

**Министерство образования Российской Федерации
Российский государственный гидрометеорологический университет**

Факультет Метеорологический

Направление 05.03.05 Прикладная гидрометеорология

Кафедра «Экспериментальной физики атмосферы»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Физические основы способа очистки воздуха от атмосферных аэрозолей

Выполнил: студент группы ПМ-Б-14-1-2

Булыгина Надежда Ивановна

Руководитель работы:

к.э.н., доцент кафедры ЭФА

Чукин Владимир Владимирович

Допущен к защите

Протокол № ___ от _____ 2012г.

Зав. кафедрой _____ Кузнецов А.Д.

Санкт-Петербург

2018

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1: ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ СПРАВКА	5
Атмосферные аэрозоли. Физические свойства аэрозолей	5
Классификация аэрозолей по дисперсности	8
Источники образования	11
Влияние на здоровье человека	14
Методы измерения содержания аэрозоля	16
ГЛАВА 2: МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ ИЗ ВОЗДУХА	19
Сухой и мокрый метод	20
Электрический метод	24
Механический метод	24
Метод абсорбции	27
Метод адсорбции	31
Фотокаталитический метод	32
ГЛАВА 3: УСТРОЙСТВО ОЧИСТКИ И РАСЧЕТЫ	34
Принцип работы устройства	34
Расчетная часть задания	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	41
ГЛОССАРИЙ	43

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	45
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	48
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	49
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	50
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	51
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	52

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире человечество все больше задумывается о своем здоровье, а особенно о том, как его сохранить и улучшить. Неотъемлемой частью крепкого здоровья является чистый воздух, а основными загрязнителями воздушной среды - атмосферные аэрозоли, которые пагубно сказываются как на здоровье человека, так и на окружающей среде в целом. Не смотря на активное развитие промышленности, развитие технологий также не стоит на месте, что является толчком для создания новых теорий, методов и приборов для наиболее комфортной жизни. Чистый воздух – один из критериев комфортной и счастливой жизни человечества. Поэтому, с увеличением выбросов в атмосферу чрезмерного количества загрязнителей, в числе которых являются и аэрозоли, разрабатывались различные методы очистки атмосферного воздуха. Одной из таких задач перед собой поставила и я: найти и сравнить друг между другом различные методы очистки атмосферного воздуха, а также сравнить их с методом, который включает в себя очистку воздуха от аэрозолей путем захвата их каплями воды, образованными понижением температуры внутри трубы устройства, рассчитав для него изменения основной метеорологической величины (относительной влажности).

Существование аэрозолей является условием множества свойств газовых сред, в этом же ряду наиглавнейшие для жизни и развития человечества свойства воздуха атмосферы, как среды обитания. Даже незначительная концентрация частиц способна кардинально поменять свойства газа. Как наглядный пример, только наличие конденсационных ядер, число которых в атмосфере не превышает количество атомов самого редко встречающегося газа из инертных – ксенона, обуславливает вероятность образования облаков, что без сомнений важно для существования того разнообразия живых существ, обитающих в биосфере. Прозрачность атмосферы, ограничивающая возможность доступа солнечной радиации к

поверхности земли, которой определяется климат земного шара, имеет зависимость от содержания частиц аэрозоля в атмосфере. Влиятельная сила вулканических извержений на температурные изменения отлично заметна в стратосфере нижних широт, определяясь тем, что аэрозоль напрямую поглощает солнечную радиацию.

Аэрозольные частицы играют особенную роль для обеспечения защиты жизни и здоровья граждан, а также охраны окружающей среды. В числе таких проблем, связанных с аэрозолями, напрямую имеющих влияние на экологическую обстановку, будет верно отметить загрязнение атмосферы, воздействие аэрозолей на радиационные, электрические и энергетические процессы в атмосфере, очистку и прогнозирование распределения промышленного дыма предприятий и тепловых электростанций, предупреждение угольных взрывов в шахтах или разрастание токсичных жидко-капельных аэрозольных облаков в зонах разделения ступеней ракет-носителей и т.п. Помимо этого, аэрозольные системы активно используются для сохранения от различных чрезвычайных ситуаций (тушение пожаров эффективными порошковыми средствами, образующие аэрозоли составы для влияния на облака и туманы с целью предупреждения различных неблагоприятных условий и т.д.) [12]

ГЛАВА 1

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Атмосферные аэрозоли

Физические свойства аэрозолей:

Атмосферным аэрозолем называются взвешенные дисперсные частички, имеющие естественное происхождение, которые находятся в жидком или твердом состояниях в воздушном пространстве. Твердые частицы имеют размеры 10^{-1} – 10^5 нм, а жидкие – 10^2 – 10^6 нм. (3)

Наличие аэрозольных частиц естественно для атмосферных оптических явлений: практически во всем оптическом диапазоне величины коэффициентов аэрозольного ослабления, рассеяния и поглощения примерно такого же порядка, что и для всех вместе взятых газов атмосферы, но аэрозольные оптические характеристики изменяются гораздо сильнее как во времени, так и в пространстве. Кроме того, угловые оптические характеристики аэрозолей значительно отличаются от этих характеристик для газов. В последствии этих факторов в атмосфере отмечаются такие оптические явления как зори, радуга, венцы, глории и др. (1)

Важной отличительной чертой аэрозолей является то, что частицы перемещаются в особенности вместе с газом. Несомненно, при этом аэрозоль может двигаться относительно дисперсионной среды под воздействием сил тяжести (седиментацией), инерции, электромагнитного поля и т. д., но только эти перемещения незначительны относительно движения всей аэрозольной частицы как чего-то целого (в отличие, к примеру, от дождевой капли, смещающейся относительно облака).

Верхнюю границу размеров аэрозолей соотносят обычно именно со способностью частицы фиксироваться средой достаточно продолжительное время. В зависимости от интенсивности турбулентности и плотности воздушного потока, скоростей перемещения среды эта граница лежит в диапазоне размеров 40 - 100 мкм.

Ранее условно поддавалось предположению, что форма исследуемых частиц приближена к изометрической, т.е. все её три размера одинаковы. Правда такое условие каждый раз может выполняться лишь для жидких капель, обладающих идеальной сферической формой. Частицы, у которых один из размеров в 3 - 5 и более раз является меньшим двух других, называют пластинками, а частицы, у которых наоборот, один из размеров в 3 - 5 раз больше двух других - волокнами. Большое число аэрозолей способны иметь различные промежуточные формы.

Для того, чтобы описать свойства и поведение аэрозолей обычно стараются привести размер частицы к эквивалентной сфере, обладающей теми же свойствами, что и наблюдаемая частичка. В особенности, когда размер частицы рассчитывается с использованием какого-либо прибора или устройства, эквивалентным диаметром аэрозоля считается диаметр сферической частицы, производящей точно такое же влияние на этот прибор, что и частица, поддающаяся измерению.

Различают:

- эквивалентный оптический диаметр – то есть диаметр сферы, обладающей тем же сечением рассеяния света, что и измеряемый аэрозоль. Конкретно эта величина используется для измерения в оптических приборах подобных счетчикам и спектрометрам аэрозолей;
- аэродинамический диаметр - диаметр сферической частицы плотности равной единице ($\rho = 1 \text{ г/см}^3$), обладающей теми же аэродинамическими показателями,

что и изучаемая частица. Такая величина рассчитывается благодаря **импакторам** и оптическим аэродинамическим счетчикам частиц;

- стоксовский диаметр - диаметр шара, обладающего той же плотностью вещества и той же скоростью седиментации, как и исследуемая частица аэрозоля.

В современных технологиях, в отличительной особенности в микроэлектронике, играет важную роль наибольший размер частицы, от чего в стандартах промышленности специально введен пункт, что при измерениях, которые выполняются оптическими и электронными микроскопами, под размером частицы понимается максимальный размер этой частицы.

Исходя из этого, размером частицы при измерениях в чистом помещении считается и понимается максимальный линейный размер частицы на плоскости изучения оптического или электронного микроскопа, или же при эксплуатации иных приборов - эквивалентный диаметр частицы.

В зависимости от сравнения размеров частиц дисперсной фазы будет верно отличать дальнейшие типы аэрозолей:

- монодисперсный аэрозоль – это такая аэродисперсная система, которая содержит частицы одинакового размера;
- полидисперсный аэрозоль – это такая аэродисперсная система, которая содержит частицы разных размеров.

Если монодисперсные аэрозоли есть возможность охарактеризовать двумя параметрами - счетной концентрацией и размером частиц, то для полного описания характеристик полидисперсного аэрозоля очень важно не только рассчитать множество частиц в воздушном объеме, но и получить значение размеров каждой из частиц. На практике, несомненно, рассчитываются не все частицы, а только то количество, которое способно обеспечить статистическую достоверность проводимых измерений. Выводы подобных измерений демонстрируют разными способами. Например, в виде

таблиц или графиков в форме гистограммы или же функции распределения аэрозолей по их размерам.

Абсолютно ясно, что функции аэрозолей значительным образом находятся в зависимости от числа взвешенных воздушных частиц. Фундаментальной характеристикой, описывающей количество частиц, является **счетная концентрация частиц** - среднестатистическое значение самостоятельных аэрозольных частиц точного размера, находящихся в единичном объеме воздуха.

В промышленной гигиене, по нормам предельно допустимых концентраций (ПДК) веществ в аэрозольной составляющей в воздушной среде популярна к использованию весовая концентрация аэрозолей (грамм, миллиграмм или микрограмм в единичном объеме воздуха), единственное исключение, при проведении измерений в чистых помещениях такие единицы не используются.

Классификация аэрозолей по дисперсности.

При определении дисперсности аэрозоля, то есть размера его частицы, принято распределять аэрозоли на следующие виды, такие как пыль, облака и дымы:

- пыль (размер частиц дисперсной фазы более 10 мкм (10⁻⁵ м)),
- облака, туманы (10 – 0,1 мкм (10⁻⁷ – 10⁻⁵ м)),
- дымы (0,1 – 0,001 мкм (10⁻⁹ – 10⁻⁷ м)).

