фотографиям, калибровать масштаб, строить таблицы и графики, оценивать погрешности измерений, анализировать зависимости между параметрами капли и качеством изображения и использовать эти данные при интерпретации результатов.</p>

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Капля как микролинза»

Актуальность

Микролинзы лежат в основе множества прикладных решений – от камер и эндоскопов до оптических сенсоров и микродисплеев. В учебной и полевой практике регулярно возникает задача быстро увеличить и рассмотреть мелкие объекты (волокна ткани, структуру бумаги, микронадписи, пиксели экрана, биообразцы) без дорогого оборудования. Капля жидкости на прозрачной пластинке ведет себя как плоско-выпуклая микролинза: ее геометрия и показатель преломления определяют фокусное расстояние, оптическую силу, увеличение и разрешающую способность, одновременно влияя на aberrации и глубину резкости. На практике на качество изображения существенно воздействуют и эксплуатационные факторы – испарение, стекание и смачиваемость подложки, от которых зависит стабильность формы капли и повторяемость результата. Таким образом, «капельная» оптика позволяет собрать доступный микроскоп из подручных материалов, но требует осознанного выбора жидкости, геометрии капли и подсветки, чтобы получить предсказуемый фокус и достаточное разрешение для учебных и прикладных задач.

Целью данного исследования является изучение простой оптической системы на основе капли-микролинзы с количественной оценкой ее фокусного расстояния (оптической силы), увеличения и разрешающей способности, анализом влияния размера и состава капли, подложки и геометрии на качество и устойчивость изображения, а также проверкой возможности описания ее работы с помощью модели тонкой линзы. Отдельной задачей исследования является разработка прототипа компактного «полевого микроскопа» на основе капельной линзы и оценка его пригодности для использования вне лабораторных условий.

Этапы работы над кейсом

Анализ литературы

Пользуясь доступной вам литературой или интернетом, изучите основные понятия теории геометрической оптики применительно к плоско-выпуклой микролинзе из капли.

Важно понять:

- тонкая линза и построение изображений: как формируется изображение, где расположены объект и его изображение, что такое передняя и задняя фокальные плоскости;

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Капля как микролинза»

- фокусное расстояние и оптическая сила: что означают эти величины, как они зависят от материала линзы, как оптическая сила линзы зависит от радиуса кривизны ее поверхностей;
- геометрия капли (капля как сферический сегмент): как диаметр основания, высота и радиус кривизны описывают ее форму, влияние смачиваемости подложки и контактного угла на форму и стабильность;
- показатель преломления и дисперсия: как показатель преломления влияет на фокус, увеличение и контраст, почему возникают цветные каймы;
- aberrации: сферическая и хроматическая aberrации, кривизна поля, почему они усиливаются у больших капель и у жидкостей с более высоким показателем преломления, как уменьшать влияние (рабочая зона в центре, подходящая подсветка);
- схемы наблюдения: режим «через камеру» и режим «проекция на экран», чем они отличаются по удобству измерений, стабильности и оценке параметров;
- калибровка и погрешности: как получать масштаб в пикселях и миллиметрах, как фиксировать размеры и форму капли по фото сбоку, почему важны повторы и единые условия;
- стабильность во времени: испарение, стекание, изменение формы, как это отражается на фокусе, увеличении и воспроизводимости и какие жидкости устойчивее.

Экспериментальная работа

На первом этапе необходимо собрать установку, которая позволит рассматривать объекты через каплю-микролинзу. Для этого можно использовать прозрачную пластинку или предметное стекло, закрепив его так, чтобы поверхность оставалась горизонтальной и устойчивой. На пластинку наносится капля жидкости – воды, водно-глицеринового раствора или масла. Под каплю помещается объект-шкала: миллиметровая бумага, фрагмент ткани, волос, мелкий текст. Камеру рекомендуется располагать над каплей как можно ближе к ее оптической оси, чтобы изображение было стабильным и симметричным, а условия опыта оставались одинаковыми. Для работы также важна подсветка: лучше использовать рассеянный свет или фонарик с бумажным фильтром, чтобы избежать бликов. В качестве альтернативы можно попробовать режим проекции, когда изображение выводится не в камеру, а на белый экран под пластинкой.

При подготовке к эксперименту стоит обращать внимание на форму капли и ее стабильность. Она должна сохранять форму без стекания и не быстро испаряться,

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Капля как микролинза»

поверхность подложки должна быть чистой и ровной. Полезно сфотографировать каплю сбоку рядом с линейкой – это позволит оценить ее размеры и форму, а также повторять опыты в сопоставимых условиях. Каждый опыт желательно проводить несколько раз, чтобы убедиться в надежности результата и исключить случайные колебания.

После сборки установки предстоит провести измерения. Основные величины, на которые следует обратить внимание, – это фокусное расстояние, увеличение, разрешающая способность и величина искажений изображения. Нужно определить, когда изображение через каплю получается наиболее резким, во сколько раз меняется видимый размер объекта по сравнению с наблюдением без капли, какие минимальные детали или линии можно различить и как искажается картинка на краях поля зрения. Дополнительно важно зафиксировать, как меняется качество изображения со временем: для воды фокус будет смещаться из-за испарения, для глицерина или масла изменения будут заметно медленнее.

Чтобы выявить, какие факторы сильнее всего влияют на свойства микролинзы, необходимо провести серию опытов с разными условиями. В качестве факторов можно выбрать тип жидкости, объем капли, подложку или освещение. Например, сравнить воду, глицериновые растворы и масло; исследовать маленькие и большие капли; поменять стеклянную и пленочную подложку; попробовать разные варианты подсветки. В каждом случае полезно фиксировать одни и те же величины, чтобы затем провести корректное сравнение. Сопоставьте результаты при разных жидкостях и объемах, определите, какая конфигурация дает лучшее увеличение и разрешение при минимальных искажениях.

Используя измеренные геометрические параметры капли, необходимо рассчитать фокусное расстояние капель различной формы и состава в рамках модели тонкой линзы. Сравните полученные расчетные значения с фокусным расстоянием, наблюдаемым в эксперименте. Оцените, насколько реальная система отклоняется от модели тонкой линзы, и объясните возможные причины расхождения. При сравнении расчетных и экспериментальных результатов необходимо провести оценку погрешностей измерений геометрических размеров капли и фокусного расстояния, а также проанализировать роль этих погрешностей и ограничений модели при интерпретации результатов.

Завершающим этапом работы является создание прототипа «полевого микроскопа» на основе капельной линзы. Подумайте, какая комбинация условий позволяет дольше сохранять оптические свойства микролинзы при длительном испарении жидкости или изменении температуры окружающей среды, и предложите состав раствора и конструктивные решения, повышающие устойчивость капли. Для разработанного

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Капля как микролинза»

прототипа следует оценить фокусное расстояние (оптическую силу), увеличение и разрешающую способность с использованием как экспериментальных данных, так и расчетов по модели.

Примерный перечень средств и материалов для выполнения задания:

Основные материалы и жидкости:

- прозрачная пластинка или кусочек стекла (можно использовать крышку от коробочки, предметное стекло);
- жидкости для формирования капель: вода, водно-глицериновые растворы разной концентрации, растительное масло;
- пипетка или шприц без иглы для дозирования капель.

Объекты для наблюдения:

- миллиметровая бумага, фрагмент ткани, волос, мелкий текст.

Средства наблюдения и фиксации:

- смартфон или фотоаппарат для съемки изображения через каплю;
- лист белой бумаги для варианта с проекцией изображения;
- линейка или миллиметровая бумага для калибровки масштаба;
- держатель, пластилин или скотч для фиксации пластинки и камеры;
- штатив для смартфона/фотоаппарата либо простая опора, чтобы камера располагалась строго над каплей.

Освещение:

- настольная лампа или фонарик;
- лист белой бумаги или кальки в качестве рассеивателя для мягкого света;
- при желании – лазерная указка для грубой оценки фокусного расстояния.

Дополнительные принадлежности:

- салфетки для удаления капель;
- фото капли сбоку рядом с линейкой для оценки ее размеров и формы;
- ПК/ноутбук с доступом к Excel или другим программам для измерений и построения графиков.

Меры безопасности:

- аккуратное обращение с жидкостями, чтобы они не попали на электронику;
- при использовании лазера – не направлять луч в глаза.

Требования к представлению решения кейса

Представляемое командой решение кейса должно включать в себя анализ теоретических и экспериментальных аспектов работы капли как микролинзы, результаты измерений ее оптических характеристик, а также использование модели тонкой линзы для расчета и интерпретации полученных данных. В работе должно быть представлено описание разработанного прототипа «полевого микроскопа» и выводы о возможности его применения и устойчивости в реальных условиях эксплуатации. Более подробно о структуре и содержании работы смотрите ниже.

Принимается только машинописный вариант текста. Рекомендуется использование шрифтов Calibri или Times New Roman 12-го кегля с интервалом 1,5. Отступы от левого края 3 см; правый, верхний и нижний – 2 см. Выравнивание текста – по ширине. Объем основного текста – не более 30 страниц формата А4, включая рисунки, без учета приложения.

Структура и содержание работы

Работа должна содержать следующие разделы:

- **Титульный лист** должен содержать следующие сведения: название кейса, сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, учебное заведение, класс), название профиля олимпиады.
- В разделе **«Введение»** обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи работы, а также предоставляется краткий обзор темы исследования.
- В разделе **«Материалы и методы»** описываются материалы, используемые в исследовании, и методология, применяемая для проведения экспериментов или анализа данных. Важно предоставить подробное описание плана эксперимента.
- В разделе **«Результаты»** необходимо предоставить фото экспериментальной установки во время выполнения работы. Полученные числовые данные представляются в табличном виде. Кроме того, полученные результаты должны быть наглядно представлены на рисунках (графики, диаграммы, иллюстрации). Все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и иметь подпись.
- В разделе **«Выводы»** формулируются основные выводы на основе результатов исследования. Высказываются обобщения и анализируются результаты в контексте поставленных целей.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»
Командный кейс «Капля как микролинза»

- В разделе «**Заключение**» подводят итоги исследования и обсуждаются его практические и теоретические значимости. Также могут быть предложены дополнительные направления исследований.
- В разделе «**Список литературы**» приводится список использованных источников, статей, книг и другой литературы, на которые ссылается исследование.
- Кроме того, работа может содержать **приложения** с иллюстративным материалом (рисунки, схемы, таблицы, фотографии и т. п.). На каждое приложение должна быть дана ссылка в тексте работы.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

Командный кейс «Сила сопротивления воздуха»

ИНФОРМАЦИЯ О КЕЙСЕ ДЛЯ УЧАСТНИКОВ:

<i>Компетенция</i>	<i>Сложность</i>			
<i>Постановка гипотезы</i>				
<i>Проведение эксперимента</i>				
<i>Обработка данных</i>				
<i>Формулировка выводов</i>				

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КЕЙСА:

<i>КОМПЕТЕНЦИЯ</i>	<i>РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ</i>
<i>Постановка гипотезы</i>	Знать: основные законы школьного курса физики по темам «Динамика» и «Кинематика». Уметь: на основе теоретических знаний сформулировать задачу по постановке эксперимента, а также способ проверки правильности эксперимента.
<i>Проведение эксперимента</i>	Знать: правила работы с измерительными приборами. Уметь: пользоваться рулеткой и видеокамерой.
<i>Обработка данных</i>	Знать: как при помощи видеоредактора определить время падения тела с точностью до миллисекунд. Уметь: совершать простейшую обработку видео в видеоредакторе, анализировать экспериментальные данные и делать выводы на основании полученных результатов.
<i>Формулировка выводов</i>	Уметь: на основе данных эксперимента и проведенных вычислений делать выводы о правильности выполнения поставленной задачи.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

Командный кейс «Сила сопротивления воздуха»

1. Введение

Современный пассажирский воздушный шар правильно называть тепловым аэростатом, или монгольфьером – по фамилии братьев Монгольфье, которые в 1783 году совершили первый полет на воздушном судне этого типа.

Принцип полета теплового аэростата очень прост: внутри его оболочки находится воздух, температура которого выше, чем температура окружающего воздуха. Поскольку плотность теплого воздуха ниже, он по закону Архимеда стремится вверх под действием выталкивающей силы. При этом сама оболочка и полезная нагрузка притягиваются к Земле (оболочка размерами примерно 25×15 м с корзиной и всем оборудованием весит 400-500 кг). Равенство этих сил позволяет аэростату «зависать» в воздухе на определенной высоте.

Главный орган управления тепловым аэростатом – это газовая горелка, расположенная под оболочкой и направленная вверх. В ней горит смесь пропана и бутана, которую берут на борт в баллонах. При помощи огня нагревается воздух в оболочке; температура растет, шар поднимается. В зависимости от объема оболочки (2-5 тыс. куб. метров воздуха), полезной загрузки и температуры окружающего воздуха температура внутри составляет 50-130 градусов Цельсия. Воздух в оболочке постоянно остывает и шар начинает снижаться, поэтому нужно периодически запускать газовую горелку для сохранения постоянной высоты.

Для спуска воздушного шара на землю в верхней части оболочки имеется клапан, открываемый и закрываемый веревками. Если его открыть, часть теплого воздуха выйдет наружу и шар полетит вниз. В этом случае на шар будут действовать сила тяжести, направленная вертикально вниз, и сила сопротивления воздуха, направленная вертикально вверх.

2. Актуальность

Сопротивление воздуха является одним из фундаментальных физических явлений, которое встречается в современной технике и науке. Актуальность исследования этого явления обусловлена его значимостью для развития различных инженерных направлений.

Научная ценность работы заключается в необходимости углублённого понимания физических законов, описывающих сопротивление воздуха, а также разработки новых методов его измерения и учёта при проектировании различных устройств.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

Командный кейс «Сила сопротивления воздуха»

3. Теория

Сопротивление воздуха – это сила, действующая на тело, движущееся в воздушной среде, направленная противоположно движению и замедляющая его. Природа сопротивления складывается из двух основных факторов:

- трение воздуха о поверхность тела;
- изменение движения воздушного потока из-за присутствия тела.

Механизм действия проявляется в том, что при движении тела в воздухе давление на передней стороне тела возрастает, в то время как давление на задней стороне падает, вследствие чего возникает разность давлений, тормозящая движение, при этом позади тела образуются воздушные вихри.

Факторы, влияющие на сопротивление:

- скорость движения тела;
- размеры тела (площадь поперечного сечения);
- форма тела;

плотность среды.

4. Техническое задание

Команде участников предлагается рассчитать силу сопротивления воздуха при падении тел различных форм, объёмов и масс и предложить эмпирическую зависимость силы сопротивления среды от различных физических параметров.

Необходимо при помощи рулетки или другого измерительного прибора отмерить расстояние в высоту не менее 2 метров. Расположить видеокамеру (можно использовать камеру телефона) так, чтобы в кадр попадало весь процесс падения тела. По видео при помощи видеоредактора необходимо с точностью до миллисекунд определить время падения тела.

Схема эксперимента с использованием воздушного шарика представлена на рисунке 1.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

Командный кейс «Сила сопротивления воздуха»

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}$$
$$\sum \vec{F}_i = m\vec{a}$$

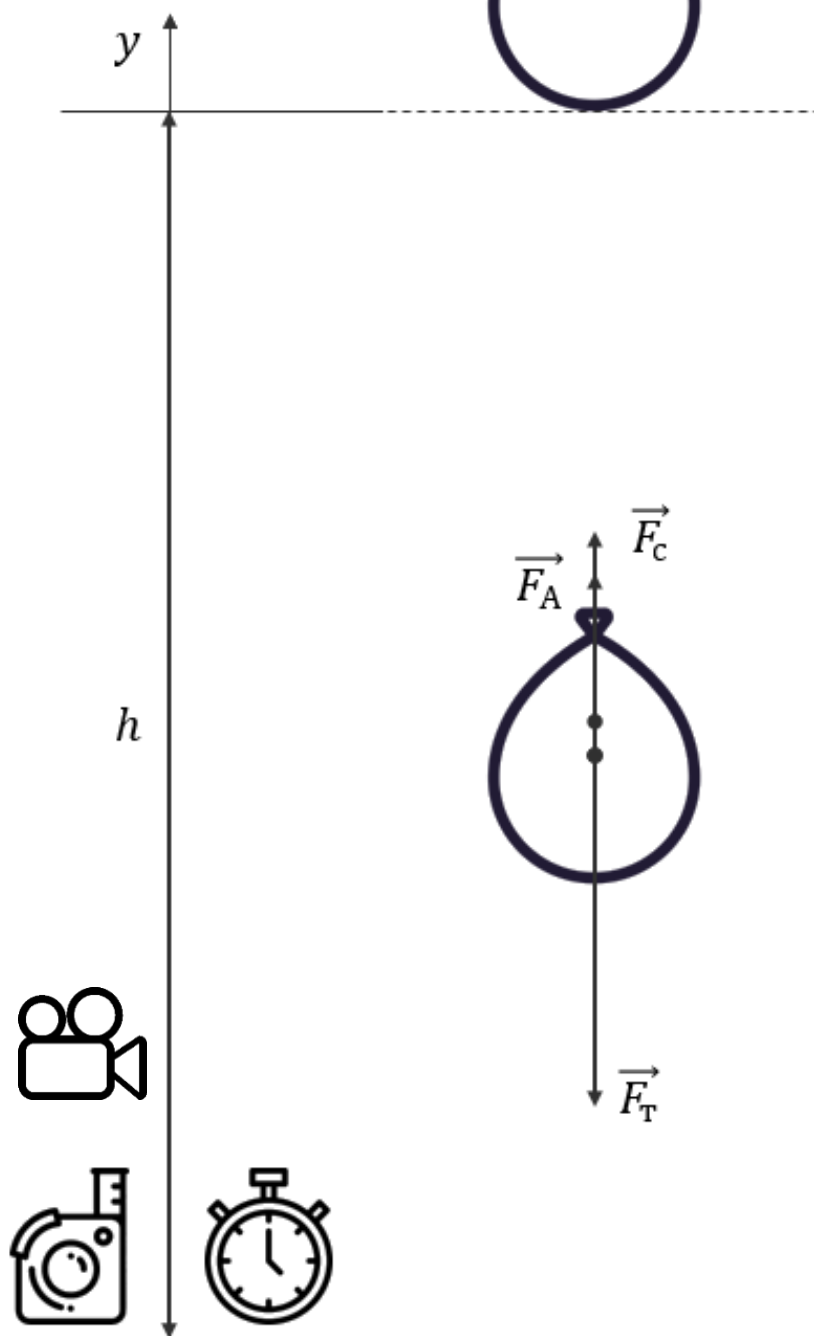


Рисунок 1 – Схема эксперимента

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

Командный кейс «Сила сопротивления воздуха»

Также участникам предлагается решить следующую задачу:

*Аэростат сферической формы с грузом малого размера и воздухом внутри имеет массу $m = 450$ кг, диаметр $d = 14$ м и находится на высоте $h = 1500$ м. Плотность окружающего аэростат воздуха $\rho_0 = 1,2$ кг/м³; температура воздуха снаружи аэростата составляет $t_0 = 15$ °С, внутри – $t = 45$ °С. Из-за поломки газовой горелки на аэростате ему необходимо совершить аварийную посадку. Предполагая постоянство погодных условий и отсутствие ветра, оценить время, за которое аэростат опустится на землю. Клапан в верхней части оболочки считать **закрытым**. Температуру воздуха внутри аэростата можно считать постоянной. При решении задачи учитывать силу сопротивления воздуха в соответствии с полученной в экспериментальной части задания формулой и силу Архимеда. Ускорение свободного падения g принять равным 10 м/с².*

5. Этапы работы над кейсом

- 1) Провести литературный обзор по теме: расчёт силы сопротивления воздуха.
- 2) Предложить схему проведения эксперимента для определения силы сопротивления воздуха, либо воспользоваться схемой, указанной в пункте 4.
- 3) Предложить набор параметров для оценки сопротивления воздуха эмпирическим путём.
- 4) Провести серию испытаний с телами различных форм и масс.
- 5) Оценить погрешность измерений.
- 6) Качественно описать полученные результаты.
- 7) Сравнить полученные результаты с теоретическими значениями и сделать выводы.

