

С. А. Вамболь, д. т. н., проф., зав. каф.

В. В. Вамболь, д. т. н., доц., проф. каф.

Национальный университет гражданской защиты Украины

ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСПЕРГИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Рассмотрена актуальная научно-прикладная проблема создания систем управления экологической безопасностью с применением диспергирующих устройств. Для подавления процессов образования и ограничения распространения токсичных веществ в атмосфере при добыче, обработке и транспортировке сыпучих пылящих материалов, ликвидации пожаров, термической обработке отходов предложены системы, которые используют многофазные дисперсные структуры. Для диспергирования жидкости применены оросительные системы типа «брандспойт», атомайзер и центробежные форсунки, встроенные в теплообменник. Показана зависимость возможности создания эффективных мелкодисперсных структур от особенностей технических устройств в условиях действия природных и техногенных факторов опасности различного генезиса. Методом численного моделирования процессов организации пространственных мелкодисперсных структур определены наиболее эффективные режимы подачи жидкости для различных экологически-опасных факторов.

Ключевые слова: экологическая безопасность, загрязнение атмосферы, многофазные мелкодисперсные структуры, оросительное охлаждение, численное интегрирование.

Постановка проблемы. Промышленные предприятия, объекты по разработке полезных ископаемых и проведению обогатительных работ, места скопления опасной продукции и отходов различного генезиса являются техногенно-опасными объектами. Их опасность реализуется в виде поражающих воздействий на человека и окружающую природную среду. Следует отметить, что негативное воздействие, как правило, проявляется не только при возникновении чрезвычайной ситуации, но и при функционировании таких объектов в штатном режиме.

В связи с систематическим загрязнением окружающей среды при функционировании техногенно-опасных объектов антропогенная и техногенная нагрузка на природные компоненты в Украине в несколько раз превышает соответствующие показатели в развитых странах мира. Критерием может выступать продолжительность жизни, которая составляет для Украины примерно 66 лет, в то время как для Польши этот показатель равен 74 годам, а в Швеции – примерно 80 годам [1].

В связи с этим, возникает необходимость применения мероприятий по обеспечению экологической безопасности в зонах возникновения опасностей разного генезиса. При этом на первый план, зачастую выступает себестоимость мероприятий, направленных на управление экологической безопасностью.

Следует отметить, что некоторые естественные и техногенные факторы формирования экологической опасности имеют общность с точки зрения характера влияния на окружающую среду. Этот факт позволяет применять мелкодисперсные структуры, содержащие в своем составе технологические жидкости, для подавления процессов образования и ограничения распространения токсичных веществ в атмосфере. Поэтому создание на этой основе универсального

способа, который обеспечивал бы экологическую безопасность в условиях действия естественных и техногенных факторов опасности разного генезиса, а также экономию энергетических и материальных ресурсов, является перспективным и актуальным.

Анализ последних исследований и публикаций. В процессах погрузки и разгрузки сыпучих пылящих материалов, при разрушении горных пород и т. д. в атмосферный воздух поступает значительное количество мелкодисперсных (взвешенных) частиц, которые обеспечивают негативные изменения в геосфере и приводят к заболеваниям человека [2–4]. Это касается разных регионов Украины, в которых имеются месторождения полезных ископаемых.

В процессе помола угля в мельницах основным опасным для окружающей среды ингредиентом является угольная пыль, количество выбросов которой зависит от герметичности технологического оборудования. При хранении и транспортировке угля после операции помола также имеет место выделение угольной пыли. Для уменьшения таких выбросов используются различные эмульсии на основе синтетических полимерных материалов, отходов целлюлозно-бумажного производства и продуктов и отходов нефтепереработки [5]. Однако такой способ усложняет дальнейшее использование угля.

Утилизация твердых отходов потребления с использованием термических способов позволяет снизить экологическую нагрузку вследствие уменьшения их объемов на полигонах и свалках. Однако сам процесс термической утилизации сопровождается вредными выбросами в окружающую природную среду [6, 7]. Экологически эффективным этот процесс может быть в случае предотвращения образования высокотоксичных веществ (таких как диоксины и фураны) на этапе термохимической обработки

отходов. Исследованию механизма формирования диоксинов при тепловой обработке отходов уделено большое внимание в работе [8], а в работе [9] авторы предложили систему очистки, научно обосновали ее эффективность и экспериментально это подтвердили. Однако реализовать такую систему экономически сложно.