Пыль является твердыми частицами, которые **диспергированы** благодаря механическому измельчению различных твердых тел. Этому могут служить взрывы, горные работы и т. д. или высыхание капель различных растворов или частиц, например таких как солевые частицы над океаном. В пыли по обыкновению находятся частицы достаточно разнообразных размеров. В быту обычно пылью привычно называть осадок из твердых частиц

на различных поверхностях, легко переходящий во взвешенное состояние. Частицы пыли могут сильно отличаться по химическому составу. Облачные капли имеют размеры: 5 – 50 мкм ($5 \cdot 10^{-6}$ - $5 \cdot 10^{-5}$ м). Туманы образованы жидкими каплями, появляющиеся во время конденсации пара или же распыления какой-либо жидкости. Здесь же включены и капли с веществами, растворенными в них или состоящие из частиц в составе. Туманы естественного происхождения по обыкновению являют собой капли с диаметром до 10 мкм и более. Дымы являются продуктом горения или возгонки летучих веществ, заодно и итогом химических и фотохимических реакций. Дым также способен образовываться в результате сгорания горючих веществ. Подобные дымы обычно содержат большие частицы несгоревшего топлива, золы, оксидов металлов, сажи, смолы. Благодаря чему размеры частиц дыма широко варьируются в пределах - от субмикронных (0,01 мкм (10^{-7} м)) до микроскопических (100 мкм 10^{-9} м). В особенности, частицы дыма от табака обладают дисперсностью 0,1 – 0,9 мкм ($1 \cdot 10^{-7}$ - $9 \cdot 10^{-7}$ м). Дымовые частицы самой высокодисперсной системы при небольших размерах, что нельзя сказать о пыли (более грубодисперсной системы), в большинстве своем не склонны оседать из-за влияния силы тяжести. Дым способен являться ядром конденсации влаги атмосферы, благодаря чему образуются туман или смог. Капельки, а также частицы различных атмосферных загрязнений и пыли иногда называют дымкой, которая в действительности является комбинацией из трех перечисленных выше основных типов аэрозолей. Систему, которая образуется в результате совместной работы природного тумана с газообразными загрязнениями, принято называть смогом. Частицы дымки и смога колеблются в районе размеров 1 мкм. Самые часто встречающиеся размеры аэрозольных частиц отображены в табл. 1

Таблица 1 Размеры частиц некоторых аэрозолей

Тип аэрозоля	Диаметр, мкм
--------------	--------------

Табачный дым	0,1-1,0
Туман серной кислоты	0,3-0,5
Топочный дым	0,1-10,0
Слоистые облака	1,0-10,0
Факел распыла аэрозольного баллончика	1,0-100,0
Атмосферный туман	2,0-50,0
Дождевые облака	10,0-100,0
Цветочная пыльца	15,0-20,0
Дождевые капли	50,0-100,0

Таким образом, размеры аэрозольных частиц чаще всего находятся через размер радиуса или диаметра частиц в форме сферы и варьируются в достаточно крупных пределах от 1 нм (10^{-9} м) до малых значений мм (10^{-3} м). Наименьший размер частиц обусловлен возможностью жизнеспособности вещества в агрегатном состоянии. Так, одна молекула воды не способна самостоятельно создать никакого их состояний: жидкого, газового или твердого. Для того, чтобы организовать фазу требуются агрегаты как минимум из 20-30 молекул. Наименьшая частица твердого вещества или жидкости не способна быть размером меньше $1 \cdot 10^{-3}$ мкм. Чтобы газ рассматривался как непрерывная среда, очень важно, чтобы размеры частиц были значительно большего размера, чем свободный пробег молекул газа. Нет строгого определения верхнего предела частиц, но те, что крупнее 100 мкм не имеют возможности продолжительное время находиться в воздухе во взвешенном состоянии. По типу происхождения и по размерам аэрозоли разделяют на две основные группы: макро- и микрочастицы. Микрочастицы с радиусом, который не превышает 0,5-1,0 мкм ($0,5-1,0 \cdot 10^{-6}$) возникают в результате процессов коагуляции и конденсации, в то время как макрочастицы образуются по обыкновению при дезинтеграции земной поверхности. Размер частиц дает представление о способности самих аэрозолей попадать в дыхательные пути. Микрочастицы размером до 5 мкм ($5 \cdot 10^{-6}$ м) (респирабельные фракции) поражают альвеолы, после чего остаются в них.

Более крупные частицы в 10 мкм (10-5 м) и более оказывают свое влияние на верхние дыхательные пути и бронхи, а в альвеолы не попадают [12-16].

Источники образования:

Твердыми аэрозолями считаются вулканическая пыль и пепел, частицы дыма от лесных пожаров, почвенная и космическая пыль, жидкими – капли пресной и морской воды. Естественным путём попадания аэрозолей в атмосферу являются пыльца и споры растений, различные микроорганизмы и продукты органического распада. К аэрозолям антропогенного происхождения относятся продукты сжигания топлива и активной работы промышленных предприятий, а также частицами почвы, попадающих в атмосферу ветром при распахивании земель. Конденсационные аэрозоли обусловлены облаками и туманами, которые склонны образовываться при конденсации водяных паров атмосферного воздуха и представленными водяными каплями или кристаллами льда. Аэрозоли, представленные облаками, оказывают положительное влияние, являясь одним из важнейших звеньев круговорота воды в природе и контролируя баланс режима температуры. Радиоактивные аэрозоли (которые образуются, например, при ядерных взрывах, переработке радиоактивных материалов), пыльные бури, вулканическая пыль и пепел, смог являются опасными явлениями. (3)

Многочисленные эксперименты в этой области помогли убедиться, что функцию распределения атмосферных аэрозольных частиц по размерам легко представить в виде кривой, которая имеет три явных максимума (т. н. «тримодальное распределение» - рис. 1).

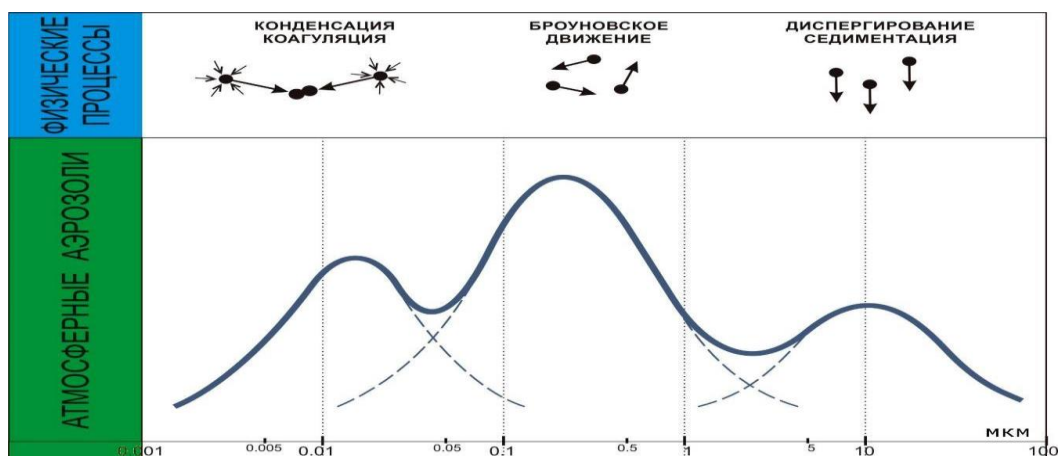


Рис. 1. Общий вид функции распределения атмосферных аэрозольных частиц по размерам.

Бесспорно, как нахождение этих максимумов, так и их величины способны слегка изменяться в зависимости от определенных условий, но общий характер распределения постоянно сохраняется. Первый (по мере возрастания размеров частиц) максимум является соответствием тонко дисперсным частицам, которые образуются в атмосфере при конденсации паров разных веществ и в результате фотохимических реакций. Для частиц подобных размеров нормальна коагуляция, т. е. увеличение частиц путем образования сложных агломератов.

Второй, самый заметный максимум приходится на частицы субмикронного диапазона размеров. Причиной этого является тот факт, что присущее этим частицам хаотическое тепловое движение (броуновское движение) преобладает над действием силы тяжести, а потому скорость оседания таких частиц оказывается очень малой, и эти частицы присутствуют в воздухе постоянно. В естественных природных условиях генерация частиц

субмикронного размера происходит при распылении капель воды, например, во время образования брызг над поверхностью водоемов. А также эта размерная фракция пополняется за счет коагуляции и постепенного укрупнения тонкодисперсных частиц.

Самыми многочисленными в атмосферном воздухе являются субмикронные частицы, в связи с этим область максимальной проницаемости высокоэффективных фильтров является соответствующей именно этому диапазону.

Третий максимум в функции распределения соответствует области крупных частиц. Такие частицы возникают в ходе природных процессов диспергирования веществ (например, почвенная эрозия). К области крупных частиц относится и большинство микроорганизмов, например, бактерии. Под действием силы тяжести крупные частицы оседают и легко вымываются осадками. В связи с невозможностью данных частиц долго находиться во взвешенном состоянии численные значения их счётной концентрации в воздухе обычно невелики, в то же время именно эти частицы определяют массовую (весовую) концентрацию аэрозолей в воздухе. (2)

Влияние на здоровье человека:

Загрязнение атмосферы аэрозолями приводит к серьезным заболеваниям дыхательных путей и токсичным отравлениям организма, а также способны стать причиной различных аллергических заболеваний.

Аэрозольные загрязнения по причине антропогенного фактора склонны разрушать экосистему и противостоят нормальному протеканию естественных природных процессов, таких как процесс фотосинтеза, например. (3)

Поэтому очень важно, предотвращать или сокращать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и искать новые способы ее очистки.

Воздушное пространство производственных помещений, содержащее вредные для здоровья и окружающего мира вещества в виде аэрозолей, производит значительное влияние на здоровье работников. Распространенным заболеванием, определенным действием пыли, является бронхит. В бронхах происходит скопление мокроты, и болезнь хронически развивается. Существует конкретная определенная связь между количеством, концентрацией, химическим составом пыли в рабочем пространстве и образующимися профессиональными заболеваниями трудящихся.

Невероятно опасными для человека являются аэрозоли, которые представляют собой очень мелкие частицы (размером от 0,5 до 10 мкм), они

легко проникают в легкие и остаются там в альвеолах. Чем мельче частицы пыли, тем большее количество времени они находятся в атмосфере в виде аэрозоля, отчего легче попадают в организм человека в процессе его дыхания.

Частицы пыли, имеющие зазубренные острые края (металлическая, минеральная пыль) осаждаются в дыхательных путях в значительном количестве, чем серьезно травмируют слизистые оболочки. Задерживаясь в легких, они приводят к развитию соединительной ткани в воздухообменной зоне и рубцеванию (фиброзу) легких.

Степень воздействия пыли на человеческий организм напрямую зависит от ее химического состава и ядовитости. В организме человека, частицы токсической пыли всасываются в системный кровоток, а затем смешиваются с тканевой жидкостью. По итогу протекания подобных химических реакций происходит образование ядовитых веществ.

Долгосрочное воздействие пыли на органы дыхания способно привести к такому профессиональному заболеванию как пневмокониоз. Пневмокониоз обусловлен увеличением в размерах соединительной ткани в дыхательных путях.

В богатом пылью воздухе становится очень трудно дышать, обеспечение крови кислородом снижается, что приводит к легочным заболеваниям.

Пыль, попавшая на слизистые оболочки глаз, вызывает их раздражение, конъюнктивит. Осаждение пыли на коже приводит к забиванию кожных пор, что является препятствием нормальной терморегуляции организма, и склонно к образованию дерматита, экзем.

Так же находится достаточно доказательств, что аэрозольные частицы являются средством перемещения для различных болезней, которые, конечно же, увеличивают скорость заражения. (2)

Методы измерения содержания аэрозоля

Для контроля микроскопических загрязнений аэрозолем идут в использование оптические (чаще всего, лазерные) счетчики частиц - фотоэлектрические приборы, которые определяют число частиц, прошедших через измерительный объем прибора, с помощью подсчета количества импульсов света, рассеянного отдельными частицами (каждой в частности) при их проходе через световой луч.

Обобщенная оптическая и пневматическая схема такого прибора представлена на рис. 2. Тонкая струя аэрозольных частиц проходит сквозь сфокусированный луч света от источника излучения (лазера), причём диаметр струи находится из того расчета, чтобы в луче оставалось, желательно, не более одной аэрозольной частицы. Для того, чтобы остановить распространение частиц внутри измерительной камеры струя аэрозоля поддается обдуву **коаксиальным потоком** чистого воздуха. Свет, который рассеивается частицей, собирается оптической схемой, после чего направляется на фотоприёмник. Опорный диод эксплуатируется для балансировки уровня излучения источника света. Световые импульсы изменяются фотоприемным устройством в электрические импульсы, их амплитуда становится пропорциональна геометрическому размеру каждой из частичек.

В то же время прибор рассчитывает тем или иным способом объём воздуха, который прошел через измерительный объем. Это дает возможность

путём простых арифметических расчетов (которые осуществляются чаще всего электронным блоком прибора самостоятельно, без участия оператора) получить значение счетной концентрации частиц.