6. Регламент испытаний

- 1) Выбрать подходящее место для проведения эксперимента.
- 2) При помощи рулетки или другого измерительного прибора отмерить необходимую высоту (не менее 2 метров).
- 3) Установить видеокамеру таким образом, чтобы тело попадало в кадр на протяжении всего эксперимента.
- 4) Включить видеозапись.
- 5) Сбросить тело с нулевой начальной скоростью с отмеренной высоты (отпустить тело, не прикладывая силу).

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

Командный кейс «Сила сопротивления воздуха»

6) Провести серию из нескольких измерений с различными телами (например: воздушный шар диаметром 25 см, воздушный шар диаметром 90 см).

7) При помощи видеоредактора определить время падения каждого из тел в каждом измерении с точностью до миллисекунд.

7. Примерный перечень средств и инструментов для выполнения исследования

№	Наименование	Количество
1	Воздушный шар (диаметр от 15 до 30 см)	5
2	Воздушный шар (диаметр от 60 до 90 см)	5
3	Воздушный шар иного диаметра	5
4	Рулетка (минимум 5 м)	1
5	Видеокамера	1
6	ПО для обработки видео	1
7	Весы кухонные	1

8. Требования к представлению решения кейса

Представленное командой решение кейса представляет собой описание методики исследования, результатов теоретического и экспериментального исследований и их анализа в формате .pdf. Объем основного текста – не более 30 страниц формата А4, включая рисунки, без учета приложения.

Принимается только машинописный вариант текста. Рекомендуется использование шрифтов Calibri или Times New Roman 12-го кегля с интервалом 1,5. Рекомендуемые отступы – от левого края 3 см; правый, верхний и нижний – 2 см. Выравнивание текста – по ширине.

Титульный лист должен содержать следующие атрибуты: название кейса, сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, учебное заведение, класс), ФИО руководителя, название профиля олимпиады.

Также желательно, чтобы решение включало видеоролик, демонстрирующий ход проведения эксперимента. Видео испытаний готового решения должно однозначно подтверждать авторство участников (во время записи ролика необходимо четко произнести название команды, ФИО участников, номер школы, ФИО руководителя).

9. Структура и содержание решения кейса

Документация в обязательном порядке должна включать в себя:

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

Командный кейс «Сила сопротивления воздуха»

1. Титульный лист (школа, авторы, название кейса, название команды, руководитель).
2. Цель и задачи работы.
3. Описание команды, распределение ролей, функций и обязанностей каждого участника команды.
4. Общее описание работы: этапы работы, описание отдельно каждого этапа.
5. Описание хода проведения эксперимента.
6. Таблица с полученными значениями при проведении эксперимента.
7. Расчёты силы сопротивления воздуха.
8. Расчёты скорости падения теплового аэростата (воздушного шара).
9. Заключение, результаты работы, предложения по возможному улучшению проведения эксперимента.
10. Список литературных источников.
11. Приложение с фотографиями хода проведения эксперимента и ссылкой на видео.
- 10. Методические материалы (необходимые программы, ссылки, научная литература, онлайн курсы и т.д.)**
 1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 т. Т. 4. Волны. Оптика: учебное пособие. 5-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2021 – 256 с.
 2. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. – 3-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 200 – 792 с.
 3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. Т. 6: Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2001 – 736 с.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

<i>Компетенция</i>	<i>Сложность</i>			
Анализ принципов работы технологий				
Моделирование систем и процессов				
Постановка и проведение эксперимента				
Обработка и представление полученных данных				

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КЕЙСА:

<i>КОМПЕТЕНЦИЯ</i>	<i>РЕКОМЕНДУЕМЫЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ</i>
<i>Анализ принципов работы технологий</i>	<p><i>Знать: Основные законы школьного курса по молекулярной физике и механике, виды энергии и принципы ее преобразования, принципы работы простейших пневматических систем.</i></p> <p><i>Уметь: Применять на практике основные законы школьного курса по молекулярной физике и механике, виды энергии и принципы ее преобразования, анализировать технические системы на основе имеющихся принципиальных схем.</i></p>
<i>Моделирование систем и процессов</i>	<p><i>Знать: принципы и особенности масштабируемости физического процесса при его воспроизведении в лаборатории, подходы при воспроизведении того или иного физического процесса.</i></p> <p><i>Уметь: моделировать исследуемый процесс в лабораторном масштабе, оценивать факторы, которыми можно пренебречь при воспроизведении физического процесса в лаборатории, создавать упрощенные стенды для воспроизведения физических процессов.</i></p>
<i>Постановка и проведение эксперимента</i>	<p><i>Знать: основные этапы экспериментального исследования, основы конструирования устройств и механизмов, основы техники безопасности при проведении экспериментальных опытов, принципы работы с экспериментальными установками для получения достоверных экспериментальных данных.</i></p> <p><i>Уметь: разрабатывать и собирать</i></p>

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

	<i>простейшие экспериментальные установки исходя из предъявляемых к ним требованиям, разрабатывать методику и программу эксперимента, систематически собирать данные при проведении эксперимента по показаниям датчиков и регистрирующих устройств, анализировать работу установки для оценки корректности ее функционирования.</i>
Обработка и представление полученных данных	<i>Знать: основные расчетные формулы для обработки экспериментальных данных, а также формулы для расчета погрешностей. Уметь: анализировать и интерпретировать с физической точки зрения получаемый результат, оценивать погрешности и определять их источник.</i>

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

Актуальность

Системы фильтрации воздуха широко применяются в технике. В частности, различный транспорт с двигателями внутреннего сгорания требует использования фильтрующих устройств для очистки воздуха от твердых частиц пыли и грязи перед его подачей внутрь двигателя. Это необходимо для предотвращения загрязнения стенок цилиндров и поршней, впускных коллекторов и пр. Внутреннее загрязнение двигателя ведет к его абразивному износу и потере герметичности в цилиндрах.

Одним из способов фильтрации воздуха является установка фильтров. Фильтры, устанавливаемые во впускном воздушном тракте, механически задерживают пыль и грязь. Естественным процессом работы фильтра является его загрязнение и потеря пропускной способности. Фильтры периодически заменяются на новые, но замена требует проведения сервисного обслуживания машины. Частая замена фильтров невыгодна, поскольку это повышает затраты на эксплуатацию машины, связанные с покупкой новых фильтров и оплатой работы механиков, а также увеличивает общее время простоя машины. В случае, если машина эксплуатируется в сильно запыленных условиях, требуется модификация системы фильтрации воздуха, например, установка в качестве первой ступени очистки циклонного фильтра.

Циклонные фильтры (циклон) – это простой и эффективный способ удаления твердых частиц из газового (воздушного) потока. Схема простейшего циклонного фильтра показана на рисунке 1. Принцип его работы состоит в следующем. Поток загрязненного воздуха, поступает во входной патрубок, установленный по касательной к корпусу циклона. Поток воздуха, попав во внутренний объем циклона, продолжает движение в кольцевом зазоре между стенкой корпуса и внутренним патрубком. В результате, под действием сил инерции тяжелые (по отношению к воздуху) твердые частицы смещаются ближе к стенке. Спускаясь вниз под действием гравитационных сил, они попадают в коническую суживающуюся часть циклона и затем удаляются из потока через пылевывпускное отверстие в нижней части корпуса. Поток очищенного воздуха выходит из объема циклона через выхлопную трубу и направляется дальше на дополнительную очистку фильтром или непосредственно к потребителю воздуха. В движение воздушный поток приводит всасывающий вентилятор (воздуходувка), который установлен за циклоном и фильтром: на его вход поступает уже очищенный воздух.

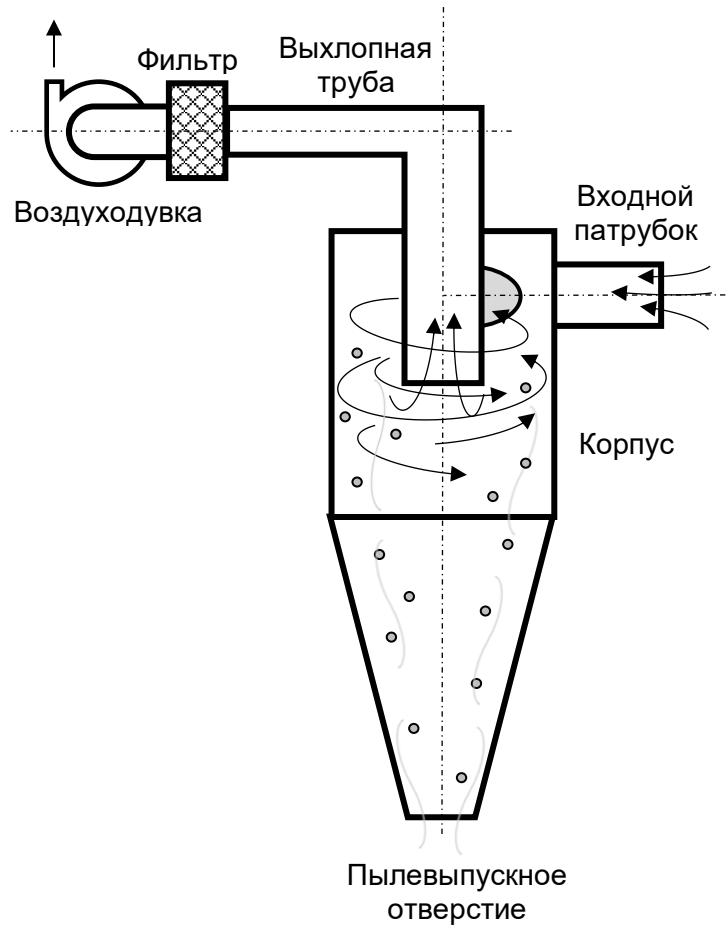
При правильном подборе размеров циклона и скорости движения воздуха внутри него можно добиться эффективности фильтрации выше 90%. Под эффективностью фильтрации η

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

стоит понимать отношение массы удаленного из воздуха загрязнителя $m_{уд}$ к общей массе загрязнителя $m_{вх}$, поступившего на вход циклонного фильтра вместе с потоком воздуха.

Вид спереди:



Вид сверху:

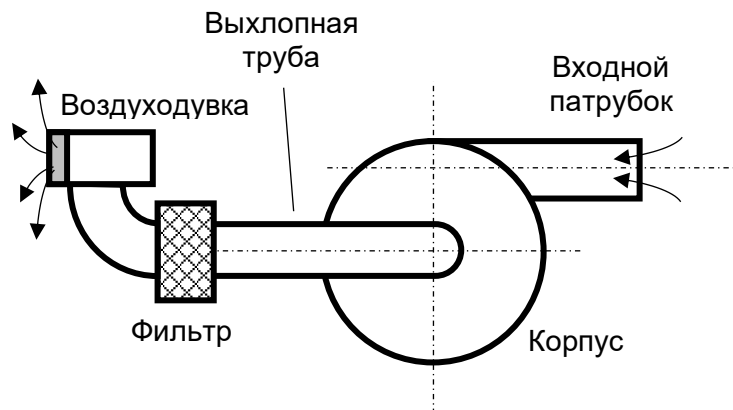


Рисунок 1 – Схематичное изображение циклонного фильтра

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

Циклонный фильтр редко применяется в одиночку. Распространено решение, при котором циклонный фильтр является первой ступенью очистки, которая задерживает крупные загрязнения, а второй ступенью является, например, тканевый фильтр, улавливающий мелкую фракцию загрязнений. В любом случае для достижения высокой эффективности и работоспособности всей фильтрующей системы требуется проведения предварительных расчетов и опытной проверки ее элементов.

Задание на проект

В данном проекте участникам предлагается:

- рассчитать геометрические размеры циклонного фильтра зерноуборочного комбайна;
- экспериментальным и расчетным способом определить эффективность циклонного фильтра;

- подобрать наилучший вариант фильтра, который обеспечит наибольший межсервисный интервал при сохранении необходимого воздушного потока, подаваемого в двигатель. Перепад давления в потоке воздуха при этом не должен превысить установленный предел.

Исходные данные

Работа двигателя комбайна осуществляется в условиях повышенной запыленности и загрязненности: при уборке злаковых культур помимо пыли, поднимаемой из-под колес, в воздухе витают молотые частицы растений, зерна. При проведении расчетов необходимо учесть, что к двигателю должно поступать не менее 0,7 куб. м. воздуха в минуту, а суммарный перепад давления в воздушном тракте (падение давления в циклоне + падение давления в фильтре) не должно превысить 530 Па. Таблица предлагаемых к выбору фильтров приведена ниже. Все фильтры имеют одинаковое эффективное проходное сечение $F_{\text{ф}}$. При выполнении работы участникам предлагается ознакомиться с рекомендациями, приведенными далее по тексту.

Таблица 1. Список фильтров для установки с систему воздухоподготовки двигателя комбайна

Фильтр	Ориентировочный срок службы, часов	Рекомендуемый размер улавливаемых частиц, мкм	Модифицированный коэффициент сопротивления, $\xi/(3600 \cdot 2F^2)$, 1/м ⁴
Заслон-Ф5	50	50 - 250	415,6
«Вереск» Т-Ц08/20	100	2,5 - 100	593,7

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

УФ-ПВ.02.27	40	2 - 27	217,7
«Оса»	120	5,5 - 150	534,3
ЗМ-Урал	140	3 - 350	752,0
ЦМБТ	200	100 - 400	692,7
«Пневмаш» Д10-80	185	10 - 80	613,5
«Калининские фильтры», модель 3557	130	200 - 1000	791,6
ГЗ-Т10-ФП	90	30 - 100	494,8
Ультра-МНЦ	30	1 - 10	336,4
«Малышок», ООО «Спецсельтехмаш»	37	0,5-5	296,9
7700-ГФТ	230	110-530	653,1

Подсказка 1: более широкий диапазон улавливаемых частиц достигается созданием более объемного фильтра. Его пористая среда имеет крупные поры, но формируемые из них каналы довольно протяженные. Такое решение позволяет избежать быстрого засорения фильтра грязью, но сохранить его улавливающие способности как для крупных частиц, так и для мелких. Недостатком такого решения является повышенное сопротивление потоку воздуха.

Подсказка 2: При расчете перепада давления в фильтре стоит выразить скорость потока воздуха через его объемный расход V_p и площадь проходного сечения фильтра F_f как $v = V_p/F_f$, для того, чтобы можно было воспользоваться стандартной формулой для расчета перепада давления на участке воздушного тракта $\Delta P = \xi \cdot (\rho v^2/2)$

Этапы работы над проектом

- *Анализ литературы*

Пользуясь доступными Вам литературными источниками, изучите принцип работы различных модификаций циклонных и тканевых фильтров. Обратите особое внимание на условия их применения и факторы, определяющие ресурс работы и эффективность. Изучите другие способы фильтрации потоков воздуха.

- *Экспериментальное исследование. Часть 1*

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

В данном проекте в качестве ближайшего имитатора частиц пыли и загрязнений предлагается использовать растворимый и дополнительно измельченный кофе. С помощью рекомендации №1 определите средний, минимальный и максимальный размер частиц. Эти данные понадобятся для проведения расчета циклонного фильтра на следующем этапе.

- *Расчет параметров фильтрующей системы*

Используя исходные данные задачи, результаты исследования размеров частиц загрязнения, а также рекомендацию №2, проведите расчет размеров циклона, перепада давления, создаваемого в циклоне, а также минимальный размер частиц, улавливаемый в циклоне.

Подберите наиболее подходящий воздушный фильтр по таблице 1, принимая во внимание данные расчетов минимального размера частиц, улавливаемого циклоном, полученное значение перепада давления в нем, а также давление, которое будет создавать воздушный фильтр. Обоснуйте свой выбор фильтра. В случае, если суммарный перепад давления в потоке воздуха через фильтр и циклон выше максимального допустимого значения, скорректируйте размеры циклона. Для расчета суммарного падения давления в системе используйте рекомендацию №3.

- *Экспериментальное исследование. Часть 2*

Соберите макет циклонного фильтра и проведите испытания по определению его эффективности и минимального размера задерживаемых частиц с тем расходом воздуха, который требуется двигателю комбайна. Используйте рекомендацию №4 по сборке экспериментальной установки, а также Приложения «Код Arduino для считывания скорости вращения вентилятора» и «Инструкция по сборке циклона и удерживающей стойки» для создания системы управления потоком воздуха и циклонного фильтра.

- *Отчет по проекту*

Требования к представлению решения задания

Представляемое решение должно включать в себя описание полученных результатов по всем пунктам задания.

Необходимо представить описание основных методов фильтрации воздуха, а также циклонных и тканевых фильтров, включая анализ их работы.

При описании первой части экспериментального исследования участники приводят методику и схему установки по определению размера частиц, методику приготовления частиц, приводят снимки частиц, подвергавшихся анализу, приводят в виде таблиц и гистограмм

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

результаты определения среднего, минимального и максимального размера частиц загрязнителя. Дается краткий анализ, качественно описывающий полученное распределение частиц по размерам, доли крупной и мелкой фракции.

При описании результатов расчета участники должны представить полученные значения геометрических размеров циклона, создаваемого перепада давления, его ожидаемой эффективности и предполагаемого минимального размера улавливаемых частиц. Приводятся результаты расчета перепада давления, который не должен превысить фильтр. Приводится выбор модели фильтра, а также обоснование сделанного выбора.

При описании второй части экспериментального исследования участники приводят схему экспериментальной установки, описание эксперимента, приводят полученные результаты в виде графиков и таблиц, приводят расчет погрешности. Необходимо также представить сравнение результатов эксперимента с расчетными значениями. При отклонении данных эксперимента от расчетов предположите, что могло привести к такому результату. В случае, если циклонный фильтр демонстрирует эффективность ниже 95%, укажите возможные причины этого и способы повышения эффективности фильтрации.

Представляемый отчет по заданию должен быть оформлен в виде машинописного текста. Рекомендуется использование шрифта Times New Roman 12-го кегля с междустрочным интервалом, равным 1,5 высоты строки. Отступы от левого края – 25 мм, отступы от правого, нижнего и верхнего края – 20 мм. Объем решения – не более 15 страниц формата А4, включая рисунки и таблицы, без учёта приложения.

Структура отчета

1. Титульный лист (школа, авторы, название кейса, название команды, руководитель).
2. Описание команды, распределение ролей, функций и обязанностей каждого участника команды.
3. Основная часть отчета, содержащая материал по всем пунктам задания, излагаемого в последовательности «методика выполнения задания, включая расчетные формулы – схема установки – полученный результат – его обсуждение» (применительно к расчетным и экспериментальным заданиям).
4. Список литературных источников. В этом разделе приводится список использованных источников, статей, книг и другой литературы, на которые ссылается исследование. Кроме того, работа может содержать приложения с иллюстративным материалом (рисунки,

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

схемы, таблицы, фотографии и т. п.). На каждое приложение должна быть дана ссылка в тексте работы.

5. Обязательные дополнительные материалы к отчету:

- Фотографии разработанной установки и её составных частей.

- Видеоролик, демонстрирующий выполнение экспериментальных измерений в соответствии с требованиями кейса. На видео необходимо продемонстрировать прохождение каждого, описанного в задании, эксперимента или отдельных его частей. Видео с проведённым экспериментом должно однозначно подтверждать авторство участников (во время записи ролика необходимо чётко произнести название команды, ФИО участников, номер школы, ФИО руководителя). Видеоролик располагается на стороннем видеохостинге (ВКонтакте, Rutube и др.), ссылка на видеоролик располагается в репозитории в системе контроля версий (может использоваться github, gitlab и др.). Видео должно четко показывать выполнение эксперимента, экспериментальную установку. В кадре должен присутствовать хотя бы один из участников команды при выполнении экспериментов. Допускается использование второй камеры для более детализированной демонстрации ключевых моментов. Видео должно быть со звуком, на котором отчётливо слышны подаваемые голосовые команды и действия команды. На видеозаписи должно быть хорошо различимы все элементы, влияющие на оценивание результативности. В случае, если эксперты не смогут по видеозаписи однозначно понять результат выполнения задания, принимается решение не в пользу участника.

6. Необязательные дополнительные материалы к отчету:

Разработанные 3D-модели в форматах .obj, .stl или .step, скриншоты разработанных 3D-моделей (как системы в целом, таким и отдельный ее частей, при наличии). 3D-модели должны находиться в репозитории проекта в системе контроля версий (может использоваться github, gitlab и др.)

В случае разработки программного обеспечения, должен быть приведён алгоритм его работы в виде блок-схем.

