

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ОСАЖДЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ

М. В. Кустов

Национальный университет гражданской защиты Украины

ул. Чернышевская, 94, Харьков, 61023, Украина. E-mail: maksim_kustov@mail.ru

Разработана экспериментальная установка для исследования интенсивности очистки атмосферы от аэрозольных и газообразных загрязняющих веществ. Экспериментальная установка позволяет исследовать интенсивность осаждения дымов, как многокомпонентных составов, которые плохо моделируются численно. Проведены экспериментальные исследования скорости осаждения аэрозольных продуктов горения растительных материалов и нефтепродуктов от интенсивности и дисперсности водного потока. С использованием теории планирования эксперимента построены эмпирические модели влияния дисперсности и интенсивности потока на интенсивность осаждения дымов. Экспериментально показана более высокая интенсивность осаждения продуктов горения сырой нефти и торфа относительно других исследуемых горючих материалов. Подтверждена ключевая роль дисперсности аэрозольных продуктов горения и степени их гидрофобности на процесс сорбции атмосферными осадками. Показана высокая эффективность мелкодисперсного потока относительно крупнодисперсного при одинаковой интенсивности потока. Полученные результаты позволяют прогнозировать скорость очистки атмосферы от последствий крупных пожаров в зависимости от метеорологических условий.

Ключевые слова: продукты горения, горючие материалы, интенсивность осадков, осаждение аэрозолей, дисперсность потока.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ОСАДЖЕННЯ АЭРОЗОЛЬНИХ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ АТМОСФЕРНИМИ ОПАДАМИ

М. В. Кустов

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевського, 94, Харків, 61023, Україна. E-mail: maksim_kustov@mail.ru

Розроблена експериментальна установка для дослідження інтенсивності очищення атмосфери від аерозольних і газоподібних забруднюючих речовин. Експериментальна установка дозволяє досліджувати інтенсивність осадження димів, як багатоконпонентних складів, які погано моделюються чисельно. Проведені експериментальні дослідження швидкості осадження аерозольних продуктів горіння рослинних матеріалів і нафтопродуктів від інтенсивності і дисперсності водного потоку. З використанням теорії планування експерименту побудовано емпіричні моделі впливу дисперсності і інтенсивності потоку на інтенсивність осадження димів. Експериментально показана більш висока інтенсивність осадження продуктів горіння сирої нафти та торфу щодо інших досліджуваних горючих матеріалів. Підтверджена основна роль дисперсності аерозольних продуктів горіння і ступеня їх гідрофобності на процес сорбції атмосферними опадами. Показана висока ефективність дрібнодисперсного потоку щодо крупнодисперсного при однаковій інтенсивності потоку. Отримані результати дозволяють прогнозувати швидкість очищення атмосфери від наслідків великих пожеж в залежності від метеорологічних умов.

Ключові слова: продукти горіння, горючі матеріали, інтенсивність опадів, осадження аерозолів, дисперсність потоку.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ Крупные природные и техногенные пожары характеризуются значительными материальными убытками. Однако кроме прямых убытков, причиняемых пожарами, существенное негативное влияние оказывается на экосистему региона и планеты в целом. Одним из источников загрязнений являются твердые аэрозольные продукты горения, которые, поступая в атмосферу, загрязняют воздушный бассейн. За счёт соей низкой плотности и малым размерам продукты горения распространяются на большие расстояния под действием конвективных воздушных потоков. При этом скорость гравитационного осаждения крайне мала. Интенсивность очистки атмосферы от аэрозольных продуктов горения существенно возрастает при протекании осадков, которые

вымывают микрочастицы аэрозоля за счет их сорбции каплями дождя. Однако за счет сложного состава продуктов горения численная оценка интенсивности такого процесса является сложной задачей.

В работах [1-3] установлено, что мощными конвективными потоками, возникающими над крупными пожарами, продукты горения могут подниматься на высоты до 10 км. В дальнейшем, при остывании воздушных потоков, они оседают на расстоянии ~ 1 км от очага горения и в зависимости от метеорологических условий витают на высотах до 3 км. В работах [4, 5] отмечается, что за счёт низкой плотности и малых размеров аэрозольные продукты горения могут находиться в атмосфере до нескольких месяцев и распространяться на значительные расстояния.