Пожары в местах складирования отходов, на промышленных предприятиях и других техногенных объектах сопровождаются высокоинтенсивным энерговыделением и образованием экологически опасных молекулярных соединений. При этом такие чрезвычайные ситуации характеризуются поступлением в атмосферу значительного количества монооксида углерода, диоксида углерода, сажи и т. д., но специальных мероприятий по локализации (недопущению распространения) этих веществ не проводится.

Несмотря на многочисленные исследования процессов улавливания пыли, газообразных токсичных веществ и аэрозолей, разработанные методы и средства для подавления указанных процессов, применяемые в производствах Украины, являются малоэффективными.

Постановка задачи и ее решение. Постановка мелкодисперсных водяных завес и завес из нейтрализующих растворов – это основной способ подавления процессов образования, ограничения распространения и нейтрализации токсичных веществ. Для его реализации используют распылители различной конструкции.

До настоящего времени отсутствуют теоретически обоснованные методики расчета режимов формирования мелкодисперсных структур, которые бы позволили определить расчетным путем их основные параметры: геометрические размеры в различных условиях, пространственное распределение концентрации капель, взаимодействие с воздушными и тепловыми потоками, влияние технических параметров, методы их оптимизации. Опыт проектирования систем постановки водяных завес показывает необходимость углубленного исследования процессов доставки диспергированной жидкости и ее дальнейшего осаждения для организации необходимой пространственной структуры водяного аэрозоля и выработки на этой основе эффективных конструктивных решений. Именно это исследование и является целью данной работы.

Объектом исследования являются системы постановки жидкостных мелкодисперсных структур.

Предмет исследования – зависимость возможности организации необходимой дисперсной многофазной структуры от технических особенностей устройств для ее реализации.

Под дисперсными многофазными структурами мы понимаем структуры, состоящие из мелкодисперсных частиц технологической жидкости или воды, воздуха и включенных частиц (частиц пыли, химических компонентов, биодеструкторов), которые устанавливаются в рабочей зоне и могут существовать в ней заданное технологическим процессом время. Простейшей

структурой может быть водяная завеса – поток распыленной воды, состоящий из мелких капель, способный частично или полностью отделить одну область пространства от другой. Для теоретического описания неоднородной среды, содержащей компоненты с различным фазовым состоянием, такие как атмосферный воздух и водяные капли, математической формой записи являются уравнения Навье – Стокса и уравнение баланса действующих на каплю сил. Эти уравнения в области произвольной формы с заданными краевыми условиями могут быть совместно решены современными численными методами, выделившимися в самостоятельную отрасль знаний – вычислительную аэрогидродинамику.

Как показано в работах [10, 11], физико-математическая постановка задачи формулируется таким образом. Взаимодействие фаз учитывается моделью «капля – источник в ячейке», в которой присутствие частиц в потоке проявляется через дополнительный источник количества движения в осредненных по Рейнольдсу уравнениях Навье–Стокса, замыкающихся полуэмпирической моделью турбулентности $k-\epsilon$ -типа.

Математическое описание газовой и дисперсной фаз, а также межфазного взаимодействия подробно представлено в работах [12, 13, 14]. В исследованиях [12, 13] авторами показана возможность обеспечения экологической безопасности при использовании оросительной системы «брандспойт» для улавливания пылевых частиц и их осаждения в пределах рабочей зоны.

Особенностью исследования является то, что при моделировании водяной завесы зон возникновения опасностей природного или техногенного характера, имеющих размер до нескольких десятков метров (в случае образования дымового или пылевого облака, например, над промышленным объектом, полигоном хранения отходов или торфяными месторождениями в случае возникновения чрезвычайной ситуации) необходимо учитывать атмосферные явления. То есть в условиях штиля, встречного и попутного ветра расчетная область водяной завесы должна охватывать достаточный, для предотвращения распространения загрязненного облака, фрагмент пространства с источником формирования экологической опасности, расположенным внутри него.

