

В большей степени поперечное сечение уменьшается за счет смещений кровли, что предопределяет выбор конструктивных средств повышения устойчивости выработки, направленных на предупреждение деформаций пород кровли, в том числе, за счет создания прочной опоры для поддержания толщи пород на сопряжении «лава-штрек» после выемки пласта угля. Выполнение всех мероприятий по повышению устойчивости подготовительной выработки целесообразно проводить до влияния первой лавы.

Полученные в ходе шахтных исследований результаты являются исходными данными для численного моделирования поведения системы «лава - подготовительная выработка» на различных стадиях ведения горных работ при разных параметрах крепи и способах охраны объекта.

Список литературы

1. Скипочка С.И., Усаченко Б.М., Куклин В.Ю. Элементы геомеханики углепородного массива при высоких скоростях подвигания лав. – Днепропетровск: ЧП «Лира ЛТД», 2006. – 248 с.
2. Байсаров Л.В. Новые условия хозяйствования требуют новых технологических решений // Уголь Украины. – 2007. – № 7. – С. 3-6.
3. Ильяшов М.А. Перспективы использования комбинированного способа охраны сопряжений лав // Уголь Украины. – 2008. – № 4. – С. 8-11.
4. Majcherczyk T., Szaszenko A., Sdwizkowa E. Podstawy Geomechaniki. – Krakow: AGH Uczelniane wydawnictwa naukowo-dydaktyczne. – 2006. – 293 s.
5. Prusek S. Monitoring of a longwall gate road maintained behind the caving extraction front / S. Prusek, Z. Lubosik // Bergbau in Polen und Deutschland-Chancen für Innovationen und Kooperation: Freiburger Forschungsforum 57. – Bergund Huttenmannischer Tag. – 2006. – P. 84-95.
6. Солодянкин А.В., Машурка С.В., Дудка И.В. К вопросу об эффективности повторного использования выработок в сложных геомеханических условиях // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2015. – № 2 (16). – С. 99-109.
7. Обоснование параметров крепления участковых выработок в условиях ГП «Шахтоуправление «Южнодонбасское №1» / Е.А. Сдвижкова, А.В. Солодянкин, Д.В. Бабец, С.В. Машурка, О.А. Кузиева // Вісник Криворізького національного університету. – 2015. – Вип. 39. – С. 19-23.
8. Попович І.М. Обґрунтування параметрів способу забезпечення стійкості підготовчих виробок глибоких шахт, що використовують повторно. Автореферат дис... канд. техн. наук, НГУ, Дніпропетровськ. – 18 с.

Рукопись подана в редакцию 18.04.16.

УДК 662.612.3: 504

А.В. СИЗОНЕНКО, старший преподаватель

Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЖИГАНИЯ МАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Рассмотрены оптимальные организации процесса сжигания водоэмульсионных топлив, с помощью которых можно добиться снижения содержания NO_x в процессе горения за счет ввода пара или впрыскивании воды в зону горения. Применение водо-топливной эмульсии позволяет значительно повысить эффективность использования углеводородных топлив и намного уменьшить выброс вредных веществ в окружающую среду. При этом экономия топлива составляет 15-20 % при сохранении той же механической или тепловой мощности, а уменьшение выбросов по некоторым видам загрязнений составляет 2-3 раза.

Содержащиеся в топливе высокодисперсные частицы водной фазы, при прогреве в камере сгорания превращаются в паровые пузырьки, дробящие топливные капли на мельчайшие частицы, которые быстрее прогреваются, интенсивнее взаимодействуют вначале с кислородом, образующимся в результате диссоциации воды, воспламеняются и перемешиваясь с кислородом воздушного заряда, сгорают с большей интенсивностью (в 5-6 раз быстрее), чем чистый мазут.

При дополнительном дроблении капель эмульсии достигается ускорение их испарения и улучшается процесс перемешивания топлива с воздухом, в результате чего с учетом наличия в зоне горения продуктов диссоциации воды процесс сгорания мазута существенно интенсифицируется. Эти особенности сжигания водотопливной эмульсии в литературных источниках представлены только качественно. Поэтому целью данной работы является поиск функциональной взаимосвязи влияния различных факторов и параметров эмульсии на количество NO_x в отработанных газах. Приведены результаты работы эксперимента по сжиганию водоэмульсионных топлив, доказан эффект сокращения выбросов NO_x .