Код разработанного программного обеспечения должен быть представлен в виде ссылки на репозиторий проекта с кодом в системе контроля версий (может использоваться github, gitlab и др.). Любые архивы с загруженными исходными кодам (.zip, .rar и т.п.) загружать в другие хранилища данных запрещается.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

Примерный перечень средств и материалов для выполнения задания

- альбом для рисования акварелью, А3, 200 г/м²;
- картон для скрапбукинга, 1,5 мм, А3;
- бумажный клей;
- растворимый кофе;
- весы;
- вентилятор радиальный 9733;
- ШИМ-регулятор (ZK-PP2K);
- блок питания 12 В, >6 А;
- плата Arduino;
- макетная плата;
- провода «штырь-штырь»;
- скотч и двухсторонний скотч;
- ножницы;
- стеклянный мерный стакан;
- мобильный телефон;
- макролинза для мобильного телефона (увеличение ×30 или более);
- индивидуальные средства защиты: очки, перчатки, халат.

Список рекомендуемой литературы

1. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. - с.: ил., библиогр.;

2. А.А. Волкова, Е .В. Шашмурина ВЫБОР И РАСЧЕТ СРЕДСТВ ПО ПЫЛЕГАЗООЧИСТКЕ ВОЗДУХА. Учебное электронное текстовое издание. Федеральное агентство по образованию ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», 2008. – с.: ил.;

3. А.Б. Елькин, О.В. Маслеева Выбор и расчет средств очистки газов: Методические указания по выполнению практической работы по дисциплине «Экология» /НГТУ; сост.: А.Б. Елькин, О.В. Маслеева. Н. Новгород, 2014, 11с.;

4. Пономарев, В. Б. Расчет и проектирование оборудования для воздушной сепарации сыпучих материалов : учеб. пособие / В. Б. Пономарев. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 96 с.;

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

5. Расчет характеристик пылеулавливающих установок вентиляционных систем:
Учебное пособие / А.И. Скрыпник; Воронеж. гос. арх.- строит. ун-т. Воронеж, 2004, - 126 с.

6. Аксенова Е.Н., Гасников Н.К., Калашников Н.П. Методы оценки погрешностей
результатов прямых и косвенных измерений в лабораториях физического практикума:
Учебно-методическое пособие. – М.: МИФИ, 2009. – 24 с.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания
РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОЕКТА**

1. Анализ размеров частиц

В данном проекте измерение размеров частиц предлагается осуществлять с помощью оцифровки их изображения в бесплатной программе ImageJ. Расположив частицы на белом фоне (например, листе бумаги), с помощью камеры мобильного телефона в режиме макросъемки необходимо сделать фотографию. Для улучшения качества изображения предлагается использовать накладные оптические объективы-увеличители. Пример снимка частиц кофе приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Пример снимка частиц рядом с размерной шкалой

Для обработки фото на снимке должен находиться предмет с известным размером или мерная шкала, не грубее, чем с 1-мм делениями шкалы. Обратите внимание, что частиц молотого растворимого кофе нужно брать немного, чтобы их можно было насыпать на лист распределённо. Для отделения отдельных частиц друг от друга лист можно слегка потрясти. Наиболее удачная область анализа фотографии отмечена красной рамкой: там частицы преимущественно находятся отдельно друг от друга

После того, как снимок сделан и загружен на компьютер, запустите программу ImageJ. Выберите следующие команды, позволяющие настроить отображение результатов измерений:

Analyze → Set Measurements. В появившемся окне галочкой должен быть отмечен параметр Area. Нажмите ОК.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

Загрузите снимок в программу, выбрав команды File → Open и в появившемся окне указав расположение файла. Следующим шагом необходимо установить количество пикселей, приходящихся на единицу длины.

Для установки шкалы выберите инструмент Straight – копка с прямой линией под меню команд. Проведите линию между характерными линиями делений шкалы. Например, как показано на рисунке 2. Затем, не удаляя и не убирая построенную линию, выберите команды Analyze → Set Scale и в появившемся окне укажите какой реальной длине соответствует построенная линия (known distance) и какая единица измерения длины используется (unit of length, например, mm). Присвойте полученной шкале глобальное свойство (Global) и нажмите ОК.

Выделите на картинке фрагмент, на котором частицы находятся отдельно друг от друга. Например, как показано красной рамкой на рисунке 1. Выделите этот фрагмент прямоугольной областью, вырежьте его (Ctrl + X) и вставьте как новый снимок (Ctrl + V). Появится новое окно со снимком выбранной ранее области.

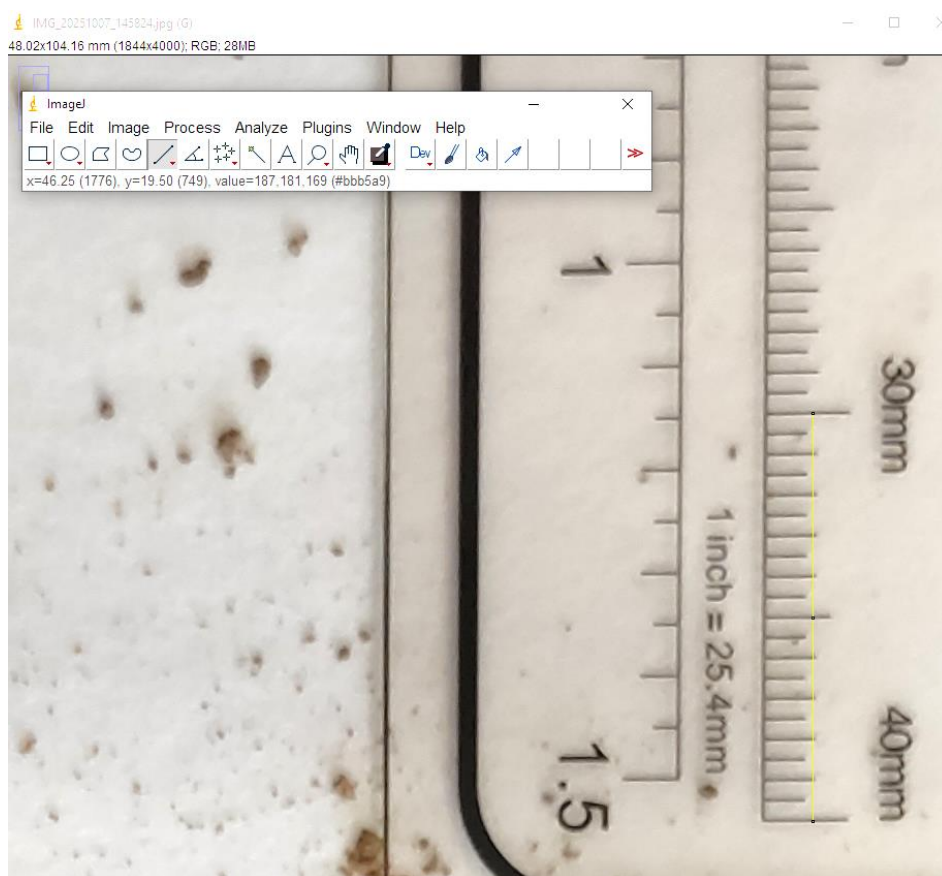


Рисунок 2 – Установка линейного масштаба на снимке частиц

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

Переведите картинку в черно-белый формат: Image → Type → 16-Bit.

На следующем этапе необходимо выделить область, соответствующую частицам. Частицы темнее фона, поэтому необходимо сделать так, чтобы программа выделила только нужную темную область для последующего анализа. Выберите Image → Adjust → Threshold. Как правило, программа сама довольно неплохо определяет границы частиц. Но для более точной настройки можно двигать ползунки в появившемся окне, отвечающие за границы уровня оттенков серого, относящихся к области, занимаемой частицами. Постарайтесь сделать так, чтобы красный цвет как можно точнее покрывал частицы (рисунок 3). Нажмите кнопку Apply.

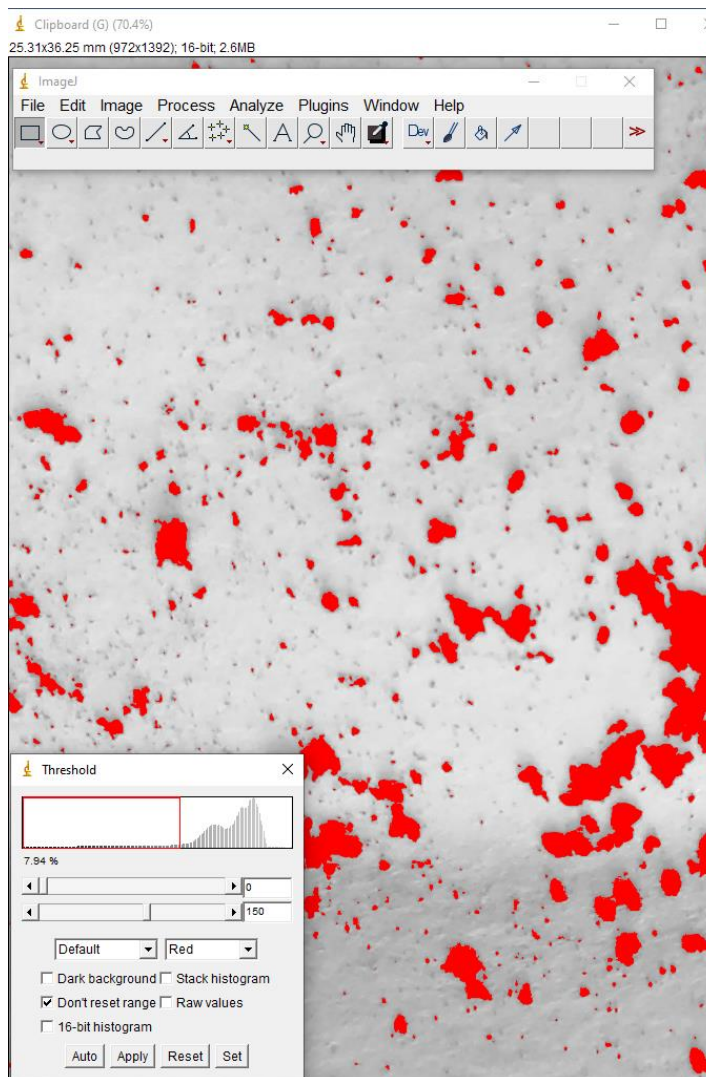


Рисунок 3 – Определение границ частиц в программе ImageJ цветовым методом

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

Следующим шагом проведите измерение площадей частиц: Analyze → Analyze Particles. Поставьте ограничение площади в 25 мм² (Size). Частицы растворимого кофе после помола вряд ли будут иметь большую площадь. Нажмите ОК. Перед Вами появится окно с результатами измерения площадей отдельных частиц. Сохраните данные для последующей обработки: File → Save As. Данные будут сохранены в виде Excel-подобной таблицы в формате .csv. Откройте ее и, выделив первый столбец, разделите все данные по отдельным столбцам: Данные → Текст по столбцам. В появившемся диалоговом окне выберите, что данные представлены с разделителями, а на следующем шаге выберите в качестве разделителя запятую. Принимая все следующие шаги, диалоговое окно закроется, а данные будут разделены по столбцам. Сделайте в данных замену десятичного разделителя точкой на запятую (Ctrl + H, заменить все «.» на «,»).

Примем, что частицы имеют форму, близкую к сферической. Тогда площадь частицы на просвет A связана с диаметром частицы $d_{\text{ч}}$ выражением (1):

$$A = \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} \quad (1)$$

Из выражения 1 легко найти диаметр частицы. Используя возможность вычисления с помощью формул в Excel, рассчитайте диаметр для всех частиц.

Из полученного массива диаметров можно получить три важных параметра: медианный размер частицы, лежащий очень близко к среднему диаметру проанализированных частиц (такой размер, при котором 50% частиц имеют меньший размер, а другие 50% частиц – больший), минимальный размер частиц и диапазон размеров частиц. Первый параметр можно определить, используя функцию «МЕДИАНА()», второй – «МИН()». Подробнее об использовании этих функций можно прочесть во встроенной справке в Excel. Третий параметр – диапазон размеров частиц – определяется из гистограммы размеров частиц. Построить ее можно также с помощью функции построения графиков в Excel, выделив значения рассчитанных диаметров (Вставка → Вставка статистической диаграммы → Парето). Настройте полученную диаграмму так, чтобы отображаемый размер частиц по горизонтальной оси не превосходил ту величину, в пределах которой сосредоточено более 90% частиц. Рисунок 4 ниже показывает итоговый результат обработки распределения размеров. В ходе обработки было найдено, что основной массив частиц имеет размеры менее 0,5 мм, причем почти 85% частиц имеют размер, лежащий в диапазоне от 29 до 229 мкм. Медианный размер частиц составил 107 мкм.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя внутреннего сгорания

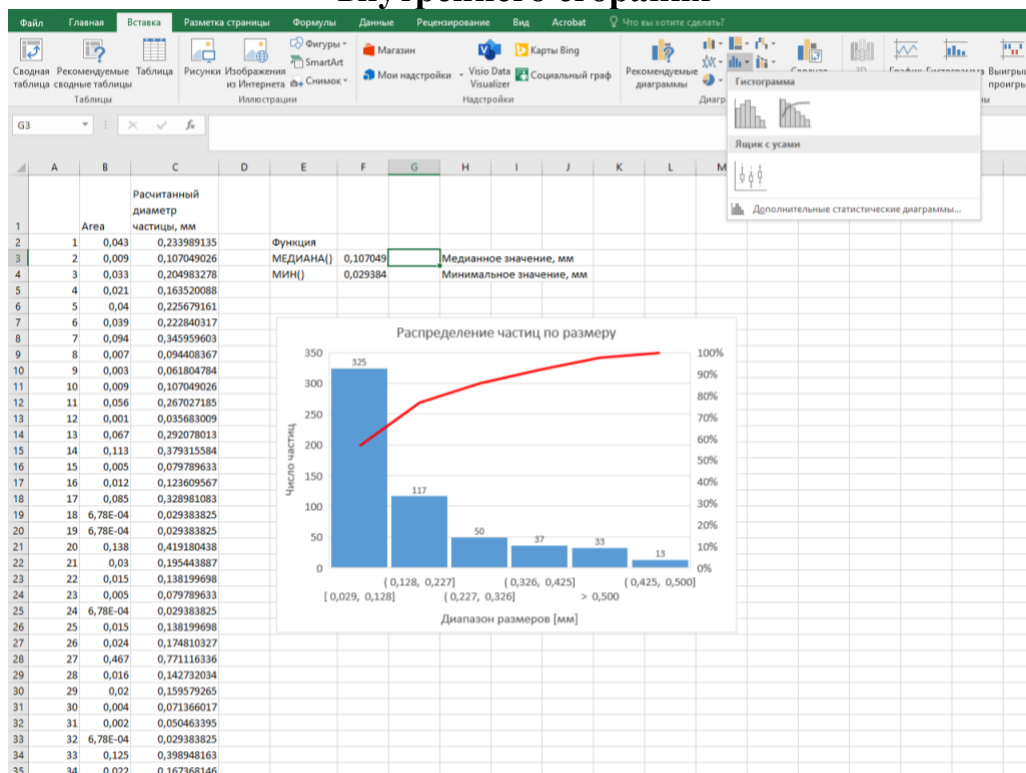


Рисунок 4 – Результат статистической обработки размеров частиц

Проведите обработку как минимум трех различных снимков и определите среднеарифметическое значение размеров частиц (минимальный, средний и максимальный размер). Рассчитайте погрешность средних величин. Оцените абсолютную погрешность определения размеров частиц, вызванных неточностью установки шкалы перевода пикселей в метры (миллиметры). Если одна из этих погрешностей больше другой на порядок, то примите ее за основную. В противном случае погрешность принять как корень из суммы квадратов каждой из найденных погрешностей (погрешность среднего значения и погрешность определения шкалы).

2. Расчет циклонного фильтра

Циклонный фильтр - это устройство, проектируемое под конкретную газовую/воздушную систему. Эффективность его применения определяется выбранными размерами, которые рассчитываются на основании объемного расхода потока подаваемого воздуха, а также свойств улавливаемых частиц. Среди наиболее важных геометрических размеров циклона, определяемых на этапе его проектирования, являются параметры, указанные на рисунке 5. В данном проекте в качестве прототипа предлагается рассмотреть упрощенную модель циклонного фильтра ЦН-15 от института НИИОГаз.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

$D_{ц}$ – внутренний диаметр корпуса циклона

$d = 0,59D_{ц}$ – внутренний диаметр выхлопной
трубы

$d_1 = 0,4D_{ц}$ – внутренний диаметр
пылевывпускного отверстия

$b = 0,26D_{ц}$ – ширина входного патрубка на
входе

$l = 0,6D_{ц}$ – длина входного патрубка

$a = 0,66D_{ц}$ – высота входного патрубка

$h_{т} = 1,74D_{ц}$ – высота выхлопной трубы

$H_{ц} = 2,26D_{ц}$ – высота цилиндрической части
циклона

$H_{к} = 2D_{ц}$ – высота конуса циклона

$h_{в} = 0,3D_{ц}$ – высота внешней части

выхлопной трубы

$H = 4,56D_{ц}$ – общая высота циклона

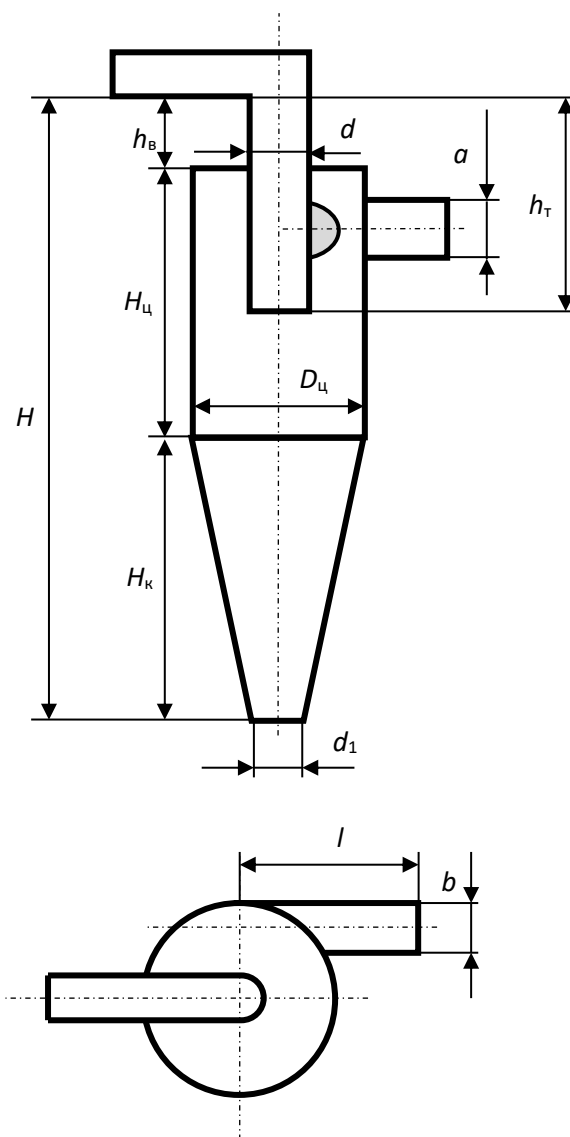


Рисунок 5 – Основные геометрические размеры циклона

Как видно из рисунка 5, все основные размеры циклонного фильтра зависят от внутреннего диаметра корпуса циклона $D_{ц}$. Найти этот размер можно по формуле (2):

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{F}{0.785}} \quad (2)$$

где F – необходимая площадь сечения циклона, m^2 , которая рассчитывается по формуле (3):

$$F = \frac{V_p}{v_{опт}} \quad (3)$$

В уравнении (3) V_p – объемный расход газа, m^3/c , $v_{опт}$ – оптимальная скорость движения газа в циклоне, которая равна 3,5 м/с для циклона ЦН-15.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

На практике по ряду причин бывает невозможно спроектировать циклон так, чтобы скорость движения воздуха в нем была бы оптимальной. Это ухудшает его эксплуатационные характеристики, снижая эффективность, но не лишает полностью работоспособности. Так, при слишком низкой скорости воздуха частицы будут медленно сепарироваться из потока, так как силы инерции будут малы для быстрого смещения пыли к стенкам циклона. В результате частицы, оставшиеся ближе к центральной части корпуса циклона, могут быть унесены через выхлопную трубу. При слишком больших скоростях завихренность потока воздуха внутри циклона настолько высока, что частицы, первоначально удаленные к стенкам циклона, могут быть вынесены вновь ближе в центральной части, что приведет к их попаданию в выхлопную трубу. Естественно, если в воздушной системе за «неоптимальным» циклоном установлен дополнительный фильтр, срок службы фильтра снизится.