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

Обобщенный анализ качественного и количественного состава атмосферных и техногенных аэрозолей проведен в работах [6, 7]. В работах [8 – 12] рассмотрены составы продуктов горения основных классов горючих веществ, где показано, что основными составляющими являются CO₂, сажа и зола. Химический состав сажи существенно зависит от состава топлива и от условий горения, поэтому данные различных исследователей несколько разнятся [13 – 15]. Обобщая эти данные можно сделать вывод, что основными компонентами является углерод (60 – 85 % масс.) и кислород (10 – 25 % масс.), кроме этого в незначительных количествах содержатся азот, водород, сера (до 5 % масс.). Также в структуру сажи могут быть включены остатки углеводородов и оксиды металлов (золы). Частицы золы имеют совершенно отличную от сажи химическую природу и представляют собой комплексы из оксидов металлов со сферической пористой структурой [16]. Поверхностные свойства сажи рассматриваются в работе [17], однако динамика процесса вымывания аэрозольных продуктов горения из атмосферы остается не рассмотренной.

Целью работы является установление экспериментальным путём зависимости скорости очистки атмосфера от аэрозольных продуктов горения различных горючих материалов от интенсивности осадков.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Как отмечалось выше, качественный и количественный состав продуктов горения зависит от вида горючего вещества и от условий горения (концентрация окислителя). Крупные природные и техногенные пожары происходят на открытой местности при атмосферных условиях, соответственно при относительно одинаковых условиях. Исходя из этого, основным отличительным фактором является вид горючего материала. К природным пожарам относятся подземные (торфяные), надземные (лесные верховые) и наземные (степные, лесные низовые) [18]. Крупные техногенные пожары характеризуются горением нефтепродуктов. Поэтому в качестве горючего материала для экспериментальных исследований выбраны:

- ГМ1 – массив древесины сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*);
- ГМ2 – разнотравье степное;
- ГМ3 – торф с предприятия «Киевторф»;
- ГМ4 – нефть сырая из Азово-Березанской нефтегазоносной области;
- ГМ5 – бензин АИ-95;
- ГМ6 – дизельное топливо.

Скорость очистки атмосферы от продуктов горения естественно зависит от интенсивности осадков, однако одинаковая интенсивность может обеспечиваться осадками различной дисперсности. Поэтому целесообразно провести исследование зависимости скорости вымывания, как от интенсивности осадков, так и от их дисперсности.

Для проведения экспериментальных исследований разработана и создана экспериментальная установка, позволяющая решать рассматриваемые в работе задачи. Так как основной задачей экспериментальных исследований является рассмотрения процессов сорбции в атмосфере, то за основу экспериментальной установки выбран цилиндрический прямоточный абсорбер [19]. Для исследования процесса сорбции при различных физико-химических условиях корпус камеры выполнен в герметическом исполнении. Схема разработанной установки представлена на рис. 1.

Представленная установка позволяет исследовать процессы очистки атмосферного воздуха жидкостными аэрозолями от загрязняющих газов, паров, пыли и продуктов горения. Корректировка интенсивности дисперсности жидкого аэрозоля (сорбента) происходит за счёт изменения потока жидкости с помощью вентиля 3 и его контроля по расходомеру 4, а также за счет изменения геометрических характеристик и количества съёмных форсунок, расположенных в верхней части камеры. Форсунки размещены по всей верхней поверхности камеры и могут заменяться заглушками для снижения интенсивности потока. Полученный водный аэрозоль является полидисперсным, однако использование форсунок позволяет уменьшить среднеквадратичное отклонение распределения капель по размеру.

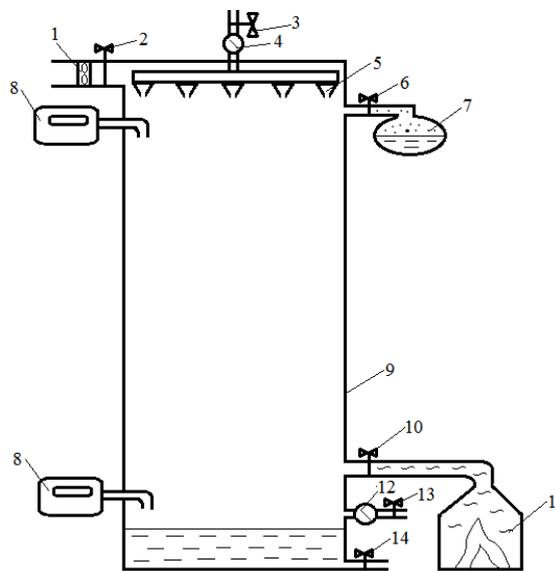


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для исследования процессов массообмена в атмосфере: 1 – вентилятор, 2, 6, 10, 13 – газопоршневые краны, 3, 14 – жидкостные краны, 4 – жидкостный расходомер, 5 – форсунки, 7 – ультразвуковой диспергатор, 8 – газоанализаторы, 9 – корпус; 11 – отсек для горения, 12 – газовый расходомер

