

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГИМНАЗИЯ № 5 Г. ВИТЕБСКА ИМ И.И. ЛЮДНИКОВА»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА И СПУТНОГО
СЛЕДА ПРИ ОБТЕКАНИИ ТЕЛ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ**

Автор:

Воробьёва Ульяна,
учащаяся 10 «В» класса

Руководитель:

Тищенко Ника Геннадьевна,
учитель физики

Витебск, 2020

Содержание

Введение. Цель и задачи.....	2
1. Теоретическое исследование.....	3
2. Экспериментальное исследование.....	5
Выводы (по результатам исследований)	13
Общие выводы.....	13
Наши предложения и планы.....	13
Используемые источники.....	14

Введение

Существует опыт-фокус: если поставить бутылку перед горящей свечой. Если подуть на бутылку, свеча может потухнуть, как если бы бутылки не было. Значит экранирующий эффект при обтекании тел воздушным потоком наблюдается не всегда, в противном случае образуется спутный след (воздушное течение за обтекаемым телом). В разделе физика «Аэродинамика» точного математического описания подобных процессов пока не получено, поэтому именно получение экспериментальных данных является способом накопления знаний для дальнейшего применения на практике. Поэтому данное исследование является *актуальным*.

Тогда **цели работы**: объяснить явление и исследовать его: т.е. выявить существенные параметры системы и определить их влияние на результат опыта.

План нашей работы представляем в виде последовательности решаемых задач:

1. удостовериться в том, что явление действительно происходит;
2. предложить качественное описание явления и сформулировать гипотезу;
3. изучить теоретический материал и объяснить явление;
4. провести эксперименты для определения существенных параметров системы и определить их влияние на результат опыта;
5. сформулировать выводы.

Объект исследования – обтекание тел воздушным потоком. **Предмет исследования** – экранирующий эффект и спутный след.

Методы исследования: анализ теоретического материала; моделирование условий; наблюдение и измерение; установление причинно-следственной связи; обобщение.

Предварительный эксперимент:

Удостоверились, что горящую свечу, возможно (но не всегда) погасить, если дуть на бутылку, поставленную перед свечой (фото или видео). Следовательно, описанное явление происходит при определенных условиях. Это решение первой из поставленных нами задач.

Качественное описание явления и выдвижение гипотезы

Выделив ключевые слова, предполагаем, что данное явление происходит вследствие возникновения обтекающего бутылку потока, который сносит топливо из зоны горения, и свеча гаснет. Тогда наша *гипотеза* следующая: для данного явления существенными параметрами являются: размеры, материал и форма бутылки, скорость продуваемого воздуха и ширина его потока, место расположения экранируемого тела и препятствия в потоке.

Этим мы решили 2-ю задачу.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Итак, в наших опытах мы действительно наблюдали описанное явление.

Ознакомим Вас с основными положениями теории, которую мы приняли для рассмотрения данного явления:

А) Возможные причины гашения любого пламени: его охлаждение ниже температуры воспламенения топлива, отсутствие подачи топлива, отсутствие кислорода. В нашем случае свеча гаснет вследствие сноса паров парафина из зоны горения и, возможно, охлаждение зоны реакции. Следовательно, скорость потока воздуха и его режим являются значимыми.

Б) При обтекании газом поверхности твердого тела образуется пограничный слой (рис.1.) (эффект Коанда, описанный им в 1932 году), тк между потоком и поверхностью образуются вихревые потоки, там возникает область пониженного давления. В этом слое происходит плавное изменение скорости вследствие прилипания потока к твёрдой поверхности.

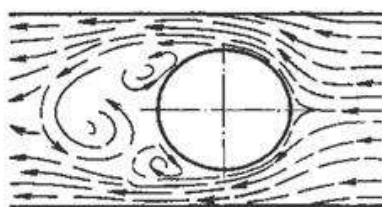


Рисунок 1 - один из возможных характеров обтекания цилиндра (источник №4)

Поэтому скорость потока в месте расположения бутылки должна быть больше порогового значения начала гашения свечи. Следовательно, опять же скорость потока и место расположения бутылки в потоке – существенные параметры.