Действительная скорость воздуха v в циклоне при этом определяется выражением (4):

$$v = \frac{V_p}{0,785 D_{\text{ц}}^2} \quad (4)$$

Потери давления в циклоне рассчитываются при этом выражением (5):

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi_{\text{ц}} \frac{\rho_{\text{г}} v^2}{2} \quad (5)$$

где

$$\xi_{\text{ц}} = 120 \cdot \left(\frac{v}{v_{\text{опт}}} \right)^2 \quad (6)$$

является коэффициентом гидравлического сопротивления, учитывающим в общем случае как влияние размеров циклона (учтено численным коэффициентом), так и отклонение скорости газа в нем от оптимальной (учтено отношением реальной и оптимальной скоростей). Из уравнения (5) видно, что перепад давления будет возрастать при увеличении скорости движения газа в циклоне (что возникает при уменьшении размера циклона или при увеличении объемного расхода газа через циклон) и снижаться при уменьшении скорости (соответственно, при увеличении размеров циклона или снижении расхода воздуха).

Размер частиц, выраженный в микрометрах, улавливаемых циклоном с 50%-ной эффективностью, определяется уравнением:

$$d_{50} = 4,5 \sqrt{\frac{3,5 \cdot 1930 \cdot D_{\text{ц}} \cdot \mu_{\text{г}}}{0,6 \cdot 22,2 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot v}} \quad (7)$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

где μ_r – динамическая вязкость газа, Па·с, $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частиц пыли/загрязнителя, кг/м³.
Считать что средняя плотность частиц растворимого кофе соответствует средней плотности частиц реального загрязнителя и равна 600 кг/м³.

Оценить эффективность улавливания загрязнений циклоном можно по приближенной формуле (8):

$$\eta = \frac{1}{1 + e^{-1,655 \cdot (x - 0,01868)}} \quad (8)$$
$$x = \frac{\lg \frac{d_{\text{ч}}}{d_{50}}}{0,658}$$

где $d_{\text{ч}}$ – средний диаметр частиц пыли/загрязнений, выраженный в микрометрах. Средний размер частиц загрязнения в данной работе определяется из анализа, описанного в рекомендации №1. Численные коэффициенты в уравнении (8) подобраны для упрощенной версии циклона ЦН-15.

3. Расчет потерь давления в потоке воздуха в воздушном тракте

Поток воздуха, двигаясь по каналу сложной формы, включающий изгибы, расширения и сужения, теряет энергию на преодоление сил трения и на перестройку потока. В конечном счете это выражается в потере давления потока воздуха. Если потери давления в некотором воздушном тракте сравниваются с начальным давлением потока, поступившего в тракт, то поток останавливается и расход газа равен нулю.

Циклонный и обычный фильтры создают основной перепад давления в воздушной системе двигателя зерноуборочного комбайна в настоящем проекте. Это можно записать как (9):

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ц}} + \Delta P_{\text{ф}} \quad (9)$$

При этом, объемный расход воздуха (но не скорость!) через циклонный и обычный фильтры одинакова.

В результате, расчет перепадов давления в каждом отдельном элементе позволяет найти суммарный перепад давления, который не должен превышать предельного значения. Это позволит избежать снижения расхода воздуха по воздушному тракту ниже минимально допустимого значения.

4. Рекомендации по созданию экспериментального стенда

В данном проекте необходимо провести испытание прототипа циклонного фильтра. Предлагаемая схема установки приведена ниже на рисунке 6.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

Установка включает в себя циклонный фильтр, удерживающую стойку, вытяжной радиальный вентилятор, регулятор мощности вентилятора, блок питания. Принцип работы установки заключается в следующем. Вентилятор, скорость вращения которого задается регулятором мощности (ШИМ-регулятор), устанавливается на окончании выхлопной трубы циклонного фильтра. Окончание выхлопной трубы имеет расширение, предназначенное для установки экранов с липкими поверхностями. Экраны позволяют собрать неуловленные в циклоне мелкие частицы и провести их последующий анализ размеров. Циклон, будучи установленным на стойке, в опыте выполняет фильтрацию поступающего потока воздуха с загрязнением. Загрязнение вводится в поток воздуха вручную путем подсыпания твердых частиц в засасываемый поток воздуха (например, медленно опрокидывая чайную ложку с частицами).

В процессе опыта участники, выбрав необходимую скорость вращения вентилятора, берут заранее заготовленный объем измельченных частиц растворимого кофе известной массы $m_{вх}$ и начинают его подсыпать во входящий в циклон поток воздуха. В процессе фильтрации загрязнения будут высыпаться из нижней части циклона. Высыпавшуюся массу частиц $m_{уд}$ необходимо собрать и взвесить. Используя выражение (10), можно определить эффективность фильтрации:

$$\eta_{\varepsilon} = \frac{m_{уд}}{m_{вх}} \quad (10)$$

После проведения опыта из расширения выхлопной трубы необходимо извлечь экраны, на которых будут задержаны неотфильтрованные частицы, и сделать их макрофотографию, для анализа размеров частиц, которые не удалось уловить в циклоне.

Провести не менее трех опытов. Провести расчет абсолютной погрешности масс уловленных и поступивших на вход частиц исходя их приборной погрешности используемых весов. Расчет абсолютной погрешности циклона провести с учетом абсолютных погрешностей масс частиц, а также погрешности среднего значения эффективности циклона. Расчет абсолютной погрешности эффективности циклона проводить как корень из суммы квадратов каждой из составляющих абсолютной погрешности.

На заключительном этапе опыта необходимо провести сравнение результатов расчета и эксперимента, а именно:

- согласуются или отличаются расчетная и экспериментально определенная эффективность циклона?

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

- согласуются или различаются величины минимального диаметра частиц, улавливаемых циклоном?

Сравнение должно стать основой для технического анализа циклона, который также необходимо привести в итоговом отчете.

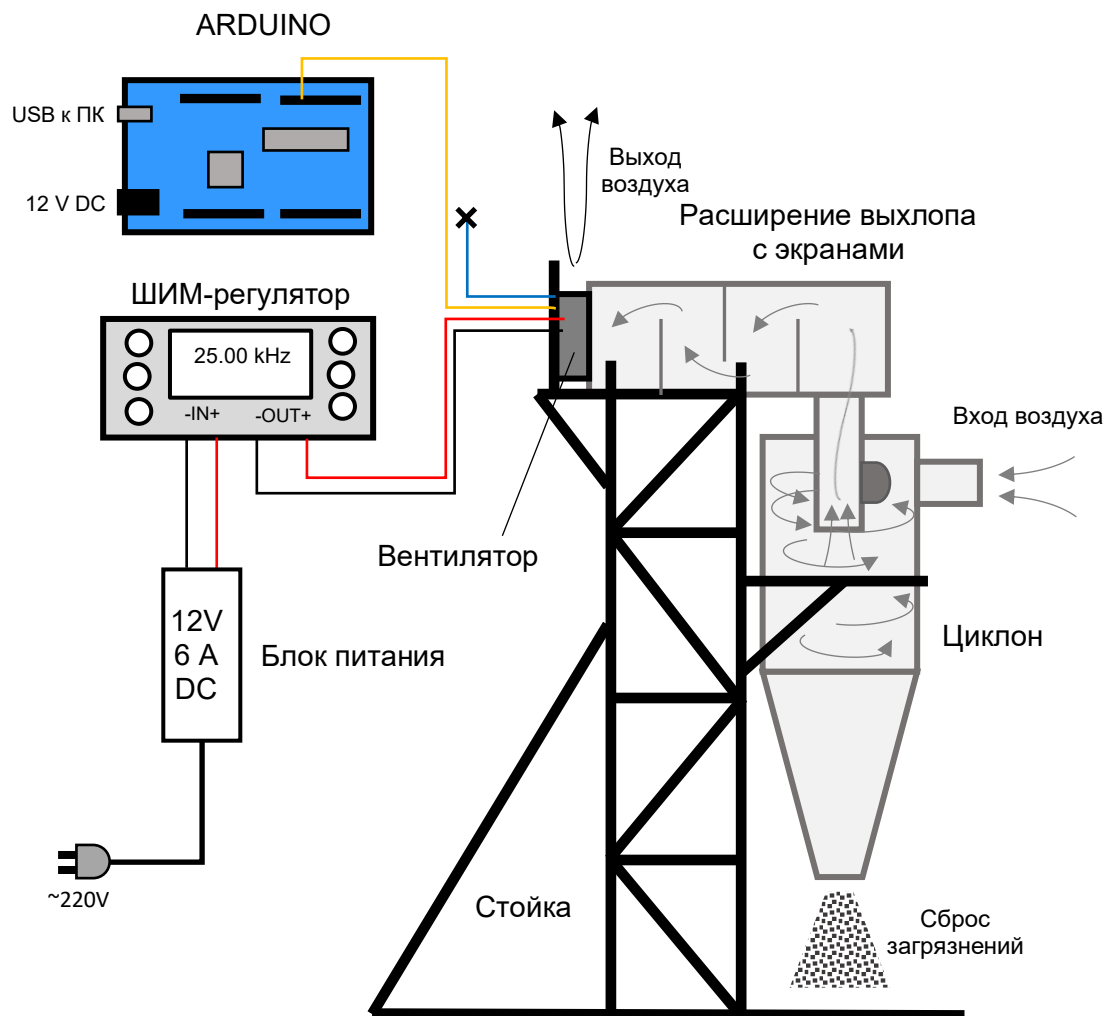


Рисунок 6 - Схема экспериментальной установки

4.1. Рекомендации по созданию циклона

В проекте предлагается создать циклонный фильтр из деталей, изготовленных из белой плотной бумаги, соединяя их бумажным клеем. Наиболее оптимальный материал – бумага для рисования акварелью, размер А3, плотность - 200 г/м². Такая бумага хорошо держит форму и шероховата, что позволяет относительно легко склеивать выполненные из нее детали в устойчивые изделия. Удерживающую опору для циклона предлагается изготавливать из

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

картона для скрапбукинга, толщиной 1,5 мм, имеющего формат А3. В приложении к условию даны развертки деталей циклона и стойки, указан порядок их сборки. В Приложении «Инструкция по сборке циклона» Вы найдете пошаговую инструкцию по изготовлению деталей и сборке циклонного фильтра и удерживающей стойки».

4.2. Рекомендации по сборке вытяжного вентилятора

В качестве вытяжного вентилятора в данном проекте предлагается использовать радиальный вентилятор охлаждения модели 9733. Его основные технические характеристики приведены в таблице 3, а расходная характеристика дана на рисунке 7.

ВНИМАНИЕ! На рынке под одной моделью могут продаваться вентиляторы с различным номинальным током и, следовательно, производительностью. Рекомендуется внимательно изучать техническое описание модели при покупке и сопоставлять эти параметрами с теми, что приведены в таблице 3.

Таблица 3. Основные характеристики вентилятора модели 9733

Параметр	Значение
Максимальный воздушный поток, м ³ /с	0.024 (51 куб. футов в секунду)
Максимальная скорость вращения, об/мин	6000
Максимальная потребляемая мощность, Вт	54
Питание, В	12, постоянный ток
Сила тока при напряжении питания, А	4,5
В×Д×Ш, мм	97×97×33
Подключение:	4 провода: красный - +12 В, черный – земля, синий – ШИМ-регулировка, желтый – тахометр

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

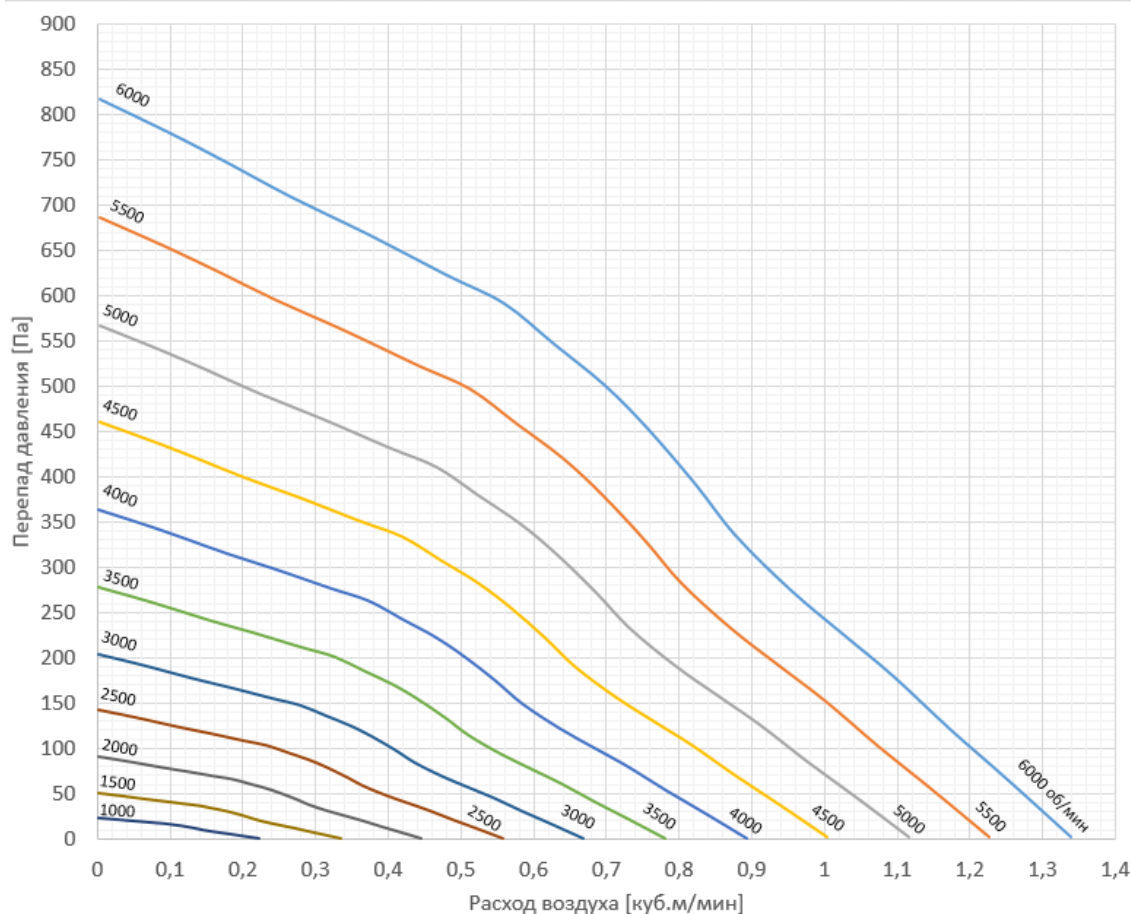


Рисунок 7 – Расходная характеристика вентилятора модели 9733 в зависимости от частоты вращения, об/мин.

В проекте понадобится установить требуемую скорость вращения вентилятора для того, чтобы обеспечить необходимый уровень расхода воздуха и скорость его движения в циклоне.

Воздуходувка, как и любой классический центробежный насос или вентилятор работает в самом простом случае от электродвигателя, вращающего рабочее колесо. Это колесо вращается при определенной скорости, выражаемой в оборотах в минуту и определяемой напряжением на обмотке электродвигателя. Существует и альтернативный способ управления скоростью колеса, заключающийся в сохранении рабочего напряжения неизменным, но подаваемого на электродвигатель импульсно. Этот метод, носящий название широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), управляет длительностью импульса электрического тока, подаваемого с постоянной частотой на обмотку двигателя (рисунок 8). В

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

результате варьированием длительности импульса осуществляется управление средней мощностью, потребляемой двигателем.

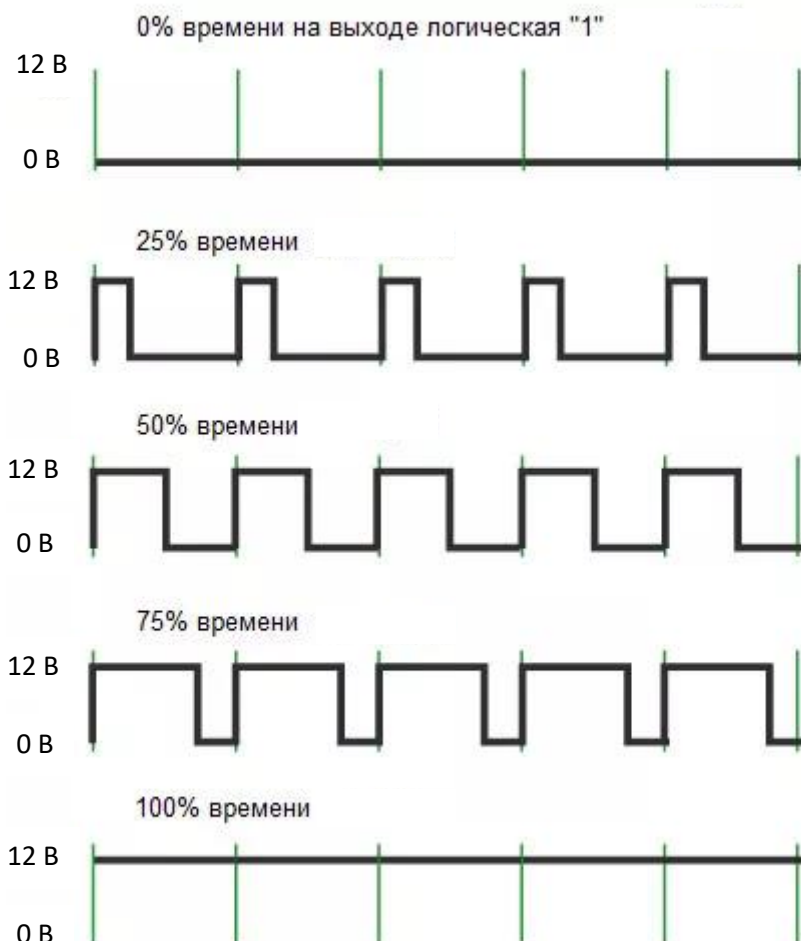


Рисунок 8 – Концепция управления мощностью с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ)

Для сборки электрической схемы понадобятся:

- Блок питания постоянного тока с напряжением 12 В и выходным током не менее 6 А (мощность >72 Вт);
- ШИМ-регулятор постоянного тока с ручным управлением, рассчитанным на работу с напряжением 12 В и максимально допустимым током не менее 6 А;
- Плата Arduino UNO или ее аналоги для определения скорости вращения вентилятора;
- макетная плата, соединительные провода типа «штырь-штырь».

Схема электрического соединения приведена на рисунке 6.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

**ВНИМАНИЕ! Все работы по сборке электрической схемы и ее запуску проводить
в присутствии взрослых или с помощью учителей!**

Для считывания скорости вращения вентилятора в оборотах в минуту рекомендуется использовать плату Arduino с подключением к ее цифровому входу провода вентилятора, связанного с тахометром. Примерный код для Arduino, который позволит считать данные с тахометра, представлен в Приложении «Код Arduino для считывания скорости вращения вентилятора».