Исследуя несколько вариантов орошения пылевого облака брандспойтом, различавшихся углом подачи, полным напором, скоростью и направлением ветра, авторам удалось выявить наиболее эффективные способы и режимы подачи воды системами пылеподавления при различной ветровой обстановке.

При моделировании водяной завесы, создаваемой атомайзером, в отличие от брандспойта, расчетная область представляет собой четверть шара диаметром D_a , которая соответствует ограниченному фрагменту атмосферы, окружающей сопло диаметром d_c , с вычтенным из него диаметром сопла (см. рис. 1).

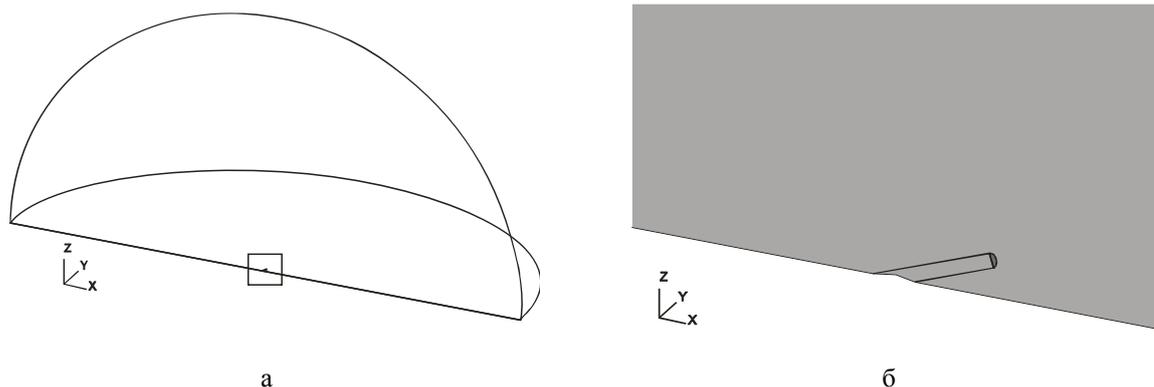


Рисунок 1 – Расчетная область (угол наклона сопла 20 °): а – вся расчетная область; б – фрагмент

Исследуемая область покрывается неравномерной расчетной сеткой, включающей около 50 тыс. тетраэдрических ячеек (см. рис. 2). Методом численного интегрирования исследованы 30 вариантов постановки

водяной завесы, различавшихся диаметром среднестатистических капель D_k , углом подачи α и скоростью выдува капель V_{k0} атомайзером.

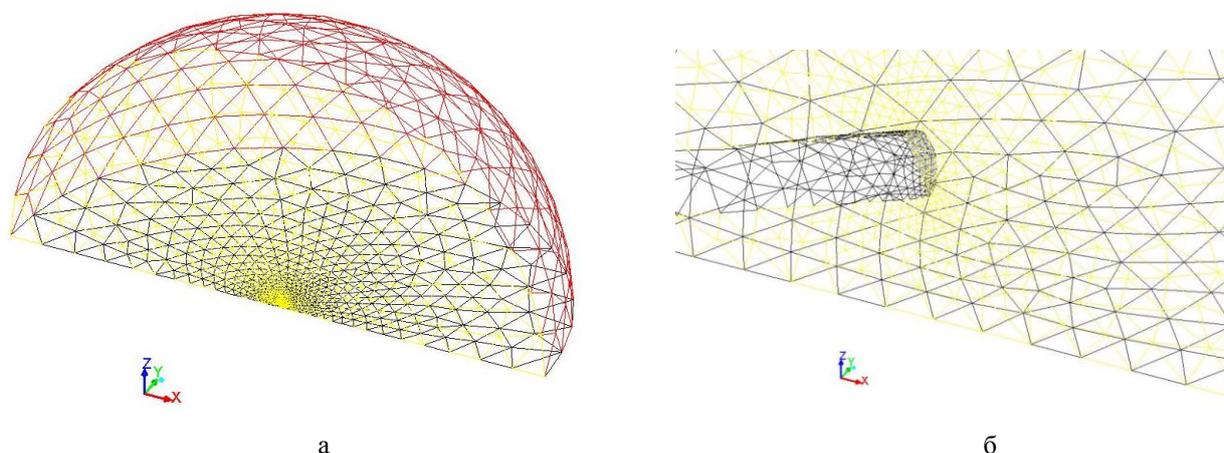


Рисунок 2 – Расчетная сетка (угол наклона сопла – 20 °): а – вся расчетная область; б – фрагмент