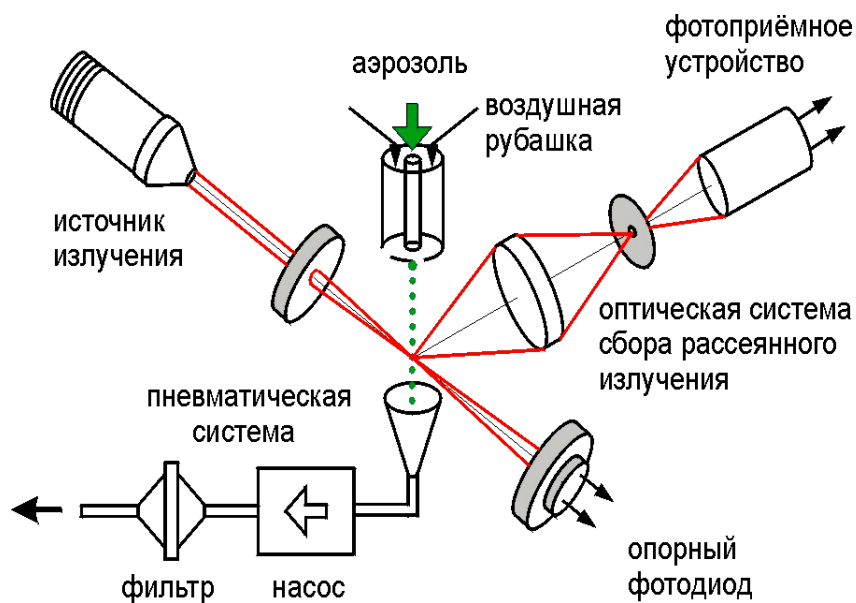


Рис. 2. Обобщенная оптическая и пневматическая схемы оптического счетчика частиц аэрозолей.

Одними из важных характеристик счетчиков и спектрометров частиц аэрозолей являются:

диапазон размеров измеряемых частиц – наименьший измеряемый размер частиц для лазерных счетчиков частиц находится в диапазоне от 0.5 мкм до 0.3 мкм; иногда - от 0.1 мкм до 0.2 мкм. Максимальные размеры встречаются диапазоне размеров от 10.0 до 25.0 мкм, но иногда встречаются приборы с максимальной границей размеров в 80 и 100 мкм;

количество размерных диапазонов (каналов), на которые может быть разделен интервал размеров измеряемых частиц; чаще всего, численное значение - от 6 до 12 каналов; иногда, когда требуется высокое разрешение по размерам, число каналов может достигать даже нескольких десятков;

скорость пробоотбора (отображается в единицах объема воздуха, прошедших через прибор в единицу времени) - предел возможных значений обычно от 2,8 л/мин до нескольких десятков (обычно - 28) литров в минуту. Причиной этого является то, что в основе классификации чистых помещений, которая применялась раньше, (которая основывалась на американском стандарте 209) лежало определенное количество частиц в одном кубическом футе, которое соответствует 28 литрам;

максимальная счетная концентрация, которая измеряется прибором без предварительного разбавления - связана со скоростью пробоотбора обратно пропорциональной зависимостью, в связи с этим приборы с высокой скоростью пробоотбора (свыше 10 л/мин) применяются исключительно в чистых помещениях, а счётчики с достаточно низкой скоростью пробоотбора (порядка литра в минуту и менее) обычно используются и при измерениях загрязненности воздуха в бытовых помещениях или атмосферного воздуха. Как правило, число максимальной счетной концентрации в современных счетчиках и спектрометрах аэрозолей находится в диапазоне 500 - 1000 частиц/см³ ;

собственный фон прибора (zero count level) - количество импульсов, записываемых прибором в течение определенного количества времени (или при прохождении определенного количества воздуха) в условиях, когда на вход прибора пропускают очищенный воздух, который не содержит частиц аэрозолей с размерами, которые соответствуют его пределу измерений. Вследствие чего этот параметр описывает число ложных срабатываний электроники прибора. Численные значения собственного фона в различных приборах сильно отличаются; наилучшим результатом, который был достигнут в наилучших лабораторных приборах, есть число 0.01 част/литр. (2)

ГЛАВА 2

МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ ИЗ ВОЗДУХА

Методов удаления аэрозолей из воздуха встречается достаточное количество, каждый по-своему эффективен. В основной массе, различные методы используются только в промышленности для того, чтобы обезопасить работу на производстве. Также, различные фильтрующие системы устанавливаются для того, чтобы оградить загрязнение атмосферы производственными выбросами.

В своей работе для сравнения методов буду использовать несколько способов очистки, которые логичны именно при очистке атмосферного воздуха. На сколько каждый метод удобен в условиях атмосферы, а также, попробую доказать, что использование метода очистки захватом аэрозолей каплями воды, вырабатываемыми понижением температуры в трубе будет эффективен и доступен.

Сухой и мокрый метод

Базовая работа сухих аппаратов заключается в гравитационном, инерционном и центробежном механизмах осаждения или же фильтрации. Во влажных пылеуловителях происходит соприкосновение жидкости и газов, богатых пылью. Одновременно с этим образование осадка происходит на капле, на оболочке пузырей газа или на пленке жидкости. В электрических фильтрах образование осадка аэрозольных частиц происходит на осадительных электродах.

Термины «сухой метод» и «мокрый метод» появились в начальные годы развития очистки газовых запылений как профессиональный жаргон, но впоследствии стали использоваться как общепринятые обозначения.

Сухими методами называют те методы, которые не включают в себя потребление воды, каких-либо водных растворов и иных жидкостей в качестве средств промывки и поглощения. Сухие методы основываются на потреблении жидкости, в частом случае ей служит вода, для того, чтобы подготовить летучие выбросы перед их отправкой в аппараты газовой очистки. К примеру, часто используется на практике отправка какого-то расчетного количества распыленной тонкой струйкой воды в пылегазовый поток для того, чтобы уменьшить его температуру и удельное электрическое сопротивление. Вода в этот момент поддается абсолютному испарению и никакие промывные или поглотительные функции не исполняет.

Достоинства сухих методов:

1) Температуру выброса остатка по итогу сухой очистки можно определить лишь конструктивными составляющими и способна дотягивать до 400-500 °С, а если имеется теплозащитная **футеровка**, то и еще более крупного значения. Это дает возможность после очистки значительно уменьшить газовую теплоту с высоким эффектом в плане экономии.

2) При отправке в атмосферных воздух сухих и достаточно горячих газов проявляется значительное улучшение условий их рассеивания.

3) Вода не потребляется, в то время как она является важным и неотъемлемым, а иногда и дефицитным ресурсом.

4) Отсутствуют вторичные стоки загрязненных жидкостей, которые должны подвергаться качественной очистке перед тем, как сбросить их в водоемы, или же должны намеренно обрабатываться для их повторного эксплуатации в технологическом процессе.

5) Если температура состава в течение очистки газа перманентно является выше температуры конденсации находящихся в ней паров, коррозия аппаратуры не способна образовываться.

6) Если поимке подвергается пыль, она выпадает из пылеуловителей в виде сухого порошкообразного продукта, который легко и быстро утилизируется, не требуя лишних затрат на время.

Недостатки сухих методов:

1) В транспортной системе пойманного порошкообразного продукта имеется высокая вероятность опасности повторного образования аэрозолей. Из-за чего определенные системы обязательно качественно герметизируются, а иногда обогащаются индивидуальными аспирационными отсосами (очистка отсосов способна быть самостоятельной, но чаще всего на практике встречается их отправка в базовый газовый тракт перед основными газоочистительными аппаратами).

2) Сухие системы очистки проявляют чрезмерно отрицательную реакцию на конденсацию паров, в частности паров кислых жидкостей как целом в объеме, так и в какой-то определенной граничной части пылегазового потока (к примеру, это могут быть места подсосов холодного наружного воздуха, около достаточно холодных стенок пылесборных отсеков и т. д.). Конденсация приводит к общей или местной коррозии, и помимо этого имеет влияние на образование и развитие отложений пыли, с трудом поддающихся удалению.

Мокрыми называют те методы, которые основаны на эксплуатации воды или иных жидкостей как промывных или поглотительных агентов, включая методы, при которых жидкость не промывает выбросы и не поглощает компоненты выбросов, а подвергается выполнению определенных требуемых технологических функций. Как пример, у влажных электрофильтров удаление с электродов захваченной пыли происходит не через отряхивание, а с помощью смыва. К мокрым относят помимо всего прочего еще те электрофильтры, которые улавливают не пыль, а тонкодисперсные брызги жидкости с предыдущей ступени очистки.

Нет определенного разграничения в области применения сухих и мокрых методов, так как за нередким случаем оба метода технологически логичны в решении одинаково поставленных задач.

Достоинства мокрых методов:

1) Из-за наличия мало движущихся механических частей аппараты мокрой очистки являются более простыми приспособлениями нежели аппараты сухой очистки.

2) Простота транспорта уловленного продукта, который не требует каких-либо предохранительных мер против вторичного образования аэрозолей.

Недостатки мокрых методов:

1) Потребление воды, которое является очень важным, а зачастую и дефицитным продуктом.

2) Имеет место вторичный сток загрязненных жидкостей, которые без достаточно сложной очистительной обработки не имеют возможности быть ни сброшены в водоемы, ни возвращены обратно в цикл.

3) После мокрой очистки образуется остаточный выброс, который является холодным и влажным, из-за таких условий портятся и условия его рассеивания.

4) Чаще всего в выбросах имеется наличие коррозионно-активных веществ, у которых идет усиление агрессивных свойств в присутствии влаги. Поэтому вопрос противокоррозионной защиты при мокром методы стоит особенно остро. Если на это не достаточно обращать внимание, то очистительная техника будет очень быстро портиться.

5) Большой опасностью для работников становится вероятность повторного выделения ядовитых веществ, которые были захвачены при очистке.

6) Для того, чтобы утилизировать уловленные продукты требуется разработка и создание сложнейших технологических систем, расходы на которые достаточно высоки и не имеют сильной важности.

В последние десятилетия активно развиваются системы работы с сухими методами. Это происходит благодаря совершенствованию конструкций электрофильтров и рукавных фильтров. [9]

Электрический метод

Электростатическое осаждение отлично применяется, когда нужно уловить пыли и туманы в различных сферах промышленности (от цементной до металлургической) и в особенности главным образом для захвата летучей золы из газов дыма от электростанций.

Принцип работы метода образован следующим образом: аэрозоль проходит между электродами, которые создают поле высокого напряжения (70–100 кВ), отсюда образуется разряд, из-за которого катод начинает испускать большое множество электронов; эти электроны ионизируют молекулы газа. Образуются анионы, которые подвергаются адсорбции от частиц аэрозоля, после чего отрицательно заряженные частицы выпадают на положительно заряженной стенке трубы, и по итогу скапливаются в специальном отсеке. [4]

Механический метод

Принцип работы.

Фильтрация через пористые перегородки считается одним из самых удобных способов очистки. Такой способ образует более качественную степень очистки, чем сухое или мокрое пылеулавливание, и постоянную работу в широком температурном диапазоне, физико-химических свойств захватываемых частиц и расхода газа. Фильтрация является одним из самых

давних и достаточно хорошо используемых методов улавливания частиц из газовых потоков, богатых пылью. В настоящее время фильтрация предоставляет удаление самых различных частиц от видимого до околмолекулярного размеров. Фильтрация не понаслышке считается высокоэффективным способом очистки при наиболее низких затратах на использование такого метода.