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

ПРИЛОЖЕНИЕ

«КОД ARDUINO ДЛЯ СЧИТЫВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРА»

```
// Определяем пин, к которому подключен провод тахометра.
// Для Arduino Uno/Nano/Mega пин 2 соответствует прерыванию 0 (INT0).
const int tachometerPin = 2;

// Переменная для хранения количества импульсов, подсчитанных с момента
последнего измерения.
volatile unsigned long pulseCount = 0;

// Константа, определяющая количество импульсов за один оборот.
// Обычно для вентиляторов с датчиком Холла 2 импульса/оборот (один цикл).
// Проверьте спецификацию вашего вентилятора 9733, но 2 импульса/оборот -
стандартное предположение.
const float pulsesPerRevolution = 2.0;

// Переменная для хранения вычисленной скорости вращения в об/мин.
float rpm = 0.0;

// Время последнего измерения (для расчета частоты).
unsigned long lastMeasureTime = 0;

// Интервал, через который будут производиться расчеты (в миллисекундах).
// Измерение в течение 1 секунды (1000 мс) упрощает расчет.
const unsigned long measureInterval = 1000;

/**
 * Функция-обработчик прерывания.
 * Вызывается каждый раз, когда тахометр генерирует импульс (нарастающий фронт).
 */
void countPulse() {
```

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

```
// Увеличиваем счетчик импульсов.
pulseCount++;
}

void setup() {
  // Инициализация последовательного порта для вывода данных.
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Инициализация измерения RPM...");

  // Настройка пина тахометра как входа.
  pinMode(tachometerPin, INPUT);

  // Активация подтягивающего резистора (pull-up) на входном пине.
  // Это может помочь, если сигнал тахометра имеет открытый коллектор.
  digitalWrite(tachometerPin, HIGH);

  // Подключение обработчика прерывания:
  // При нарастающем фронте (RISING) на пине tachometerPin вызывается функция
countPulse.
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(tachometerPin), countPulse, RISING);

  // Устанавливаем время первого измерения.
  lastMeasureTime = millis();
}

void loop() {
  // Проверяем, прошло ли достаточно времени для нового измерения.
  if (millis() - lastMeasureTime >= measureInterval) {

    // Временно сохраняем счетчик импульсов в безопасной переменной
    // (во время этой операции прерывания будут отключены).
    noInterrupts();
```

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

```
unsigned long currentPulseCount = pulseCount;
pulseCount = 0; // Сбрасываем счетчик для следующего интервала.
interrupts();

// Расчет RPM:
// (Количество_импульсов / Импульсы_за_оборот) * (60_секунд /
Время_измерения_в_секундах)
// Так как measureInterval в мс (1000), Время_измерения_в_секундах = measureInterval
/ 1000 = 1.
// Формула упрощается:
// rpm = (currentPulseCount / pulsesPerRevolution) * 60;

// Более точный расчет с учетом фактического прошедшего времени:
unsigned long timeElapsed = millis() - lastMeasureTime;

// Расчет RPM:
// (currentPulseCount / pulsesPerRevolution) - это количество оборотов.
// Делим на время в минутах: (timeElapsed / 1000.0 / 60.0)
// Упрощаем:
rpm = (currentPulseCount / pulsesPerRevolution) * (60000.0 / timeElapsed);

// Выводим результат.
Serial.print("RPM: ");
Serial.println(rpm);

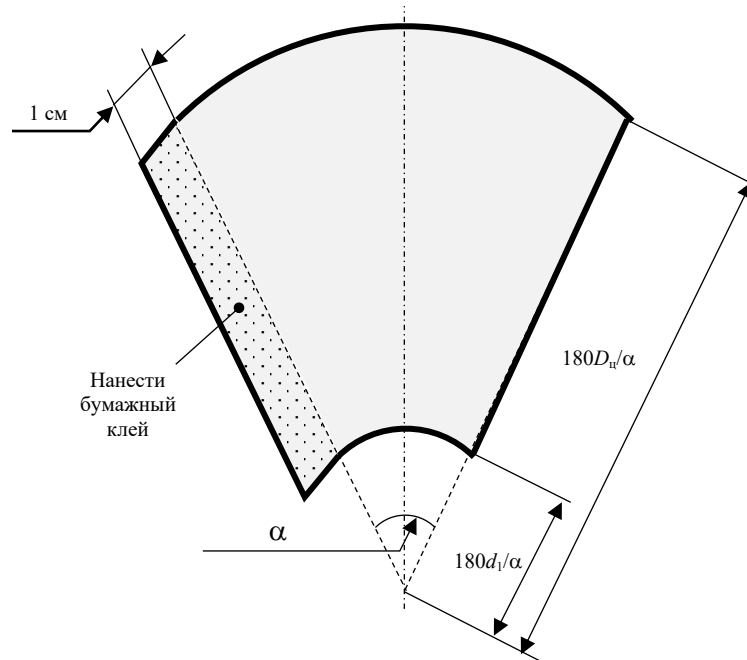
// Обновляем время последнего измерения.
lastMeasureTime = millis();
}

// Здесь может быть другой код.
}
```


МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

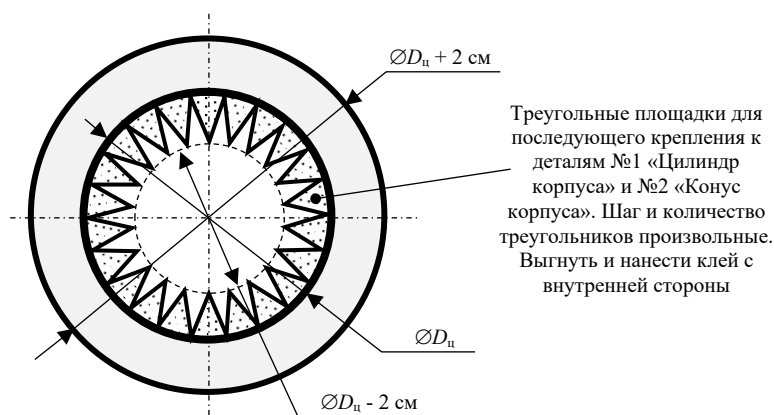
Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

Раскройка детали №2 «Конус корпуса»



$$\alpha = \frac{360(D_{\text{ц}} - d_1)}{\sqrt{4H_{\text{к}}^2 + (D_{\text{ц}} - d_1)^2}}$$

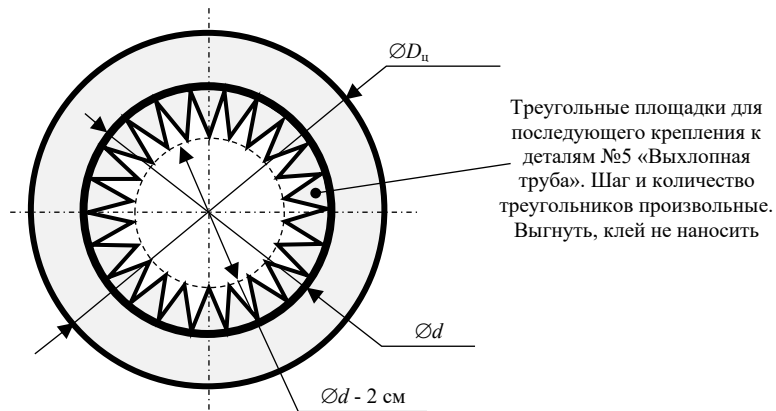
Раскройка детали №3 «Фланец корпуса»



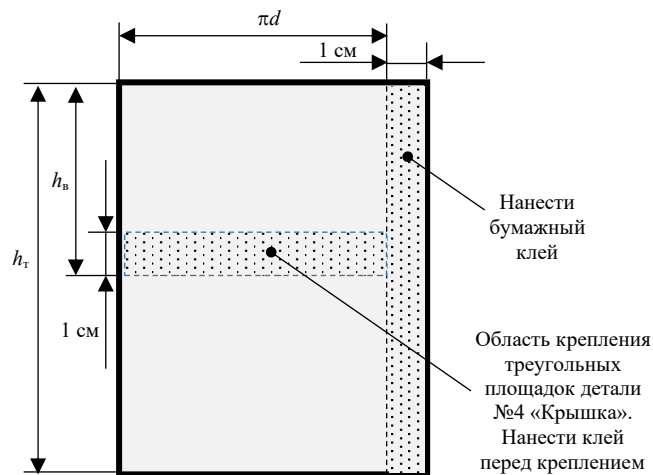
МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

Раскройка детали №4 «Крышка»



Раскройка детали №5 «Выхлопная труба»;



Раскройка детали №6 «Входной патрубок»

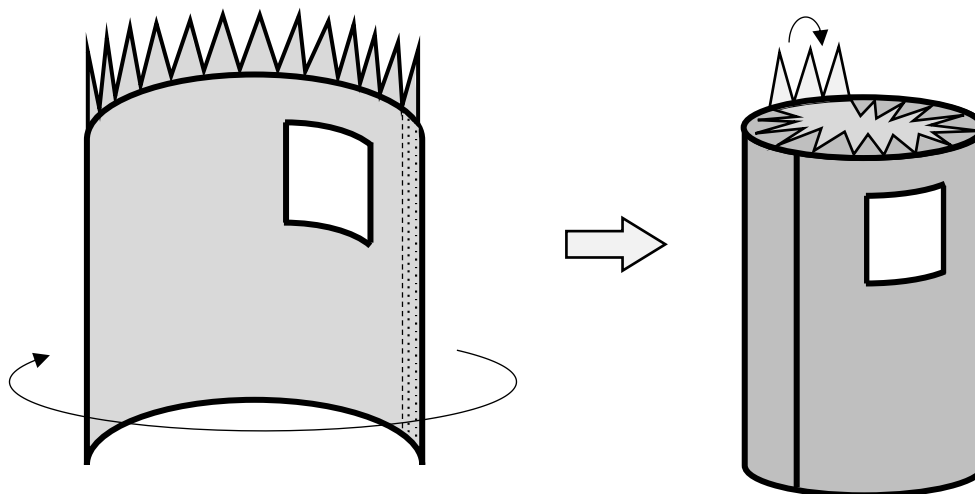
МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

Порядок сборки корпуса циклона:

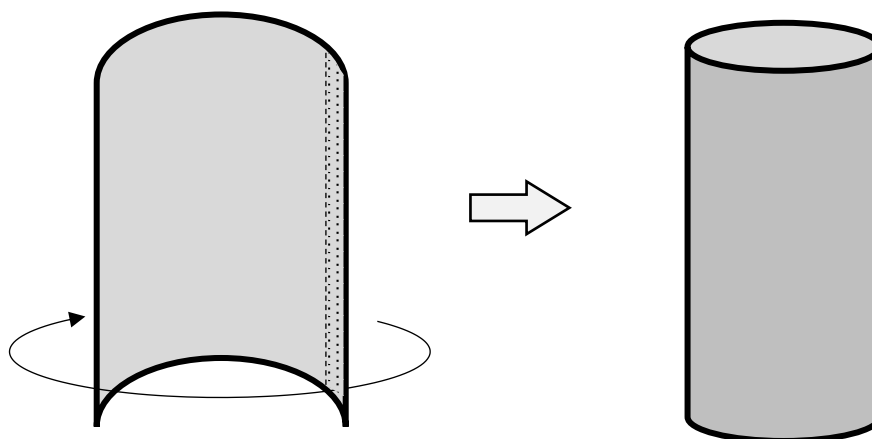
1. Возьмите заготовку детали №1 «Цилиндр корпуса». На указанную область нанесите бумажный клей. Сверните заготовку в трубочку так, чтобы клеевая область оказалась внахлест на противоположном конце заготовки.



Сверните и склейте

Отогните треугольные площадки

2. Возьмите заготовку детали №5 «Выхлопная труба». Нанесите клей на боковую область. Сверните заготовку в трубочку так, чтобы клеевая область легла изнутри внахлест противоположного края заготовки.

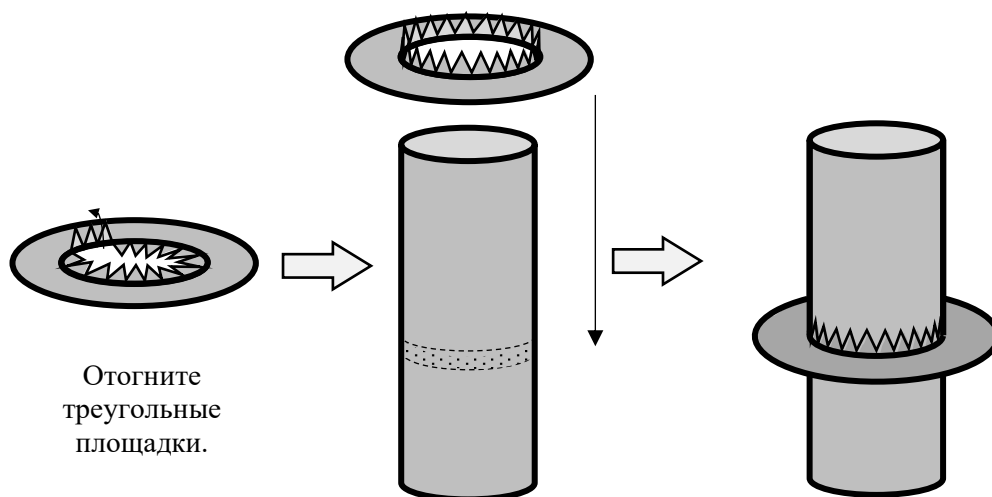


Сверните и склейте

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

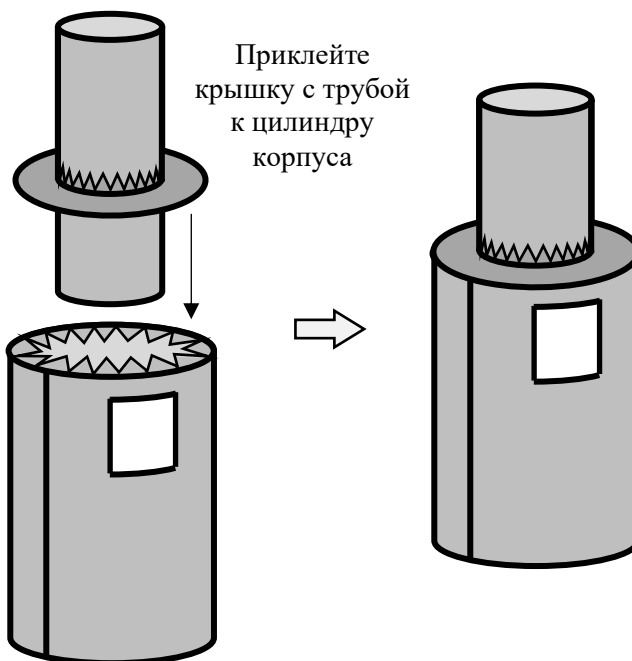
**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

3. Возьмите деталь №4 «Крышка». Отогните треугольные площадки. Нанесите клей на клеевую область детали №5 «Выхлопная труба». Проденьте выхлопную трубу через крышку так, чтобы треугольные площадки попали на клеевую область.



Нанесите клей на
выхлопную трубу.
Наденьте крышку и
приклейте ее к трубе.

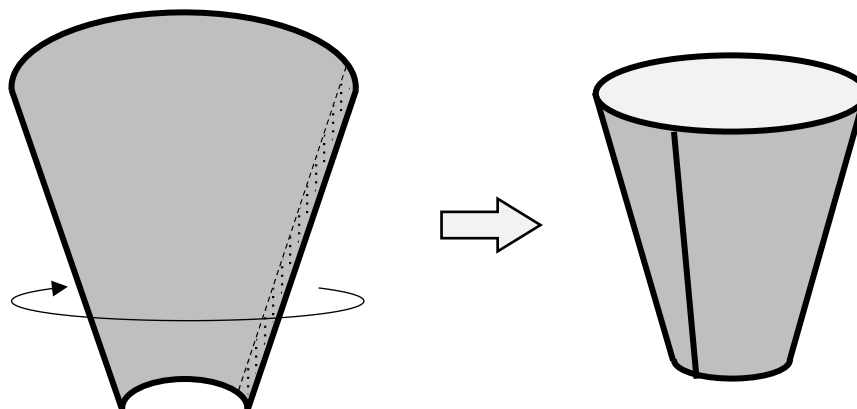
4. Возьмите склеенные детали №4 и №5. Приклейте крышку к треугольным областям Цилиндра корпуса (Деталь №1).



**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

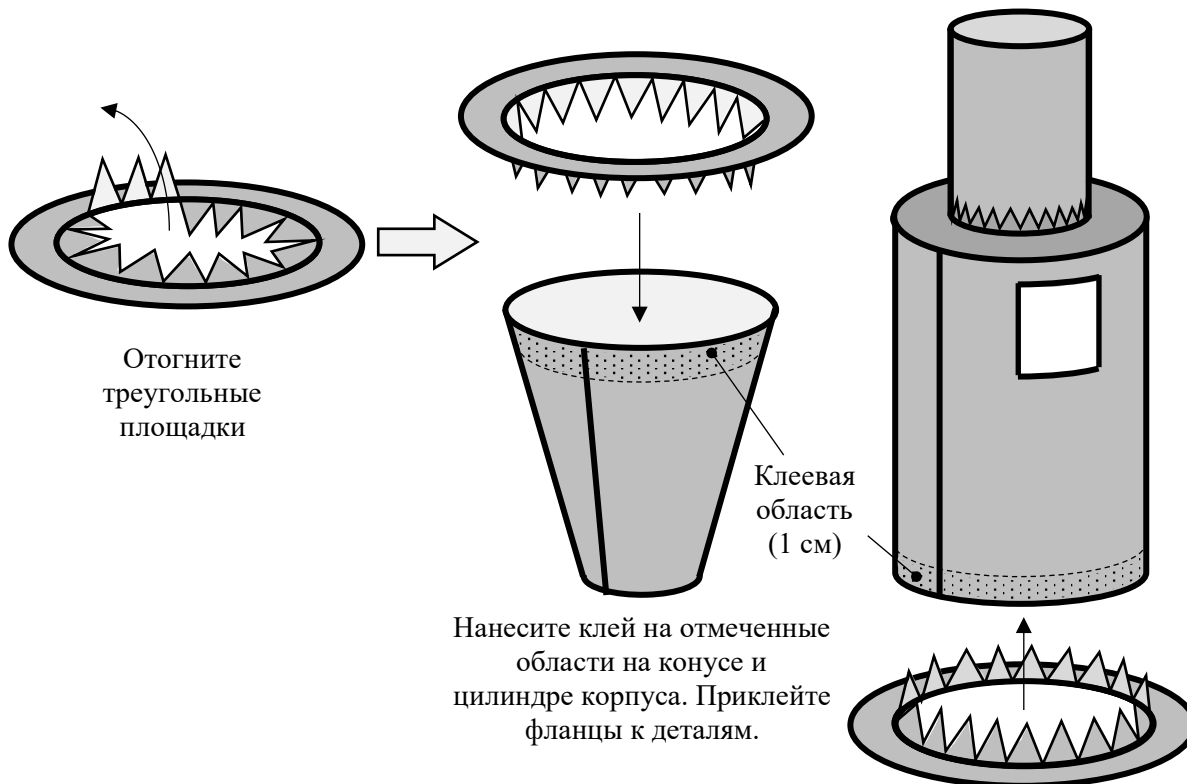
**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

5. Возьмите заготовку детали №2 «Конус корпуса». Нанесите клей на обозначенную область. Сверните заготовку в усечённый конус с параллельными основаниями.



Сверните и склейте

6. Возьмите обе детали №3 «Фланец корпуса» и отогните треугольные площадки. Нанесите клей на край детали №1 «Цилиндр корпуса» и №2 «Конус корпуса».



