

Исследование содержания вредных веществ в продуктах сгорания водомазутных эмульсий

КОРЯГИН В. А., канд. техн. наук, ШЕВЕЛЕВ К. В., БАТУЕВ С. П., инженеры
Ленинградский инженерно-строительный институт

Значительное загрязнение воздушного бассейна выбросами от топливосжигающих установок обуславливает необходимость разработки и внедрения различных методов снижения уровня вредных веществ в продуктах сгорания. При использовании жидких высоковязких топлив (мазуты марок М.100 и М100В) достаточно широкое распространение получил способ их сжигания в виде водомазутных эмульсий [1]. Он позволяет не только интенсифицировать процесс горения за счет вторичного распыления топлива в топочном объеме, но и использовать в качестве водной добавки загрязненные мазутом сточные воды, а также сжигать обводненные мазуты без предварительного их обезвоживания.

Вопросу уменьшения вредных выбросов при сжигании водомазутных эмульсий посвящен ряд исследований [2, 3], в которых основное внимание уделяется влиянию влажности эмульсии на содержание вредных веществ (оксидов азота NO_x , сажистых частиц, канцерогенных полициклических ароматических углеводородов) в продуктах ее сгорания. Однако значительные расхождения в абсолютных значениях концентраций этих компонентов при одинаковой влажности эмульсии и близких условиях ее сжигания ставят под сомнение преобладающую роль влажности в интенсификации процесса горения за счет микровзрыва эмульгированной капли топлива.

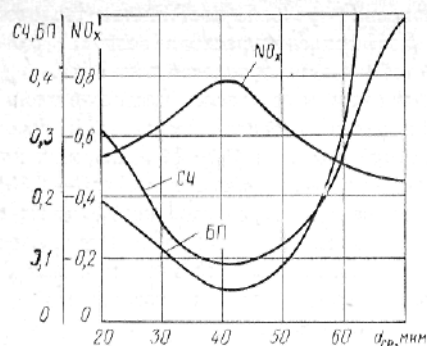
Действительно, в определенных пределах увеличение количества диспергированной в топливе воды приводит к заметному снижению среднего уровня выброса вредных веществ по сравнению со сжиганием неэмульгированного топлива. Физика данного процесса частично поясняется результатами исследований поведения капли эмульсии в подвижной газовой среде при нагревании [4, 5]. Установлено, что микровзрыв капли возникает уже при 100 - 110 °С, если в капле воды, находящейся в топливной оболочке, имеется хотя бы один готовый центр парообразования. По данным [5] вероятность его присутствия в капле воды диаметром 10 мкм составляет $10^{-7} - 10^{-5}$. Естественно, что с увеличением влажности эмульсии число готовых центров будет расти.

Вместе с тем исследованиями установлена неоднозначность поведения капли эмульсии одинаковой влажности, но с различной дисперсностью в нагретом газовом потоке. В диапазоне температур 270-300 °С микровзрыв капли наблюдался в том случае, когда размер капель воды в топливе был не менее 10-12 мкм при использовании в качестве топливной основы мазута марки М100. Это подтверждается работой [6], в которой установлено, что капли эмульсии с размером дисперсной фазы 3-5 мкм не взрывались, а лишь увеличивались в объеме. Таким образом, с увеличением влажности эмульсии

возрастает количество капель воды, размеры которых обуславливают эффект микровзрыва. Следовательно, можно предположить, что одним из основных факторов, влияющих на изменение уровня вредных выбросов при сжигании водотопливных эмульсий, являются их дисперсные характеристики.

Для проверки данного предположения были проведены экспериментальные исследования по сжиганию водомазутной эмульсии с различной дисперсностью в отопительных котлах ДКВР-20-13, ДКВР-4-13 и 2Е-1-9. Приготовление эмульсии на базе мазута марки М100 осуществляли с помощью установки, позволяющей регулировать размеры дисперсной фазы в диапазоне 0,5-150 мкм. Сжигание эмульсии производили при номинальных нагрузках котлов и коэффициентах избытка воздуха, близких к критическим. Эффективность сжигания определял по уровню концентрации NO_x , сажевых частиц (СЧ) и бенз(а) пирена (БП) в продуктах сгорания. Отбор и анализ проб исследуемых компонентов осуществляли по известным методикам [7-9]. Результаты исследований приведены в графическом виде на рисунке, показывающем динамику качественного изменения усредненных концентраций NO_x , СЧ и БП в продуктах сгорания водомазутной эмульсии влажностью 12% в зависимости от изменения размеров дисперсной фазы эмульсии в диапазоне $d_{cp} = 20 \div 70$ мкм. Значения усредненных концентраций этих компонентов продуктов сгорания неэмульгированного топлива (соответственно 250, 385 и 14×10^{-5} мг/м³) приняты за 100%.

