

Вывод

Представлена методология расчёта условий очагового самовозгорания хранимых материалов. Показана возможность микробиологического самовозгорания продукции в условиях хранения. Предложенные алгоритмы позволяют определить безопасные для самовозгорания условия хранения. Приведены основные направления деятельности по профилактике микробиологического самовозгорания на хозяйственных объектах.

Литература

1. Вогман Л.П., Горшков В.И., Дегтярев А.Г. Пожарная безопасность элеваторов. – М.: Стройиздат. 1993. 288 с.
2. Крестинин А.В., Перегудов Н.И., Самойленко Н.Г., Манелис Г.Б. Возникновение очага самосогревания при хранении зерна // Химическая физика. 2002, том 21, № 12, с. 54-65.
3. Рубцов Ю.И., Казаков А.И., Рубцова Е.Ю. Кинетические закономерности тепловыделения при развитии микроорганизмов на зерне пшеницы и оценка возможности теплового самовоспламенения, инициированного этим процессом // Химическая физика. 2003, том 22, № 6, с. 79-86.
4. Методика обеспечения пожарной безопасности складирования самовозгорающихся материалов. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС РФ, 2008. 33 с.
5. Корольченко И.А. Тепловое самовозгорание насыпей и отложений твердых дисперсных материалов: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: ВНИИПО, 2007. 472 с.
6. Сеплярский Б.С., Афанасьев С.Ю., Амосов А.П. Расчет критических условий воспламенения системы очагов разогрева // Физика горения и взрыва, 1990, т. 26, № 6. с. 16-20.
7. Корольченко И.А., Горшков В.И., Казаков А.В. Экспериментальное изучение очагового самовозгорания // Материалы XIX Научно-практической конференции по вопросам борьбы с пожарами: «Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений», г. Балашиха, ВНИИПО 1-2 ноября 2005г. Часть 1. М.: ВНИИПО. 2005. с. 128-129.
8. Кривачев И.Т. Противопожарные мероприятия при сушке и очистке хлопка-сырца. - М.: Минкоммунхоз. 1960. 136 с.
9. Кельберт Д.Л. Предупреждение пожаров в хлопкоочистительной промышленности. М.: Легкая индустрия. 1973. 158 с.
10. Таубкин С.И., Таубкин И.С. Пожаро- и взрывоопасность пылевидных материалов и технологических процессов их переработки. М.: Химия. 1976. 264 с.
11. Трисвятский Л.А. Хранение зерна. М.: Агропромиздат. 1986. 352 с.
12. Горшков В.И., Корольченко И.А. Способ расчета времени индукции при очаговом самовозгорании материалов. Части 1 и 2 // Пожарная безопасность, 2009, № 3-4.
13. Справочник по специальным функциям. Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган. М., Наука, 1979, 832 с.
14. Зверев С.В., Зверева Н.С. Физические свойства зерна и продуктов его переработки. М.: ДеЛи принт. 2007. 176 с.

Способ расчёта времени до самовозгорания отложения веществ при несимметричном теплообмене с окружающей средой

Оськина Т.А., д.т.н. Корольченко И.А.
Университет машиностроения

Аннотация. Разработана методика, позволяющая рассчитывать период индукции теплового самовозгорания отложений при несимметричном теплообмене. С помощью неё можно определить пожароопасные и пожаробезопасные толщины отложений на поверхности различного технологического оборудования, время

достижения самовозгорания отложений в заданных условиях.

Ключевые слова: *тепловое самовозгорание, несимметричный теплообмен*

Большинство зданий оснащено общеобменной вентиляцией, в помещениях лабораторий и производственных участков функционирует система удаления вредных выбросов на рабочих местах (местных отсосов). Кроме того, некоторые помещения (например, котельной) могут оснащаться аварийной вентиляцией для удаления внезапных выбросов газов и паров в рабочее пространство. В процессе работы вентиляционных систем на внутренней поверхности трубопроводов накапливаются отложения удаляемых по ним веществ (в результате осаждения или конденсации). Образуется скопление горючих веществ, которое из-за самовозгорания отложений, попадания в трубу искр, нагретых частиц и т. п. может загореться. Замечено такое загорание может быть не сразу. Возгорание отложений, накапливающихся в процессе длительного функционирования вентиляционных систем (общеобменных, местных отсосов лабораторий и т. п.), опасно ещё возможностью быстрого распространения горения к соседним участкам зданий. Подобные пожары могут развиваться в результате самовозгорания отложений, образующихся на внутренней поверхности воздухопроводов.