Область применения фильтров:

Тканевые фильтры обычно берут в использование тогда, когда имеется необходимость получить высокую эффективность, а условия дают возможность использовать фильтр без причинения ему вреда или же нанесения какого-либо ущерба процессу. Использование фильтров имеет температурные границы, которые превышают 500-600 К, при них подвергается разрушению ткань или уменьшается срок ее службы до экономически невыгодного, помимо этого еще состав газа или частиц, которые способны уменьшать стойкость ткани или их трудно удалить из фильтра. К примеру, не поддаются нормальному удалению клейкие частицы, из-за этого не представляется возможным преждевременно покрыть волокна абсорбирующим, но не клейким материалом. Часто придают значение тому, что фильтры не являются пригодными для захвата жидкостей, но несмотря на это, при верном подборе фильтра есть возможность захватывать и жидкие капельки. Благодаря фильтрам поддаются улавливанию и мелкие частицы, размеры которых бывают даже молекулярными, оседают из-за высокого коэффициента диффузии. Большинство технологических трудностей не сложно решить через изменение условий фильтрационной работы. Как пример может служить охлаждение потока газа до температуры, которая фильтру не нанесет никакого вреда.

Механизмы захвата и их относительное значение

Когда частица начинает находиться на очень небольшом расстоянии от волокон фильтра, на нее начинают воздействовать сразу несколько механизмов, приводящие к ее захвату:

- 1) касание;
- 2) инерционный захват;
- 3) диффузия;
- 4) электростатическое осаждение;
- 5) термофорез;
- 6) гравитационное осаждение;
- 7) ситовой эффект.

Касание. Частица поддается переносу по линии тока газа к волокну. Если движение частицы происходит мимо препятствия, расстояние до которого меньше собственного радиуса, в таком случае происходит соприкосновение с препятствием и ее дальнейшее улавливание.

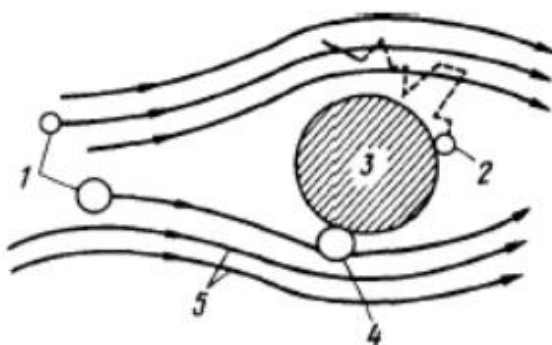


Рис.3. Механизмы захвата частиц - касание и инерция

1 - частицы; 2 - инерционный захват; 3 - нить или волокно;

4 - касание; 5 - линии тока

Данные рис.3 демонстрируют работу самых значительных механизмов из представленных. В любом случае имеется предположение, что частица

поддается захвату тогда, когда имеется соприкосновение с волокнами или ранее осажденной частицей.

Инерция. Частица является частью линии тока, благодаря чему она бы могла обойти препятствие без его касания, но из-за действия инерции частица сходит с первоначальной линии тока. По итогу она сталкивается с препятствием. Чем крупнее размеры частицы, тем больше будет ее инерция, а значит, и будут лучше условия для захвата. При нормальных скоростях течения внутри фильтров механизм инерции практически не имеет эффективности для частиц диаметром менее микрометра.

Диффузия. Частица имеет настолько малые размеры, что броуновское движение влияет на ее траекторию и делает ее хаотичной. Захват происходит, когда случайное отклонение сталкивает частицу к волокну (рис.4). Такой механизм считается значительным, когда размер частиц меньше 0,1 мкм. [4]

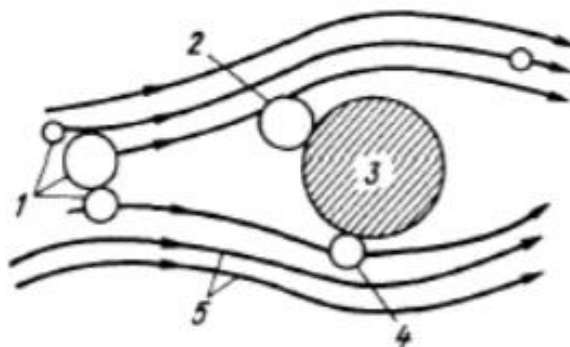


Рис.4 Механизм захвата частиц – диффузия и электрическая сила:

1 – частицы; 2 – диффузия; 3 – нить или волокно;

4 – электрическая сила; 5 – линии тока

Метод абсорбции

Метод абсорбции представляет собой поглощение различных компонентов смеси газа абсорбентом, или по-другому поглотителем, в виде чего представляет себя жидкость. Абсорбент выбирается из условия растворимости газа в нем, который подлежит удалению из газовой смеси. Как пример, для того, чтобы очищать газы от аммиака, хлористого и фтористого водорода используется вода как абсорбент, для того, чтобы уловить водяные пары в использование идёт серная кислота, а для того, чтобы уловить углеводороды, используются ароматические масла. Во время абсорбции происходит конвективная диффузия паро- и газообразных компонентов газа, поддающегося очистке в жидкие поглотители. Для того, чтобы изъятие загрязняющего вещества было наиболее высоко эффективно очень важно качественное перемешивание газа, поддающегося очистке, с абсорбентом. Реализация этого происходит при очистке вентиляционного воздуха, который отсасывается из травильных и гальванических ванн, в колоннах с насадками, в форсуночных и барботажно-пенных аппаратах.

Регенерацию, или по-другому ещё восстановление, растворителя производят с помощью снижения общего давления всей примеси, повышают температуру или же и тем и другим способами в одно время.

Газовая очистка абсорбентами.

Многие жидкие и твердые вещества, контактируя с многокомпонентной газовой средой, могут достаточно избирательно вытягивать из нее определенные ингредиенты и сорбировать, или же поглощать их. Абсорбция - поглощение газов или паров из газовых смесей жидкими поглотителями, которые называются абсорбентами. Важностью процесса абсорбции должна быть избирательность и обратимость, которые обеспечивают способностью использовать его не только для получения газовых растворов в жидкостях, но и для того, чтобы разделить газовые или паровые смеси. В последнем случае после того, как провели избирательную абсорбцию какого-либо количества компонента из этих смесей проводят

десорбцию, то есть выделяют эти компоненты из жидкости, благодаря чему происходит разделение. Поддавшийся регенерации абсорбент снова возвращается на абсорбцию (круговой процесс). Сорбирование газа происходит либо благодаря растворению в абсорбенте, либо из-за того, что он химически взаимодействует с абсорбентом. В первом случае процесс является физической абсорбцией, а во втором случае - хемосорбцией. Не исключено и совместная работа механизмов. Абсорбируемые компоненты газовой смеси называют абсорбтивом, а не абсорбируемые - инертном. Абсорбентами являются определенные жидкости или растворы активного компонента внутри жидкого растворителя. В любом случае есть множество требований к абсорбентам, наиболее важными среди которых становятся: высокая абсорбционная способность, селективность, низкое давление пара, химическая инертность по отношению к распространенным конструкционным материалам, не токсичность, огне- и взрывобезопасность, доступность и невысокая стоимость. Обычно в процессе абсорбции за абсорбент используют воду, органические растворители, не вступающие в реакцию с извлекаемым газом, и водные растворы этих веществ. Если растворимость газов при 0°С и парциальном давлении 101,3 кПа составляет сотни грамм на 1кг абсорбента, то такие пары называют хорошо растворимыми. При удалении из технических выбросов таких газов, как NH₃, HCl и HF, верным решением будет применение воды как абсорбента. Совершенно не логичным будет эксплуатация воды для того, чтобы очистить выбросы с веществами, не способными раствориться в ней. Для этого обычно используют органические вещества, среди которых встречаются такие как этаноламины и тяжелые предельные углеводороды (минеральные масла).

Абсорбенты, применяемые для очистки отходящих газов, приведены в табл. 2.

Поглощаемые компоненты	Абсорбенты
Оксиды азота N_2O_3 , NO_2 , N_2O_5	Вода, водные растворы и суспензии: $NaOH$, Na_2CO_3 , $NaHCO_3$, KOH , K_2CO_3 , $KHCO_3$, $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $MgCO_3$, $Ba(OH)_2$, $BaCO_3$, NH_4HCO_3
Оксид азота NO	Растворы $FeCl_2$, $FeSO_4$, $Na_2S_2O_3$, $NaHCO_3$, Na_2SO_3 , $NaHSO_3$
Диоксид серы SO_2	Вода, водные растворы: Na_2SO_3 (18—25%-ные), NH_4OH (5—15%-ные), $Ca(OH)_2$, Na_2CO_3 (15—20%-ные), $NaOH$ (15—25%-ные), KOH , $(NH_4)_2SO_3$ (20—25%-ные), $ZnSO_3$, K_2CO_3 ; суспензии CaO , MgO , $CaCO_3$, ZnO , золы; ксилидин—вода в соотношении 1 : 1, диметиланилин $C_6H_3(CH_3)_2NH_2$
Сероводород H_2S	Водный раствор $Na_2CO_3 + Na_3AsO_4$ ($Na_2 HAsO_3$); водный раствор As_2O_3 (8—10 г/л) + NH_3 (1,2—1,5 г/л) + $(NH_4)_3AsO_3$ (3,5—6 г/л); моноэтаноламин (10—15%-ный раствор); растворы K_3PO_4 (40—50%-ные), NH_4OH , K_2CO_3 , Na_2CO_3 , $CaCN_2$, натриевая соль антрахинондисульфокислоты
Оксид углерода CO	Жидкий азот; медно-аммиачные растворы $[Cu(NH_3)]_n \times COCH$
Диоксид углерода CO_2	Водные растворы Na_2CO_3 , K_2CO_3 , $NaOH$, KOH , $Ca(OH)_2$, NH_4OH , этаноламины RNH_2 , R_2NH
Хлор Cl_2	Растворы $NaOH$, KOH , $Ca(OH)_2$, Na_2CO_3 , K_2CO_3 , $MgCO_3$, $CaCO_3$, $Na_2S_2O_3$; тетрахлоридметан CCl_4
Хлористый водород HCl	Вода, растворы $NaOH$, KOH , $Ca(OH)_2$, Na_2CO_3 , K_2CO_3
Соединения фтора HF , SiF_4	Вода, растворы Na_2CO_3 , $NaOH$, $Ca(OH)_2$

Табл. 2 Абсорбенты, применяемые для очистки газов

Перед тем, как начать обработку органическим абсорбентом из отбросных газов очень важно извлечь дисперсные примеси. в ином случае абсорбент быстро становится загрязненным, в результате чего превращается в отход, который почти не поддается очистке. Очень важно, чтобы органические абсорбенты имели достаточно низкое давление насыщенных паров при температуре процесса. Если упругость паров будет не достаточно низкой у растворителя, то они начнут активно испаряться и загрязнять обрабатываемые газы. На интенсивности перехода загрязнителя из газа в жидкость сказывается огромное влияние температуры и давления. При повышении давления и соответственном уменьшении температуры скорость абсорбции увеличивается. Абсорбенты, которые работают при отрицательных по Цельсию температурах, обычно называют хладоносителями, а сам процесс

абсорбции, который протекает при таких условиях называется контактной конденсацией. Считается, что верным решением является применение абсорбции в тот момент, когда концентрация данного компонента в газовом потоке составляет свыше 1 %. [5]

Метод адсорбции

Термин «адсорбция» образован от латинского предлога «ad» (на, при, в) и глагола «sorbeo» (поглощаю). В отличие от абсорбции, в результате которой образуется раствор, при адсорбции происходит повышение концентрации компонента только в поверхностном слое вещества (на границе раздела фаз). Адсорбироваться могут газы, жидкости и растворённые вещества на поверхностях жидкостей и твёрдых тел. Вещество, на поверхности которого происходит адсорбция, называется адсорбентом, а поглощаемое — адсорбатом. Хорошим примером адсорбента является активированный уголь. Адсорбция — всеобщее и повсеместное явление, имеющее место всегда и везде, где есть поверхность раздела между фазами. Она играет огромную роль в природе (например, поглощение ряда веществ тканями организмов) и в технике (например, на этом методе основан принцип работы противогазов).