Из рисунка видно, что кривая изменения концентрации СЧ имеет ярко выраженный минимум в диапазоне размеров дисперсной фазы эмульсии 35-45 мкм. В этом случае минимальная концентрация СЧ обусловлена наибольшей вероятностью возникновения микровзрыва отдельной капли, т. е. оптимальным отношением размеров капель эмульсии, генерируемых форсункой, и капель воды, диспергированной в топливе. Отклонение размеров дисперсной фазы от указанных пределов приводит к повышению концентрации СЧ в продуктах сгорания. С увеличением среднего размера дисперсной фазы возрастает число случаев, когда размеры капель топлива в факеле распыления и капель воды будут соизмеримы. Следовательно, в данном случае часть находящейся в топливе воды не участвует во вторичном распылении топлива и является балластом, препятствующим полному его сгоранию. С уменьшением размеров дисперсной фазы увеличивается число случаев, когда массы воды в капле не хватает для



создания давления водяных паров внутри капли топлива, достаточного для разрыва топливной оболочки. При этом наблюдается лишь увеличение объема капель эмульсии, но микровзрыва не происходит.

В динамике изменения концентрации NO_x (см. рисунок) также имеется экстремум в области размеров дисперсной фазы 35-43 мкм, который практически совпадает с экстремумом кривой СЧ, причем минимальные концентрации СЧ соответствуют максимальному значению концентраций NO_x . Это объясняется некоторым увеличением температуры факела за счет интенсификации процесса горения при наибольшем числе микровзрывов капель эмульсии. При больших размерах дисперсной фазы происходит снижение температуры факела вследствие балластирования зоны активного горения парами воды, попадающей в топочное пространство вне топливной оболочки после распыления эмульсии форсункой. При меньших размерах капель воды в топливе также наблюдается некоторое уменьшение температуры факела, вызываемое балластированием зоны горения водяными парами. Однако при этом попадание паров в топочный объем происходит иным образом. Исследования микровзрыва капли эмульсии показали, что в этом случае водяные пары находятся внутри топливной оболочки в процессе ее испарения до тех пор, пока их давление не превысит сопротивления оболочки на каком-либо ее участке. Но микровзрыва не происходит: в 98% случаев топливная пленка смыкалась после прорыва водяных паров. Таким образом, определенная часть воды и в этом случае является балластом, способствующим снижению концентрации NO_x в продуктах сгорания.

Изменение концентрации бенз (а) пирена (см. рисунок) - одного из представителей канцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) - практически соответствует изменению содержания СЧ в продуктах сгорания. Это подтверждают данные о том, что основная часть ПАУ сорбируется на сажистых частицах в потоке дымовых газов. Исследованиями фракционного состава СЧ в продуктах сгорания водомазутной эмульсии было установлено, что дисперсность сажистых частиц не зависит от размеров дисперсной фазы эмульсии, но наблюдается значительная разница в размерах агрегатов этих частиц. Суммарная поверхность агрегатов возрастает с увеличением среднего диаметра капель воды в топливе, причем, чем больше поверхность агрегатов, тем больше количество БП извлекается из пробоотборника. Следовательно, более интенсивный рост концентрации БП по сравнению с концентрацией СЧ в диапазоне размеров дисперсной фазы эмульсии 45-70 мкм можно объяснить увеличением суммарной сорбционной поверхности частиц сажи. Снижение размеров капель воды в топливе приводит к уменьшению сорбционной поверхности частиц и соответственно количества извлекаемого БП, что подтверждается графически (см. рисунок) менее интенсивным ростом концентрации БП по сравнению с СЧ в диапазоне размеров дисперсной фазы эмульсии 35-20 мкм. Следует отметить, что с учетом наличия проскока ПАУ в паровой фазе через ловушки при существующих способах отбора достоверность в определении концентрации БП выше в случае больших размеров дисперсной фазы водомазутной эмульсии при прочих равных условиях.

Анализ результатов исследований подтверждает предположение о значимости влияния дисперсных характеристик водомазутных эмульсий на эффективность их сжигания. Более того, можно интенсифицировать процесс горения при обеспечении оптимальной влажности и соответствующих размерах дисперсной фазы эмульсий с учетом дисперсионных характеристик топливных форсунок.

Оптимальный размер дисперсной фазы эмульсии в данном случае определяется на основе анализа среднесуточного абсолютного уровня компонентов продуктов сгорания с применением коэффициентов «вредности», рекомендованных действующей методикой по определению народнохозяйственного ущерба от загрязнения окружающей среды [10]. При этом минимальный среднесуточный уровень выбросов вредных веществ находится в диапазонах размеров дисперсной фазы 32-35 и 50-55 мкм. За пределами этих диапазонов абсолютный уровень выбросов повышается, что объясняется снижением эффекта и количества микровзрывов капель эмульгированного топлива. Следует отметить, что принятая оптимизация по уровню вредных выбросов допустима при использовании в качестве водной добавки загрязненных мазутом сточных вод или обводненных мазутов.