Кроме того, задача о несимметричном теплообмене (наличие разницы температур противоположащих поверхностей слоя) возникает также при изучении других случаев самовозгорания отложений на горячих поверхностях оборудования или в прогретой технологической среде. Статистика пожаров в вентиляционных системах и на поверхности оборудования промышленных предприятий насчитывает множество инцидентов по всему миру, что издавна вызывало интерес специалистов к разработке способов определения профилактических мероприятий [1-3].

Температура транспортируемой по трубам среды часто оказывается существенно выше температуры воздуха в помещении с трассировкой воздухопроводов. В этих условиях температуры противоположащих поверхностей отложений различны и теплообмен накопившегося слоя с окружающей средой несимметричен. Решение задачи определения критических параметров для самовозгорания пластины и способы расчета условий самовозгорания отложений на поверхности различного оборудования при несимметричном теплообмене слоя материала описаны в работах [2, 4]. Апробация новых методов расчёта для обоснования профилактических мероприятий по предотвращению самовозгорания конденсированных отложений в воздухопроводах проводилась авторами [5, 6]. Один из последних результатов в изучении рассматриваемого явления – метод расчёта периода индукции самовозгорания отложений при несимметричном теплообмене на основании приближённого решения задачи в нестационарной постановке [7].

В данной работе рассматривается задача определения индукционного периода при самовозгорании отложения на нагретой поверхности (с учетом его несимметричного теплообмена с окружающей средой). Задача решается в нестационарной постановке, и предполагается, что начальная температура нагрева поверхности T_n выше критической $T_{кр}$ (соответствует критическому значению параметра Франк-Каменецкого).

Если задать текущую безразмерную температуру для надкритической области $\theta < 0$, то в предположении Аррениусовской кинетики и реакции нулевого порядка задача для ньютоновского охлаждения пластины с внутренними источниками тепловыделения может быть представлена в виде следующей системы уравнений:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{1}{\delta} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} - e^{-\theta}, \quad (1)$$

$$\text{при } \tau = 0; \theta = \theta_n + \theta_0; \xi = 0; \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = 0, \quad (2)$$

$$\xi = \xi_{\max}; \quad \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = 0; \quad \theta = \theta^*, \quad (3)$$

$$\xi = 2; \quad \frac{\partial \theta}{\partial \xi} = \text{Bi}(\theta_0 - \theta), \quad (4)$$

где: $\theta = \frac{E}{RT_{\text{кр}}^2}(T_{\text{кр}} - T)$ – текущая безразмерная температура; (5)

$$\theta_{\text{н}} = \frac{E}{RT_{\text{кр}}^2}(T_{\text{г}} - T_{\text{кр}}) \text{ – начальный перегрев горячей поверхности;} \quad (6)$$

$$\theta_0 = \frac{E}{RT_{\text{кр}}^2}(T_{\text{кр}} - T_0) \text{ – критический перепад температур для данного отложения;} \quad (7)$$

$$\tau = \frac{QE k_0 e^{-\frac{E}{RT_{\text{г}}}}}{cRT_{\text{г}}^2} t \text{ – безразмерное время;} \quad (8)$$

$$\delta = \frac{QE k_0 \rho r^2 e^{-\frac{E}{RT_{\text{г}}}}}{\lambda RT_{\text{г}}^2} \text{ – параметр Франк-Каменецкого;} \quad (9)$$

T – текущая температура; T_0 – температура окружающей среды; R – универсальная га-

зовая постоянная; $\text{Bi} = \frac{\alpha \cdot r}{\lambda}$ – критерий Био; α – коэффициент теплоотдачи; r – ха-

рактеристический размер отложения (половина толщины); c, λ – соответственно теплоемкость и коэффициент теплопроводности материала; ρ – насыпная плотность материала; E – энергия активации процесса термоокисления; Q – тепловой эффект процесса термоокисления; k_0 – константа скорости реакции; t – время; ξ_{\max} – координата максимума профиля распределения температур в слое; θ^* – максимальная температура в слое.