Так как размер капель природных осадков и искусственного аэрозоля подчиняется нормальному распределению, при анализе

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

результатов экспериментов ориентировались на среднее значение дисперсности. С помощью форсунок различных геометрических параметров можно обеспечить дисперсность в диапазоне 0,1 – 5 мм.

Для исследования процессов абсорбции продуктов горения в установке предусмотрена дополнительная камера сгорания, в которой происходит сжигание необходимого горючего вещества, а продукты горения поступают через патрубок 10 в камеру.

Для идентификации содержания аэрозольных продуктов горения и непрерывного контроля изменения их концентрации в камере находятся оптические дымовые датчики 8 с насосом для забора пробы. Принцип работы такого датчика заключается в использовании оптического эффекта рассеяния инфракрасного излучения на частицах дыма. Измерительная камера этого устройства содержит ИК-светодиод и фотоприемник, ориентированные относительно друг друга так, чтобы излучение светодиода в нормальных условиях не попадало на фотоприемник (рис. 2).

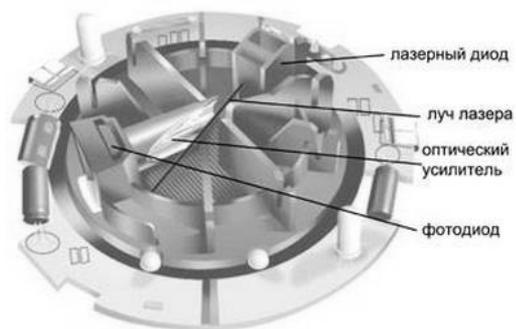


Рисунок 2 – Конструкция оптического дымового датчика

Для исключения возможности случайного попадания излучения (например, отраженного от стенок) на фотоприемник, оно направляется в специально сконструированную оптическую камеру. При появлении в воздухе частичек дыма они попадают в оптическую камеру и на них происходит хаотическое рассеяние излучения диода, вследствие чего часть его начинает попадать на фотоприемник, обеспечивая получение электрического сигнала. Уровень этого сигнала тем выше, чем больше концентрация рассеивающих частиц дыма в воздухе.

Герметичное исполнение корпуса камеры позволяет проводить эксперимента, как при установившейся концентрации дыма, так и при нестационарном режиме. Во время проведения эксперимента можно проводить отбор проб сорбента для контроля степени его насыщения сорбатом.

Так как аэрозоли по объему камеры могут быть распределены не равномерно, то для нахождения среднеобъемной концентрации датчики расположены в верхней и нижней частях камеры.

После проведения эксперимента производится очистка объема камеры от остаточных продуктов с помощью вытяжного вентилятора.

С целью реализации данного исследования поставлен эксперимент типа 2² [20]. Для построения полинома второго порядка пользовались методом Бокса-Вильсона [21], согласно которому использовали ортогональные планы первого порядка в качестве ядра, на котором потом дотраивали конструкцию плана второго порядка. Перевод натуральных переменных в кодированные представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Кодирование данных

Уровень и интервал изменения факторов	Интенсивность осадков, 10 ⁻³ м·ч ⁻¹	Дисперсность водного аэрозоля, 10 ⁻³ м
Нулевой уровень, x _i =0	50	2,5
Интервал изменения, δ _i	50	2,5
Верхний уровень, x _i =1	100	5
Нижний уровень, x _i =-1	0,1	0,1
Кодовое обозначение	X ₁	X ₂

Нижний уровень значений дисперсности водного аэрозоля обусловлен минимальным размером капель мороси. Меньшие капли обычно из облаков не выпадают, поддерживаемые конвективными потоками и в нижней тропосфере присутствуют только в виде туманов. Осадки дисперсностью более 5 мм также практически отсутствуют вследствие сопротивления воздуха, которое дробит крупные капли на более мелкие. Нижний уровень интенсивности осадков отвечает минимальной интенсивности мороси. Осадки с интенсивностью 100 мм·ч⁻¹ крайне редкое явление, в основном интенсивность обильных ливней над

территорией Украины не превышает 60 мм·ч⁻¹. однако такая высокая интенсивность обеспечивается при осаднении продуктов горения распыливающими техническими устройствами, поэтому исследование в этой области значений также представляет определенный интерес.