Ключевые слова: экология, мазутная эмульсия, сжигание.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Понятие экологизации технологий производства состоит в проведении мероприятий, направленных на предотвраще-

ние отрицательного воздействия производственных процессов на окружающую среду. В отношении применения жидких топлив, являющихся основными составляющими в балансе потребления при производстве энергии, экологизация означает предотвращение выбросов в атмосферу образующихся при сжигании различных вредных веществ, а также предотвращение загрязнения гидросферы и литосферы сточными водами, содержащими нефтепродукты.

В настоящее время природоохранные мероприятия, проводимые на действующих ТЭС и котельных, направлены на снижение выбросов оксидов азота, оксида углерода, а также оксидов серы. Многие широко применяемые сейчас методы организации процесса сжигания топлив преследуют цель подавления образования NO_x : ступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов, сжигание топлива при пониженных избытках воздуха.

Выполненные исследования показывают, что одной из таких технологий для теплоэнергетики, направленной на защиту атмосферного воздуха от выбросов различных ингредиентов NO_x , CO , сажи, многоядерных углеводородов и других вредных веществ является сжигание мазута в виде водомазутных эмульсий.

Постановка задачи. Методы сжигания водомазутной эмульсии широко известны. В исследованиях, посвященных этому вопросу [1-4], установлено, что для достижения поставленной задачи ВМЭ должна быть приготовлена в виде однородной смеси мазута и добавляемой влаги по типу "вода-масло", в которой вода как дисперсная фаза в виде частиц диаметром несколько микрометров находится внутри топливной оболочки. Повышенная эффективность процесса горения эмульсии (даже при предельно низких избытках воздуха) обусловлена микровзрывом ее капель вследствие различия температур кипения воды и мазута. При дополнительном дроблении капель эмульсии достигается ускорение их испарения и улучшается процесс перемешивания топлива с воздухом, в результате чего с учетом наличия в зоне горения продуктов диссоциации воды процесс сгорания мазута существенно интенсифицируется. Эти особенности сжигания водотопливной эмульсии в литературных источниках представлены только качественно. Поэтому целью данной работы является поиск функциональной взаимосвязи влияния различных факторов и параметров эмульсии на количество NO_x в отработанных газах.

Изложение материала и результаты. С помощью физико-химических методов анализа продуктов сгорания топлива можно определить их количественный состав. Для реализации этой методики измерения используют прибор «Газохром 3201», который фиксирует в отработанных газах наличие NO_x , CH_4 , CO , CO_2 и т.п.

Обработку полученных данных по содержанию NO_x в продуктах сгорания водомазутной эмульсии с добавками дизельного топлива производили с использованием методов планирования экспериментов. Принимаем, что NO_x определяется отношением содержания мазута к содержанию воды, содержанием дизельного топлива, выдержкой эмульсии и коэффициентом избытка воздуха. Условия экспериментов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Условия экспериментов

Фактор	Код	Уровни варьирования					Интервал варьирования, Δ
		-1,414	-1	0	1	+1,414	
Отношение содержания мазута к содержанию воды, %	X_1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,1
Содержание дизельного топлива, %	X_2	0	5	15	25	30	10
Выдержка эмульсии, час	X_3	0	1	6	11	12	5
Коэффициент избытка воздуха	X_4	1	1,1	1,25	1,4	1,5	0,15

В качестве зависимой переменной Y рассматривали содержание NO_x в продуктах сгорания. Для исключения систематической ошибки устанавливали случайный порядок постановки опытов во времени.

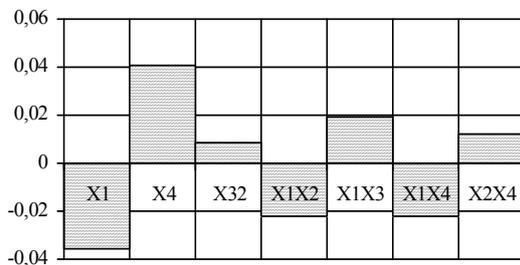
Для описания многофакторной зависимости выбран ортогональный многокомпозиционный план 2^4 и квадратичная модель. Математико-статистическую обработку экспериментов производили по принятой методике [5]. Проверку воспроизводимости опытов проводили по критерию Кохрена. Значимость полученных коэффициентов уравнения регрессии определяли критерием Стьюдента. Адекватность полученной математической модели оценивали с помощью F -

критерия Фишера. После обработки результатов экспериментов получено уравнение регрессии для вычисления параметра оптимизации с точностью до 0,7%.

$$Y = 1,387 - 3,6 \cdot 10^{-2} X_1 + 4,08 \cdot 10^{-2} X_4 + 8,54 \cdot 10^{-3} X_3^2 - 2,187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_2 - 0,0194 X_1 \cdot X_3 - 2,187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_4 + 0,0118 X_2 \cdot X_4 \quad (1)$$

Влияние исследуемых факторов показано на диаграмме (рис. 1).