Считаем ξ_{\max} неизменяемой в течение процесса. Значение ξ_{\max} определяется по выражению (10) с учетом обозначения $\theta_0 = \frac{E}{RT_{\text{г}}^2}(T_{\text{г}} - T_0)$, принятого при получении решений стационарной задачи [4].

$$\xi_{\max} = \sqrt{2/a\delta} \cdot \text{arch}\sqrt{a}. \quad (10)$$

Вследствие нелинейности уравнения (1) задача в сформулированном виде не имеет аналитического решения, поэтому необходимо использовать приближенные методы. Степень допустимой при этом ошибки может быть определена впоследствии сравнением полученного решения с экспериментальными данными. Используя метод интегрального теплового баланса [8], принимаем, что распределение температуры в очаге может быть описано полиномом второй степени:

$$\theta = A + B \cdot \xi + C \cdot \xi^2, \quad (11)$$

где коэффициенты полинома являются функциями только времени и должны быть определены из граничных условий.

Из начального условия (2) следует:

$$\theta = A = \theta_{\text{н}} + \theta_0. \quad (12)$$

Из условия (3) получаем:

$$B = -2C \xi_{\max}. \quad (13)$$

Для температуры записываем:

$$\theta = \theta_n + \theta_0 - 2C\xi_{\max}\xi + C\xi^2. \quad (14)$$

При $\xi = \xi_{\max}$ с учетом (3) можно записать:

$$\theta = \theta_* = \theta_n + \theta_0 - C\xi_{\max}^2. \quad (15)$$

Или с учетом (14):

$$\theta - \theta_* = C(\xi^2 - 2\xi_{\max}\xi + \xi_{\max}^2) = C(\xi - \xi_{\max})^2. \quad (16)$$

Вводя обозначение $\xi^* \equiv \xi - \xi_{\max}$, получаем:

$$\theta = \theta_* + C\xi^{*2}. \quad (17)$$

Используя условие (4), приходим к соотношениям:

$$\frac{\partial\theta}{\partial\xi} = 2C\xi^* = 2C(2 - \xi_{\max}) = \text{Bi}(\theta_0 - \theta_* - C(2 - \xi_{\max})^2). \quad (18)$$

Откуда:

$$C = \frac{\text{Bi}(\theta_0 - \theta_*)}{(2 - \xi_{\max}) \cdot (2 + 2\text{Bi} - \text{Bi}\xi_{\max})}. \quad (19)$$

Вводим обозначение:

$$n = \frac{\text{Bi}}{(2 - \xi_{\max}) \cdot (2 + 2\text{Bi} - \text{Bi}\xi_{\max})}, \quad (20)$$

и переписываем:

$$C = n(\theta_0 - \theta_*). \quad (21)$$

Подставляя (21) в (17), получим выражение для распределения температуры в тепловом очаге:

$$\theta = \theta_* + n(\theta_0 - \theta_*)\xi^{*2}. \quad (22)$$

Умножим все члены уравнения (1) на $d\xi$ и проинтегрируем от 0 до 2.

$$\int_0^2 \frac{\partial\theta}{\partial\tau} d\xi = \int_0^2 \frac{1}{\delta} \frac{\partial^2\theta}{\partial\xi^2} d\xi - \int_0^2 e^{-\theta} d\xi. \quad (23)$$