В) Когда кинетическая энергия заторможенных в пограничном слое частиц газа становится недостаточной для преодоления сил давления, течение в пограничном слое теряет устойчивость и возникает отрыв потока, который может быть как ламинарным, так и турбулентным даже при изначально ламинарном. Точка на поверхности тела, в которой происходит отрыв пограничного слоя, называется **точкой отрыва**. Чем дальше точки отрыва от оси потока, тем протяженнее «тихая» зона, возникающая сразу за бутылкой. Следовательно, скорость и ширина потока, параметры бутылки (материал, форма, особенности поверхности), место расположения свечи существенны для явления.

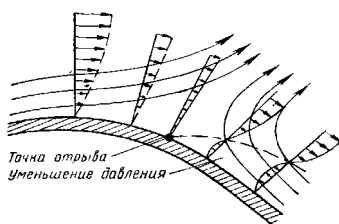


Рисунок 2 - течение в пограничном слое вблизи точки отрыва

Г) Если число Рейнольдса превышает некоторое критическое значение $Re > Re_{кр}$, то движение неустойчиво и развивается турбулентность, в противном случае течение остается ламинарным. Так при $Re < 2000$, поток воздуха ламинарный, если Re 2000-4000, то переходный режим, более $Re > 4000$ – турбулентный.

Для определения числа Рейнольдса оптимальным считаем использование онлайн-калькулятора. Получено максимальное значение для нашей установки: 3187, что означает, что мы имеем дело или с ламинарным или переходным режимом исходящего потока. В нашем случае это означает, что явление можно исследовать, анализируя скоростные характеристики потока.

Д) В основном участке струи, который представляет наибольший интерес с практической точки зрения, создается поток, в котором осевая скорость потока обратно пропорциональна расстоянию от отверстия.

На сравнительно коротком расстоянии от отверстия при любых условиях свободный воздушный поток превращается в струю с углом расширения близким к 20° . Следовательно, скорость потока, место расположения бутылки и свечи определяют ход процесса.

Назовем область, для которой характерно явление, активной зоной.

Аэродинамика – наука экспериментальная!!! Формул, позволяющих абсолютно точно описать процесс взаимодействия твердого тела с набегающим потоком воздуха, пока нет. И построить точную математическую модель в данном случае достаточно сложно, да и нерационально, т.к. зависимости явно чувствительны ко многим параметрам. Поэтому, исходя из общей теории, получаем, что для рассматриваемого явления за бутылкой существует спутный след, а в нем – активная зона, которая возникает вследствие того, что происходит обтекание твердого тела воздушным потоком. Начало активной зоны определяется положением точек отрыва (те увеличивая скорость потока и/или уменьшая диаметр, повышая обтекаемость, мы укорачиваем «тихую» зону). Конец активной зоны – достижением минимального порогового значения скорости (т.е. увеличивая скорость основного потока, повышая обтекаемость, уменьшая возможную турбулентность – удлиняем активную зону в спутном следе). Итак, решена 3-ья задача.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Для проверки гипотезы была создана установка. Методом шелковинок определили, что наша воздуходувка при всех режимах изначально создает ламинарный или слабо возмущённый поток (подтвердили положение Г) теории). Выяснилось, что для получения большого количества экспериментальных данных пламя свечи как предмет исследования является очень неудобным. Оптимизировать процесс снятия показаний решили следующим образом: очевидно, что пламя начинает гаситься воздухом, прежде всего при достижении им определенной скорости. А охлаждение зоны горения – вторичный эффект в данном процессе. Т. е. можно исследовать явление, определяя скорость потока. Для того мы использовали анемометр.

Итак, определяем, что исследуемое пламя гаснет при скорости потока 1,6 м/с и более. Таким образом, экспериментально подтвердили положение А) теории.
1-ая серия экспериментов.