Интегрируя систему уравнений движения капли (1) методом Рунге–Кутты 4-го порядка с переменным шагом (2), можно определить параметры газа в любой точке расчетной области

τ_a – время аэродинамической релаксации, определяемое выражением

$$\frac{du_{pj}}{dt} = \rho_p \frac{\pi d_p^3}{6} g_j - \frac{3\rho C_R}{4\rho_p d_p} (u_{pj} - u_j) \left[\sum_j (u_{pj} - u_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (1)$$

$$\frac{dx_{pj}}{dt} = u_{pj},$$

$$\tau_a = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu}.$$

Устойчивость численного решения может быть обеспечена применением метода нижней релаксации независимых переменных

$$\phi = \phi^{n-1} + \alpha_n (\phi^n - \phi^{n-1}), \quad (3)$$

где $j = 1, 2, 3$, x_{pj} – декартовы координаты капли,

где ϕ – произвольная скалярная величина; n – номер итерации; $\alpha_n = 0 \dots 1$ – параметр нижней релаксации.

$$\Delta t = \frac{\tau_a}{\chi}, \quad (2)$$

где χ – коэффициент «размельчения», задаваемый в зависимости от желаемой точности интегрирования;

Количество итераций, необходимых для решения стационарных задач аэрогидродинамики, определяется как алгоритмом разностной схемы, так и критерием оценки сходимости решения. Для оценки сходимости предлагается применять интегральный критерий относительно вектора консервативных переменных.

Условие сходимости решения можно представить в следующем виде

$$\sqrt{\frac{\sum R_i^2}{V^2}} \leq \varepsilon, \quad (4)$$

где R_i – невязки для разностных уравнений, моделирующих перенос независимых переменных; V – объем расчетной ячейки; ε – критерий сходимости.

Численное решение считаем сошедшимся, если выполняется одно из следующих условий:

- выполняется условие (4);
- решение больше не изменяется при продолжении итераций.

Сеточную независимость решения оцениваем путем сравнения численных результатов, полученных на нескольких расчетных сетках, различающихся количеством расчетных ячеек.

В табл. 1 сведены расчетные геометрические параметры водяной завесы: максимальная высота завесы Z_{max} , максимальная дальность орошения подстилающей поверхности X_{max} и протяженность пятна орошения ΔX для 30 рассчитанных вариантов.

Таблица 1 – Расчетные параметры водяной завесы

D_k , мкм	V_{k0} , м/с	α , град	Z_{max} , м	X_{max} , м	ΔX , м
10	0,5	10	3,3	62	32
10	0,5	20	12	95	12
10	0,5	30	27	87	14
10	0,5	45	63	90	21
10	0,5	60	88	69	16
10	1	10	4	106	46
10	1	20	23	>200	77
10	1	30	45	158	30
10	1	45	110	>200	>70
10	1	60	148	110	5
7	0,5	10	4	107	47
7	0,5	20	22	>200	>32
7	0,5	30	46	164	37
7	0,5	45	>110	>200	>60
7	0,5	60	152	110	5
7	1	10	5	190	72
7	1	20	32	>200	–
7	1	30	>80	>200	–
7	1	45	>130	>200	–
7	1	60	>170	>200	–
15	0,5	10	2	34	24
15	0,5	20	8	45	18
15	0,5	30	16	47	18
15	0,5	45	28	43	13
15	0,5	60	44	34	10
15	1	10	3	58	30
15	1	20	11	83	12
15	1	30	25	80	21
15	1	45	51	76	11
15	1	60	79	62	22

Результаты численного интегрирования, представленные в таблице 1, демонстрируют следующее:

– капли, подаваемые под малыми углами α («настильно»), образуют водяную завесу с малой максимальной высотой Z_{max} , но с большими дальностью орошения подстилающей поверхности X_{max} и протяженностью пятна орошения ΔX . Капли, подаваемые под большими углами α («навесно»), наоборот, образуют водяную завесу с большой максимальной высотой Z_{max} , но с малыми дальностью орошения подстилающей поверхности X_{max} и протяженностью пятна орошения ΔX ;