Так как мы приняли $\xi_{\max} \approx \text{const}$, $d\xi^* \approx d\xi$. Подставляя (22) в (23), последовательно находим для составляющих членов уравнения:

$$\int_0^2 \frac{\partial\theta}{\partial\tau} d\xi = \int_0^2 ((1 - n\xi^{*2}) \frac{\partial\theta_*}{\partial\tau}) d\xi^* = \frac{d\theta_*}{d\tau} \cdot (2 - 2n\xi_{\max}^2 + 4n\xi_{\max} - \frac{8n}{3}), \quad (24)$$

$$\int_0^2 \frac{1}{\delta} \frac{\partial^2\theta}{\partial\xi^2} d\xi = \frac{1}{\delta} \int_0^2 (2n(\theta_0 - \theta_*)) d\xi^* = \frac{2n(\theta_0 - \theta_*)}{\delta} (2 - \xi_{\max} + \xi_{\max}) = \frac{4n(\theta_0 - \theta_*)}{\delta}. \quad (25)$$

Для последнего члена соотношения (23) с помощью программы Mathematica8 получаем

$$-\int_0^2 e^{-\theta} d\xi = -e^{-\theta_*} \int_0^2 e^{-n(\theta_0 - \theta_*)\xi^{*2}} d\xi^* = e^{-\theta_*} \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{n(\theta_0 - \theta_*)}} \cdot (\text{erf}[\sqrt{n(\theta_0 - \theta_*)}(\xi_{\max} - 2)] - \text{erf}[\sqrt{n(\theta_0 - \theta_*)} \cdot \xi_{\max}]), \quad (26)$$

где: $\text{erf}[\sqrt{n(\theta_0 - \theta_*)}(\xi_{\max} - 2)] = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\sqrt{n(\theta_0 - \theta_*)}(\xi_{\max} - 2)} e^{-x^2} dx$ – интеграл вероятности Гаусса [9].

Для $n(\theta_0 - \theta_*) \gg 1$ рассматриваемый интеграл вероятности практически равен -1. При $(\theta_0 - \theta_*) \gg 1$ (характеризует условия самовозгорания отложений на поверхности оборудования) $\xi_{\max} \rightarrow 0$. В этом случае $\text{erf}[\sqrt{n(\theta_0 - \theta_*)} \cdot \xi_{\max}] \approx 0$. Следовательно (26) можно записать в виде:

$$-\int_0^2 e^{-\theta} d\xi \approx -e^{-\theta_*} \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{n(\theta_0 - \theta_*)}}. \quad (27)$$

Дифференциальное уравнение для изменения температуры внутри отложения получим, подставив в (23) соотношения (24), (25) и (27):

$$\frac{d\theta_*}{d\tau} \cdot (2 - 2n\xi_{\max}^2 + 4n\xi_{\max} - \frac{8n}{3}) = \frac{4n(\theta_0 - \theta_*)}{\delta} - e^{-\theta_*} \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{n(\theta_0 - \theta_*)}}, \quad (28)$$

или

$$\frac{d\theta_*}{d\tau} = \frac{\mu(\theta_0 - \theta_*)^{1,5} - v e^{-\theta_*}}{\chi\sqrt{\theta_0 - \theta_*}}, \quad (29)$$

где: $\mu = \frac{2n}{\delta}$ (30); $v = \sqrt{\frac{\pi}{16n}}$ (31);

$$\chi = 1 - n\xi_{\max}^2 + 2n\xi_{\max} - \frac{4n}{3} \quad (32).$$

Уравнение (29) является обыкновенным дифференциальным уравнением с разделенными переменными и может быть преобразовано к интегралу

$$\tau = \int \frac{\chi\sqrt{(\theta_0 - \theta_*)} d\theta_*}{\mu(\theta_0 - \theta_*)^{1,5} - v e^{-\theta_*}}. \quad (33)$$

Интеграл (33) может быть определен численно, если задать пределы изменения величин температуры в слое.

