

**Особенности расчета ПДК загрязняющих веществ от сжигания
многокомпонентного топлива**

Хрусталеv Б. М.¹, Пехота А. Н.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь,

²Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Республика Беларусь

Рассмотрены вопросы расчетов основных контролируемых веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании твердого топлива. Дана оценка, на основе математического моделирования безразмерной концентрации, формированию выбросов азота оксидов с различными параметрами дымовой трубы, при сжигании многокомпонентного топлива в промышленной котельной.

Использование отходов производства, вторичного сырья и возобновляемых ресурсов для расширения гаммы местных видов топлива (МВТ) и повышение их удельного веса в энергобалансе является актуальной проблемой для многих стран, в том числе и нашей страны. При этом стоит учитывать, что не всегда получение, переработка и использование МВТ из отходов в виду различных причин экономически эффективны и экологически безопасны.

Осуществляя разработки перспективных технологий, по расширению гаммы использования различных горючих отходов, учитывались следующие основные направления: использование при производстве МВТ значительных объемов ранее накопленных углеводородсодержащих отходов и осадков сточных вод (ОСВ) очистных сооружений; создание твердого топлива на основе многокомпонентных составов; применение разработанного топлива в топливосжигающих установках, не требует значительных капитальных затрат на переоборудование; соответствие многокомпонентного топлива требованиям действующей нормативно-технической документации в области экологических и энергетических нормативов (ТКП 17.11-01-2009 и ТКП 17.08-01-2006 и т. п.).

При сжигании любого вида альтернативного топлива образуются выбросы, в виде газопылевидных веществ, подлежащие выводу (выбросу в атмосферу) за пределы оборудования, обеспечивающего термический процесс. В процессе горения топлива, наряду с выделением тепловой энергии, с отходящими газами выбрасывается ряд веществ, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду. Основные контролируемые вещества,

выбрасываемые в атмосферу объектами энергетического применения топлив и их характеристики представлены в табл. Воздействие на окружающую среду оказывают также и другие газы, поступающие в атмосферу вещества (пар, метан, хлор и т. п.), однако основное влияние оказывают соединения, представленные в табл.

Таблица

Основные вещества, выбрасываемые в атмосферу энергетическими объектами

| Наименование | Характеристика |
|-----------------------------------|--|
| Диоксид серы (SO ₂) | Оказывает воздействие на окисление, разрушает материалы и вредно воздействует на здоровье человека (раздражает слизистую оболочку дыхательных путей). Используется для получения ряда химикатов и для консервирования фруктов. |
| Оксид азота (NO _x) | Оказывает вредное воздействие на здоровье человека и способствует образованию парникового эффекта и разрушению озонового слоя. Вызывает «вымирание лесов», «кислотные дожди». |
| Моноксид углерода (CO) | Выделяется в результате неполного сгорания топлива. Взаимодействует с другими веществами и оказывает разнообразное вредное воздействие (угарный газ). |
| Углекислый газ (CO ₂) | Образование CO ₂ – необходимое условие процесса горения. Однако экологические законы и принятые международные соглашения ограничивают уровень выбросов CO ₂ , так как считается, что он способствует созданию парникового эффекта. Применяется в пищевой и холодильной промышленности. |
| Твердые частицы | Включают сажу и другие несгоревшие материалы. Переносят тяжелые металлы и углеводороды. Могут являться источником выбросов в атмосферу радионуклидов. |

Методика расчета трех компонентного состава (древесные опилки, осадок сточных вод, донные отложения мазутных резервуаров) твердого топлива, предлагается осуществлять следующим образом [1–3]. Зная расчетную нагрузку котла, на котором планируется производить использование многокомпонентного топлива, КПД котла (η_k), количество компонентов в топливе ($k = 3$), а также их долевое соотношение ($x_1 + x_2 + x_3$) и низшую рабочую теплоту сгорания каждого компонента ($Q_1 + Q_2 + Q_3$), определяем следующим образом

$$Q(x_1, x_2) = Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3,$$

$$Q_i = Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3,$$

$$N = \frac{1}{100} \cdot (Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3) \cdot B \cdot \eta_k \cdot$$

Определяем расчетный расход ТТМ при максимальной нагрузке котла, кг/с:

$$B = \frac{100 \cdot N}{Q_t \cdot \eta_k},$$

$$\frac{1}{100} \cdot Q_1 \cdot x_1 \cdot B \cdot \eta_k + \frac{1}{100} \cdot Q_2 \cdot x_2 \cdot B \cdot \eta_k + \frac{1}{100} \cdot Q_3 \cdot x_3 \cdot B \cdot \eta_k,$$

$$B = \frac{100 \cdot N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \cdot \eta_k},$$