– с увеличением скорости подачи капель V_{k0} , независимо от угла подачи капель α и их диаметра D_k , максимальная высота водяной завесы Z_{max} и дальность орошения подстилающей поверхности X_{max} монотонно возрастают;

– с увеличением угла подачи капель α , независимо от скорости подачи капель V_{k0} и их диаметра D_k , максимальная высота водяной завесы Z_{max} монотонно возрастает;

– с увеличением угла подачи капель α дальность орошения подстилающей поверхности X_{max} изменяется немонотонно. Вид функции $X_{max}(\alpha)$ зависит от диаметра капель D_k : для мелких капель ($D_k = 7$ мкм и $D_k = 10$ мкм) функция $X_{max}(\alpha)$ имеет два локальных максимума, тогда как для более крупных капель ($D_k = 15$ мкм) – один;

– для мелких капель ($D_k = 7$ мкм и $D_k = 10$ мкм), независимо от начальной скорости их подачи V_{k0} , и для крупных капель ($D_k = 15$ мкм), подаваемых с высокой начальной скоростью ($V_{k0} = 1$ м/с), с увеличением угла подачи капель α протяженность пятна орошения ΔX изменяется немонотонно, а именно имеет два локальных максимума. Для крупных капель ($D_k = 15$ мкм), подаваемых с низкой начальной скоростью ($V_{k0} = 0,5$ м/с) с увеличением угла подачи капель α протяженность пятна орошения ΔX монотонно уменьшается;

– для мелких капель ($D_k = 7$ мкм и $D_k = 10$ мкм), подаваемых под небольшими углами ($\alpha = 10^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$), с увеличением скорости подачи капель V_{k0} протяженность пятна орошения ΔX возрастает, тогда как капель, подаваемых под углом $\alpha = 60^\circ$, – уменьшается. Для крупных капель ($D_k = 15$ мкм) зависимость $\Delta X(V_{k0})$ немонотонна и имеет два локальных максимума.

При моделировании водяной завесы для подавления процессов образования диоксинов во время термической обработки отходов приходится варьировать другими параметрами технических устройств [14]. Это объясняется следующим.

Образование диоксинов происходит из углеводородов и хлоридов, например, таких как фенол и HCl в газовой фазе пламени. Эти образования не стабильны и подвержены разрушению в условиях действия температур 850 °C и выше. Однако при понижении температуры и наличии в газовой фазе углеводородов и хлоридов происходит повторное формирование этих токсичных веществ. Причем наиболее активно этот процесс наблюдается в интервале температур 300...450 °C. К факторам формирования диоксинов относятся скорость охлаждения газовой фазы в указанном температурном диапазоне и наличие кислорода.

Если взять во внимание тот факт, что современные технологии утилизации отходов основаны на их высокотемпературной обработке 1000...1200 °C и выше, а снизить температуру необходимо до 300 °C и ниже, то следует заметить, что достаточно трудно реализовать резкое охлаждение газовой фазы в таком широком диапазоне температур.

Если применить для охлаждения газа водяные завесы, то мы будем иметь дело с процессами течения и теплообмена двухфазной многокомпонентной среды с фазовым превращением (испарением). Для организации необходимой пространственной структуры водного аэрозоля и выработки на этой основе эффективных конструктивных решений при моделировании процессов охлаждения учитывают технические характеристики форсунок (они обеспечивают дисперсность распыления воды), скорость подачи диспергированной жидкости, параметры газоотводящего канала (или теплообменника), в котором установлены форсунки. Особенностью является то, что установить водяную завесу необходимо в замкнутом объеме, а не на открытом пространстве. Следовательно, водяная завеса должна отвечать таким требованиям:

- обеспечение резкого снижения температуры газа до безопасной величины;
- исключение скопления излишка жидкости на стенках и дне конструкции теплообменника.

Подход к решению данной задачи аналогичен, как и для задач, описанных выше.

Распределение объемов капель в распыленной струе основано на данных [15] и хорошо описывается формулой Розина–Раммлера. Числовые значения параметров подачи воды форсунками для трех вариантов подачи воды, различающихся мелкостворностью распыления воды и скоростью ее выделения из сопла, представлены в таблице 2. При этом неравномерная расчетная сетка включает 77087 полиэдрических ячеек.