Экспериментальное изучение условий самовозгорания отложений материалов на нагретой поверхности выполнено в работе [10]. Основные результаты экспериментальной оценки периода индукции процесса приводятся в таблице 1, они использованы при интерполяции интеграла (33) приближенной зависимостью. Для удобства использования искомой расчетной формулы анализируется зависимость периода индукции от начальных условий задачи. Вводим дополнительное обозначение:

$$\theta^* = \theta_0 + \theta_H. \quad (34)$$

θ^* в течение периода индукции является отправной точкой роста максимума безразмерной температуры в отложении $\theta_* = \theta_0 - \theta$. В диапазоне изменения величин θ^* от 10 до 14 и δ от 9 до 400 экспериментальные значения периода индукции самовозгорания отложений на нагретой поверхности описываются с удовлетворительной погрешностью следующими выражениями:

- при критических значениях параметра Франк-Каменецкого $\delta_{кр} \leq 6,5$

$$\tau = \frac{A \cdot B \cdot \chi \cdot \sqrt{\theta^*}}{\mu \cdot (\theta^*)^{1,5} - 12500 \cdot v \cdot e^{-\theta^*}}, \quad (35)$$

где: $A = \frac{28,9 \cdot \delta_{кр}^{3,507} - 19172}{11,16 + \delta_{кр}^{3,507}}$; $B = \frac{0,486 \cdot \Delta^{-3,66} - 0,081}{0,054 + \Delta^{-3,66}}$;

$\Delta = \frac{\delta}{\delta_{кр}}$ - удаление от критических условий самовозгорания;

- при критических значениях параметра Франк-Каменецкого $\delta_{кр} > 6,5$

$$\tau = \frac{A \cdot C \cdot \chi \cdot \sqrt{\theta^*}}{\mu \cdot (\theta^*)^{1,5} - 12500 \cdot v \cdot e^{-\theta^*}}, \quad (36)$$

где: $C = \delta^{0,33} \cdot \Delta^{0,1}$.

Расчет величин a (в выражении (10)), $\delta_{кр}$ и Bi выполняется согласно методике [11]. Размерное время определяется из соотношения (8) по формуле

$$t = \frac{\tau \cdot c \cdot R \cdot T_r^2}{Q \cdot k_0 \cdot E} \cdot e^{\frac{E}{RT_r}} \quad (37)$$

Необходимые для выполнения расчетов параметры, характеризующие свойства материалов, приняты по данным работы [10] и приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Свойства использованных материалов

Материал	c , Дж/(кг К)	λ , Вт/(м К)	ρ , кг/м ³	E , Дж/моль	Qk_0/λ , м К/кг
Ржаная мука	1091	0,142	700	98000	$8,46 \cdot 10^{10}$
Костная мука	797	0,0568	810	122000	$4,35 \cdot 10^{12}$

Использование формул (35)-(37) приводит к погрешности оценки периода индукции не более 22,1 % при усредненном отклонении 6,3 % (см. таблицу 2, рисунки 1 и 2).

Таблица 2

Сравнение экспериментальных и расчетных значений периода индукции самовозгорания отложений на нагретой поверхности

Материал	Толщина слоя h , м	$\delta_{кр}$	T_r , К	θ^*	δ	Bi	Период индукции t , с		Ошибка, %
							эксперимент	расчет	
Мука ржаная	0,01	5,21	790	10,097	9,220	0,503	5630	5574	0,99
		3	805	10,404	11,727	0,504	4418	4421	0,07
		815	10,610	13,694	0,505	4250	4242	0,19	
		852	11,369	23,486	0,509	2900	2899	0,03	
	0,02	8,48	777	11,172	29,701	0,884	12060	11836	1,86
		6	800	11,709	43,342	0,888	9560	9506	0,56
		813	12,012	53,120	0,890	8343	8488	1,74	
		813	12,012	53,120	0,890	8130	8488	4,4	
	0,03	10,5	711	10,424	19,511	1,222	35775	38911	8,77
		37	718	10,600	22,490	1,224	30400	35028	15,22
		729	10,878	27,951	1,227	25000	30524	22,1	
	0,04	11,9	710	11,018	33,981	1,553	46002	46357	0,77
41		720	11,286	41,616	1,556	42865	42232	1,48	
740		11,821	61,332	1,562	40055	35241	12,02		
Мука костная	0,01	6,95	899	12,578	130,352	0,513	3100	2846	8,19
		5	921	13,038	183,421	0,514	2337	2651	13,44
		928	13,185	203,735	0,515	2251	2553	13,42	
		959	13,834	318,063	0,518	2015	1851	8,11	

Погрешность оценки периода индукции по вышеприведенным формулам увеличивается для слоев толщиной 3 и 4 см при повышенных температурах нагреваемой поверхности (см. таблицу 2 и рисунок 2). Это может быть связано с отмеченным в выполненных авторами [10] экспериментах появлением трещин в отложениях за счет высушивания и интенсивной газификации продуктов термоокисления. Увеличение экспериментальных значений периода индукции в этих условиях связано, по-видимому, с интенсификацией отвода тепла из реакционной зоны.