по формуле расчета максимального количества оксидов азота при сгорании опилок, г/с:

$$M_{1,NOx} = \left(1 - \frac{q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \eta_k} x_1 Q_1 \times$$

$$\times \left[10^{-3} H_{1,T} K_{1,T} \alpha_T \sqrt{\left(\frac{1 - q_{41}}{100}\right) \frac{100N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \eta_k} x_1 Q_1^3}\right] \beta_p,$$

по формуле расчета максимального количества азота оксидов при сгорании осадка сточных вод, г/с:

$$M_{2,NOx} = \left(1 - \frac{q_{42}}{100}\right) (1 - (x_1 + x_3)) \frac{100N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \eta_k} Q_2 \times$$

$$\times \left[10^{-3} H_{2,T} K_{2,T} \alpha_T \sqrt{\frac{100N}{[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))] \eta_k} (1 - (x_1 + x_3)) Q_2^3}\right] \beta_p,$$

по формуле расчета максимального количества азота оксидов при сгорании донных отложений мазутных резервуаров, г/с:

$$M_{3,NOx} = \left(1 - \frac{q_{43}}{100}\right) (1 - (x_1 + x_2)) \frac{100N}{\left[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))\right] \eta_k} Q_3 \times$$

$$\times \left[10^{-3} H_{3,T} K_{3,T} \alpha_T \sqrt{\frac{100N}{\left[Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot (1 - (x_1 + x_3)) + Q_3 \cdot (1 - (x_1 + x_2))\right] \eta_k} (1 - (x_1 + x_2)) Q_3^2} \right] \beta_p.$$

Получив значения максимального количества азота оксидов при сгорании, определяем безразмерную концентрацию q с учетом высоты трубы H по формуле

$$q_1 = \frac{AMFn^2\eta}{C_u H^2 \sqrt[3]{V\Delta T}}.$$

Произведя расчеты и моделирование безразмерной концентрации q только для NO_x , с различными параметрами высоты дымовой трубы, получен график представленный на рис. 1.

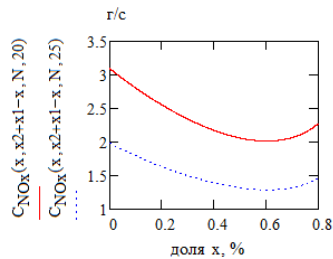


Рис. 1. Графические результаты моделирования безразмерной концентрацией q для выбросов NO_x с различной высотой дымовой трубы

Согласно моделирования компонентным составом и в соответствии с построенным графиком безразмерной концентрацией q для выбросов NO_x , определено, что при увеличении доли x в различных соотношениях между долями x_1 древесных опилок и доли x_2 осадка сточных вод, (с сохранением постоянной доли x_3 донных отложений мазутных резервуаров) за счет увеличения высоты дымовой трубы можно в значительной степени снижать содержание NO_x .

Также моделирование позволило определить значение минимума относительной концентрации C_{NOx} , которое достигается при следующем соотношении долей компонентного состава: доля древесных опилок $x_1 = 0,3$,

доля осадка сточных вод $x_2 = 0,6$, доля донных отложений мазутных резервуаров $x_3 = 0,1$ [4].

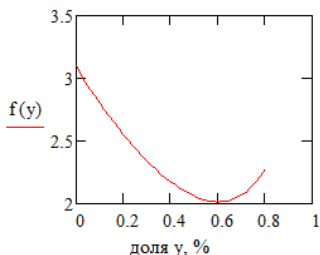


Рис. 2. Результаты определения минимума относительной концентрации C_{NOx} при соотношении $x_1 = 30\%$, $x_2 = 60\%$, $x_3 = 10\%$

Значения минимума относительной концентрации C_{NOx} , с учетом представленных выше соотношений долей компонентного состава, в графическом виде представлено на рис. 2.

Литература

1. Пехота, А. Н. Многокомпонентное твердое топливо: [монография] / А. Н. Пехота // М-во трансп. и коммуникац. Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2021. – 243 с.
2. Пехота, А. Н. Экологическая безопасность сжигания двухкомпонентного твердого топлива / А. Н. Пехота, Ю. А. Пшеничных // Трансграничное сотрудничество в области экологической безопасности и охраны окружающей среды: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / Гомельский обл. комитет природн. ресурсов и охраны окр. среды, М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2012. – С. 201–203.
3. Пехота, А. Н. Экологическая безопасность утилизации нефтесодержащих отходов / А. Н. Пехота, Ю. А. Пшеничных // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2012. – С. 240–241.
4. Пехота, А. Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота, Б. Н. Хрусталева, Минь Фап Ву, В. Н. Романюк, Е. А. Пехота, Р. Н. Вострова, Тху Нга Нгуен // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.