УДК 66.041.45

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ ОКИСЛОВ АЗОТА ПРИ СЖИГАНИИ МАЗУТА В КОТЛАХ

М.А.ТАЙМАРОВ Н.Е. КУВШИНОВ, Д.Е. ЧИКЛЯЕВ, Е.Г. ЧИКЛЯЕВ

Казанский государственный энергетический университет

В данной статье рассматривается регулирование выбросов окислов азота при сжигании мазута в котлах. Дается сравнение выбросов при сжигании мазута с выбросами при сжигании топливного газа. Регулирование осуществляется посредством отключения или включения определенных горелок. Исследования проводились на Набережно – Челнинской ТЭЦ на котле ТГМ-84.

Ключевые слова: КПД, сжигание мазута, горелки, окислы азота, ТГМ-84Б, кислород, факел, смешанное топливо

Описание проблемы. Для котлов мощностью до 420 т/ч при сжигании мазута ПДК по массовой концентрации окислов азота NO_x в дымовых газах, при коэффициенте избытка воздуха α= 1,4, не должно превышать 350 мг/м^3. Нормируемой величиной для сжигания мазута является также массовый выброс NO_x на единицу тепловой энергии, равный 0,086 г/МДж, что в 2 раза выше по сравнению с выбросами при сжигании топливного газа.

При сжигании мазута, ввиду наличия сажистых частиц в пламени, падающие потоки от факела имеют гораздо более высокие значения по сравнению с газовым пламенем [1–3]. Поэтому исследование параметров, с помощью которых можно регулировать интенсивность образования окислов азота на стадии управления процессом горения, является актуальным. В данной работе представлены результаты исследования процессов регулирования образования окислов азота на котле ТГМ-84Б Набережно-Челнинской ТЭЦ при сжигании обводненного мазута. Методика выполнения экспериментов описана в работах [4–5].

Результаты исследования и их обсуждение. Во время экспериментов сжигался мазут с низшей теплотой сгорания в рабочей массе 9073,73 ккал/кг с содержанием воды 5,2 %. Плотность мазута при 20°С составляла 0,991 г/см^3, температура вспышки равнялась 136 °С, содержание серы составляло 2,55 %, вязкость в условных градусах при 80 °С равнялась 16,93. Для поддержания температуры продуктов сгорания перед пароперегревателем в топке при проведении некоторых опытов сжигался топливный природный газ с низшей теплотой сгорания в рабочей массе 8028,14 ккал/м^3 и плотностью при 20 °С равной 0,683 кг/м^3.

Погрешность измерений в опытах составляла для КПД ±1,5 %. Котлы ТГМ-84Б укомплектованы горелками типа ГМУ-45. Нумерация горелок по фронтовому экрану, характеристики направлений крутки воздуха показаны на рис. 1. Горелки 1–4 расположены на отметке высоты первого яруса 6,6 м, горелки 5–6 расположены на отметке высоты второго яруса 11,2 м. Крутка тангенциальных и осевых завихрителей воздуха является сходящейся с параметром тангенциальной крутки по номерам горелок 1–6 равной 1,049 (см. рис. 1). Параметр крутки осевых лопаточных завихрителей воздуха на всех горелках составлял 1,45.

© М.А. Таймаров, Н.Е. Кувшинов, Д.Е. Чикляев, Е.Г. Чикляев

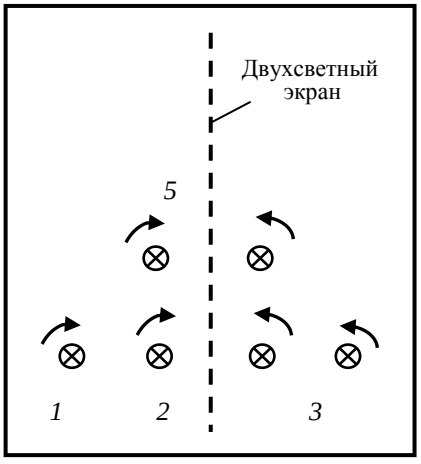

Рис. 1. Нумерация горелок на котлах ТГМ-84Б и направления
крутки лопаточных завихрителей воздуха

На рис. 2 показаны опытные данные по выбросам окислов азота NO_x в зависимости от паропроизводительности $Д_к$ при сжигании мазута в котле ТГМ-84Б (станционный №4) при различном числе работающих горелок *n*.