В зависимости от типа взаимодействия между молекулами адсорбата и адсорбента принято выделять физическую и химическую адсорбцию (хемосорбцию). Если между молекулами адсорбированного вещества и адсорбента не происходит химических реакций и не образуется химических связей, то такой процесс называют физической адсорбцией. Физическая адсорбция протекает очень быстро, не несет существенного изменения молекул и является менее прочной. Адсорбированные молекулы относительно свободно перемещаются по поверхности и рано или поздно покидают

поверхность (десорбируются). Время, в течение которого молекула находится на поверхности, называется временем адсорбции.

От физической адсорбции химическая отличается природой сил, удерживающих молекулу на поверхности адсорбента. Она возникает в результате химической связи, возникающей между адсорбатом и адсорбентом. Особенности химической адсорбции: являются её необратимость, высокая теплота (может достигать 800-1000 кДж/моль), а также увеличение адсорбции с повышением температуры (это связано с увеличением скорости химического взаимодействия).

Метод адсорбции применяется для очистки выбросов в атмосферу, а также для очистки сточных вод посредством пропускания очищаемого газа или жидкости через слой адсорбента. Процессы адсорбционной очистки дают возможность достигать высокой степени очистки больших объемов газов с малой концентрацией вредных веществ относительно небольшим количеством адсорбента. Это очень важно, например, для очистки выбросов, содержащих пары ртути, предельно допустимая концентрация которых в атмосферном воздухе очень мала. [6-8]

Фотокаталитический метод

Используемое в современном мире понятие "фотокатализ" можно представить как "изменение скорости или возбуждение химических реакций из-за воздействия на них света при наличии веществ - фотокатализаторов, которые, поглощая кванты света, могут производить химические обращения участников реакции, имея с последними промежуточные химические взаимодействия и заново образуя свой химический состав после любого цикла подобных связей".

Принципиальность метода заключается в том, что вещества окисляются на поверхности катализатора под действием мягкого ультрафиолетового излучения диапазона А (с длиной волны более 300 нм). Протекание реакции происходит при комнатной температуре и важно отметить, что токсичные примеси не собираются на фильтре, а распадаются до ненаносящих вреда компонентов воздуха, двуокиси углерода, воды и азота. Любой воздушный очиститель, основанный на фотокатализе, имеет в своём составе пористый носитель с нанесенным TiO_2 - фотокатализатором, облучаемым светом и продуваемым воздухом.

Опасные органические и неорганические загрязнители склонны адсорбироваться на поверхности фотокатализатора TiO_2 , который нанесен на пористый носитель (фотокаталитический фильтр). Под действием света от УФ лампы, диапазона А, их компоненты становятся углекислым газом и водой вследствие окисления, по сути глубокое окисление компонентов в мягких условиях. А из-за простоты устройства имеется надежда на качественное использование такого метода в практике. [11]

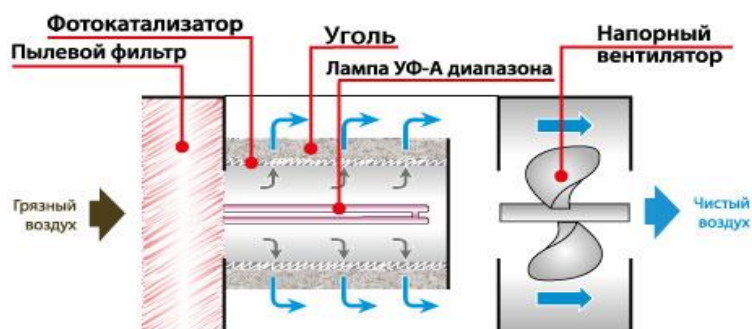


Рис. 5 Очистка по фотокаталитическому методу

ГЛАВА 3

УСТРОЙСТВО ОЧИСТКИ И РАСЧЕТЫ

Принцип работы устройства

Предлагаемым методом очистки атмосферного воздуха стала идея о том, чтобы продумать такое устройство, которое будет иметь образ трубы, внутри которой мы будем понижать температуру до определенной, чтобы получить достаточную влажность для захвата частиц аэрозолей капельками и скатывания их в резервуар.

Рис.6 отражает схему самого устройства, из каких элементов он состоит и каким образом должен работать.

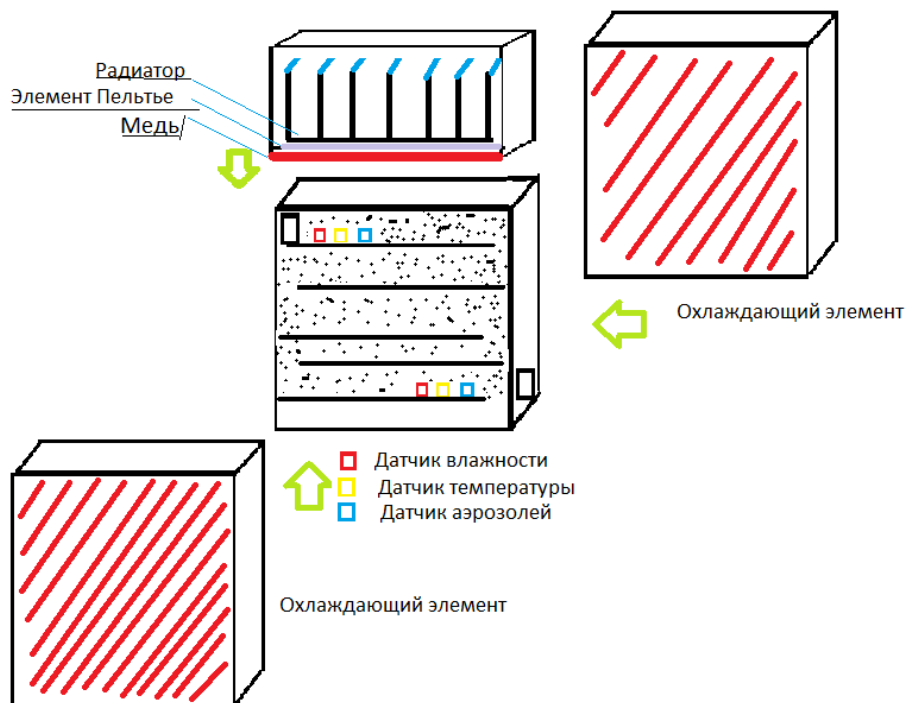


Рис. 6 Схема очистительного устройства

Устройство состоит из таких частей как:

1. Корпус (выполнен из пластмассы в виде прямоугольника)
2. Кулер (для забора и вывода воздуха. 2 штуки)
3. Блок питания (используется power bank на 8000 мАч)
4. Датчик влажности (HONEYWELL HCH-1000-002. Используется как наружный, так и находящийся внутри корпуса, для снятия параметров влажности.)
5. Датчик аэрозолей (DSM-501A. Используется для анализа аэрозолей в воздухе)
6. Датчик температуры (LM335AZ)
7. Термоэлектрический модуль Пельтье (SNOWBALL-71. Используется для охлаждения воздуха)
8. Микроконтроллер (MP3508 на базе WiFi модуля ESP8266-12E. Используется для сбора и подсчета информации с датчиков с последующей отправкой на сервер.)

Работа устройства заключается в том, что воздух, при захвате, проходит через входной кулер, попадая внутрь прибора на оптический датчик, который производит первичный анализ загрязнения.

Далее, воздух проходит систему стенок, выполненных по типу “лабиринт”. Температура внутри снижается под воздействием модуля Пельтье. По мере прохождения влажность воздуха увеличивается. В последствии, загрязняющие частицы вместе с конденсированными каплями остаются на стенках прибора, стекая в водосборник.

После этого очищенный воздух проходит через второй оптический датчик, регистрируя содержание и размеры частиц в воздухе. И с помощью

второго кулера воздух выходит наружу. Через определенное количество времени микроконтроллер собирает данные и строит два профиля. С последующей отправкой на сервер, находящийся в компьютере.

Расчетная часть задания

Первым делом, для того, чтобы приступить к работе, очень важно поставить определенные задачи для расчетов. Одной из таких задач стоит получение графика изменения температуры и влажности внутри трубы. Очень важно отметить, что теоретические расчеты основываются на представлении определенной модели поведения воздуха внутри трубы. Задача состоит в следующем:

Пусть есть две плоские параллельные пластины длиной H , с температурами T_1 и T_2 на расстоянии L друг от друга. Между пластинами прокачивается воздух сверху вниз со скоростью V . Температура T и относительная влажность S окружающего воздуха измеряются на входе. Пример модели задачи можно видеть на рисунке 7.

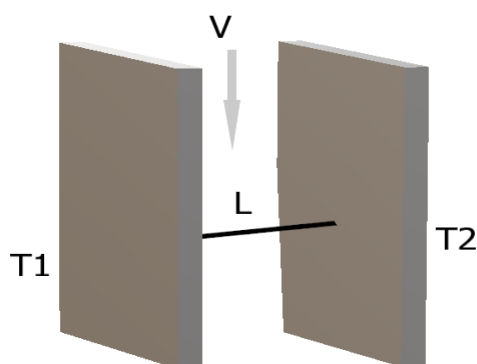


Рис.7 Визуальное представление первоначального условия задачи

Нужно: Построить профиль относительной влажности воздуха между пластинами при расстоянии между ними $L = 0,1$ м, параметрах окружающего воздуха $T = 293$ К, $S = 0,35$ и относительной влажности воздуха около пластин, равной 1.00.

Решение: Для начала определяем парциальное давление водяного пара (e) по данным о температуре окружающего воздуха и относительной влажности.

Расчеты проводились в программе NetBeans IDE 8.0.2 Для Java 7, построение графиков велось с помощью программы Gnuplot 4.4

Находим $E = 610,78 \cdot 10^{(8,61503 \cdot (T-273,15)/(T))}$;

Подставляя температуру окружающего воздуха, равную 293 К, в результате получаем, что $E = 2341,699$ гПа

$$e = E \cdot S,$$

Отсюда находим e , которое будет равно 819,59 гПа.

Для того, чтобы найти температуру у первой стенки нам нужно преобразовать формулу. Сначала находим $E1 = e/S1$, где $S1 = 1.00$,

$$E1 = 819.59 \text{ гПа}$$

Теперь находим $T1 = (-8,61503 \cdot 273,15) / (\text{LOG}10(E1/610,78) - 8,61503) = 277,26$ К

Для представления естественного изменения температуры в зависимости от парциального давления достаточно построить график на основе полученных данных. Для понимания как производились расчеты скрипт для расчетов указан в Приложении 1, а для построения графика в Приложении 3(а).

График получается следующим:

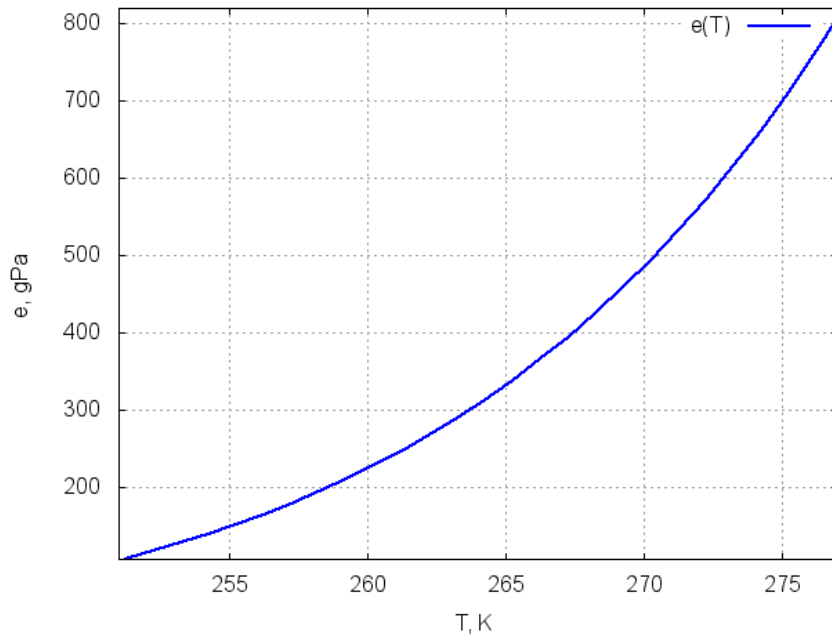


Рисунок 1 - Изменение температуры в зависимости от парциального давления

Значение 277.26 K (T) определяет температуру воздуха у первой стенки, при этом, значение относительной влажности остается равным 100%.