Считаем, что элементарный объем газа в начальный момент времени находится в центре поперечного сечения проточной части теплообменника, предшествующего зоне впрыска воды.

Таблица 2 – Значения параметров подачи диспергированной жидкости форсунками

Наименование параметра	Номер варианта		
	1	2	3
d_0 , м	0,0006	0,0009	0,0011
$A_{\phi}/(D_s d_0)$	0,75	1,3	1
C_d	0,43	0,56	0,50
v , м/с	10	3	3
Δp , Па	48228	5650	3189
Re_z	3858	2257	1957
n	3,77	3,99	3,6

В процессе охлаждения газа температура капли диспергированной жидкости изменяется до момента достижения ею температуры кипения, что, в соответствии с балансом тепла, определяется уравнением

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = \alpha A_v (T_{\infty} - T_p) + L \frac{dm_v}{dt}, \quad (5)$$

где c_p – теплоемкость капли; α – коэффициент теплоотдачи между каплей и газом, который определяется экспериментально; A_v – площадь поверхности капли; L – скрытая теплота испарения; T_p – температура капли; T_{∞} – локальная температура газа.

Результаты экспериментальных исследований приведем в виде критериальных зависимостей Nu (Re , Pr), где Nu – число Нуссельта. С учетом уравнений (14) и (20) [16] уравнение (5) можно записать в виде:

$$\frac{dT_p}{dt} = \frac{(T_{\infty} - T_p)}{\Theta} + \frac{Q_L}{\Theta}, \quad (6)$$

$$Q = \frac{LShpD(c_s - c_{\infty})}{Nu\lambda}, \quad (7)$$

$$\Theta = \frac{\rho_p d_p^2 c_p}{6Nu\lambda}. \quad (8)$$

Когда температура капли достигает точки кипения, применяется уравнение скорости кипения

$$\frac{d(d_p)}{dt} = - \frac{4\lambda}{\rho_p c_{p\infty} d_p} (1 + 0,23) Re_p^{0,5} \times \ln \left[1 + \frac{c_{p\infty} (T_{\infty} - T_p)}{L} \right], \quad (9)$$

где $c_{p\infty}$ – теплоемкость газа.

Рассматривая движение элементарного объема газа в проточной части теплообменника, построен график зависимости координаты Z элементарного объема газа от времени τ (см. рис. 3).

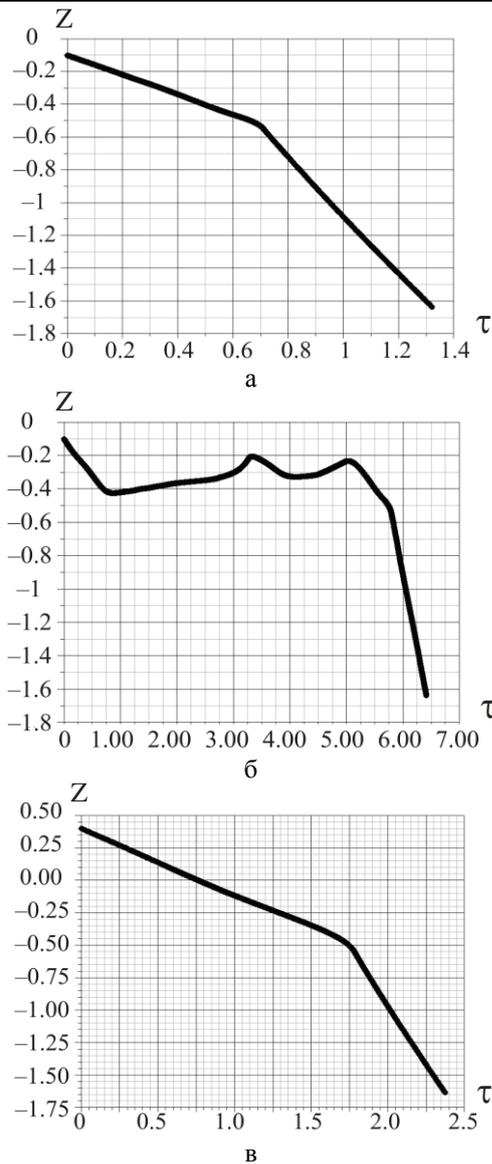


Рисунок 3 – Зависимость координаты Z элементарного объема газа от времени τ : а – вариант № 1 (в соответствии с табл. 2); б – вариант № 2; в – вариант № 3

Исследование показало, что полное время пребывания элементарного объема газа в проточной части теплообменника для исследуемых вариантов

(см. табл. 2) составляет соответственно 1,32 с, 6,42 с и 2,37 с.

