

УДК 502.3

С. Н. КОЛДАЕВА, кандидат технических наук, В. С. ДЕЦУК, кандидат химических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ОЧИСТКА ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ОТ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ПРИМЕСЕЙ МЕТОДОМ ПАРЦИАЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ

Представлено обоснование возможности использования метода парциальной конденсации высокомолекулярных примесей из газовой смеси, отводимой от участка трафаретной печати виниловых обоев в качестве альтернативы методу дожига органической фракции смеси. Определены теплофизические параметры газовой смеси после частичного подмешивания в поток, удаляемой от участков сушки, воздуха из помещения цеха. Установлен перечень компонентов, которые могут быть сконденсированы в водо-воздушном конденсаторе. Определена достижимая глубина очистки выброса.

Основанием для проведения исследований послужила необходимость доочистки выбросов, образующихся при производстве виниловых обоев на участке трафаретной печати филиала «Гомельобои» ОАО «ЦБК-Консалт». Применявшаяся ранее система очистки методом дожига по отдельным компонентам выброса не обеспечивала снижения концентраций до ПДК. Кроме того, по ряду компонентов требовалось дополнительное снижение концентраций, поскольку территория УП «Гомельобои» примыкает к жилой зоне плотной застройки Новобелицкого района г. Гомеля, и летучие компоненты с характерным запахом доставляли неудобства жителям близлежащих территорий.

Низкие концентрации органических примесей в удаляемой газовой смеси обуславливал высокий расход природного газа в системе дожига – до 70 м<sup>3</sup>/мес. Поскольку теплота дожига не использовалась в технологическом процессе, процедура дожига являлась предельно энергозатратной. Сжигание больших объемов природного газа повышало концентрацию оксидов азота и диоксида углерода в удаляемой газовой смеси.

Наблюдаемая в воздуховодах системы вытяжной вентиляции от обоепечатных машин № 9, 10 участка трафаретной печати самопроизвольная конденсация углеводородов определила направление первого этапа исследований. Как известно, самопроизвольная конденсация может быть применена для обработки систем, содержащих пары веществ при температурах, достаточных близких к их точке росы при атмосферном давлении.

Цель исследований – определение возможности снижения концентрации высокомолекулярных примесей до ПДК либо до порога чувствительности методом конденсации при охлаждении газовой смеси в водо-воздушном теплообменнике.

В качестве исходных данных был принят предоставленный предприятием перечень выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ (ЗВ). Указанный перечень содержит 19 наименований ЗВ, представленных как результатами замеров, так и расчетными данными. Для ряда компонентов сведения (в том числе расчетные) предоставлены не по концентрации, мг/м<sup>3</sup>, а по расходу мг/с либо т/год. Поскольку конечный результат очистки определяется концентрацией загрязняющих веществ в выбросе, потребовалось определение адекватной методики оценки стартовой концентрации по имеющемуся расходу.

Процесс парциальной конденсации компонента газовой смеси представляет собой охлаждение смеси до температуры «точки росы», при которой парциальное давление компонента станет равным давлению его насыщенного пара. Дальнейший отвод теплоты сопровождается конденсацией рассматриваемого компонента, снижением его концентрации в газовой смеси и соответствующим снижением парциального давления, приводящим к смещению «точки росы» в область более низких температур. Таким образом, даже при постоянном атмосферном давлении нельзя выделить определенную температуру конденсации компонента смеси. Можно определить температурный диапазон, при котором возможна конденсация от исходной до требуемой концентрации. В присутствии нескольких компонентов расчет улавливания осуществляется по компоненту, имеющему наиболее низкий температурный диапазон.

Для определения режимов возможной конденсации компонентов смеси все загрязняющие вещества фракционировали по температурным диапазонам конденсации. В соответствии с техническими возможностями охлаждения газовой смеси компоненты фракционировали по трем температурным диапазонам: при  $t_{\text{конд}} \geq 15 \text{ }^\circ\text{C}$ , в интервале температур  $5 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_{\text{конд}} \leq 15 \text{ }^\circ\text{C}$  и при  $t_{\text{конд}} \leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Охлаждение до температур конденсации компонентов, относящихся к 1-й группе, может быть обеспечено в водо-воздушном теплообменнике с использованием сетевой водопроводной воды. Для охлаждения компонентов 2-й группы потребуется предварительное охлаждение сетевой воды до температур 2–4 °С. Компоненты 3-й группы могут быть охлаждены до температуры конденсации низкотемпературными хладагентами.