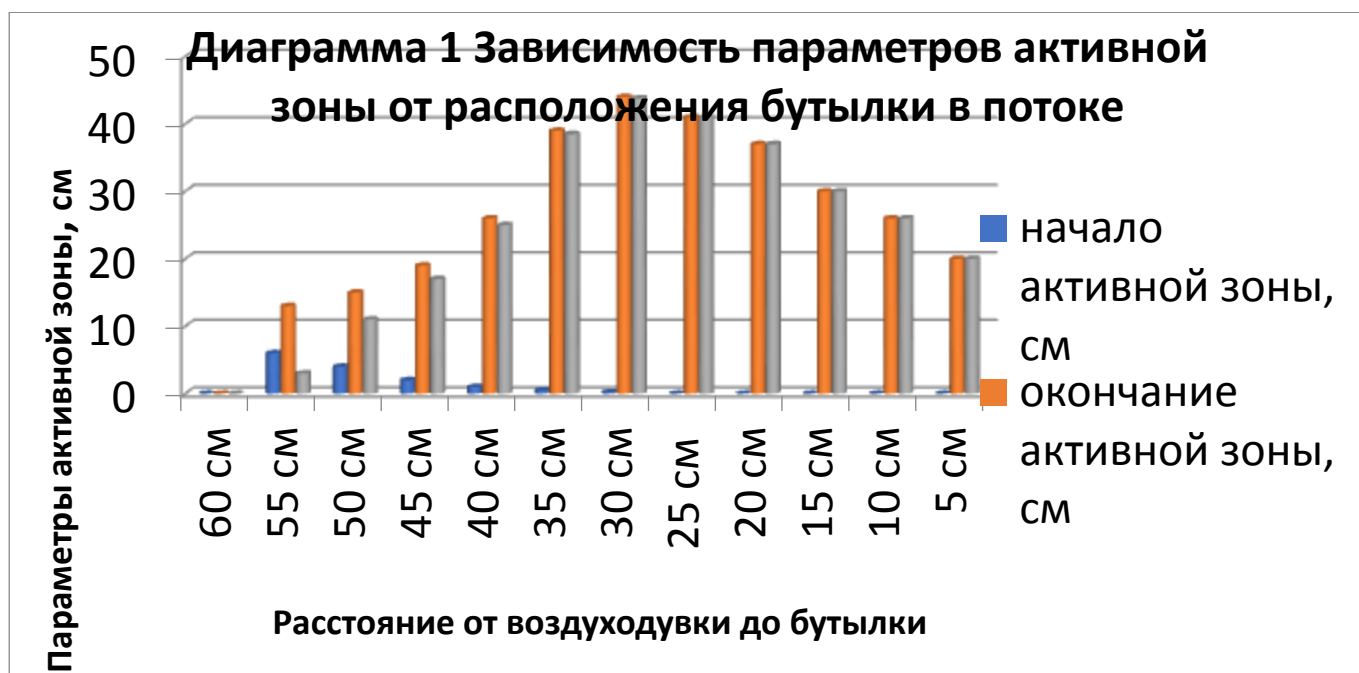
Выявим изменения в процессе гашения свечи при наличии бутылки.

Получив стационарный режим потока воздуха (скорость потока на выходе 8,4 м/с), определили, расстояние от источника, на котором свеча погаснет: 85 см. Поместив бутылку (стекло, диаметр 6 см) перед свечой, эффекта не наблюдали, скорость потока в этом месте стала 1,1 м/с и наблюдалось только снижение по потоку. И такая ситуация была до положения 60 см. С шагом 5 см определили параметры активной зоны. Результаты представляем в таблице 1 и на диаграмме 1

Таблица 1 - зависимость параметров активной зоны от расположения бутылки в потоке

Расстояние от воздуходувки до бутылки, см	Расстояние от бутылки до начала активной зоны, см	Расстояние от бутылки до конца активной зоны, см	Длина активной зоны, см
60	-	-	-
55	6	13	3
50	4	15	11
45	2	19	17
40	1	24	23
35	0,5	39	38,5
30	0,2	44	43,8
25	0	41	41
20	0	37	37
15	0	30	30