Для рассмотрения изменения влажности между стенками использовалось предположение, что будет исследоваться шесть случаев различных значений температур второй стенки, эти те температуры, которые отличаются от первой стенки (которая в свою очередь, имеет значение температуры точки росы) на 0, 5, 10, 15, 20, 25 градусов. Исходя из этого предположения, ориентируясь на уже известную формулу для нахождения температуры, рассчитываем изменение температуры между стенками с определенным шагом, опускаясь до каждой новой температуры.

В результате получается следующий график:

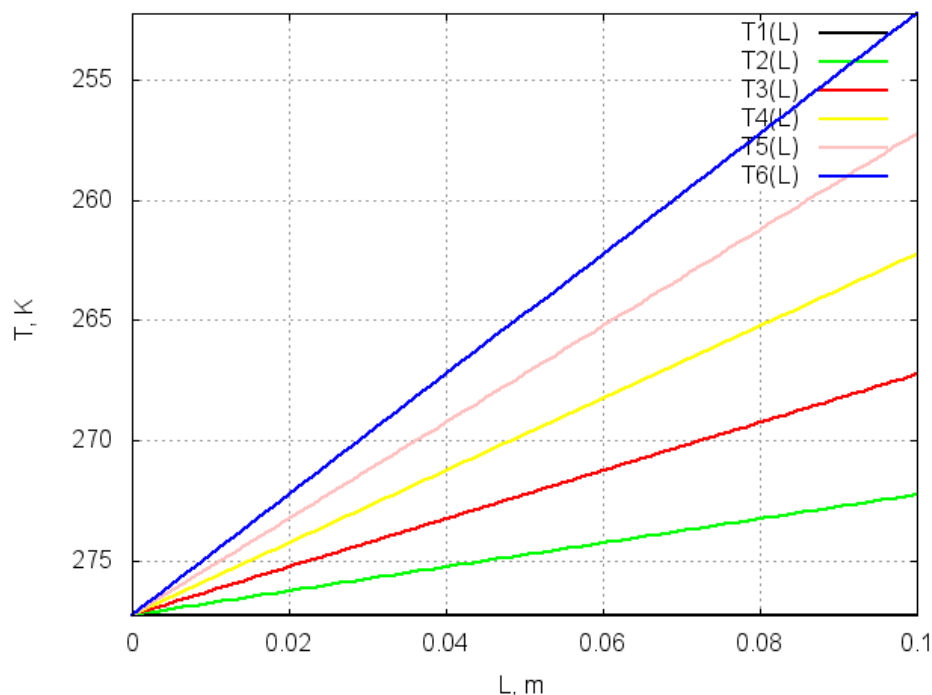


Рисунок 2 - Профиль изменения температуры между стенками до определенных температур, где $T_1 = T-0$; $T_2 = T-5$; $T_3 = T-10$; $T_4 = T-15$; $T_5 = T-20$; $T_6 = T-25$;

Из графика видно, что изменение температуры происходит постепенное. Далее нам надо рассчитать изменение влажности между стенок. Первым делом строим профиль изменения парциального давления между стенками, учитывая ситуацию, что значение парциального давления на самих стенках будет равно давлению насыщения, так как значения влажности остаются равными 100%.

Расчет производится отталкиваясь от следующей формулы:

$$e = e_1 + (e_2 - e_1) / L * l$$

L -расстояние между стенками, l -расстояние от стенки

Для каждой ситуации, когда разница температур между стенками была не равна нулю были получены следующие графики:

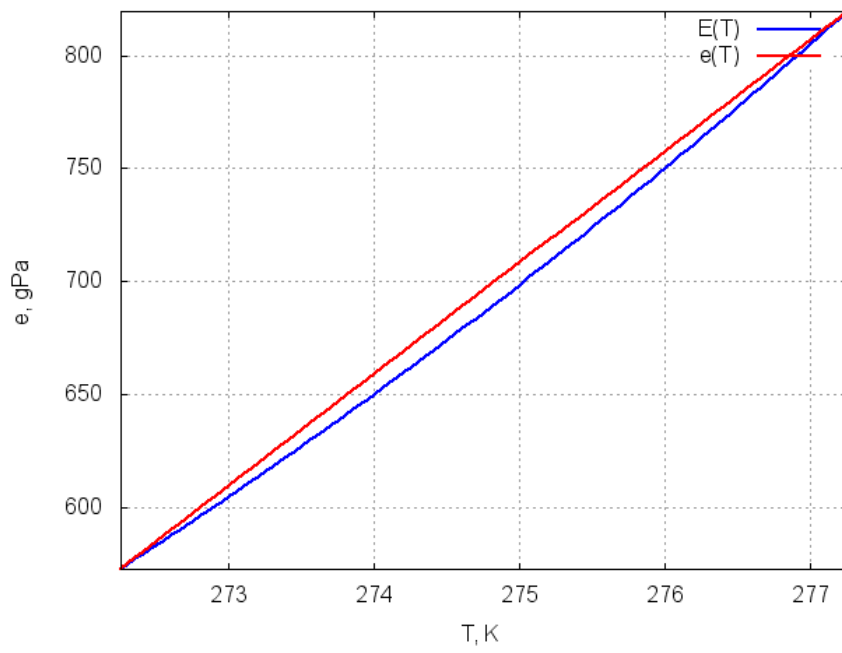


Рисунок 3.1 - Профиль парциального давления и давления насыщения при $dT=5$

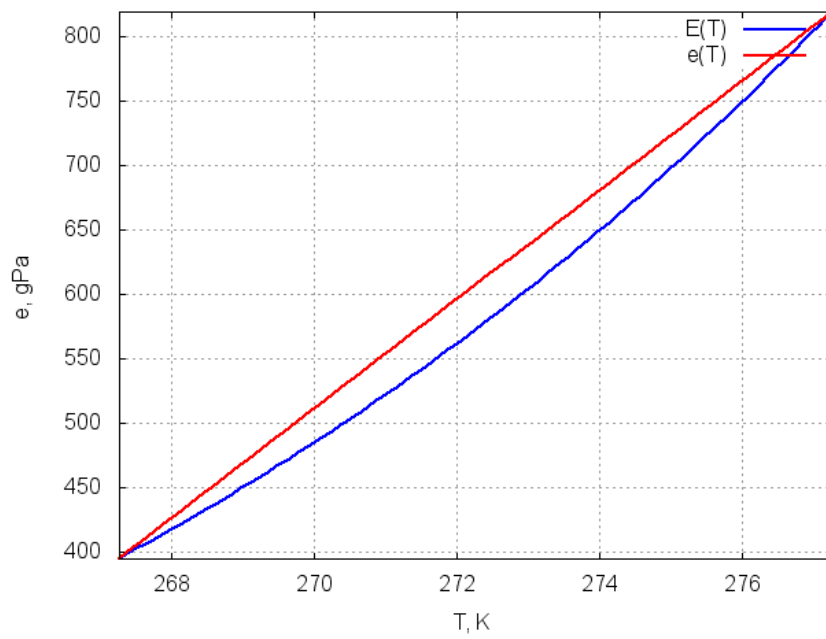


Рисунок 3.2 - Профиль парциального давления и давления насыщения при $dT=10$

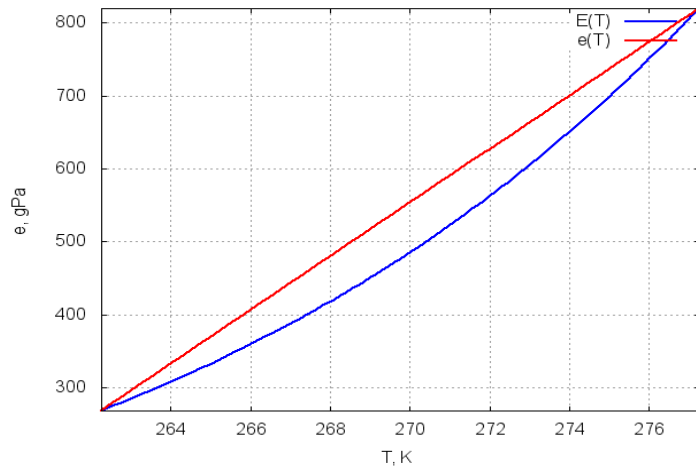


Рисунок 3.3 - Профиль парциального давления и давления насыщения при $dT=15$

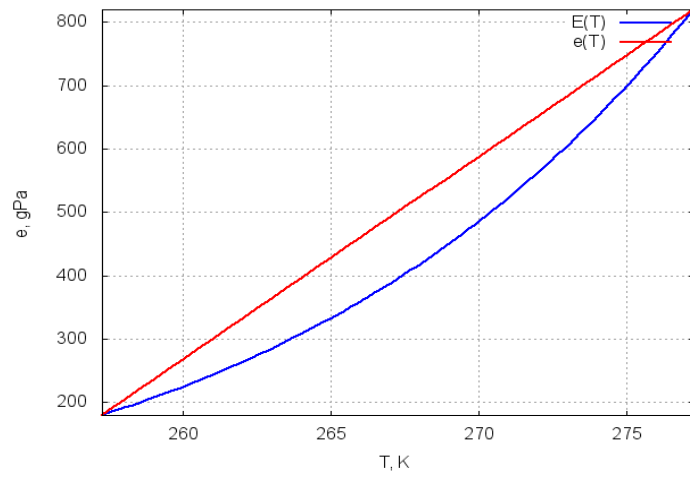


Рисунок 3.4 - Профиль парциального давления и давления насыщения при $dT=20$

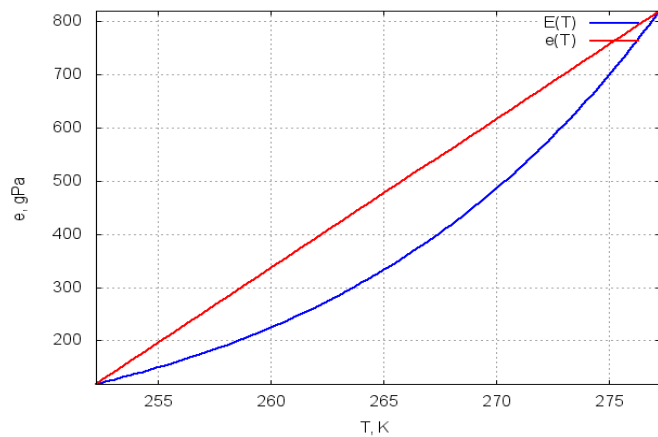


Рисунок 3.5 - Профиль парциального давления и давления насыщения при $dT=25$

Расчет относительной влажности между стенками рассчитывается по простой известной формуле, отталкивающейся от деления парциального давления на давления насыщения при определенной температуре:

$$S = e/E * 100$$

В данном случае на рисунке 4 влажность представлена не в процентах, а в делениях на 100 (по-другому это еще называют активностью воды).