Рис. 1. Диаграмма значимости факторов модели

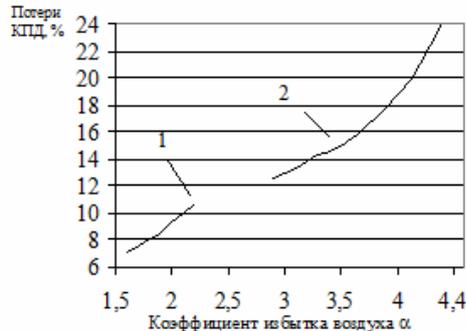


Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее влияние на содержание NO_x в продуктах сгорания оказывает отношение содержания мазута к содержанию воды (X_1), причем это влияние проявляется и во взаимодействии с X_2 (содержание дизельного топлива) и X_4 (коэффициент избытка воздуха).

Очевидно, что с увеличением количества воды в соотношении C_m/C_v содержание NO_x в

продуктах сгорания уменьшается. Сравнительный анализ процесса горения мазута и водомазутной эмульсии показал, что диспергированная влага оказывает как физическое, так и химическое воздействие на топочные процессы [6]. Физическое воздействие заключается в явлении микровзрывов мельчайших капелек воды, находящихся внутри топливной оболочки. При этом происходит дополнительное перемешивание топлива с воздухом. Диссоциация водяных паров, высвободившихся в результате микровзрывов, приводит к увеличению концентрации активных центров реакции. Значительные концентрации гидроксильного радикала увеличивает скорость выгорания окиси углерода. Дополнительно улучшает выгорание водомазутной эмульсии реакция водяного пара- реакция между паром и раскаленным углеродом. Улучшение перемешивания частиц топлива и воздуха за счет «микровзрывов» позволяет снизить избыток воздуха до критического значения и таким образом повысить КПД котла (рис. 2).

Рис. 2. Зависимость потерь КПД от коэффициента избытка воздуха: 1 - работа на водомазутной эмульсии; 2 - работа на мазуте



Сжигание эмульсий приводит к уменьшению окислов азота в продуктах сгорания, так как снижается температура пламени. Кроме того, увеличение количества активных центров реакции активизирует горение и соответственно снижает концентрацию атомарного кислорода. В результате этого снижается скорость окисления азота.

Что касается влияния фактора X_4 - коэффициента избытка воздуха, отметим следующее.

По степени влияния на Y он доминирует и проявляется прямопропорциональная зависимость. В работе экспериментально установлено, что она имеет экстремальный характер. Увеличение выхода NO_x до критического значения объясняется повышением концентрации свободного кислорода. При дальнейшем повышении α на выход NO_x оказывает влияние температура горения. При изменении α изменяется также и теоретическая температура горения. График на рис. 3 представляет собой зависимость NO не только от α , но также и от температуры. При постоянной температуре с увеличением α выход NO увеличивается. Было установлено, что в факеле NO образуется в основном в зоне максимальных температур и в сравнительно узком их диапазоне на участке малой длины. При форсировании факела концентрация NO возрастает пропорционально $q_F^{0,5}$ (где q_F - поверхностная плотность тепловыделения, $\text{МВт}/\text{м}^2$).

Применение этих методов сжигания будет способствовать также повышению надежности работы парогенераторов на мазуте. Высокие температуры горения, характерные для сжигания газа и мазута, обуславливают большие тепловые напряжения поверхностей нагрева, что вызывает угрозу пережога экранных труб. Понижением температурного уровня в нижней части топочной камеры эта угроза может быть снята. Зависимость Y от выдержки эмульсии X_3 имеет

нелинейный характер, обусловленный скорее всего кинетикой коагуляции частиц дискретной фазы.

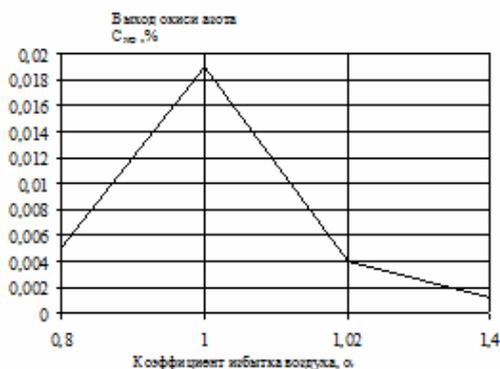


Рис. 3. Выход окислов азота в зависимости от коэффициента избытка воздуха

Установлено, что при значительной устойчивости ЭТС это влияние практически незначимо. В эффектах взаимодействий проявляется влияние доминирующего фактора. Исключение составляет $X_1 \cdot X_4$. Видимо увеличение концентрации воды в ЭТС способствует образованию дополнительного атомарного кислорода в реакции горения при диссоциации воды или снижению температуры. В результате уменьшается и выход окислов азота. Таким образом, чем большие значения принимает со-

отношение X_1, X_4 , тем меньше Y .