Осаждение продуктов горения началось при достижении концентрации аэрозоля ~ 10⁹ м⁻³. Необходимо отметить, что пороговая концентрация дыма, указанная выше, при горении бензина достигается лишь через 3 – 5 минут, тогда как при горении сырой нефти такая концентрация образуется за 30 – 40 секунд, а при горении торфа

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

за 50 – 60 секунд. Измеряемым критерием скорости осаждения является время (τ) снижения концентрации на 80 % от первоначальной.

аэрозольных продуктов горения от интенсивности (I) и дисперсности (r) осадков приведена в таблице 2.

Матрица двухфакторного эксперимента по определению зависимости скорости осаждения (τ)

Таблица 2 – Ядро центрального композиционного планирования второго порядка для двух факторов

Эксперимент	X ₁ (I)	X ₂ (r)	τ, с					
			ГМ1	ГМ2	ГМ3	ГМ4	ГМ5	ГМ6
Планирование типа 2 ²	-1	-1	38	36	48	52	42	38
	+1	-1	10	10	13	12	11	11
	-1	+1	75	58	72	63	97	87
	+1	+1	31	26	15	18	37	33
Нулевая точка	0	0	46	34	31	42	48	46

Расчет коэффициентов регрессии по результатам экспериментов проводили по следующим формулам:

$$b_0 = \delta_0' \sum_{u=1}^n y_u - \delta_0'' \sum_{u=1}^n \sum_{i=1}^k x_{iu}^2 y_u ; \quad (1)$$

$$b_i = \delta_i' \sum_{u=1}^n x_{iu} y_u ; \quad (2)$$

$$b_{ij} = \delta_{ij}' \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} y_u ; \quad (3)$$

$$b_{ii} = \delta_{ii}' \sum_{u=1}^n x_{iu}^2 y_u + \delta_{ii}'' \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^n x_{iu}^2 y_u - \delta_{ii}''' \sum_{u=1}^n y_u ; \quad (4)$$

где: i – номер столбца в матрице планирования; x_{iu} – элементы i-го столбца; y_u – результат эксперимента при соответствующих параметрах.

Значения δ, которые входят в формулы (1) – (4), брали из [21].

Для полученных из расчета моделей по критерию Стьюдента проверялась значимость коэффициентов. Доверительный интервал определялся по формуле:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05;f_y)} \sqrt{\frac{s_y^2}{n}} ; \quad (5)$$

где: t_(0,05;f_y) – 5% – ная точка распределения Стьюдента с f_y – степенями свободы, t=2,7764; s_y² – дисперсия воспроизводимости (ошибка опыта).

После исключения незначимых коэффициентов регрессии результаты моделирования целесообразно представить в виде (6 – 11):

$$\tau_{ГМ1} = 0.562 \cdot X_2^2 - 0.126 \cdot X_1 + 8.324 \cdot X_2 - 0.046 \cdot X_1 \cdot X_2 + 29.383 ; \quad (6)$$

$$\tau_{ГМ2} = 0.870 \cdot X_2^2 - 0.040 \cdot X_1 + 2.323 \cdot X_2 - 0.025 \cdot X_1 \cdot X_2 + 31.382 ; \quad (7)$$

$$\tau_{ГМ3} = 1.104 \cdot X_2^2 - 0.512 \cdot X_1 + 1.813 \cdot X_2 - 0.076 \cdot X_1 \cdot X_2 + 43.639 ; \quad (8)$$

$$\tau_{ГМ4} = 0.833 \cdot X_2^2 - 0.224 \cdot X_1 + 8.650 \cdot X_2 - 0.063 \cdot X_1 \cdot X_2 + 39.110 ; \quad (9)$$

$$\tau_{ГМ5} = 1.412 \cdot X_2^2 - 0.357 \cdot X_1 + 2.983 \cdot X_2 - 0.069 \cdot X_1 \cdot X_2 + 40.793 ; \quad (10)$$

$$\tau_{ГМ6} = 0.560 \cdot X_2^2 - 0.315 \cdot X_1 + 1.170 \cdot X_2 - 0.025 \cdot X_1 \cdot X_2 + 54.241 ; \quad (11)$$