Отогните
треугольные
площадки

Клеевая
область
(1 см)

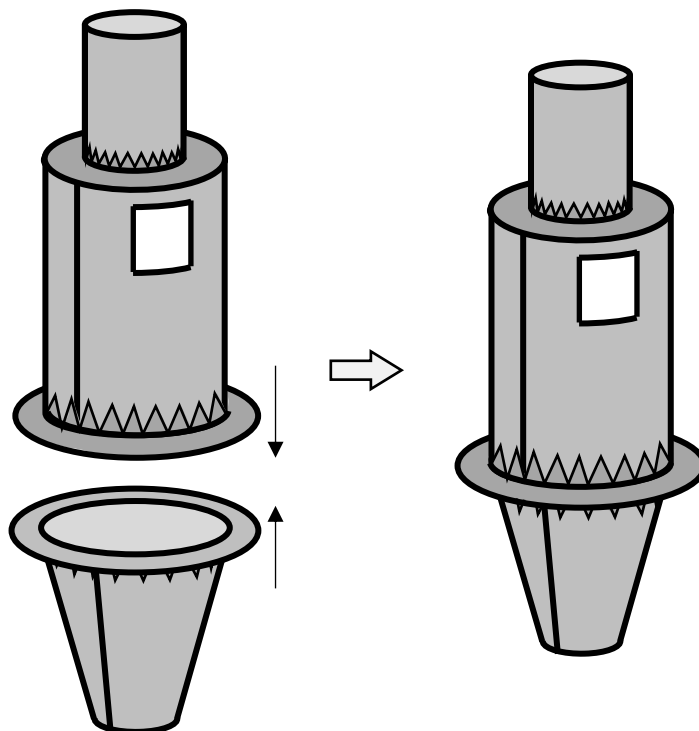
Нанесите клей на отмеченные
области на конусе и
цилиндре корпуса. Приклейте
фланцы к деталям.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

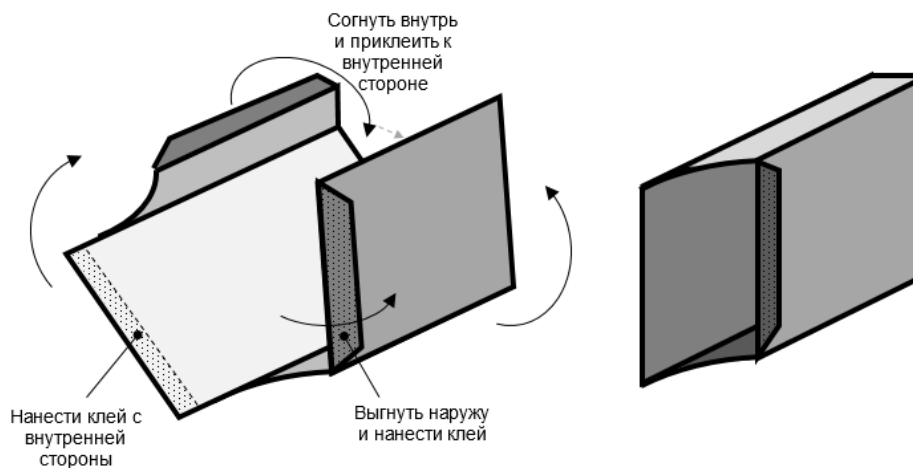
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

7. Соедините две части корпуса, склеив вместе фланцы.



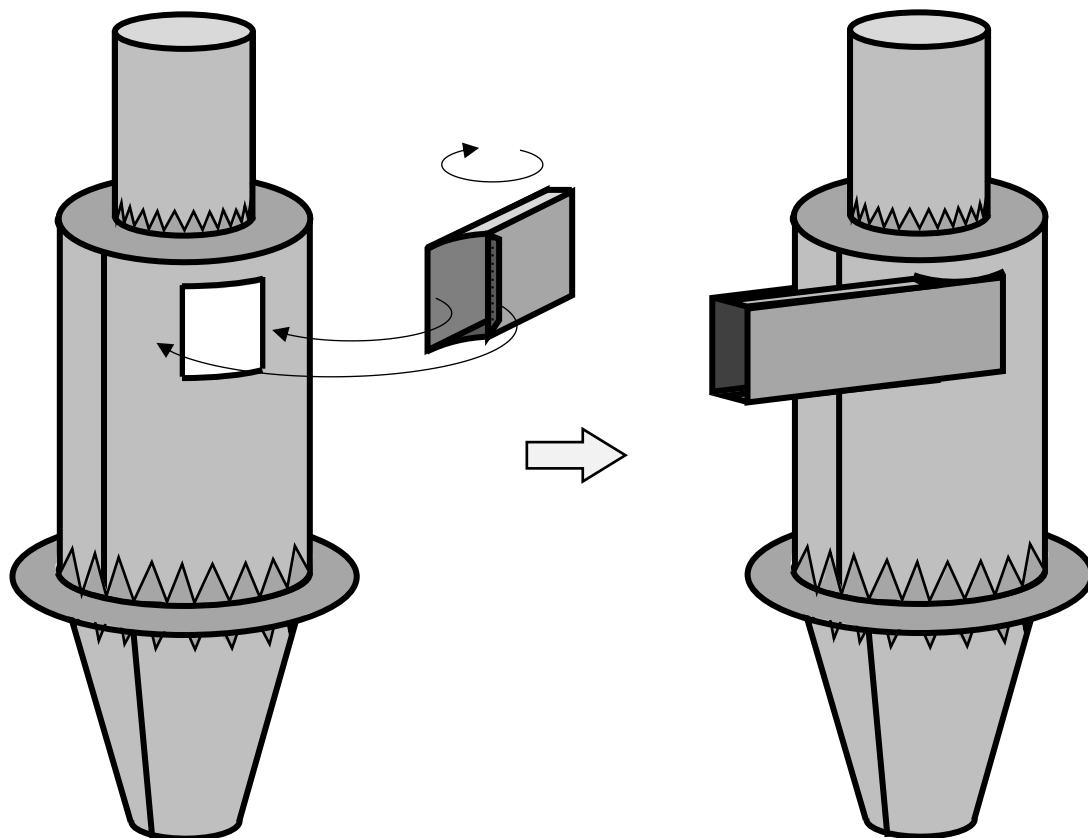
8. Возьмите заготовку детали №6 «Входной патрубок». Согните ее по линиям и склейте, сформировав входную прямоугольную трубу.



МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

9. Приклейте входной патрубок к корпусу циклона. Сборка корпуса циклона на этом завершена.



**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

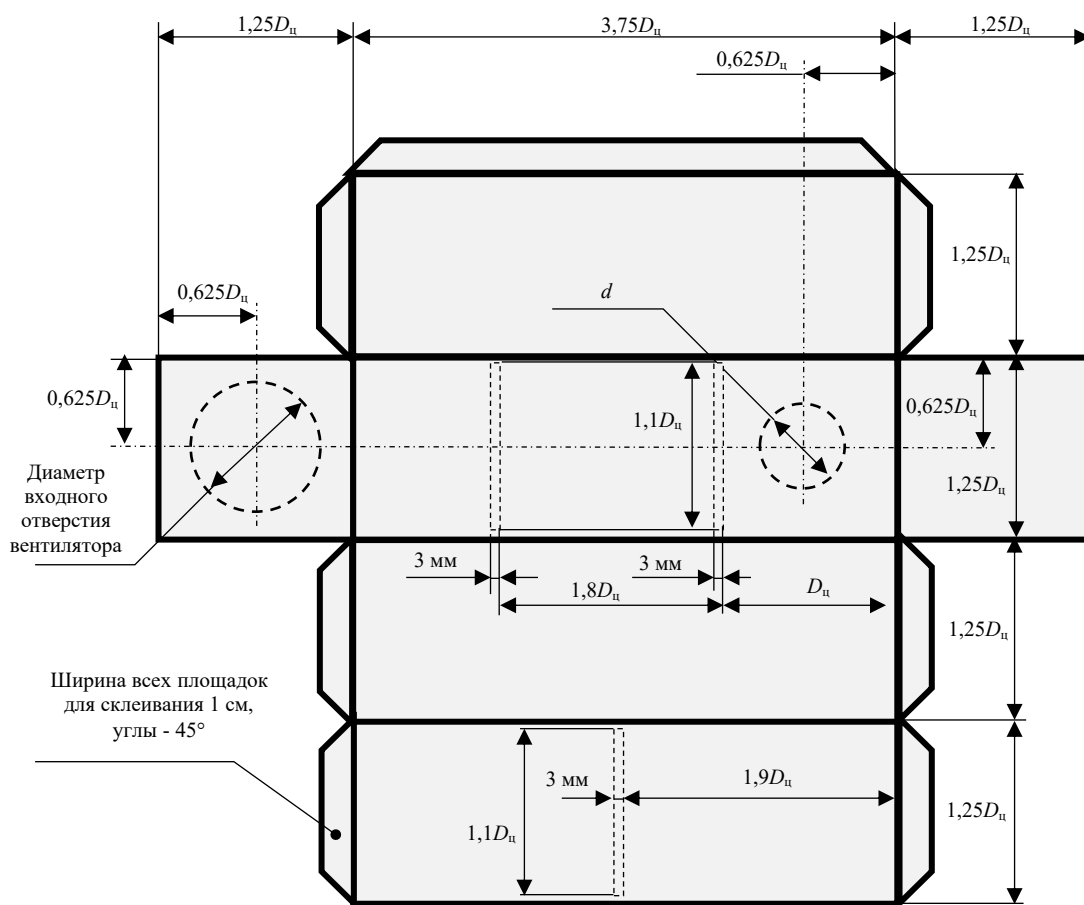
Часть 2. Выходной пылеуловитель

Деталь №7 «Корпус пылеуловителя» (1 шт.)

Деталь №8 «Экран» (3 шт.)

Раскройка детали №7 «Корпус пылеуловителя»

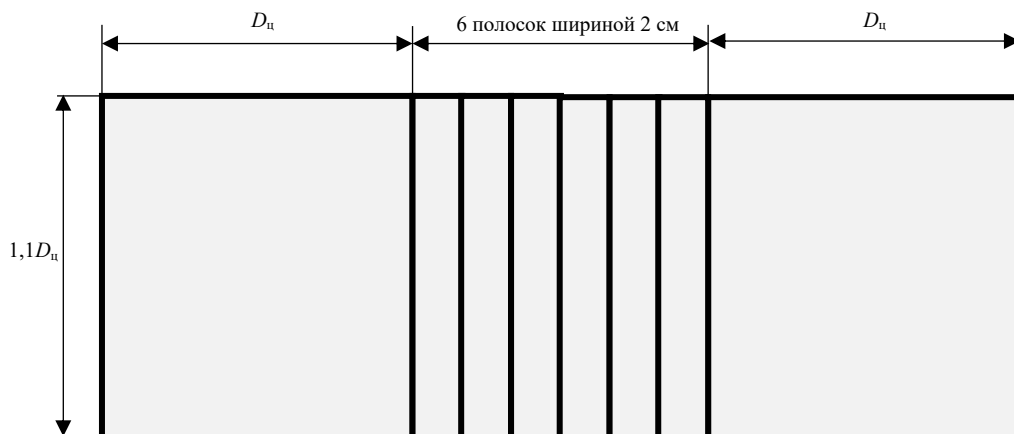
**Области, отмеченные штриховой линией, разметить, но не вырезать. Вырезку осуществлять после сборки детали.*



**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

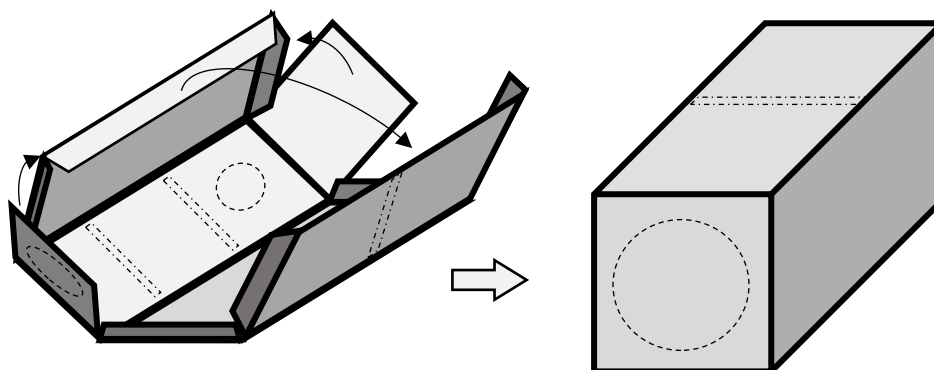
**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

Раскройка детали №8 «Экран»



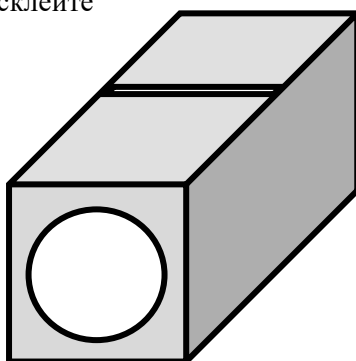
Порядок сборки выходного пылеуловителя

1. Вырежьте раскройку детали №7 «Корпус пылеуловителя». Не вырезайте в ней отверстия. Согните все элементы по сплошным линиям. Склейте длинные стенки так, чтобы образовалась длинная квадратная труба с еще не приклеенными квадратными торцевыми стенками. Торцевые стенки приклеиваются во вторую очередь.



Согните
раскройку детали
по линиям и
склейте

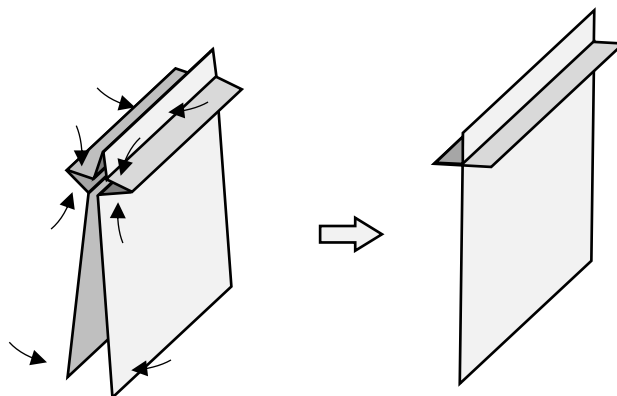
Вырежьте
круглые отверстия
и прямоугольные
щели



**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

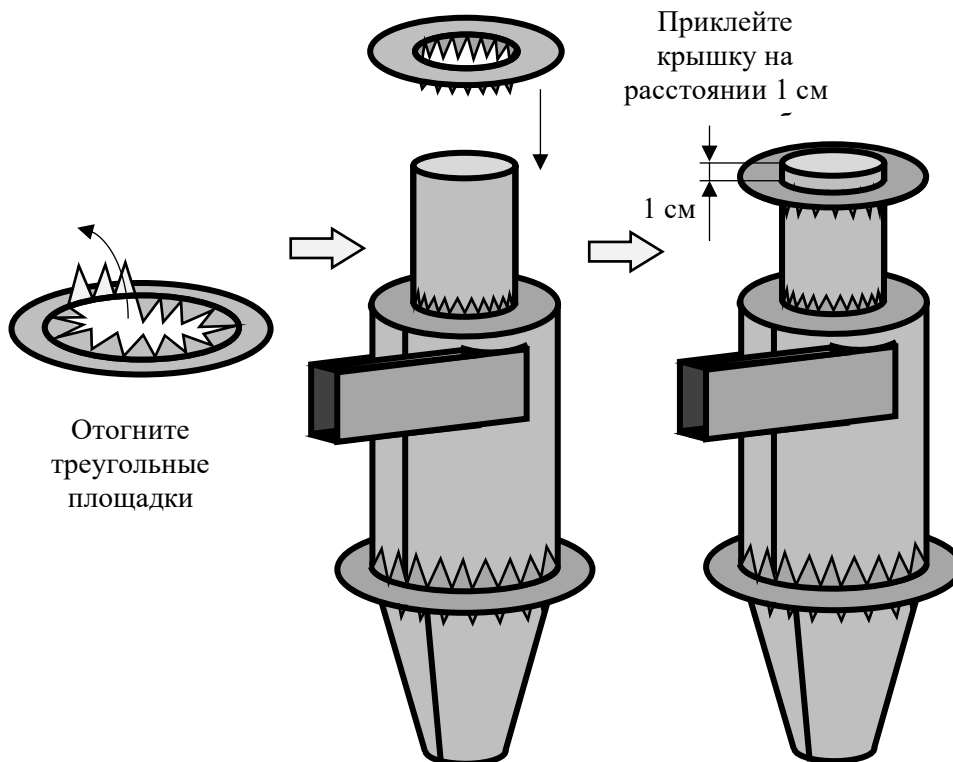
2. Вырежьте раскройку экранов. Склейте их так, чтобы получились крестообразные структуры.



Сложить как показано на рисунке.
Нанести клей на всю внутреннюю
поверхность и склеить

На длинную часть экрана
наклеить двухсторонний
скотч. Сторона со скотчем
должна быть обращена
навстречу потоку воздуха

3. Возьмите деталь №4 «Крышка» и приклейте ее к верхней части выхлопной трубы циклона так, чтобы крышка опускалась примерно на 1 см ниже края выхлопной трубы (аналогично пункту 3 их порядка сборки корпуса).



Отогните
треугольные
площадки

Приклейте
крышку на
расстоянии 1 см

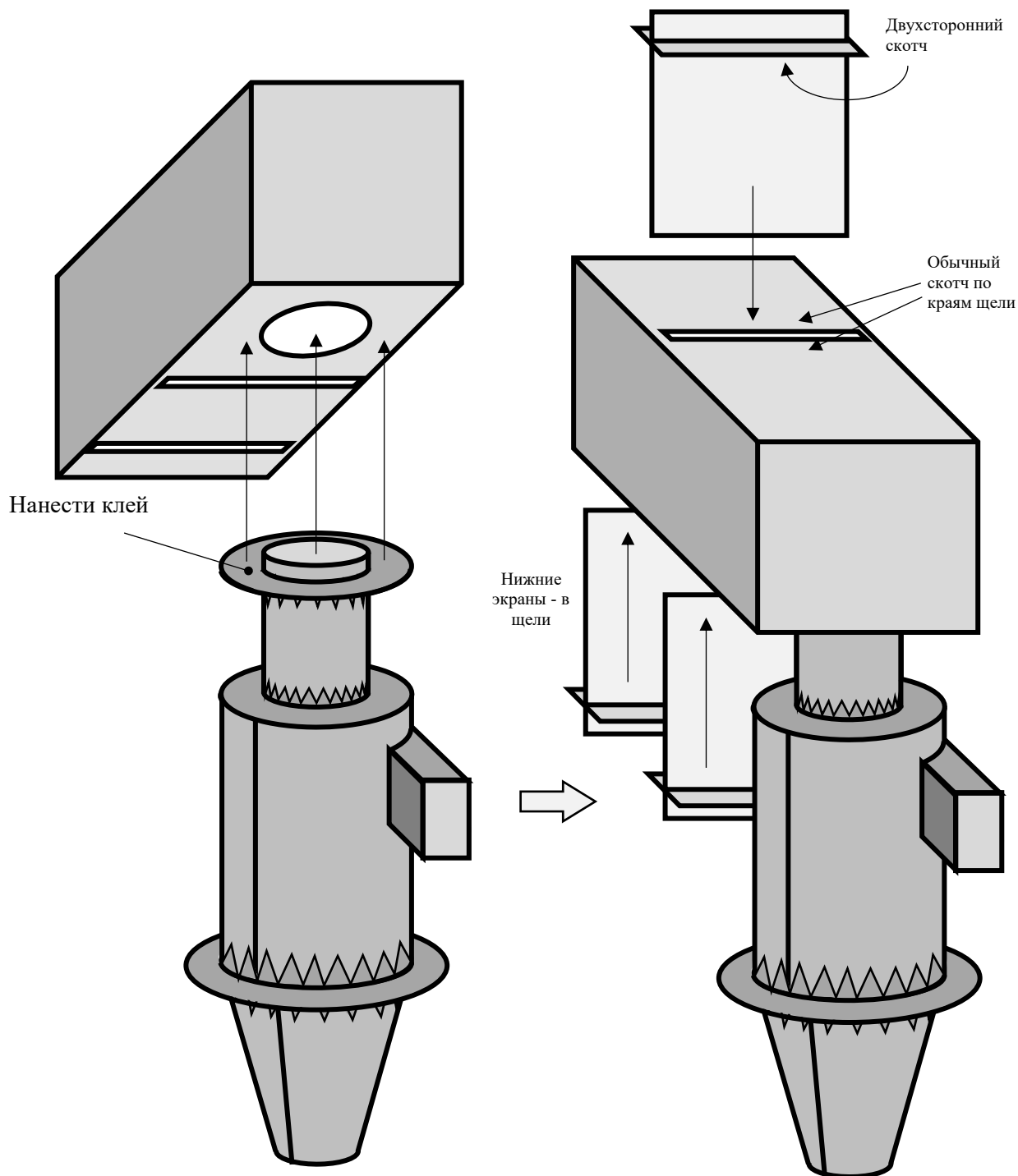
1 см

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя внутреннего сгорания

4. Приклейте корпус циклона крышкой к детали №7 «Корпус пылеуловителя». Разместите циклон так, чтобы его входной патрубок был параллелен корпусу пылеуловителя и направлен в противоположную сторону. Установите экраны в прорези в корпусе пылеуловителя. Циклон готов.