Рассматривая необходимое условие микровзрывов капли водотопливной эмульсии (капли воды должны находиться внутри капли топлива), можно сделать вывод, что оптимальный размер дисперсной фазы будет зависеть также и от дисперсности распыления топлива форсунками. Эта взаимосвязь была подтверждена экспериментально. На исследованных котлах средний медианный диаметр капель топлива, генерируемых штатными форсунками, составлял 320-460 мкм. Замена штатных распылителей другими, обеспечивающими большие размеры топливных капель (530-675 мкм), привела к смещению экстремумов кривых СЧ, БП и NO_x в область больших значений диаметров капель дисперсной фазы.

При реализации любого мероприятия, направленного на уменьшение вредных выбросов при сжигании топлива, необходима комплексная оценка не только экологической эффективности, но и экономических показателей топливосжигающих устройств. Так, широко известный способ двух стадийного сжигания топлива и рециркуляции топочных газов в горелочное устройство позволяет работать практически без снижения экономичности агрегатов, но он имеет односторонний экологический эффект - подавление синтеза окислов азота сопровождается увеличением выхода канцерогенных ПАУ и в ряде случаев сажистых частиц. Сжигание же смеси жидких топлив с водой в виде водотопливных эмульсий не только уменьшает выход NO_x , ПАУ и СЧ, но и улучшает экономические показатели топливосжигающего агрегата.

Эффект вторичного распыления топлива при микровзрывах капель эмульсии существенно улучшает смесеобразование, что позволяет работать при более низких (по сравнению со сжиганием безводного топлива) критических избытках воздуха и тем самым не только компенсировать расход тепла на испарение воды и увеличение потерь с уходящими газами, но и, снизив эти потери, повысить к. п. д. агрегата.

Учитывая, что уменьшение размеров дисперсной фазы водомазутной эмульсии позволяет уменьшить количество воды, добавляемой в топливо и, следовательно, снизить затраты тепла на ее испарение, оптимальными

размерами дисперсной фазы водомазутной эмульсии в данном случае можно считать 32—35 мкм. При этом установлено, что максимальная влажность эмульсии, при которой обеспечивается работа котлов без снижения их экономичности, не должна превышать 12-14%. В исследованных отопительных котлах критические избытки воздуха при сжигании безводного мазута составляли 1,22-1,27. При сжигании водомазутных эмульсий с указанными характеристиками критические избытки воздуха удалось снизить до 1,10 - 1,15. В результате к. п. д. котлов повысился на 0,3 - 0,7%.

Таким образом, сжигание водомазутной эмульсии с влажностью 10-12% и размерами дисперсной фазы 32-35 мкм в промышленно-отопительных котлах обеспечивает практически минимальный выход вредных веществ с продуктами сгорания при максимально возможной в этом случае экономичности котла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В. М. Топливные эмульсии,—М.: Изд-во АН СССР, 1962.
2. Уменьшение вредных выбросов в атмосферу при сжигании водомазутной эмульсии в паровом котле/ В. Д. Юсуфова, А. Л. Гарзанов, С. Г. Каспаров, Р. М. Парнас,—Промышленная энергетика, 1984, № 7.
3. Уменьшение вредных выбросов при сжигании водомазутных эмульсий/ А. К. Харитонов, Н. В. Голубь, А. И. Попов и др.—Энергетик, 1983, № 2.
4. Dryer F. L., Water addition to practical combustion systems-concepts and applications. – 16-th Symposium (International) on Combustion. Cambridge, Massachusetts, Pittsburgh, Pa, 1976.
5. Корягин В. А. Модель микровзрыва капли водотопливной эмульсии.—Б кн.: Термоокислительное обезвреживание и дезодорация парогазовых выбросов и повышение Эффективности использования топлива. Л.: ЛИСИ, 1985.
6. Sjogren A. Verbessere Heizverbrennung mit wasser- ν l-und Gasfeuer \leftarrow ng, 1978, Bd. 23, № 3.
7. Защита окружающей среды. Методы определения окислов азота и серы в продуктах сгорания газа и мазута/ Л. М. Цирульников, В. Г. Конюхов, Р. А. Кадыров, Е. В. Грек.—В кн.: Использование газа в народном хозяйстве. М.: ВНИИЭгазпром, 1976.
8. Хоничев Ю. В., Корягин В. А. Газохроматографическое определение концентрации сажистых частиц в продуктах сгорания.—Энергетик, 1983, № 8.
9. Методические рекомендации по исследованию выбросов канцерогенных углеводородов в атмосферу от парогенераторов тепловых электростанций. — Киев: Минздрав УССР, 1982.
10. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды.— М.: Экономика, 1987.