Адекватность и воспроизводимость моделей проверялась с помощью критериев Фишера и Кохрена. Проверка дала положительный результат. В соответствии с (6 – 11) получены уравнения регрессии в натуральных переменных. Для анализа полученных результатов зависимости (6 – 11) представлены в графическом виде, при этом горючие материалы разбиты на две группы – целлюлозосодержащие (рис. 3) и нефтепродукты (рис. 4).

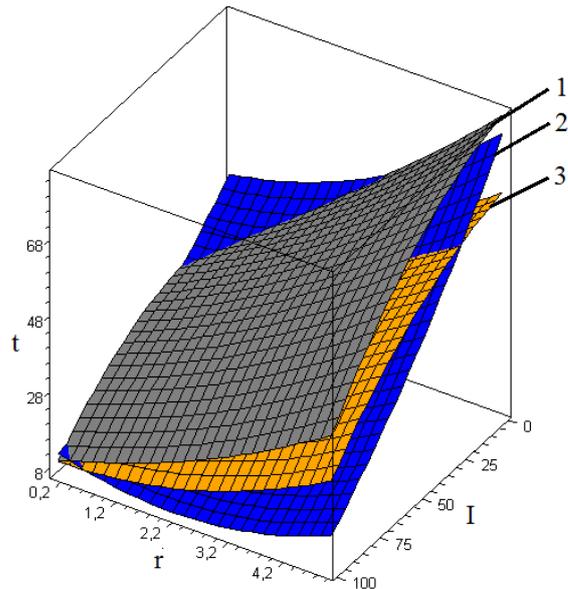


Рисунок 3 – Влияние скорости осаждения продуктов горения целлюлозосодержащих материалов от интенсивности и дисперсности осадков: 1 – ГМ1; 2 – ГМ3; 3 – ГМ2

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

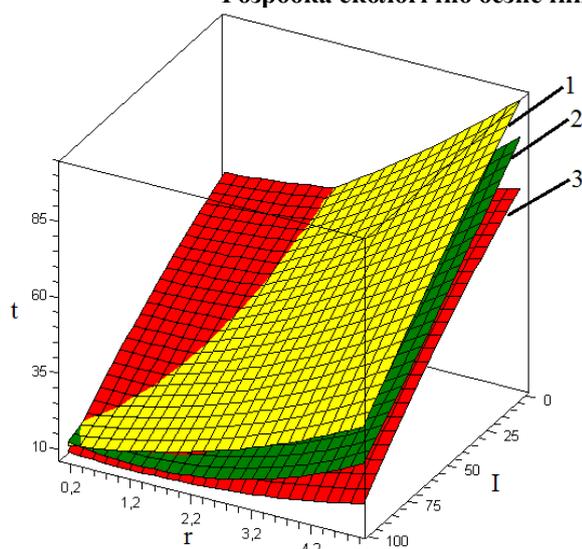


Рисунок 4 – Влияние скорости осаждения продуктов горения нефтепродуктов от интенсивности и дисперсности осадков: 1 – ГМ5; 2 – ГМ6; 3 – ГМ4

Из анализа рис. 3 и 4 можно отметить, что зависимость скорости осаждения аэрозольных продуктов горения практически всех рассмотренных материалов прямопропорциональна интенсивности потока. При осаждении твердых продуктов горения растительных материалов наибольшая интенсивность наблюдается для дымов торфа, что связано с более крупнодисперсными частицами дымов. Однако, как отмечалось выше и интенсивность выделения аэрозоля при горении торфа значительно выше относительно древесины и травы. Результаты осаждения дымов от нефтепродуктов (рис. 4) показали высокую зависимость интенсивности осаждения от дисперсности потока для продуктов горения бензина и дизельного топлива, тогда как для осаждения дыма сырой нефти влияние размера каплей существенно ниже. Это можно объяснить относительным размером аэрозольных продуктов горения. При горении светлых нефтепродуктов выделяется мелкодисперсная сажа и зола, при вымывании которой определяющую роль играет площадь свободной поверхности каплей. При падении крупной капли ее обтекает поток воздуха, который увлекает за собой мелкие аэрозольные частицы, за счет чего вероятность столкновения частицы сажи с каплей падает. При горении сырой нефти размер сажевых частиц и их масса на порядок больший, соответственно, действующие инерционные силы, стремящиеся сохранить прямолинейную траекторию, позволяют достаточно эффективно захватывать их каплями. Более высокая эффективность вымывания дыма сырой нефти крупнодисперсным потоком объясняется способностью крупной капли сорбировать на себя большее количество частиц аэрозоля. Общий анализ скорости осаждения дымов растительных материалов и