**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

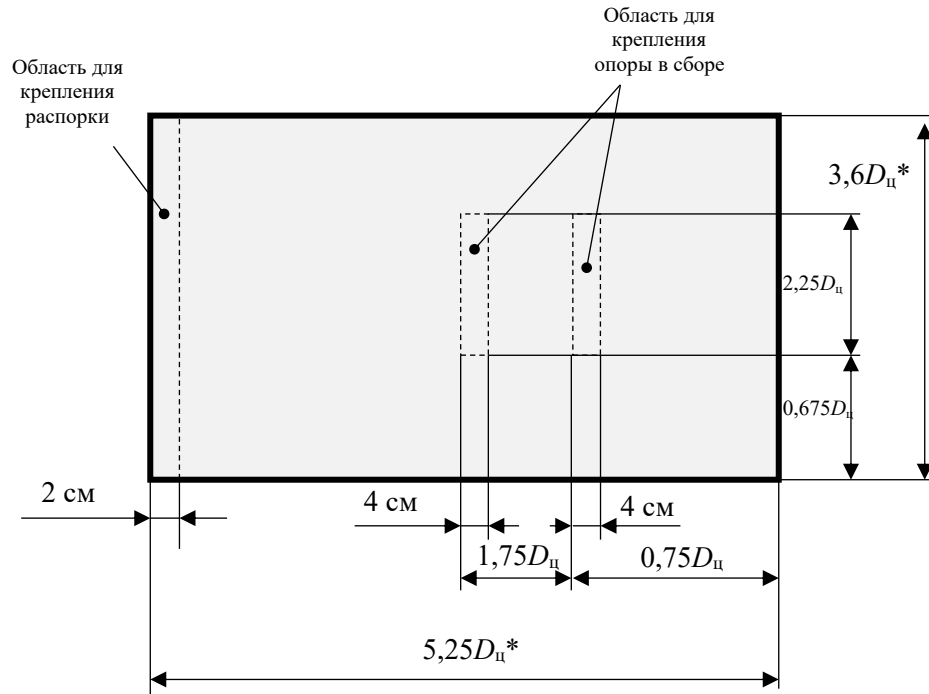
Часть 3. Стойка циклона

- Деталь №9 «Основание» (1 шт.);
- Деталь №10 «Опора нижняя» (2 шт.);
- Деталь №11 «Опора верхняя» (2 шт.);
- Деталь №12 «Уголок» (18 шт.);
- Деталь №13 «Перемычка короткая» (3 шт.);
- Деталь №14 «Перемычка длинная» (1 шт.);
- Деталь №15 «Опора вентилятора» (1 шт.);
- Деталь №16 «Распорка опоры вентилятора» (1 шт.);
- Деталь №17 «Стенка вентилятора» (1 шт.);
- Детали № 18 «Уголок стенки вентилятора» (2 шт.);
- Деталь №19 «Верхний уголок опоры» (4 шт.);
- Деталь №20 «Поперечина опоры» (3 шт.);
- Деталь №21 «Пластина опоры соединительная» (2 шт.);
- Детали №22 «Подпорка опоры» (1 шт.);
- Деталь №23 «Уголок (верхний) подпорки опоры» (1 шт.);
- Деталь №24 «Уголок (нижний) подпорки опоры» (1 шт.);
- Деталь №25 «Держатель циклона» (1 шт.);
- Деталь №26 «Уголок держателя циклона» (2 шт.);
- Детали №27 «Подпорка держателя циклона» (2 шт.);
- Деталь №28 «Ребро жесткости для подпорки опоры» (2 шт.).

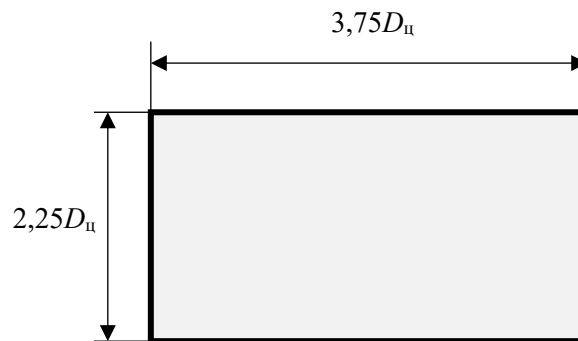
**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

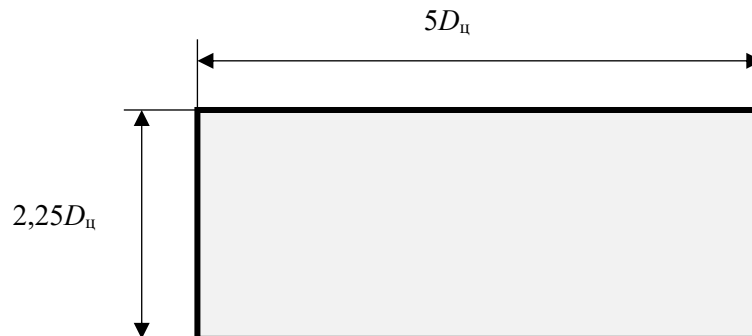
Раскройка детали №9 «Основание»



Раскройка детали №10 «Опора нижняя»



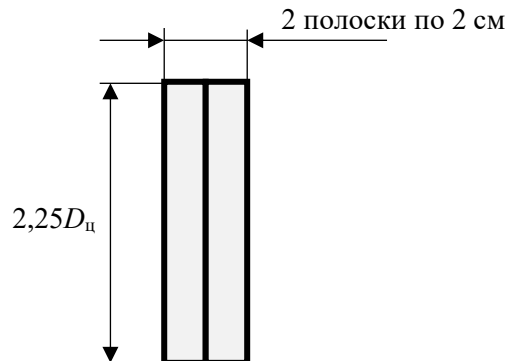
Раскройка детали №11 «Опора верхняя»



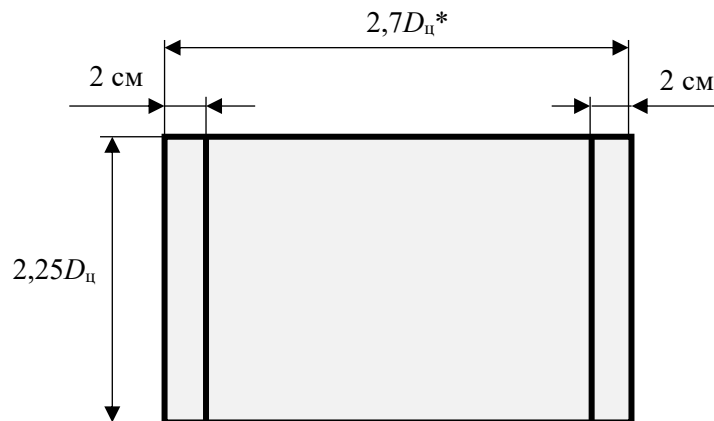
МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

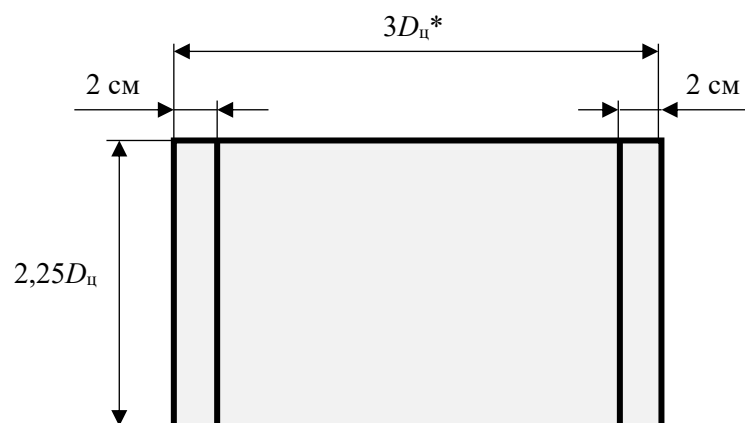
Раскройка детали №12 «Уголок»



Раскройка детали №13 «Перемычка короткая»



Раскройка детали №14 «Перемычка длинная»

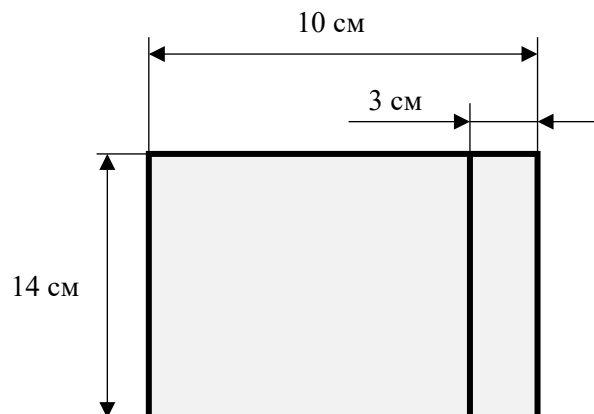


* - ориентировочный размер

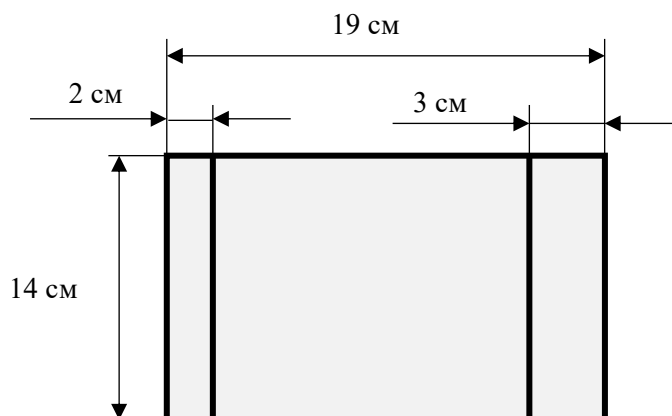
МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

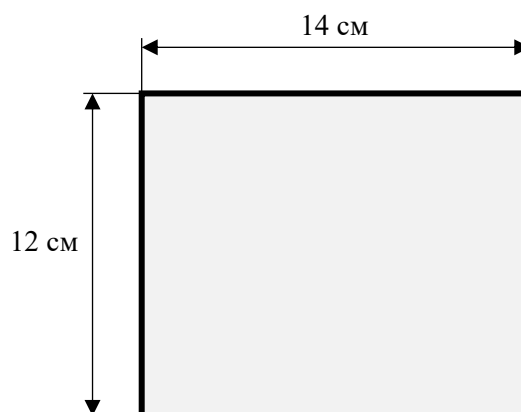
Раскройка детали №15 «Опора вентилятора»



Раскройка детали №16 «Распорка опоры вентилятора»



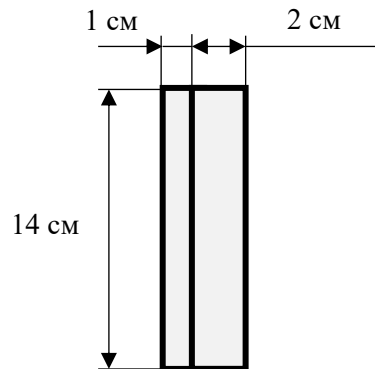
Раскройка детали №17 «Стенка вентилятора»



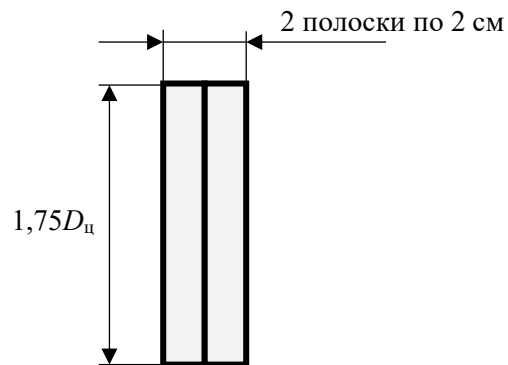
МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

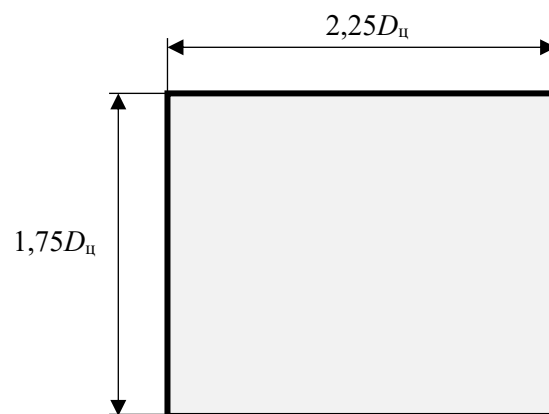
Раскройка детали № 18 «Уголок стенки вентилятора»



Раскройка детали №19 «Верхний уголок опоры»



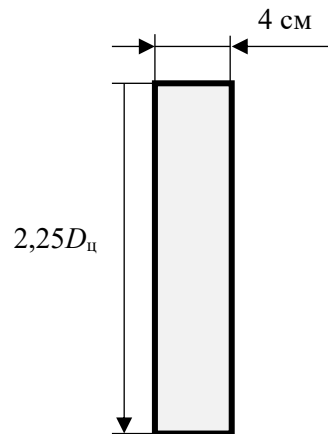
Раскройка детали №20 «Поперечина опоры»



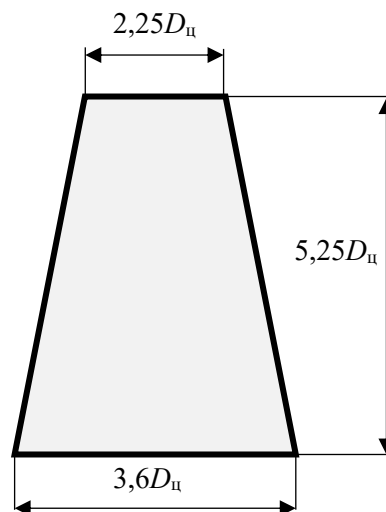
МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

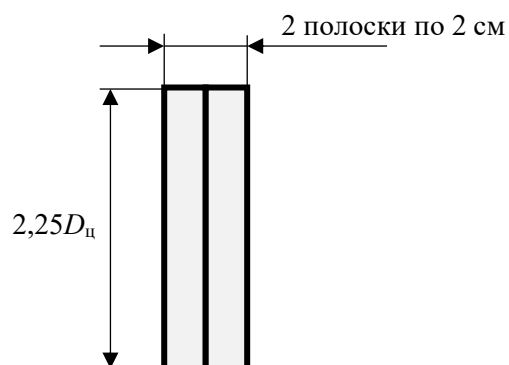
Раскройка детали №21 «Пластина опоры соединительная»



Раскройка детали №22 «Подпорка опоры»



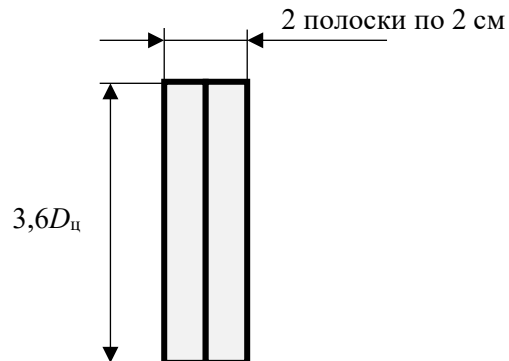
Раскройка детали №23 «Уголок (верхний) подпорки опоры»



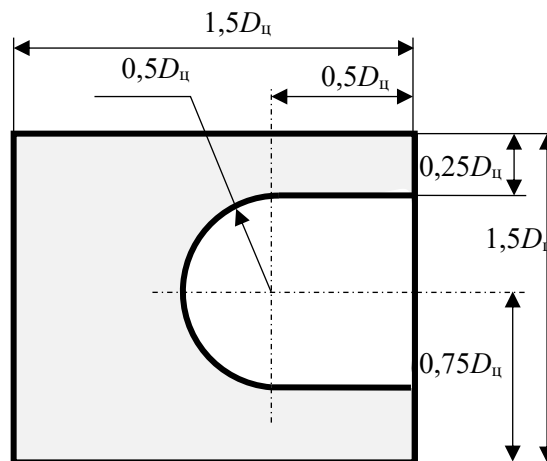
МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

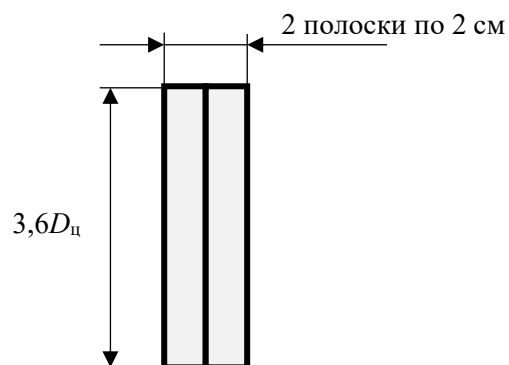
Раскройка детали №24 «Уголок (нижний) подпорки опоры»



Раскройка детали №25 «Держатель циклона»



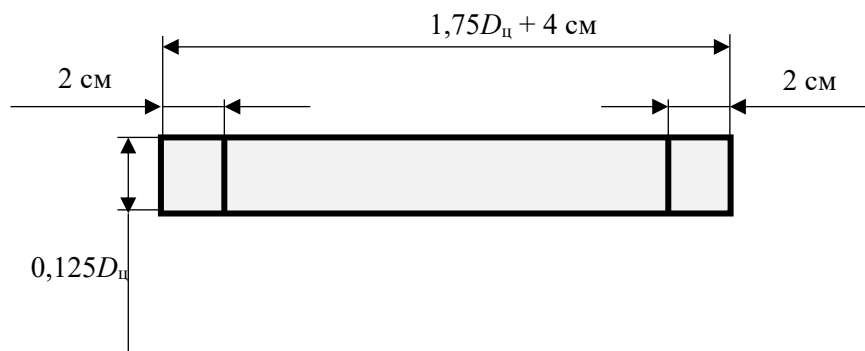
Раскройка детали №26 «Уголок держателя циклона»



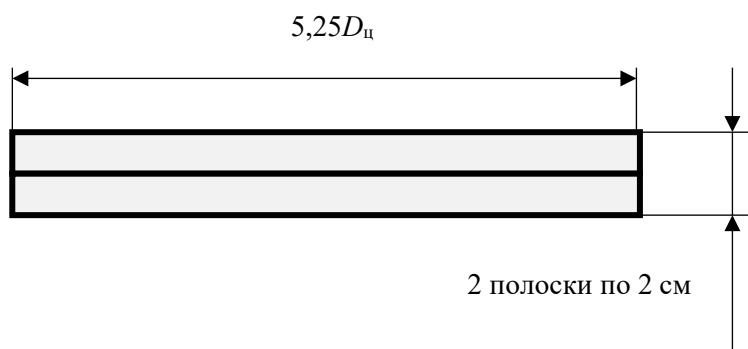
МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания

Раскройка детали №27 «Подпорка держателя циклона»



Раскройка детали №28 «Ребро жесткости для подпорки опоры»



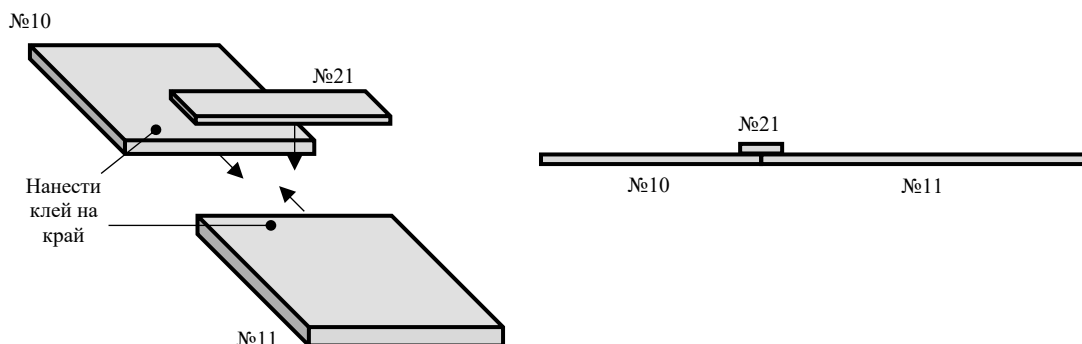
МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

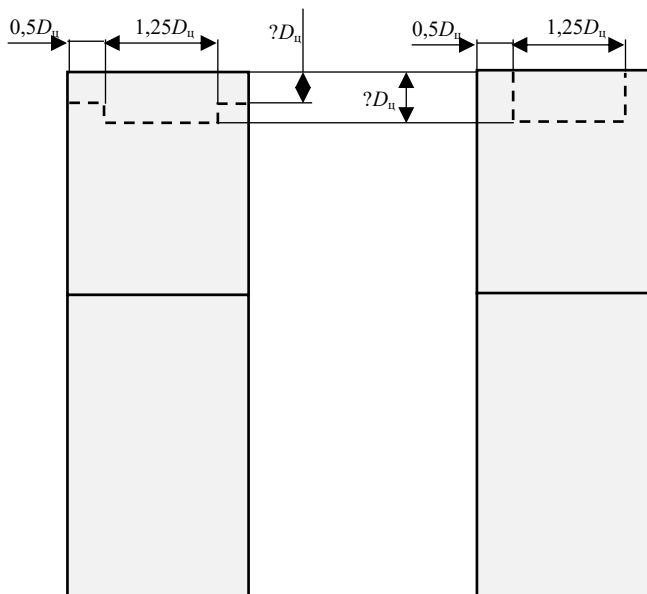
Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя внутреннего сгорания

Порядок сборки стойки

1. Подготовьте детали №10 «Опора нижняя», №11 «Опора верхняя», №21 «Пластина опоры соединительная». Нанесите клей на края деталей №10 и 11. Склейте их встык с помощью детали №21. Подготовьте таким образом две опоры.