В целом, сходимость результатов расчета и эксперимента можно признать удовлетворительной, что позволяет рекомендовать разработанный метод для практического использования.

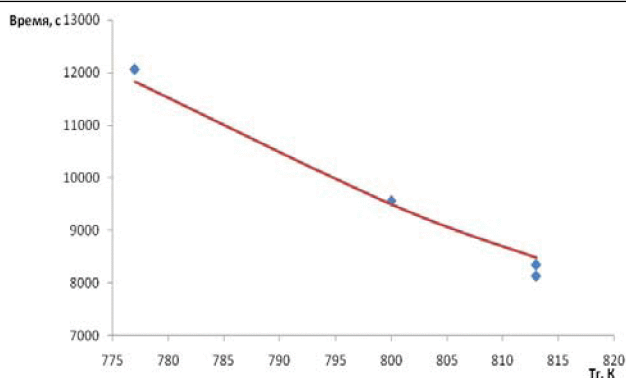


Рисунок 1 – Сравнение экспериментальных результатов оценки периода индукции самовозгорания отложения ржаной муки толщиной 2 см (точки) с расчетной кривой

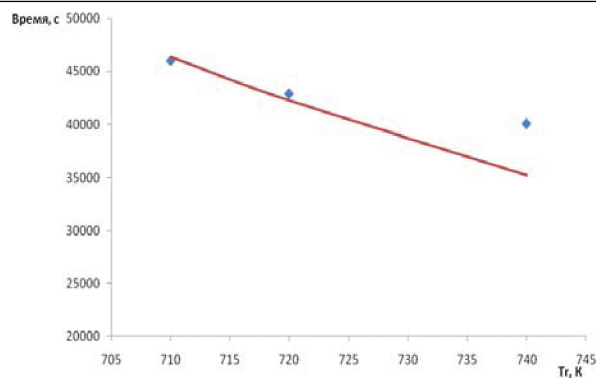


Рисунок 2 – Сравнение экспериментальных результатов оценки периода индукции самовозгорания отложения ржаной муки толщиной 4 см (точки) с расчетной кривой

Выводы

Получены выражения, позволяющие рассчитывать период индукции теплового самовозгорания отложений при несимметричном теплообмене. При этом отклонение расчетных и экспериментальных данных не превышает 22 %.

Данная методика рекомендуется для практического использования. К настоящему времени создан комплекс расчётных методов, с помощью которого можно определить пожароопасные и пожаробезопасные толщины отложений на поверхности различного технологического оборудования, время достижения самовозгорания отложений в заданных условиях.

Литература

1. Вогман Л.П., Михайлов Д.С., Вилитенко А.Г., Ерофейчев Е.И. Пожарная опасность отложений в воздуховодах вентиляционных систем // Лакокрасочные материалы и их применение, 1980, № 2, с. 63-64.
2. Bowes P. C. Self-heating: evaluating and controlling the hazards. London, 1984, 500p.
3. Петров А.П. Пожарная безопасность технологического оборудования с горючими отложениями: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: ВИПТШ, 1994. – 275 с.
4. Корольченко И.А. Тепловое самовозгорание насыпей и отложений твердых дисперсных материалов: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: ВНИИПО, 2007. – 472 с.
5. Корольченко И.А., Горшков В.И., Соколов Д.Н., Казаков А.В., Ларченко Д.Ю. Условия теплового самовозгорания отложений материалов // Материалы XIII Симпозиума по горению и взрыву РАН, г. Черноголовка 7-11 февраля 2005 г. Черноголовка: 2005. с. 91.
6. Горшков В.И., Вогман Л.П., Корольченко И.А., Шмурнов П.А. Определение условий самовозгорания отложений в воздуховодах вентиляционных систем // Пожарная безопасность. 2009, № 3. с. 90-95.
7. Корольченко И.А. Определение периода индукции самовозгорания отложения при несимметричном теплообмене с окружающей средой // Пожарная безопасность. 2010, № 4. с. 77-82.
8. Гудмен Т. Применение интегральных методов в нелинейных задачах нестационарного теплообмена. В кн.: Проблемы теплообмена. М.: Атомиздат. 1967. с. 41-96.
9. Справочник по специальным функциям. Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган. М., Наука, 1979, 832 с.
10. Соколов Д.Н. Самовозгорание материалов при симметричном и несимметричном теплообмене с окружающей средой: Диссертация на соискание ученой степени кандидата тех-