10	0	26	26
5	0	20	20



Вывод: бутылка снижает скорость потока; за бутылкой в спутном следе может возникнуть активная зона, параметры которой зависят от расположения бутылки в потоке. Наличие турбулентности снижает эффективность гасящих свойств потока. Дополнительно это проверили, увеличив начальную скорость потока до 12,6 м/с, что способствовало турбулентности потока за бутылкой (при положении до 40 см от сопла до бутылки), при этом активная зона уменьшалась при положении бутылки 10-40 см. Те экспериментально подтвердили положения Б и Д теории. Заметили, что при низких скоростях (менее 0,8 м/с) интенсивность горения наоборот увеличивается, что объясняем повышением притока кислорода.

2-ая серия экспериментов. Исследуем влияние материала бутылки

Были исследованы гладкие цилиндрические бутылки одинакового диаметра (6 см) из стекла, пластика, металла, которые располагаем на расстоянии 30 см от воздуходувки. Стабильность потока в этом месте определили методом шелковинок (фото). Результаты представляем в таблице 2.

Таблица 2

Материал бутылки	Расстояние до начала активной зоны, см	Расстояние до конца активной зоны, см	Длина активной зоны, см
Стекло	0,2	44	43,8
Пластик	0	44	44
Металл	0,5	43	42,5

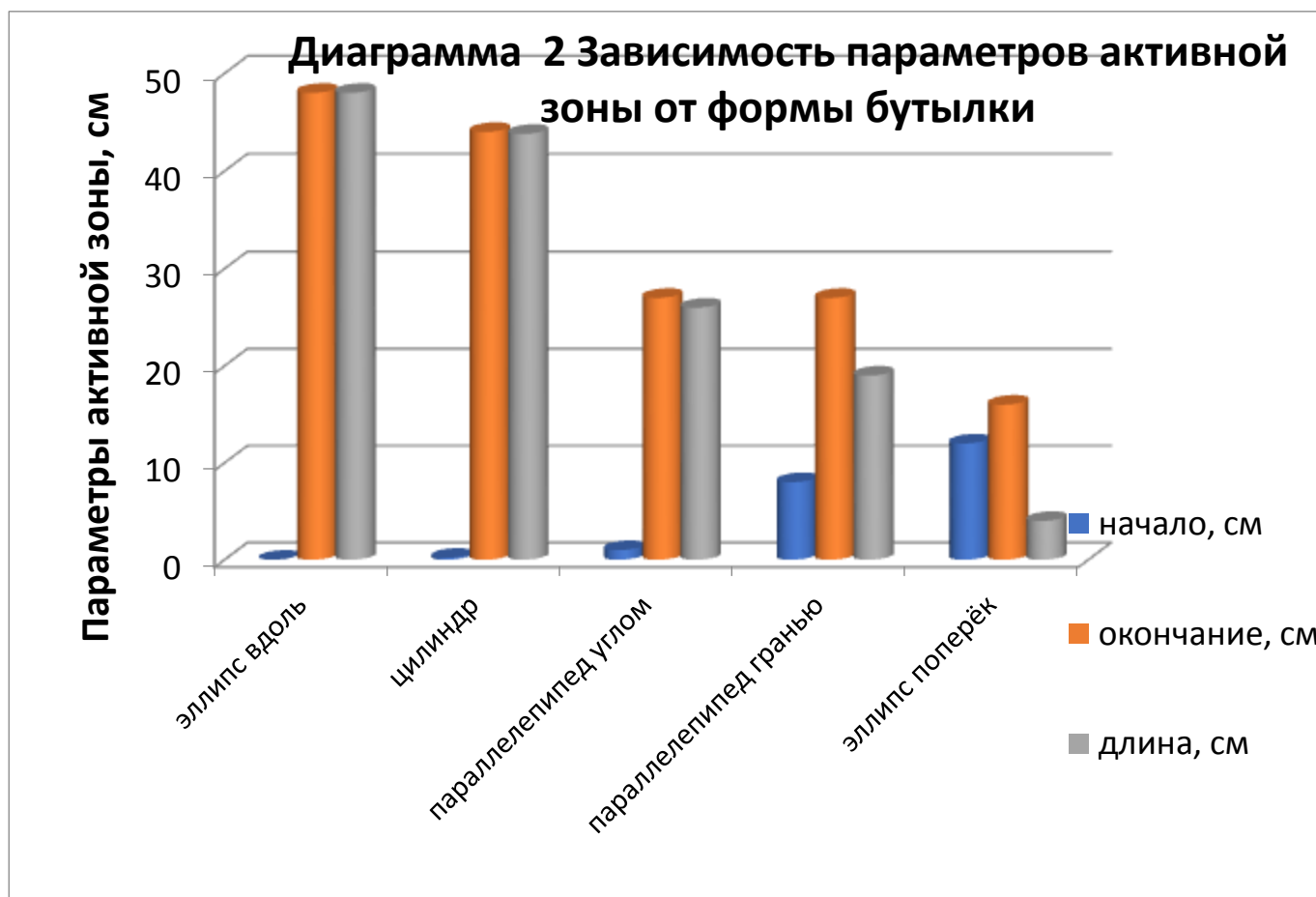
Вывод: материал бутылки не является существенным фактором, главное – наличие обтекаемой твердой поверхности. Так, частично подтвердили и уточнили положение В теории.