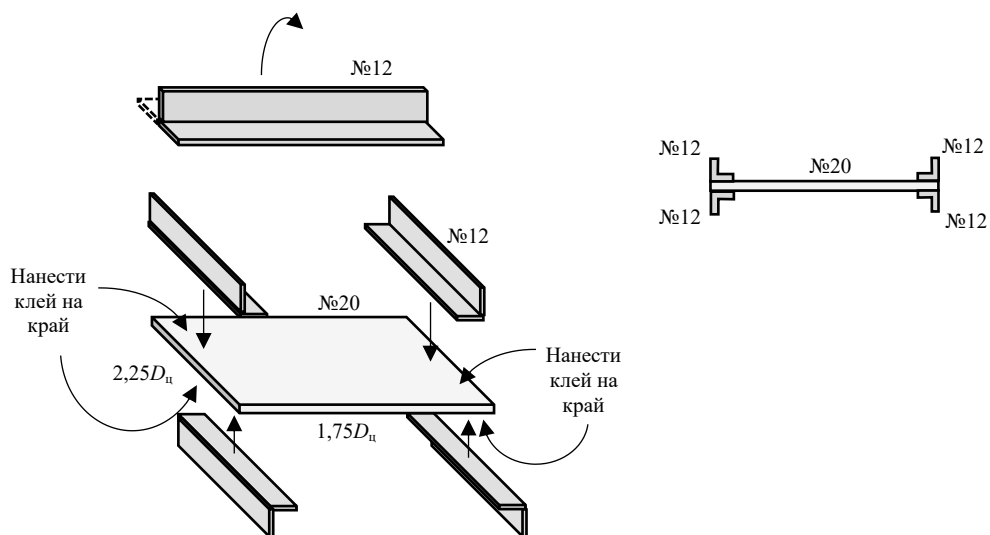
2. Сделайте вырезы в опорах так, как показано на рисунке пунктирной линией.



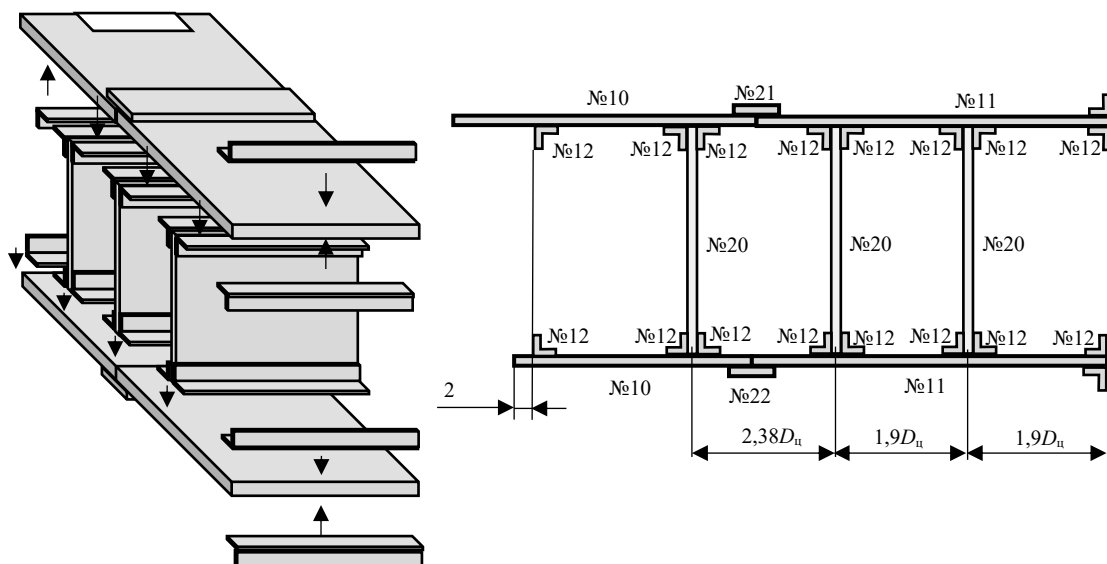
**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

3. Подготовьте детали №12 «Уголок» и №20 «Поперечина опоры». Согните уголки под углом 90 градусов по средней сплошной линии. Приклейте полученные уголки к краям поперечины. Изготовьте таким образом три поперечины.



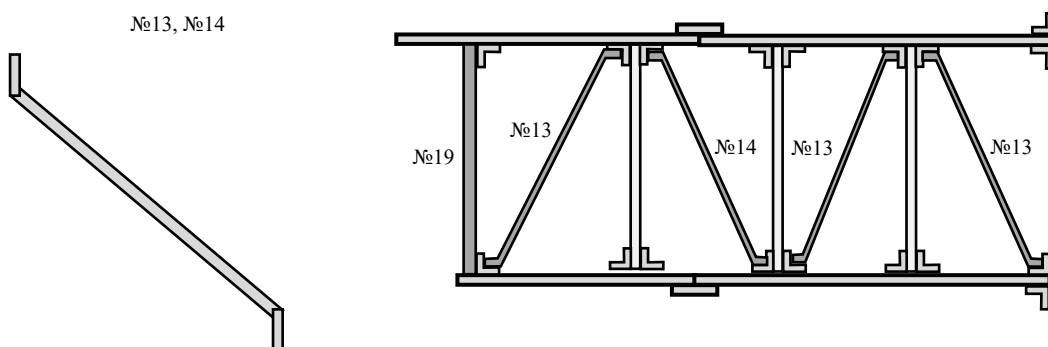
4. Приклейте поперечины опоры, изготовленные в п.3 к опорам, склеенным в п.1. так, как показано на рисунке. Приклейте дополнительно уголки у основания опор.



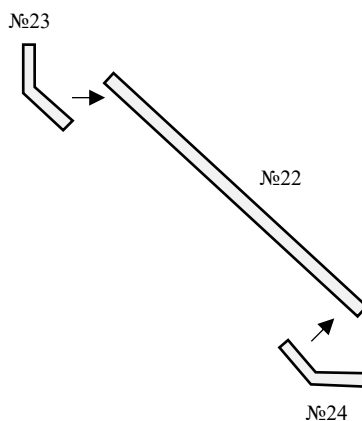
**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

5. Подготовьте детали №13 «Перемычка короткая» и №14 «Перемычка длинная». Согните их раскройку как показано на рисунке. Установите их в опору. Подготовьте детали №20 «Верхний уголок опоры». Прикрепите их к левой части опоры так, чтобы вертикальная стенка этого уголка смотрела наружу опоры, а сам уголок №19 лежал на уголках №12.



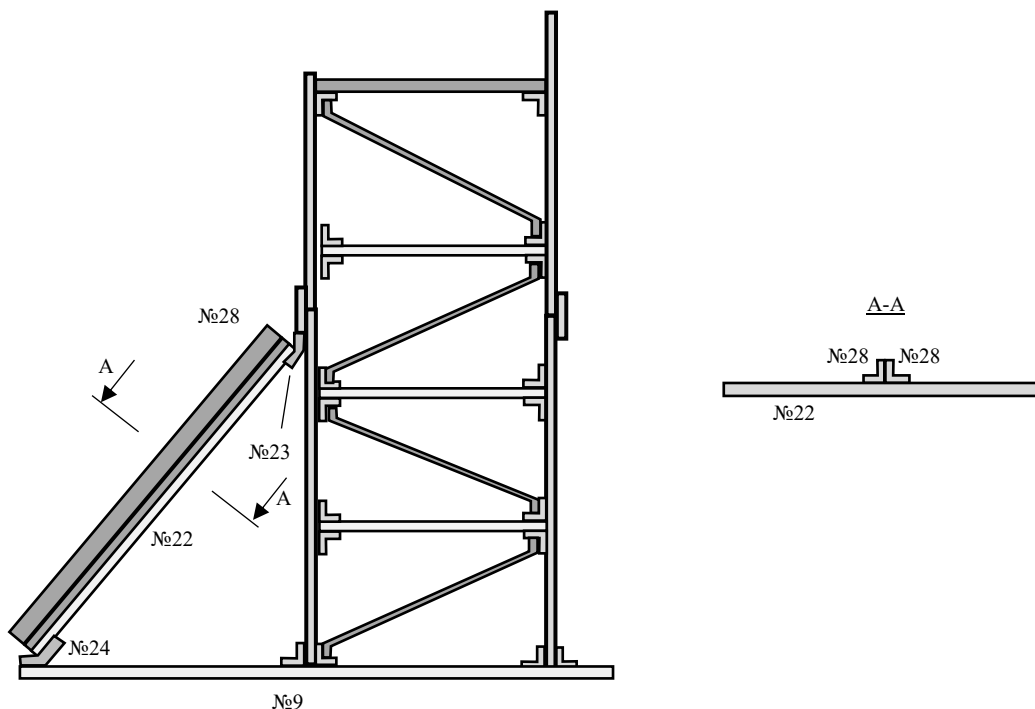
6. Вырежьте заготовки деталей №22 «Подпорка опоры», №23 «Уголок (верхний) подпорки опоры», №24 «Уголок (нижний) подпорки опоры». Склейте их как показано на рисунке, так, чтобы длина уголка совпадала с соответствующей стороной подпорки.



**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

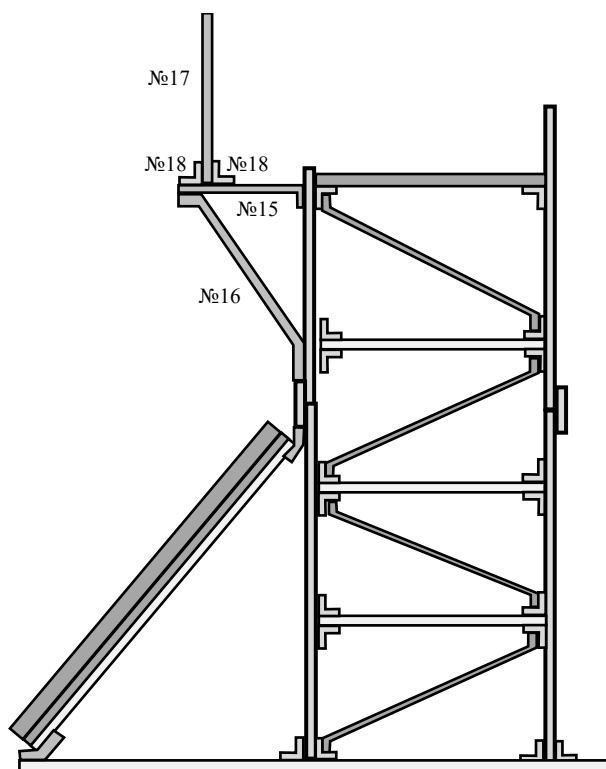
**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

7. Вырежьте деталь №9 «Основание». Приклейте к ней готовую опору и дополнительно зафиксируйте ее подпоркой из п.6. Укрепите подпорку двумя деталями №28 «Ребро жесткости для подпорки опоры».



8. Вырежьте детали №15 «Опора вентилятора» и №16 «Распорка опоры вентилятора». Приклейте их к опоре как показано на рисунке. Опора вентилятор должна быть на одном уровне с нижней частью выреза в верхних частях опор.

Вырежьте детали №17 «Стенка вентилятора» и №18 «Уголок стенки вентилятора». Установите их в задней части опоры вентилятора.

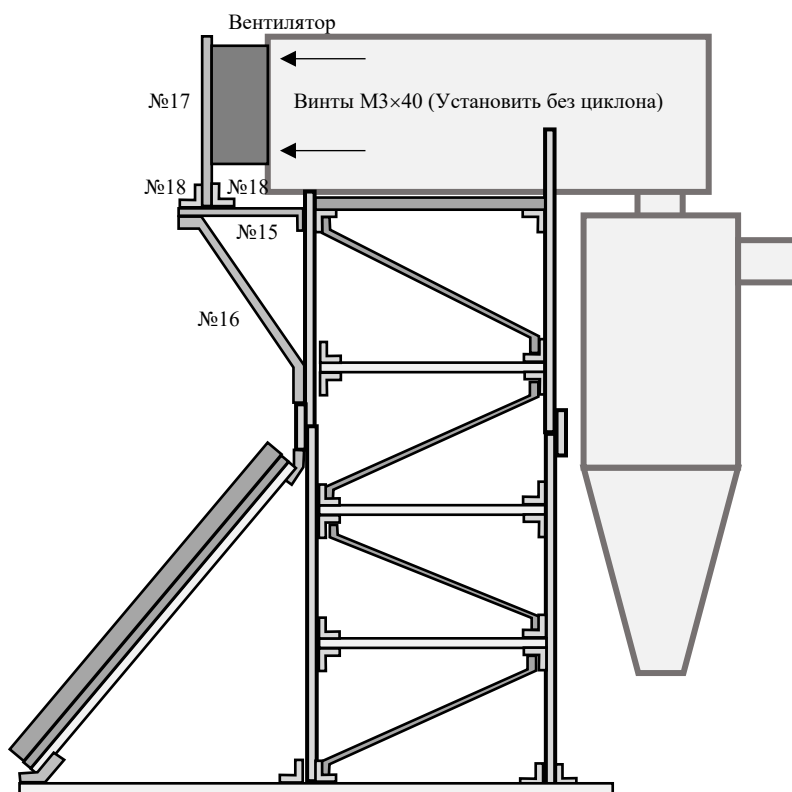


**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

**Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя
внутреннего сгорания**

9. Вырежьте детали №25 «Держатель циклона», №26 «Уголок держателя циклона», Раскройка детали №27 «Подпорка держателя циклона». Установите их на фронтальной опоре, обращаемой к циклону.

Установите циклон в пазы в верхней части стойки, как показано на рисунке 3. Подберите высоту установки вентилятора так, чтобы его впускное отверстие совпадало с выпускным отверстием корпуса пылеуловителя. Установите вентилятор на задней стенке с помощью винтов.

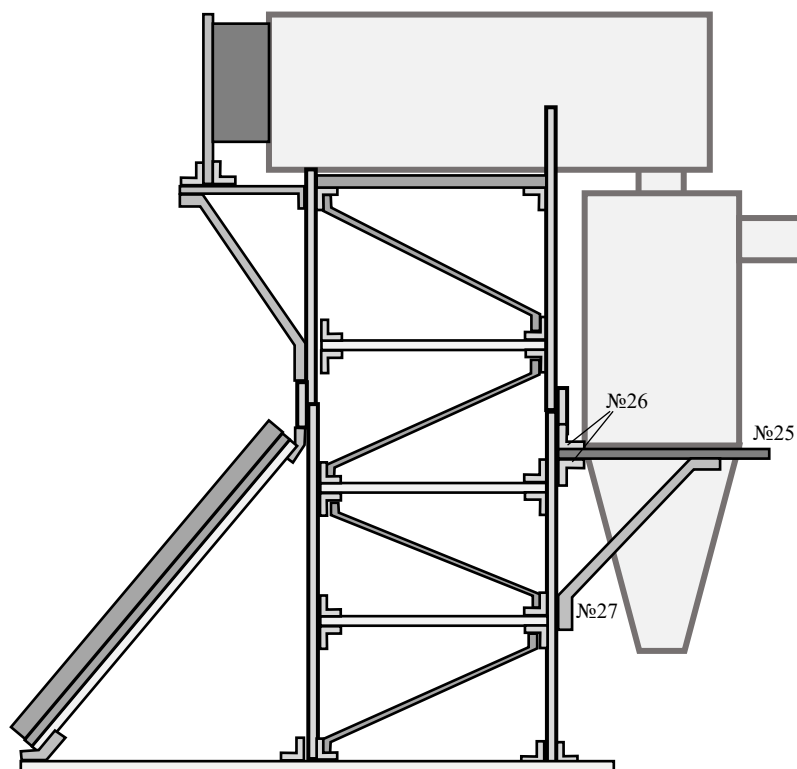


МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Практика «Исследования»

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя внутреннего сгорания

10. Подберите высоту для детали №25 «Держатель циклона» так, чтобы фланец, соединяющий цилиндрическую и коническую части корпуса циклона, лежал на держателе. Приклейте держатель к опоре с помощью деталей №26 «Уголок держателя циклона» и дополнительно зафиксируйте его в горизонтальном положении с помощью деталей №27 «Подпорка держателя циклона». Сборка завершена.



**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя внутреннего сгорания

Балл	Анализ принципов работы технологий	Моделирование систем и процессов	Постановка и проведение эксперимента	Обработка и представление полученных данных
0	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует, либо полученные данные обработаны с ошибками, графики и таблицы отсутствуют, как и расчет погрешностей.
1	Представлен анализ циклонных фильтров и общего принципа фильтрации твердых загрязнителей из газовых потоков, в объеме и качестве, позволяющем понять принцип работы устройств, факторов, определяющих их эффективность и условия эксплуатации.	Проведен расчет геометрических размеров циклона, а также рассчитан перепад давления в нем. Считать расчеты приемлемыми на этом уровне выполнения задания, если диаметр циклона не превысит 50 см, а перепад давления – 530 Па	Выполнено одно из условий: - первая часть экспериментального исследования выполнена частично правильно: определен хотя бы один из параметров частиц загрязнителя (минимальный, максимальный или средний размер частиц) <i>либо:</i> - проведена сборка циклонного фильтра до работоспособного состояния, но эксперименты не проведены	Экспериментальные данные (массы частиц во входящем потоке и масса отфильтрованных частиц, размеры частиц во входном и выходном потоке воздуха, эффективность циклона) представлены не в полном объеме, содержат ошибки в обработке и в расчете погрешностей, графики и таблицы неинформативны или не полностью отражают полученные данные.
2		предыдущий пункт + выполнено одно из условий: - подобран подходящий воздушный фильтр и дано обоснование выбора, рассчитан общий перепад давления в системе (подходящим считается фильтр, который рассчитан на улавливание частиц тех размеров, что вылетают из циклона по результатам тестов, а суммарный перепад давления в циклоне и фильтре не превысит 530 Па); <i>либо:</i> - рассчитана эффективность циклона и минимальный размер улавливаемых частиц. Эффективность циклона должна лежать в диапазоне от 0 до 1, а минимальный размер улавливаемых частиц не превышать 500 мкм.	Выполнено одно из условий: - полностью выполнена первая часть экспериментального исследования <i>либо:</i> - проведена сборка циклонного фильтра до работоспособного состояния, а также проведен частичный анализ его работы, в ходе которого определен экспериментально хотя бы один из следующих параметров: эффективность улавливания частиц, минимальный, средний или максимальный размер неуловленных частиц	Экспериментальные данные (массы частиц во входящем потоке и масса отфильтрованных частиц, размеры частиц во входном и выходном потоке воздуха, эффективность циклона) обработаны корректно и представлены в виде графиков и таблиц. Расчет погрешностей проведен корректно.
3		Выполнены правильно все условия из предыдущих пунктов.	Полностью выполнена первая часть экспериментального исследования, а также проведена сборка циклонного фильтра до работоспособного	

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
Практика «Исследования»**

Кейс № 4 Циклонный фильтр в системе очистки воздуха для двигателя внутреннего сгорания

			состояния фильтра и проведен частичный анализ его работы, в ходе которого определен экспериментально хотя бы один из следующих параметров: эффективность улавливания пыли, минимальный, средний или максимальный размер неуловленных частиц	
4			Полностью правильно выполнены обе части экспериментального исследования	