нефтепродуктов свидетельствует о большей интенсивности вымывания аэрозольных продуктов горения растительных материалов. По всей видимости это связано с большей гидрофобностью сажи нефтепродуктов.

При анализе результатов необходимо учитывать, что использование оптического детектора дыма позволяет регистрировать частицы размером более 0,6 мкм. Поэтому полученные результаты не в полной мере отражают процесс осаждения аэрозольных продуктов горения. Однако вследствие подобных физико-химических свойств частиц дыма разного размера, полученных при горении одного и того же материала, можно утверждать что характер зависимости интенсивности вымывания будет также подобным, хотя за счет более мелких размеров их скорость осаждения должна быть ниже полученных данных. Учет скорости осаждения частиц с размером < 0,6 мкм является существенным при горении легких фракций нефтепродуктов (например, бензин), где большая часть образованных сажевых частиц имеет размер ~ 0,1 мкм [17]. Однако при рассмотрении динамики осаждения дыма от природных пожаров и горения нефти учет мелких фракций продуктов горения является не существенным. Все полученные данные характеризуются высокой сходимостью результатов в одинаковой серии экспериментов. Относительная погрешность не превышала 10 %, которая объясняется неоднородностью дисперсности потока распыленной воды, а также погрешностью измерительной аппаратуры.

ВЫВОДЫ. В работе описана конструкция разработанной экспериментальной установки для исследования интенсивности осаждения газообразных опасных веществ, а также жидких и твердых аэрозолей. Разработанная установка позволяет исследовать скорость осаждения многокомпонентных продуктов горения водным потоком различной интенсивности и дисперсности. Впервые проведены экспериментальные исследования скорости осаждения дымов, полученных при горении различных растительных материалов и основных нефтепродуктов. Полученные результаты свидетельствуют о низкой эффективности осаждения дымов светлых нефтепродуктов за счет высокой дисперсности и гидрофобности сажевых частиц. Полученные результаты позволяют прогнозировать интенсивность очистки атмосферы осадками от продуктов горения при природных и техногенных пожарах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morton B.R., Taylor G.T., Turner Y.S. Turbulent Gravitational Convection from Maintained and Instantaneous Sources // Proc. Royal Soc. A. – 1956. – Vol. 234, № 1196. – pp. 1 – 23.
2. Копылов Н.П., Рыжов А.М., Хасанов И.Р. Математическое моделирование крупномасштабного экспериментального пожара //

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

Физика горения и взрыва. – 1985. – № 5. – С. 51 – 54.

3. Музафаров И.Ф., Утюжников С.В. Численное моделирование конвективных колонок над большим пожаром в атмосфере // Теплофизика высоких температур. – 1995. – № 4. – С. 594 – 601.

4. Ивлев Л.С., Довгалоук Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. – СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. – 194с.

5. Meszaros E. Fundamental of Atmospheric Aerosol Chemistry // Budapest, Ak. Kiado. – 1999. – p. 308.

6. Пашенко С.Э., Сабельфельд К.К. Атмосферный и техногенный аэрозоль // Институт кинетики и горения. – Новосибирск.: ВЦ СО РАН, 1992 – Ч-1. – 328 с.

7. Мансуров З.А. Сажеобразование в процессах горения (обзор) // Физика горения и взрыва. – 2005. – Т. 41, № 6. – С. 137 - 156.

8. Кустов М.В. Химически опасные выбросы в атмосферу при техногенных авариях на предприятиях Украины // Безопасность в техносфере. – М., 2015. – № 3. – С. 16 – 21.

9. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. – Новосибирск: Наука СО, 1977. – 237 с.

10. Иличкин В.С. Термические превращения и токсичность продуктов горения древесины / В.С.Иличкин, А.А. Леснович, М.В. Яненко // Обз.инф. М.: ГИЦ МВД СССР, 1990. №8. – 67 с.

11. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Химия, 1988. – 312 с.

12. Сучков В.П. Пожары резервуаров с нефтью и нефтепродуктами / В.П. Сучков, И.Ф. Безродный, А.В. Вязниковцев и др.// Обз.инф.: Сер. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – М.: ЦНИИТЭФТЕХИМ, 1992. Вып. 3-4. – 97 с.

13. Neri G., Bonaccorsi L., Donato A., Milone C., Musolino M.G., Visco A.M. Catalytic combustion of

diesel soot over metal oxide catalysts // Applied Catalysis B: Environmental. – 1997. – V. 11. – pp. 217 – 231.

14. Stanmore B.R., Brilhac J.F., Gilot P. The oxidation of soot: a review of experiments, mechanisms and models // Carbon. – 2001. – V. 39. – pp. 2247 – 2268.

15. Courcot D., Abi-Aad E., Capelle S., Aboukais A. Investigation of copper-cerium oxide catalysts in the combustion of diesel soot // Studies in Surface Science and Catalysis. – 1998. – V. 116. – pp. 625 – 634.

16. Буваков К.В., Заворин А.С., Гладков В.Е. Морфологические особенности золы от энергетического сжигания бурого угля // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. № 5. – С. 136 – 140.

17. Popovicheva O.B., Persiantseva N.M., Lukhovitskaya E.E., Shonija N.K., Zubareva N.A., Demirdjian B., Ferry D., Suzanne J. Aircraft engine soot as contrail nuclei. // Geophys. Res. Lett. – 2004. – № 31. – pp. 11104.

18. ГОСТ СССР 17.6.1.01-83. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения: Введ. 01.07.84. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 12 с.

19. Пат. № 2 491 982, Российская Федерация, В01D53/18 Прямоточный абсорбер / Демихов С.В. (RU); патентообладатель Демихов С.В. (RU) – № 2012112680/05; заявл. 03.04.2012; опубл. 10.09.2013.

20. Кренецкий И.И. Основы научных исследований. Уч. пособие для вузов. – Киев-Одесса, 1981. – 208с.

21. Vox G. E. P. On the Experimental Attainment of Optimum Conditions. / G. E. P. Vox, K. B. Wilson // "Journal of the Royal Statistical Society". Series B, 1951, 13, № 1, p. 1 – 45.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INTENSITY OF COMBUSTION AEROSOL PRODUCTS DEPOSITION THROUGH ATMOSPHERIC PRECIPITATION

M. Kustov

National university of civil protection of Ukraine

vul. Chernishevskogo, 94, Kharkov, 61023, Ukraine. E-mail: maksim_kustov@mail.ru

Purpose. Designed experimental equipment to investigate the intensity of the atmosphere purification from aerosol and gaseous pollutants. **Methodology.** The experimental equipment allows to investigate the intensity of smoke deposition, as multi-component compositions that are poorly modeled numerically. **Originality.** Experimental investigation of deposition rate of aerosol plant materials and petroleum products combustion products on the intensity and dispersion of water flow. Using the theory of planning of experiment built an empirical model of influence dispersion and flow rate on the intensity of deposition of fumes. **Results.** The high efficiency fine thread is relatively coarse for the same flow rate. It is experimentally shown a higher intensity of deposition of combustion products of crude oil and peat studied relative to other combustible materials. Confirmed the main role of aerosol dispersion of combustion products and their degree of water repellency on the sorption process by precipitation. **Practical value.** The obtained results allow to predict the rate of purification of the atmosphere from the consequences of major fires depending on weather conditions. *References 21, tables 2, figures 4.*

Key words: combustion products, flammable materials, rainfall intensity, deposition of aerosols, dispersion of the flow