нических наук. М.: ВНИИПО, 2010. 356 с.

11. Методика определения условий теплового самовозгорания веществ и материалов. М.: ВНИИПО. 2004. 65 с.

Совершенствование и автоматизация подготовки проб компонентов природной среды к химическому анализу при возникновении чрезвычайной ситуации

д.т.н. проф. Латышенко К.П., к.т.н. Миронов А.А., Цикунов В.С.

*Университет машиностроения
kplat@mail.ru, тел. 8-499-267-07-46*

Аннотация. В современных методиках количественного анализа загрязнителей широко применяют инструментальные методы предварительной подготовки проб к анализу, такие, как процедуры гомогенизации, экстракции, разделения и др. Представляется перспективным использование универсального алгоритма проведения подготовки проб компонентов природной среды для определения опасных химических веществ. Перспективным направлением повышения стабильности и скорости выполнения этапа подготовки проб является автоматизация этого процесса. Для использования в химических лабораториях создан комплект устройств подготовки проб, состоящий из унифицированных центробежных аппаратов и концентратора-выпаривателя. Следует учитывать возможность их размещения в мобильной лаборатории.

Ключевые слова: Универсальный алгоритм, подготовка проб, компоненты природной среды, опасные химические вещества, автоматизация, отбор проб, скрининг, экспресс-методы, фильтрование.

Для расширения перечня определяемых опасных химических веществ в компонентах природной среды, увеличения специфичности количественного химического анализа в настоящее время предлагается использование перспективных средств, принцип работы которых основан на физико-химических методах анализа (ФХМА) (например, спектрометрии ионной подвижности, масс-спектрометрии, высокоскоростной газовой хроматографии и др.).

Основная задача анализа проб на содержание в них загрязнителей состоит в обнаружении этих веществ, подтверждении их идентичности и измерении концентрации. В лаборатории часто поступают пробы, содержание загрязнителей в которых не превышает 10^{-2} - 10^{-3} мг/дм³ (мг/кг) [1]. Чувствительность прямых методов анализа оказывается, как правило, недостаточной и для получения достоверных результатов должна быть повышена на 2 - 3 десятичных порядка. Кроме того, прямой метод анализа не применим при определении следовых количеств загрязнителей, так как они зачастую имеют близкие аналитические признаки с неопределяемыми компонентами пробы. В этих условиях для точного определения требуется отделение матрицы, выделение определяемого вещества или разделение веществ, что вызывает необходимость проведения подготовительных операций.

В современных методиках количественного анализа загрязнителей широко применяют инструментальные методы предварительной подготовки проб к анализу, такие, как процедуры размельчения, гомогенизации, экстракции, разделения и др.

Самой трудоёмкой является процедура выделения определяемого компонента, в которой широко используют методы разделения: физические (фильтрование, декантирование, отстаивание), химические (соосаждение, перевод в другое валентное состояние) и физико-химические (хроматография, экстракция, электрофорез, диализ и др.).

Процедура подготовки проб для лабораторного исследования предполагает проведение операций перевода содержащихся в пробе веществ в удобную для анализа форму. Основными способами извлечения химических веществ из анализируемой пробы являются жидкост-