3-я серия экспериментов. Исследуем влияние формы бутылок.

А) для первой части серии выбрали стеклянные бутылки различной формы (но одинакового (6 см) эффективного сечения, которые располагаем на расстоянии 30 см. Результаты представляем в таблице 3 и на диаграмме 2.

Таблица 3 - зависимость параметров активной зоны от формы бутылки

Форма бутылки	Расстояние до начала активной зоны, см	Расстояние до конца активной зоны, см	Длина активной зоны, см
Эллипс вдоль	0	48	48
Цилиндр	0,2	44	43,8
Параллелепипед углом	1	27	26
Параллелепипед гранью	8	27	19
Эллипс поперёк	12	16	4



Б) для второй части серии выявляем влияние макрогеометрии поверхности стенок бутылки (металл, диаметр 6,5 см). Результаты представлены в таблице 4 и на диаграмме 3.

Таблица 4 - влияние макрогеометрии поверхности бутылки на параметры активной зоны

Особенности макрогеометрии поверхности	Расстояние до начала активной зоны, см	Расстояние до конца активной зоны, см	Длина активной зоны, см
гладкая	0,5	38	37,5
волнистая	2	33	31
зубчатая	6	29	23



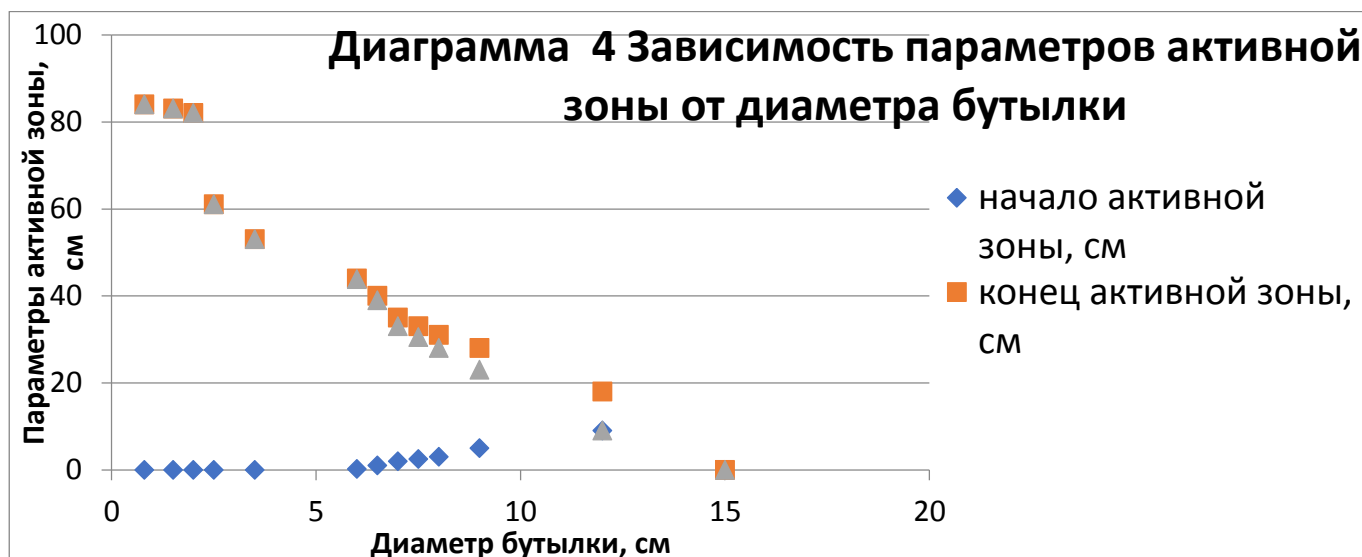
Вывод: форма бутылки и макрогеометрия поверхности является существенным фактором, а в случае наличия нескольких осей симметрии – ориентация бутылки вдоль потока. Этим подтвердили положение В теории.

3-я серия экспериментов.

Исследуем влияние размеров бутылки. Для проведения этой серии нашли возможность использовать 13 цилиндрических бутылкообразных тел различного диаметра. Результаты представляем в таблице 5 и на диаграмме 4.

Таблица 5

Диаметр бутылки, см	Расстояние до начала активной зоны, см	Расстояние до конца активной зоны, см	Длина активной зоны, см
0,8	0	84	84
1,5	0	83	83
2	0	82	82
2,5	0	54	54
3,5	0	49	49
6	0,2	44	43,8
6,5	1	40	39
7	2	35	33
7,5	2,5	33	30,5
8	3	31	28
9	5	28	23
12	9	18	9
15	0	0	0



При этом, если поперечное сечение струи меньше 75% от поперечного сечения бутылки, процесс вообще не наблюдается, те бутылка выполняет роль защитного экрана. Если сечение бутылки менее 10%, то ее влияние на поток незначительно. Оценить ширину потока нам помогло положение Г) теоретического исследования и анемометр.