Обсуждение результатов. Данная работа является частью научного исследования возможности применения диспергированных систем при управлении экологической безопасностью в условиях действия факторов различного генезиса и создания экологически безопасной технологии утилизации отходов. Началом исследования являются работы [10–14, 16], где разработаны математическая модель газовой и дисперсной фазы трехмерного течения газодисперсной среды с фазовым превращением (испарением) и межфазного взаимодействия. Данные модели качественно четко определяют основные особенности процессов постановки пространственных водяных структур, которые обеспечивают подавление процессов образования вредных веществ и препятствуют их распространению в атмосфере.

Выводы. Результаты численного эксперимента показывают, что предложенные математические модели процессов, которые происходят при пожарах, работе с пылящими материалами, термической обработке отходов и т.п., являются адекватными действительности и их можно считать удовлетворительными в рамках поставленной задачи. При этом существует возможность поиска наиболее эффективного варианта постановки водяной завесы, если сформулировать соответствующую задачу оптимизации.

По результатам данного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Научно обоснована возможность применения технических устройств создания мелкодисперсных структур, обеспечивающих подавление процессов образования вредных и токсичных веществ и предотвращающих их распространение в атмосфере.

2. Численное интегрирование позволяет отследить дальность орошения подстилающей поверхности и протяженность пятна орошения при подавлении экологически-опасных процессов на открытом пространстве.

3. При подавлении процессов образования токсичных веществ в замкнутых объемах (например, при термической утилизации отходов) представляется возможным отслеживать изменение импульса, массы и теплоты совокупности капель, а также температуру парогазовой смеси в различные моменты времени пребывания газа в теплообменнике.

Литература

1. Стратегія державної екологічної політики України на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua/about/strategy>. – 12.12.2016.
2. Лысенко А. В. Влияние загрязнения воздушного бассейна на геоэкологическую ситуацию в Кривбассе / А. В. Лысенко, Р. В. Лашко : матеріали всеукр. студ. наук.-практ. конф. Регіональні проблеми природокористування та охорона рослинного і тваринного світу. – Кривий Ріг : Криворізький державний педагогічний університет, 2003. – С. 171–172.
3. Левкин Н. Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины / Левкин Н. Б. – Макеевка : МакНИИ, 2002. – 392 с.
4. Либецкий К. Пылевые опасности в горнодобывающей промышленности / Либецкий К. – Катовице (Польша) : Главный институт горного дела, 2004. – 486 с.
5. Кулик М. П. Аналіз екологічної небезпеки об'єктів теплової енергетики та методів зменшення шкідливих викидів / М. П. Кулик // Вісник інженерної академії України. – 2014. – № 2. – С. 253–258.