Анализ справочных и литературных данных показал, что в обрабатываемой газо-воздушной смеси вещества, конденсирующиеся в интервале температур  $5 \text{ }^\circ\text{C} \leq t \leq 15 \text{ }^\circ\text{C}$ , отсутствуют. Установленные диапазоны конденсации высокомолекулярных компонентов, конденсирующихся при  $t \geq 15 \text{ }^\circ\text{C}$  при атмосферном давлении, позволяют предположить возможность конденсации последних при тех парциальных давлениях, которые они имеют в составе газовой смеси. Анализ физико-химических характеристик веществ, конденсирующихся при  $t \leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , показывает, что все летучие компоненты смеси при атмосферном давлении имеют диапазон конденса-

ции в области отрицательных температур, причем аммиак, диоксид азота и окись углерода – в области криогенных температур.

Для проведения теплотехнических расчетов требовалось определить начальные концентрации загрязняющих веществ, которые не были определены в ходе инвентаризации выбросов, а также конечные концентрации, до которых требовалось провести конденсацию. Начальные концентрации необходимо было определить с учетом процесса подмешивания в систему вытяжной вентиляции воздуха из помещения цеха. В качестве конечной концентрации использовали либо ПДК загрязняющих веществ, либо их пороги чувствительности, если последние оказывались ниже ПДК.

**Расчет изменения параметров паровоздушной смеси в процессе смешения потоков.** Конструктивное исполнение воздуховодов таково, что паровоздушная смесь от участков сушки, удаляемая вытяжным вентилятором, частично захватывает воздух из помещения цеха. При этом происходит частичное разбавление паровоздушной смеси и снижение концентрации в ней загрязняющих веществ. Расчет степени снижения концентрации ЗВ вследствие разбавления паровоздушной смеси проводили с учетом следующих допущений (оправданных для большинства технических задач):

- воздуховоды расположены горизонтально, тем самым изменением потенциальной энергией можно пренебречь;

- скорости перемещения газа относительно малы, т. е. изменением кинетической энергией также пренебрегаем.

Тогда согласно первому началу термодинамики для адиабатного потока (теплоизолированная труба) при вышеперечисленных условиях с учетом уравнений ма-

териального и теплового баланса для температуры газозвушной смеси на выходе из цеха получаем

$$T = \frac{c_{p1}G_1T_1 + c_{p2}G_2T_2}{c_{p1}G_1 + c_{p2}G_2} = \frac{c_{p1}g_1T_1 + c_{p2}g_2T_2}{c_{p1}g_1 + c_{p2}g_2}. \quad (1)$$

В случае смешения двух потоков одного газа (процентное соотношение примесей позволяет для теплотехнических расчетов рассматривать паровоздушную смесь как воздух) формула для температуры смеси упрощается:

$$T = \frac{G_1T_1 + G_2T_2}{G_1 + G_2} = g_1T_1 + g_2T_2. \quad (2)$$

Из формулы (2) и условия нормирования массовых долей получаем

$$(273 + 160) = (200 + 273)g_1 + (20 + 273)g_2; \\ g_1 + g_2 = 1.$$

Учитывая, что в смешивающихся потоках содержится преимущественно воздух (массовые доли примесей не превышают 0,3 %), получаем  $g_2 = 0,20$ , т. е. вытяжной воздух с примесями из туннеля разбавляется чистым воздухом из помещения цеха в соотношении 4:1. При этом концентрации примесей в удаляемой смеси пропорционально понижаются.

Результаты расчетов и справочные данные для загрязняющих веществ, конденсирующихся при  $t \geq 15^\circ\text{C}$  приведены в таблице 1. Серым цветом выделены вещества, содержание которых в устье выброса превышает ПДК. Для компонентов, обладающих одорирующим эффектом, в таблице 1 приведены пороги чувствительности.

Таблица 1 – Концентрации и пороги чувствительности загрязняющих веществ, конденсирующихся при  $t \geq 15^\circ\text{C}$