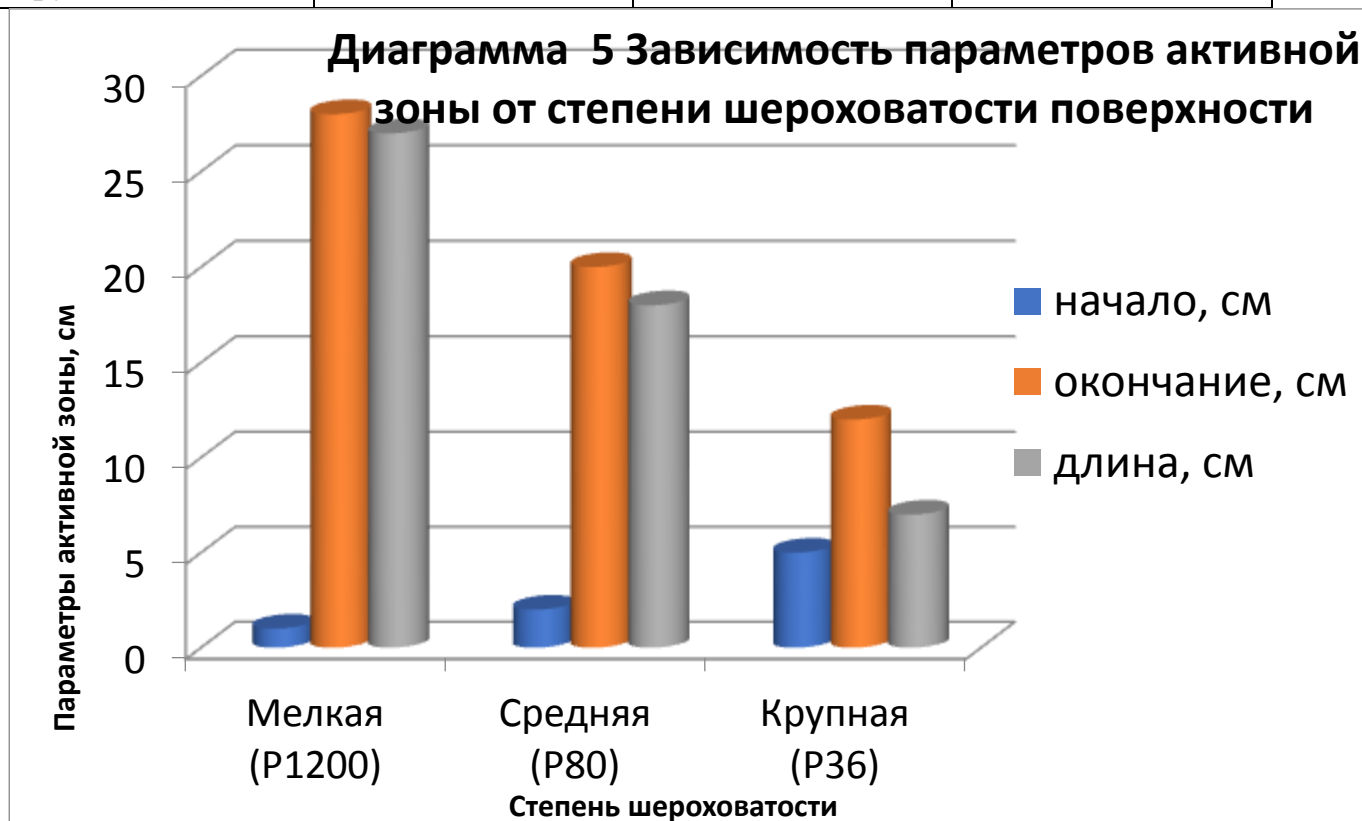
Вывод: размер бутылки является существенным фактором, при этом существует значение соотношения размеров для пары «поток - бутылка». Таким образом, подтвердили и дополнили положения В и Д.

4-я серия экспериментов

Следующая серия посвящена изучению влияния микрогеометрии стенок бутылки. В этой серии как основу использовали стеклянную бутылку. При проведении экспериментов использовали разные материалы для создания разных микроотклонений. Результаты экспериментов представлены в таблице 6 и на диаграмме 5.

Таблица 6 - результаты 4 серии экспериментов

Особенность микрогеометрии внешней поверхности стенки (степень зернистости)	Расстояние до начала активной зоны, см	Расстояние до конца активной зоны, см	Длина активной зоны, см
Нулевая (гладкая)	1	44	43
Мелкая (P1200)	1	28	27
Средняя (P80)	2	20	18
Крупная (P36)	5	12	7



Вывод: микрогеометрия является значимым параметром для данного явления. Степень шероховатости определяет величину градиента скорости потока. Крупнозернистая при этом способствует турбулентности струи (рис. 3), что ведет к тому, что эффект наблюдается позже и уменьшается дальное действие струи. Значит, еще раз подтвердили положение В теории.



Рисунок 3 - образование турбулентности при обтекании неровностей
5-я серия экспериментов

Дополнительно решили оценить влияние температуры воздуха в потоке для уточнения положения А теории. Бутылка 6см, 30 см до бутылки. Вначале отметим, что исследуемая свеча гасла и при более высокой температуре при достижении скорости также 1,6 м/с, что означает: основная причина гашения в нашем случае – снос топлива из зоны горения. Результаты представляем в таблице 7.