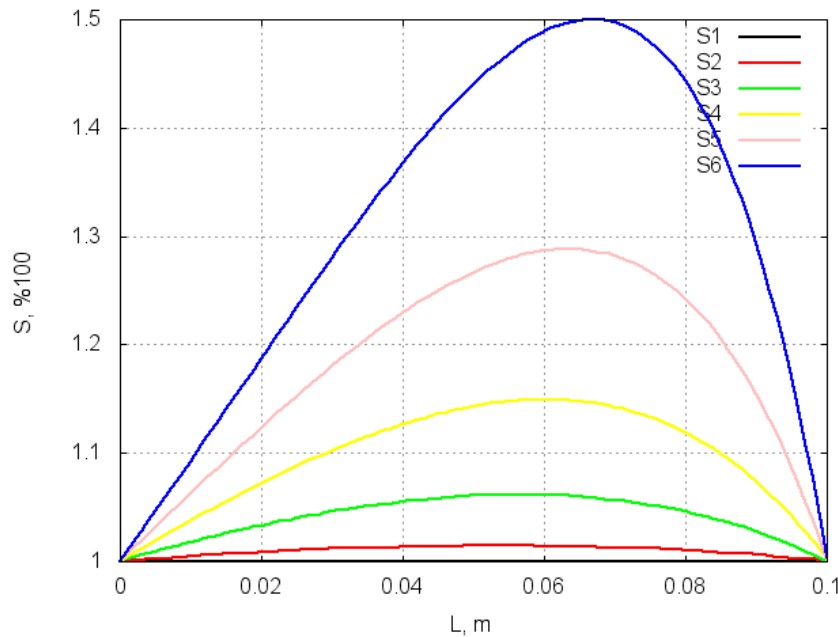


Рисунок 4 - Профиль изменения относительной влажности между стенками, где S1(dT=0); S2(dT=5); S3(dT=10); S4(dt=15); S5(dT=20); S6(dT=25);

После чего, нам очень важно определить процент аэрозолей, которые будут захвачены при проходе через трубу при различных влажностях. Первым делом для этого мы находим максимальное значение влажности в каждом отдельном случае из полученных профилей, после чего определяем критический радиус аэрозолей для каждого отдельного случая:

$$r_{cw} = \frac{2 \cdot \sigma_{vw} \cdot m_w}{\rho_w \cdot k \cdot T \cdot \ln S}$$

Где

- ρ_w – плотность воды, равная 1000 кг/м³;
- k – постоянная Больцмана, равная $1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;
- m_w – масса молекулы воды, равная $2.99 \cdot 10^{-26}$ кг;
- T – температура воздуха, К;
- S – относительная влажность воздуха в долях единицы;
- r – радиус образующейся частицы, м;
- σ_{vw} – поверхностная энергия натяжения на границе между водой и паром, зависящая от температуры воздуха по формуле:
 $0.111109 - 1.3 \cdot 10^{-4} \cdot T$ Дж/м²;

После чего следует рассчитать процент захваченных аэрозольных частиц, то есть $r > r_{кр}$, начиная со следующей формулы:

$$N_{\Gamma}(r) = C_n r^{\alpha} \cdot \exp(-\beta r),$$

Где

$$C_n = \frac{N_0 \beta^{\alpha+1}}{\Gamma(\alpha + 1)}.$$

Чтобы считались значения в процентах, $N_0 = 1$, предположительно берем значения $a = 2$, $b = (a+1)/r_{mean}$, где в нашем случае будем считать среднее значение $= 3,5e-08$.

Теперь, чтобы найти те аэрозоли, которые были активизированы, то есть, на сколько хорошо очистился воздух, который прошел через трубу при радиусе аэрозолей больше или равном критическому, мы рассчитываем по несложной формуле:

$$n[i] * (r[i+1] - r[i-1]) / 2.0$$

В конечном итоге мы получили значения в процентах, отражающих количество активизировавшихся аэрозолей.

Теперь строим график того, какой процент активизировавшихся аэрозолей пришелся на каждый из случаев.

Результат можно видеть на представленном ниже графике:

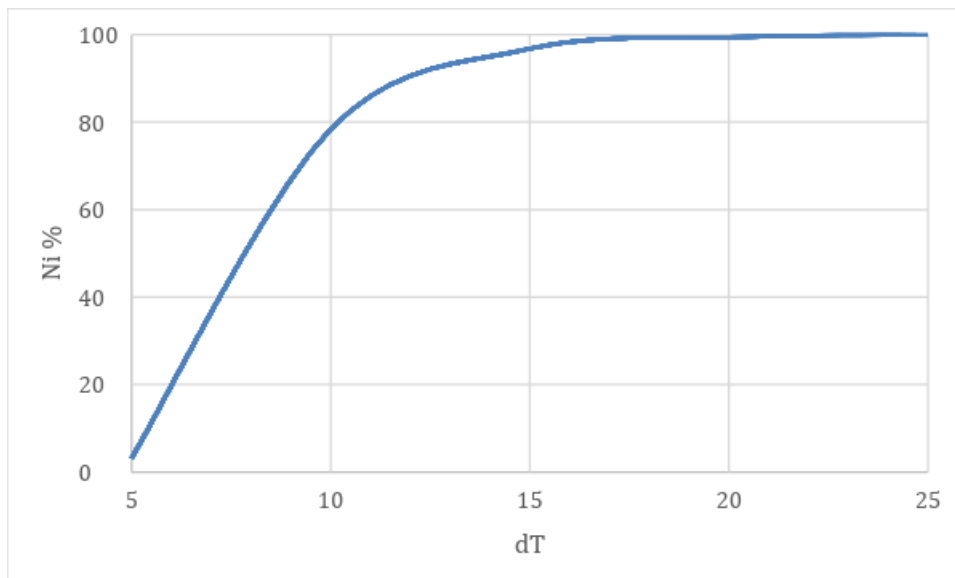


Рис. 5 Отражение влияния на активацию аэрозолей разницы температур стенок

Выводом этой работы является то, что чем больше разница температур стенок, между которыми мы планируем пропускать воздух на очистку, тем больше аэрозолей будет захвачено по итогу. Достаточным для полной очистки проходящего воздуха от аэрозолей следует считать разницу температур стенок между 20-25 градусами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей выпускной квалификационной работе были рассмотрены физические свойства аэрозолей, процессы их формирования и влияния как на здоровье человека, так и на окружающую среду в целом. Также, одна из основных ролей была отведена методам удаления аэрозолей из воздуха, так как это один из важнейших процессов в современном мире, и в итоге проведены расчеты для новой идеи удаления аэрозолей из воздуха, с целью получить теоретические представления изменения основной метеорологической величины внутри устройства.

Сравнивая наиболее известные методы удаления аэрозолей из атмосферного воздуха, а также промышленных аэрозолей, выяснилось, что все известные на сегодняшний день методы являются приемлемыми для эксплуатации.

Метод очистки загрязненного воздуха прогоном его через трубу, повышая влажность внутри трубы с помощью охладительных элементов является таким же доступным методом, как и многие способы, которые известны и используются на данный момент. Он прост в эксплуатации, а очистка воздуха проходит качественная, за счет захвата проходящих аэрозолей каплями воды.

При теоретических расчетах были выявлены такие ключевые моменты, как изменение влажности между стенками, уровень пересыщения в центральной области в том случае, когда мы имеем шесть различных температур у второй стенки, когда температура первой стенки остается неизменной. Важно достичь пересыщения воздуха внутри таким образом, чтобы капли наполнили большее количество свободного пространства, после чего, осели в резервуар для воды. После чего, мы смогли теоретически определить наиболее подходящие различия между температурами стенок, чтобы максимально качественно очистить воздух от проходящих аэрозолей.

Теоретически, мы смогли добиться представления, каким образом изменяется относительная влажность внутри трубы, между стенками, а также, наглядно можно видеть, что очистка таким методом является достаточно простой и доступной, тем более в современном мире, учитывая высокое развитие технологий.

Перспектива этой темы заключается в том, что подобное устройство способно очищать не только небольшие участки в зданиях. Цель разработки такого устройства должна быть направлена на крупные промышленные цехи и даже очистку воздуха городов. Это одно из главных преимуществ устройства, которое с трудом могут дать многие другие методы. Поэтому, важно развивать метод очистки с помощью осаждения капель воды. Следующий вопрос, который стоит перед нами, это то, каким образом стоит потом очищать воду, которая захватывает аэрозоли и насколько такой процесс будет являться трудоемким и доступным.

ГЛОССАРИЙ

1. Агломерат - концентрат руды, представленный в виде окучкованного предмета, который был получен в результате агломерации. Мелкие кусочки спекшейся руды размерами 5—100 мм с незначительным вставками других веществ. Агломерат является результатом обжига железных и свинцовых руд, цинковых концентратов и других. В чёрной металлургии считается основой железорудного сырья в получении чугуна.
2. Венец (как атмосферное явление) - окружающие солнечный диск светлые туманные кольца на небе. Это результат прохождения облаков или тумана перед солнечным диском и в отличие от гало имеют меньший радиус колец.
3. Глория (как атмосферное явление) - тень наблюдателя окружается цветными световыми кольцами на облаке. Внутреннее кольцо голубоватого цвета, наружное является красноватым, далее кольца способны повторяться, но с меньшей интенсивностью.
4. Диспергирование - тонкое измельчение твёрдых тел или жидкостей, результатом которых являются порошки, суспензии, эмульсии.
5. Дисперсность - физическая величина, которой характеризуется размер взвешенных частиц внутри дисперсной системы. Такая величина отражает какое число частиц способно уложиться вплотную в одном кубическом метре.
6. Импактор – устройство для принудительного фракционного осаждения
7. Коагуляция - процесс физико-химического соединения мелких частиц в дисперсной системе до более крупных из-за воздействия сил сцепления, образуя коагуляционные структуры.
8. Коаксиальность - расположение осей на одной линии
9. Конденсация - процесс перехода из газообразного состояния в жидкость или твердое агрегатное состояние. Верхняя (максимальная) температура, до которой идет процесс конденсации, носит название

критической. Для процесса конденсации пар может быть как насыщенный, так и ненасыщенный.

10. Коррозия - это естественный процесс разрушения металлов в результате химического, электрохимического или физико-химического связи металла и окружающей среды.
11. Респираторные фракции - Массовая доля частиц, которые при вдыхании попадают в нижние дыхательные пути.
12. Футеровка — вид специальной отделочной защиты, обеспечивающей сохранность поверхностей от различных механических или физических повреждений.
13. Элемент Пельтье - это термоэлектрический преобразователь, работа которого заключается в эффекте Пельтье, то есть образовании температурной разности во время протекания электрического тока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивлев Л.С., Довгалаук Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем- СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. - 194с
2. Калечиц, В.И. Контроль аэрозольных микрозагрязнений [Текст]: лабораторная работа / В.И. Калечиц, О.Ю. Маслаков; Лаборатория оптических аэрозольных приборов, Институт информационных технологий РНЦ «Курчатовский институт». – Москва, 2009. – 15 с.
3. Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Поздняков Д.В. Атмосферный аэрозоль; Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 225 с.
4. Сечин А.И., Улавливание аэрозолей и пыли фильтрами [Текст] / А.И. Сечин. – Томск. – 12 с.
5. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. - с.: ил., библиогр.
6. Ансеров Ю.М., Дурнев В.Л. Машиностроение и охрана окружающей среды. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1979. – 224 с., ил.
7. Амиров Я.С., Гимаев Р.Н., Исмагилов Ф.Р. Техничко-экономические аспекты промышленной экологии; Ч. V. Обезвреживание отходящих газов / Я.С. Амиров, Р.Н. Гимаев, Ф.Р. Исмагилов. – Уфа: Гилем, 1999. – 440 с.
8. Кушелев В.П. Охрана природы от загрязнений промышленными выбросами. – М.: Химия, 1979. 240 с., ил.
9. Абдимуратов Ж.С., Дюсебаев М.К. Экология и устойчивое развитие. Конспект лекций для студентов всех специальностей и всех форм обучения [Текст] / Ж.С. Абдимуратов, М.К. Дюсебаев. – Алматы: АУЭС, 2011. – 44 с.
10. Горбатенко Ю.А. Аэрозоли и их основные физико-химические свойства [Текст] / Ю.А. Горбатенко. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. – 35 с.
11. Федорова А. Курсовая по экологии [Текст] / А. Федорова. – Москва: РХТУ, 2012. – 34 с.
12. Чекман И.С., Сыровая А.О., Андреева С.В., Макаров В.А. Аэрозоли – дисперсные системы: Монография / И.С. Чекман, А.О. Сыровая, С.В. Андреева, В.А. Макаров. - Х: «Цифрова друкарня №1», – 2013. – 100 с.