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

REFERENCES

1. Morton B.R., Taylor G.T., Turner Y.S. (1956) "Turbulent Gravitational Convection from Maintained and Instantaneous Sources", *Proc. Royal Soc. A.*, Vol. 234, № 1196, pp. 1 – 23.
2. Kopylov N. P., Ryzhov, A. M., Khasanov I. R. (1985) "Mathematical modeling of large-scale experimental fire", *Physics of combustion and explosion*, no. 5, pp. 51-54.
3. Muzafarov I. F., Utyuzhnikov S. V. (1995) "Numerical modeling of convective columns above a large fire in the atmosphere" *Teplofizika vysokih temperatur*, no. 4, pp. 594-601.
4. Ivlev L.S., Dovgaljuk Ju.A. (1999) "Fizika atmosferyh ajerozol'nyh sistem" [Physics of atmospheric aerosol systems], Scientific research Institute of chemistry St Petersburg state University? St. Petersburg, p. 194.
5. Meszaros E. (1999) "Fundamental of Atmospheric Aerosol Chemistry", *Budapest, Ak. Kiado.*, p. 308.
6. Pashchenko, S. C., Sabelfeld, K. K. (1992) *Atmosfernyj i tehnogenyj ajerozol'* [Atmospheric and technogenic aerosol] Institute of kinetics and combustion, Computing center of Siberian branch of Russian Academy of Sciences Russia, Novosibirsk, Part 1, p. 328.
7. Mansurov Z. A. (2005) "Soot formation in combustion processes (review)", *Physics of combustion and explosion*, Vol. 41, no. 6, pp. 137 - 156.
8. Kustov M. V. (2015) "Chemically hazardous emissions into the atmosphere during anthropogenic accidents at the enterprises of Ukraine" *Bezopasnost' v tehnosfere? Moscow*, no. 3, pp. 16 – 21.
9. Konev Je.V. (1977) *Fizicheskie osnovy gorenija rastitel'nyh materialov*, [The physical basis of burning plant materials], Science, Siberian Branch, Novosibirsk p. 237.
10. Ilichkin V.S. Lesnovich A.A., Janenko M.V. (1990) "Termicheskie prevrashhenija i toksichnost' produktov gorenija drevesiny" [Thermal transformations and toxicity of combustion products of wood], An overview, State research center of the Ministry of internal Affairs of the USSR, Moscow, No 8. p. 67.
11. Sigal I.Ja. (1988) "Zashhita vozdušnogo bassejna pri szhiganii topliva" [Protection of air pool from fuel combustion], Chemistry, Leningrad, p. 312.
12. Suchkov P. V. I. Bezrodnyi, F., and A. V. Vannikova, etc. (1992) "Fires of tanks with oil and oil products" *Review, Series of Transport and storage of petroleum products and hydrocarbons, Moscow*, Vol. 3-4, p. 97.
13. Neri G., Bonaccorsi L., Donato A., Milone C., Musolino M.G., Visco A.M. (1997) "Catalytic combustion of diesel soot over metal oxide catalysts", *Applied Catalysis B: Environmental*, V. 11., pp. 217-231.
14. Stanmore B.R., Brilhac J.F., Gilot P. (2001) "The oxidation of soot: a review of experiments, mechanisms and models", *Carbon*, V. 39., pp. 2247-2268.
15. Courcot D., Abi-Aad E., Capelle S., Aboukais A. (1998) "Investigation of copper-cerium oxide catalysts in the combustion of diesel soot", *Studies in Surface Science and Catalysis*, V. 116., pp. 625 – 634.
16. Bulakov K. V., Zavorin S. A., Gladkov V. E. (2006) "Morphological features of the ash from the energy of combustion of brown coal", *Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, Vol. 309, no. 5. pp. 136 – 140.
17. Popovicheva O.B., Persiantseva N.M., Lukhovitskaya E.E., Shonija N.K., Zubareva N.A., Demirdjian B., Ferry D., Suzanne J. (2004) "Aircraft engine soot as contrail nuclei" *Geophys. Res. Lett.*, no 31, pp. 11104.
18. GOST USSR 17.6.1.01-83. (1984) "Ohrana prirody. Ohrana i zashhita lesov. Terminy i opredelenija" [The nature conservancy. The forest protection. Terms and definitions], Introduced. 01.07.84, Publishing house of standards, Moscow, p. 12.
19. Pat. № 2 491 982, Russian Federation, V01D53/18 "Prjamotochnyj absorber", [Direct-flow absorber] / Demihov S.V. (RU); patentee Demihov S.V. (RU) – № 2012112680/05; stated 03.04.2012; published 10.09.2013.
20. Kreneckij I.I. (1981) "Osnovy nauchnyh issledovanij" [Fundamentals of scientific research], Textbook for high schools. Kiev-Odessa, p. 208.
21. Box G. E. P., Wilson K. B. (1951) "On the Experimental Attainment of Optimum Conditions" *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, no 1, pp. 1 – 45.