Загрязняющее вещество	ПДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Порог чувствительности, мг/м <sup>3</sup>	Концентрация от источника выделения ЗВ до очистки (ОПМ), мг/м <sup>3</sup>		Концентрация расчетная после смешения, мг/м <sup>3</sup>
			средняя	максимальная	
Этилацетат (винилацетат, уксусной кислоты виниловый эфир)	0,1	0,0004* (0,12 ppm)	Меньше предела чувствительности методики		
Гидрохлорид (водород хлорид, соляная кислота)	0,2	0,015	3,3	3,4	2,43
Пропан-2-ол (изопропиловый спирт)	0,6	0,054* (22 ppm)	14,7	16,3	11,22
Бутан-1-ол (бутиловый спирт)	0,1	0,001	Меньше предела чувствительности методики		
2-(Диметиламино)этанол (N,N-димилэтаноламин)	0,25	2,5	0,76	0,9	0,61
(Хлорметил)оксиран (1-хлор-2,3эпоксипропан, эпихлоргидрин)	0,2	625	0,05		0,024
2-Этилгексанол (изооктиловый спирт)	0,15	0,265* (50 ppm)		0,9	0,61
Диизононилфталат (ДИНФ)	1		1900,90		1520,7
n-парафин фракции C10-C13	1		1082,79		866,2
Диоктилфталат (1,2-бензилдикарбоновой кислоты диоктиловый спирт)	0,5	2,0–2,3	0,03		0,016
Дибутилфталат (фталевой кислоты дибутиловый спирт)	0,5	0,26	0,03		0,016

\* Расчетный от ppm.

**Определение теплофизических параметров паровоздушной смеси.** Как было сказано ранее, температу-

ра конденсации является функцией давления, в случае парциальной конденсации компонентов газовой смеси –



ний. В результате экстраполяции получены следующие результаты.

1 Для парафинов фракции  $C_{10} - C_{13}$  при стартовой (после смешения) концентрации, равной  $866,23 \text{ мг/м}^3$  (соответственно  $P = 0,138 \text{ мм рт. ст.}$ ) конденсация возможна в области отрицательных температур.

2 Для диизоноилфталата температурный диапазон конденсации компонента до установленных экспертизой требуемых концентраций составляет  $90-150 \text{ }^\circ\text{C}$  и может быть обеспечен водяным охлаждением.

При охлаждении газо-воздушной смеси от  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  давление насыщенных паров диизоноилфталата снижается до  $0,0013 \text{ мм рт. ст.}$ , что соответствует концентрации  $24 \text{ мг/м}^3$ , т. е. расход в устье выброса должен составить  $113 \text{ мг/с}$ .

Конструкция конденсатора, установленного в системе ГОУ, обеспечила охлаждение отходящей газо-воздушной смеси до  $46 \text{ }^\circ\text{C}$ , т. е. еще более глубокую очистку выброса. Однако мониторинг работы газоочистной установки (ГОУ) показал, что теплообменник-конденсатор не обеспечивает заявленной глубины очистки газовой смеси. Вследствие высокой скорости газовой смеси конденсация ДИНФ сопровождается незначительным осаждением конденсата в теплообменнике наряду с образованием мелкодис-

перной аэрозоли, которая выносится в атмосферу. Для улавливания аэрозоли ДИНФ система газоочистки должна быть дополнительно оснащена коалесцентным фильтром.

В результате исследований установлено, что при охлаждении газо-воздушной смеси от  $160$  до  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  давление насыщенных паров диизоноилфталата снижается до  $0,0013 \text{ мм рт. ст.}$ , что соответствует концентрации  $24 \text{ мг/м}^3$  и расходу в устье выброса  $113 \text{ мг/с}$ . Для улавливания образовавшейся в результате конденсации аэрозоли ДИНФ система газоочистки должна дополнительно содержать коалесцентный фильтр.

#### Список литературы

- 1 Цветков, Ф. Ф. Задачник по теплообмену / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко. – 2-е изд., исправ. и доп. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 196 с.
- 2 Справочник химика / под ред. Б. П. Никольского [и др.]. – Л.: Химия. – 1971. – Т. 2. – 1168 с.
- 3 Филатова, Е. Ю. Расчет теплообменника для парциальной конденсации многокомпонентной паровой смеси / Е. Ю. Филатова, Е. Н. Туголуков, О. В. Ведишева // Вестник ТГУ. – 2006. – Т. 11. – Вып. 32. – С. 310–313.

Получено 14.05.2019

**S. N. Koldaeva, V. S. Detsuk.** Purification of the gas-air mixture from high-molecular impurities by the method of partial condensation.

The substantiation of the possibility of using the method of partial condensation of high-molecular impurities from the gas-air mixture discharged from the screen printing department of the Gomeloboi Unitary Enterprise as an alternative to the afterburning of the organic fraction of the mixture is presented. The thermophysical parameters of the gas-air mixture after partial mixing into the stream, which is removed from the drying areas, and the air from the workshop room are determined. A list of components that can be condensed in a water / air condenser is installed. The achievable depth of clearance cleaning has been determined.