13. Райст П. Аэрозоли [Текст] / П. Райст. - М.: Мир, 1997. – 397 с.
14. Архипова В.А., Шереметьева И.М. Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность: Уч. Пособие [Текст] / В.А. Архипова, И.М. Шереметьева. – Томск: Изд-во Томского госуд. Педагогического ун-та. – 2007. – 136 с.
15. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнений атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 272 с.
16. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. – Л.: Химия, 1969. – 428 с.
17. Рошин А.В., Гапочко К.Г., Кремлев Г.И., Иванова Л.А., Парфенов Ю.Д. Аэрозоли [Текст] / А. В. Рошин, К. Г. Гапочко, Г. И. Кремлев, Л. А. Иванова, Ю. Д. Парфенов // Большая медицинская энциклопедия. – 1974-1989. – 2 т.
18. Чукин В.В. Механизмы удаления аэрозолей из атмосферы. Лекция [Текст] / В.В. Чукин. – Спб. – 7 с.
19. Шталь В.А. Справочник метеоролога ВВС РККА [Текст] / В.А. Шталь. - М.: Государственное военное издательство наркомата обороны союза ССР, 1939. - 150 с.
20. Козлов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст] / П.А. Козлов. – Л.: Химия, 1971. – 280 с.
21. Алешина В.М., Вальдберг Ф.Ю., Гордон Г.М. Пылеулавливание в металлургии: справ узд.[Текст] / В.М. Алешина, Ф.Ю. Вальдберг, Г.М. Гордон. – М.: Металлургия, 1984. – 336 с.
22. Медников Е.А. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей [Текст] / Е.А. Медников. - М.: Медицина, 1992. – 422 с.
23. Ветошкин А.Г. Инженерная защита окружающей среды от вредных выбросов. Учебное пособие [Текст] / 2-е изд. испр. и доп., в 2-х частях, А.Г. Ветошкин. - М.: Инфра-Инженерия, 2016 - 416 с.
24. Атмосферные аэрозоли [Текст] : [Сборник статей] / Под ред. к. ф.-м. н. С.Г. Малахова и Л.В. Кириченко. - Москва : Гидрометеиздат. Моск. отд-ние, 1976. - 208 с.

25. Аэрозоли [Текст] : наука, приборы, вычислительные программы и технологии в России и странах СНГ : [журнал] / Аэрозольное о-во ; гл. ред.: Н. Н. Белов. - Москва : Аэрозоль технология, 1995-1998. - 21 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

```
package diplom;
import java.io.*;
import java.util.*;
import static java.lang.Math.*;
public class Diplom {
public static void main(String[] args) throws FileNotFoundException {
    int i;          // номер шага
    int N = 27;
    double Tenv = 293;
    double T1, T2;
    double Eenv, E1, Enew;
    double Senv = 0.35;
    double S1 = 1.00;
    double eenv, e1, enew;
    double dT;
    double Td = 1;
    double Tnew;
    double dS;
    double E0 = 610.78;
    PrintStream out = new PrintStream(new FileOutputStream("diplom.txt"));
    for(i=0;i<N;i++){
        Eenv = E0*pow(10, (8.61503*(Tenv-273.15)/Tenv));
        eenv = Senv*Eenv;
        E1 = eenv/S1;
        T1 = (-8.61503*273.15)/(log10(E1/610.78)-8.61503);
        Tnew = T1-Td*i;
        Enew = E0*pow(10, (8.61503*(Tnew-273.15)/Tnew));
        enew = S1*Enew;

        System.out.printf(Locale.US, "%.2e\t%.2e\t%.2e\t%.2e\t%.2e\t%.2e\t%.2e\r\n", Eenv, eenv, E1, T1,
Tnew, Enew, enew);

        // Выводим значения температуры и давления в файл
        out.printf(Locale.US, "%.2e\t%.2e\t%.2e\t%.2e\t%.2e\t%.2e\t%.2e\r\n", Eenv, eenv, E1, T1, Tnew, Enew,
enew);

    }}
}
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

```
package diplom;

import java.io.*;

import java.util.*;

import static java.lang.Math.*;

public class Diplom {

    public static void main(String[] args) throws FileNotFoundException {

        int i;          // номер шага

        int N = 101;

        double L = 0.1;

        double L0 = 0;

        double Lnew;

        double dL = 0.001;

        double Tl1, Tl2, Tl3, Tl4, Tl5, Tl6, Tr1, Tr2, Tr3, Tr4, Tr5, Tr6;

        double Sl, Sr;

        double dT1 = 0;

        double dT2 = 5;

        double dT3 = 10;

        double dT4 = 15;

        double dT5 = 20;

        double dT6 = 25;

        double Td;

        double Eenv, eenv, Ed;

        double Tenv = 293;

        double Senv = 0.35;

        double Tnew1, enew1, Tnew2, enew2, Tnew3, Tnew4, Tnew5, Tnew6, enew3, enew4, enew5, enew6;

        double er1, el1, er2, el2, er3, er4, er5, er6, el3, el4, el5, el6;

        double Enew1, Enew2, Enew3, Enew4, Enew5, Enew6;

        double S1, S2, S3, S4, S5, S6;

        double rkr1, rkr2, rkr3, rkr4, rkr5, rkr6;

        double sig1, sig2, sig3, sig4, sig5, sig6;
```

```

double m = 2.99*pow(10, -26);

double p = 1000;

double k = 1.38*pow(10, -23);

double Smax1, Smax2, Smax3, Smax4, Smax5, Smax6;

    PrintStream out = new PrintStream(new FileOutputStream("diplom.txt"))

    for(i=0;i<N;i++){

        Eenv = 610.78*pow(10, (8.61503*(Tenv-273.15)/Tenv));

        eenv = Senv*Eenv;

        Ed = eenv;

        Td = (-8.61503*273.15)/(log10(Ed/610.78)-8.61503);

        Lnew = L0+dL*i;

        //1

        Tr1 = Td;

        Tl1 = Td-dT1;

        Tnew1 = Tr1-0*i;

        er1 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tr1-273.15)/(Tr1));

        el1 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tl1-273.15)/(Tl1));

        Enew1 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tnew1-273.15)/(Tnew1));

        enew1 = er1;

        S1 = enew1/Enew1;

        sig1 = 0.111109-1.3*pow(10, -4)*277.26;

        rkr1 = (2*sig1*m)/(p*k*277.26*log(1.000));

        //2

        Tr2 = Td;

        Tl2 = Td-dT2;

        Tnew2 = Tr2-0.05*i;

        er2 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tr2-273.15)/(Tr2));

        el2 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tl2-273.15)/(Tl2));

        Enew2 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tnew2-273.15)/(Tnew2));

        enew2 = er2-2.47*i;

        S2 = enew2/Enew2;

```

```

sig2 = 0.111109-1.3*pow(10, -4)*274.56;

rkr2 = (2*sig2*m)/(p*k*274.56*log(1.015));

//3

Tr3 = Td;

Tl3 = Td-dT3;

Tnew3 = Tr3-0.1*i;

er3 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tr3-273.15)/(Tr3));

el3 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tl3-273.15)/(Tl3));

Enew3 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tnew3-273.15)/(Tnew3));

enew3 = er3-4.25*i;

S3 = enew3/Enew3;

sig3 = 0.111109-1.3*pow(10, -4)*271.56;

rkr3 = (2*sig3*m)/(p*k*271.56*log(1.062));

//4

Tr4 = Td;

Tl4 = Td-dT4;

Tnew4 = Tr4-0.15*i;

er4 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tr4-273.15)/(Tr4));

el4 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tl4-273.15)/(Tl4));

Enew4 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tnew4-273.15)/(Tnew4));

enew4 = er4-5.51*i;

S4 = enew4/Enew4;

sig4 = 0.111109-1.3*pow(10, -4)*268.26;

rkr4 = (2*sig4*m)/(p*k*268.26*log(1.149));

//5

Tr5 = Td;

Tl5 = Td-dT5;

Tnew5 = Tr5-0.2*i;

er5 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tr5-273.15)/(Tr5));

el5 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tl5-273.15)/(Tl5));

Enew5 = 610.78*pow(10, 8.61503*(Tnew5-273.15)/(Tnew5));

```


ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Коды для gnuplot

3(a). Для графика изменения парциального давления от температуры

```
set terminal png
```

```
set output "figure.png"
```

```
set xlabel "T, K"
```

```
set ylabel "e, gPa"
```

```
set grid
```

```
set xrange [254.6:277.4]
```

```
set yrange [1.00e+02:8.20e+02]
```

```
plot "diplom.txt" using 5:7 with lines lt rgb "blue" lw 2 title "e(T)"
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

```
package javaapplication19;

import java.io.*;

import java.util.*;

import static java.lang.Math.*;

public class JavaApplication19 {

    public static void main(String[] args) throws FileNotFoundException {

        int i;           // номер шага

        int N = 101;

        double Ns = 1;

        double rmean = 3.5*pow(10, -8);

        double reff = 2.86e-7;

        double c, b, a;

        double p, r, nti, dr;

        double summa, Ni2, Ni3, Ni4, Ni5, Ni6;

        double rkr2 = 7.99e-08;

        double rkr3 = 2.01e-08;

        double rkr4 = 8.87e-09;

        double rkr5 = 4.968e-09;

        double rkr6 = 3.17e-09;

        double nn, nb, summa2, summa3, summa4, summa5, summa6;

        PrintStream out = new PrintStream(new FileOutputStream("L11.txt"));

        summa6 = 0; summa2 = 0; summa3 = 0; summa4 = 0; summa5 = 0;

        for(i=0;i<N;i++){

            c = 2;

            b = (c+1)/rmean;

            a = (Ns*pow(b, (c+1)))/2;

            p = -10+0.07*i;
```

```

r = pow(10, p);

nn = pow(10, (-10+0.07*(i+1)));

nb = pow(10, (-10+0.07*(i-1)));

nti = a*pow(r, c)*exp(-b*r);

dr = 0.5*(nn-nb);

//2

if(r>=rkr2) summa2 = summa2+dr*nti;

Ni2 = summa2;

//3

if(r>=rkr3) summa3 = summa3+dr*nti;

Ni3 = summa3;

//4

if(r>=rkr4) summa4 = summa4+dr*nti;

Ni4 = summa4;

//5

if(r>=rkr5) summa5 = summa5+dr*nti;

Ni5 = summa5;

//6

if(r>=rkr6) summa6 = summa6+dr*nti;

Ni6 = summa6;

System.out.printf(Locale.US, "%.3f\t%.3f\t%.3f\t%.3f\t%.3f\t%.3e\t%.3f\t%.3f\r\n", Ni2, Ni3, Ni4, Ni5, Ni6, r,
b, c);

// Выводим значения температуры и давления в файл

out.printf(Locale.US, "%.3f\t%.3f\t%.3f\t%.3f\t%.3f\t%.3e\t%.3f\t%.3f\r\n", Ni2, Ni3, Ni4, Ni5, Ni6, r, b,
c);

}

}

}

```