6. Федоров Л. А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы / Л. А. Федоров // Распад и образование диоксида при горении отходов. – 1994. – Т. 13, № 2. – С. 17–33.
7. Милош, В. В. Диоксины и их потенциальная опасность в экосистеме «человек – окружающая среда» [Электронный ресурс] / В. В. Милош. – Режим доступа : <http://crowngold.narod.ru/articles/dioxini.htm>.
8. Park H.-S. The formation of dioxins from waste incineration / H.-S. Park, J. D. Chung // J. Korea Society of Waste Management. – 2001. – Vol. 18. – P. 302.
9. Park H.-S. Medical Waste Treatment Using Plasma / H.-S. Park, B.-J. Lee, S.-J. Kim // Industrial & Engineering Chemistry. – 2005. – Vol. 11, Issue 3. – P. 353–360.
10. Вамболь С. А. Системы управления экологической безопасностью, которые используют многофазные дисперсные структуры : монография / С. А. Вамболь. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2013. – 204 с.
11. Вамболь В. В. Моделирование газодинамических процессов в блоке охлаждения генераторного газа установки для утилизации отходов [Электронный ресурс] / В. В. Вамболь // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – Вып. 1 (59). – Режим доступа : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/Vambol_VV_Model_ga.pdf.
12. Кобрин В. Н. Моделирование процесса пылеподавления при погрузке, разгрузке и транспортировке сыпучих материалов / В. Н. Кобрин, Н. В. Кобрина, В. Е. Костюк, С. А. Вамболь // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – 2010. – Вып. 48. – С. 248–252. – Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/Vambol_SA_Model.pdf.
13. Костюк В. Е. Математическая модель поведения дисперсных структур в атмосфере [Электронный ресурс] / В. Е. Костюк, Е. И. Кириладш, В. Н. Кобрин, С. А. Вамболь // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2013. – Вып. 4 (50). – Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/Vambol_SA_Math_m.pdf.
14. Вамболь В. В. Математическое описание процесса охлаждения генераторного газа в установке утилизации отходов жизнедеятельности [Электронный ресурс] / В. В. Вамболь, В. Е. Костюк, Е. И. Кириладш // Вісник НТУ «ХП». – 2015. – № 18 (1127). – Режим доступа : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/Vambol_VV_Math%20.pdf.
15. Schmidt D. P. A Two-Dimensional, Non-Equilibrium Model of Flashing Nozzle Flow / D. P. Schmidt, M. L. Corradini, C. J. Rutland : proceedings of the 3rd ASME-JSME Joint Fluids Engineering Conference, July 18-23, 1999. – San Francisco, Calif : American Society of Mechanical Engineers, 2000. – 1322 p.
16. Вамболь В. В. Математическое описание процесса охлаждения генераторного газа при утилизации отходов жизнедеятельности / В. В. Вамболь, В. Е. Костюк, Е. И. Кириладш // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/4 (22). – С. 23–29. doi : 10.15587/2312-8372.2015.40467.

Статья поступила в редакцию 03.03.2017

С. О. Вамболь, В. В. Вамболь

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСПЕРГУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ

Розглянуто актуальну науково-прикладну проблему створення систем управління екологічною безпекою із застосуванням диспергуючих пристроїв. Для придушення процесів утворення й обмеження поширення токсичних речовин в атмосфері під час видобутку, оброблення і транспортування сипких матеріалів, що пилять, ліквідації пожеж, термічної обробки відходів запропоновані системи, які використовують багатофазні дисперсні структури. Для диспергування рідини застосовані зрошувальні системи типу «брандспойт», атомайзер і відцентрові форсунки, які вбудовані у теплообмінник. Показано залежність можливості створення ефективних дрібнодисперсних структур від особливостей технічних пристроїв в умовах дії природних і техногенних факторів небезпеки різного генезису. Методом чисельного моделювання процесів організації просторових дрібнодисперсних структур визначено найбільш ефективні режими подачі рідини для різних екологічно-небезпечних факторів.

Ключові слова: екологічна безпека, забруднення атмосфери, багатофазні дрібнодисперсні структури, зрошувальне охолодження, чисельне інтегрування.

S. Vambol, V. Vambol

RESEARCH OF FEATURES OF APPLICATION OF DISPERSIVE DEVICES IN MANAGEMENT SYSTEMS BY ECOLOGICAL SAFETY

The topical scientifically-applied issue of creation of the control system by ecological safety with the use of dispersive devices is considered. For suppression of the processes of creation and limitation of the toxic substances distribution in an atmosphere during extraction, processing and transportation of bulk materials, which produce dust, for fire suppression, thermal waste treatment, the systems that use multiphase dispersible structures are offered. For dispersion of the fluid the irrigation system of the nozzle type, atomizers, centrifugal atomizer, which are built into the heat exchange, are applied. The dependence of the ability to create effective fine structures on the characteristics of the technical devices in the context of natural and man-made hazards of different genesis are presented. With the help of the method of numerical simulation of the processes of spatial fine structures the most efficient modes of supplying liquid to various hazardous factors are defined.

Keywords: ecological safety, air pollution, multiphase finely dispersed structure, spray cooling, numerical integration.