Таблица 7 Влияние температуры потока на параметры активной зоны

Температура потока на выходе из сопла, °С	Температура на расстоянии 30 см от сопла, °С	Расстояние до начала активной зоны, см (температура, °С)	Расстояние до конца активной зоны, см (температура, °С)	Длина активной зоны, см
27	26	2 (24)	37 (23)	35
46	38	2 (36)	38 (31)	36
58	48	2 (47)	39 (38)	37

Вывод: повышение температуры подаваемого воздуха хоть незначительно, но удлиняет активную зону. Объясняем это тем, что происходит снижение температуры вдоль потока (см значения температур в скобках), что способствует его сжатию, т.е. уменьшению площади поперечного сечения, и увеличению скорости (условие неразрывности потока). Так подтвердили и дополнили положения как А, так и Д.

Итак, решена 4-ая задача.

Отметим, что на сегодняшний день теории коэффициента восстановления для обтекания цилиндра и других тел не существует. И поэтому о каком-либо

дальнейшем теоретическом истолковании полученных экспериментальных данных с выводом формул пока говорить не приходится.

Сформулируем **выводы** по результатам исследований:

- 1) Образование спутного следа происходит благодаря возникновению пограничного слоя (эффекту Коанда) на препятствии. Экранирование зависит от соотношения размеров для пары «поток - бутылка»
- 2) Установлено хорошее совпадение рабочей гипотезы, теоретических предпосылок с результатами экспериментов с определенными уточнениями;
- 3) Для данного явления существенными параметрами являются:
 - размеры и форма бутылки, макрогеометрия и микрогеометрия её поверхности, ориентация в потоке при наличии нескольких осей симметрии (влияют на обтекаемость, положение точек отрыва, дальнейшую скорость и тип потока, параметры активной и тихой зон в спутном следе),
 - скорость продуваемого воздуха и ширина его потока(определяют наличие явления, положение точки отрыва, скорость и тип отрывного течения);
 - место расположения экранируемого тела (для экранирования необходимо непопадание в активную зону);
 - место расположения бутылки в потоке (определяет наличие явления, положение точек отрыва, тип отрывного течения);
 - температура потока незначительно, но влияет на параметры активной зоны
- 4) Материал обтекаемого тела не является существенным параметром.
Этим мы решили 5-ю задачу, реализовав все пункты нашего плана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общие выводы:

- 1) дано качественное объяснение явления;
- 2) проведено теоретическое исследование;
- 3) создана установка для проведения экспериментов, которая в процессе работы модернизировалась;
- 4) проведено большое количество экспериментов;
- 5) выявлены и исследованы характерные параметры, влияющие на «экранирующие» свойства бутылки зоны в спутном следе;
- 6) все пункты нашего плана реализованы, следовательно, цель работы нами достигнута.

Новизна – получено большое количество экспериментальных данных, которые можно использовать при рассмотрении аналогичных процессов.

Наши предложения по применению данного явления:

- прямое экранирование потока;
- снижение скорости потока и получение спутного следа определенных параметров;
- можно использовать для «концентрации» расходящегося потока и дальнейшего применения;
- попадание в спутный след вызывает сильную болтанку вплоть до полной потери управляемости движущихся в нём тел, поэтому выявление характерных зон в спутном следе на моделях позволит снизить негативные последствия явления;
- это низкочастотный способ управления характеристиками горения факела в спутном потоке воздуха.

Направление наших дальнейших исследований – компьютерное моделирование процессов взаимодействия потока воздуха и препятствий.

Используемые источники

1. Аленицын А.Г., Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Краткий физико-математический справочник. – СПб: «Специальная литература», 1997.
2. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. - М., Стройиздат, 1975.
3. Я. Перельман "Занимательная физика". Книга 2. Глава 6. Свойства жидкостей и газов.
4. Экспериментальные исследования закономерностей обтекания цилиндра и крыла воздушным потоком на аэростенде тмж-1м. Грязнова И.Ю., Мартянов А.И. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 60 с.