Выводы и направление последующих исследований. Сжигание ВМЭ приводит к интенсификации выгорания топлива, уменьшению длины факела и увеличению надежности работы пароперегревателя. Температура уходящих газов при переходе на ВМЭ практически не изменилась. Расчетные оценки [5] показали, что экономические показатели работы котла для традиционного и рекомендуемого вариантов практически одинаковы.

Следует особо подчеркнуть, что высокий уровень влажности ВМЭ целесообразно устанавливать только в целях огневого обезвреживания большого количества сточных вод. Если такой необходимости нет, то для значительного снижения газообразных вредных выбросов вполне достаточно поддерживать соотношение объемов воды и топлива на уровне 3-5 % при соответствующей организации процесса сжигания топлива. В этом случае увеличение потери теплоты с уходящими газами (из-за испарения добавляемой влаги) незначительно и вполне компенсируется интенсификацией процесса сжигания топлива и возможностью перехода на более, низкие значения коэффициента избытка воздуха. При соблюдении описанных выше условий увеличения интенсивности низкотемпературной коррозии не наблюдается.

Список литературы

1. Иванов В.М. Топливные эмульсии. М.: Изд-во Академии наук СССР. 1962.
2. Акчурин Р.Ю., Балахничев Н.А. Подготовка мазута к сжиганию в кавитационном реакторе / Р.Ю. Акчурин, Н.А.Балахничев // Энергетик. 1986. №9. - С. 8-9.
3. Попов А.И., Голубь Н.В., Ерофеева В.И., Харитонов А.К., Щупарский А.И. Уменьшение вредных выбросов при сжигании водомазутной эмульсии / А.И. Попов, Н.В. Голубь, В.И. Ерофеева, А.К. Харитонов, А.И. Щупарский // Энергетик. 1983. №2. - С 11-14.
4. Кормилицын В.И., Лысков М.Г., Третьяков Ю.М. Экономичность работы парового котла при управлении процессом сжигания топлива вводом влаги в зону горения / В.И. Кормилицын, М.Г. Лысков, Ю.М. Третьяков // Теплоэнергетика. 1988. № 8. - С. 13-15.
5. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
6. Хзмалян Д. М., Каган Я. А. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д. М. Хзмаляна. М., «Энергия», 1976 - 488 с.
7. Павленко А.М. Стійкість емульсій при технологічних впливах / А.М. Павленко // Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2001. - 140 с.
8. Павленко А.М. Структурообразование и дезинтеграция эмульсий в вихревых аппаратах / Павленко А.М., Басок Б.И. // Днепродзержинск: ДГТУ, 2009. - 205с.
9. Бородин В.А., Дитякин Ю.Ф.. Распыливание жидкостей / В.А. Бородин, Ю.Ф. Дитякин // М: машиностроение, 1967. - 267 с.
10. Ляховский Д.Н. Вопросы аэродинамики и теплопередачи в котельно-топочных процессах / Д.Н. Ляховский // М: Госэнергоиздат, 1958 - 67 с.
11. Лариков Н.Н. Теплотехника / Н.Н. Лариков // М.: Стройиздат. 1985 - 432 с.
12. Драгоманов Б.Х. Теплотехніка. / Б.Х. Драгоманов, А.А. Долинський, А.В. Міщенко, Є.М. Письменний. // Київ.: «ІНКОС», 2005 - 504 с.
13. Григорьев К.А. Технология сжигания органических топлив / К.А. Григорьев, Ю.А. Рундыгин, А.А. Тринченко. - СПб.: Издательство Политехнического университета, 2006. - 92 с.
14. Гушин С.Н. Расчеты горения топлив / С.Н. Гушин, М.Д. Казяев // Екатеринбург.: УГТУ-УПИ, 1995 - 48с.
15. Сполдинг Д.Б. Горение и массообмен / Д.Б. Сполдинг // М.: Машиностроение, 1985 - 240 с.
16. Таланов А.В. Основы теории горения / А.В. Таланов // Казань, 1975 - 252 с.

Рукопис подано до редакції 14.04.15