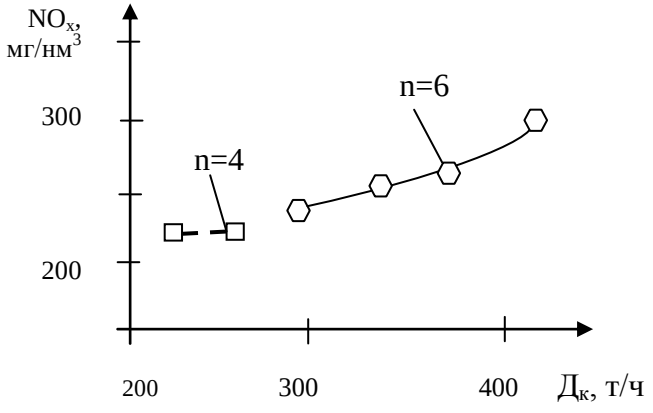

Рис. 2. Выбросы окислов азота NO_x в зависимости от паропроизводительности $Д_к$
при сжигании мазута в котле ТГМ-84Б при числе работающих горелок *n*

Для низких нагрузок $Д_к$ (см. рис. 2) в работу включены 4 горелки первого яруса (№№ 1–4), и выбросы окислов азота относительно невысокие. Для нагрузок 300 т/ч и выше включаются в работу дополнительно 2 горелки второго яруса (№№ 5–6) на отметке 11,2 м, и выбросы окислов азота резко возрастают вследствие повышения температуры в ядре факела, которая способствует образованию термических окислов азота. Поэтому работа котла на горелках первого яруса является предпочтительной для снижения выбросов окислов азота. В табл. 1 приведены технико-экономические показатели работы котла ТГМ-84Б (станционный №4) при выбросах окислов азота, показанных на рис. 2.

Как видно из табл. 1, рост паровой нагрузки котла сопровождается увеличением температуры уходящих газов и снижением содержания кислорода в уходящих газах. Это фактически незначительно сказывается на уменьшении КПД котла с ростом нагрузки. Поддержание высокой температуры уходящих газов необходимо для

предупреждения образования двуокиси серы и, в конечном итоге, предотвращения сернокислотной коррозии дымовой трубы, так как содержание серы в мазуте достаточно велико и составляет 2,55 % по массе. Потери теплоты с уходящими газами возрастают с ростом нагрузки и при 420 т/ч равны 6,84 %, что значительно выше по сравнению со сжиганием топливного газа, при котором потери равны в среднем 5,34 %.

Таблица 1

Технико-экономические показатели работы котла ТГМ-84Б
(станционный №4) при экспериментах, отраженных на рис. 2

Параметр	Значение					
Паровая нагрузка $Д_к$, т/ч	220	260	300	340	380	420
Давление перегретого пара, МПа	140					
Температура перегретого пара, °С	560					
Температура питательной воды, °С	230					
Давление мазута перед горелками, МПа	1,7	2	1,4	2	2,4	2,8
Количество работающих горелок, шт.	4	4	6	6	6	6
Давление воздуха перед горелками, кГ/м^2	80	100	78	97	140	202
Температура воздуха перед регенеративным воздухоподогревателем, °С	80	78	75	70	70	70
Температура газов за поворотной камерой, °С	560	568	582	595	622	702
Содержание кислорода в режимном сечении, %	2,5	2,2	2	1,6	1,6	1,6
Температура уходящих газов, °С	136	142	148	150	152	154
Разрежение вверху топки, кГ/м^2	3,5	3,5	5	3	5	5
Потери тепла с уходящими газами, %	6,45	6,59	6,82	6,71	6,79	6,84
КПД котла брутто, %	92,83	92,79	92,61	92,81	92,76	92,75

На рис. 3 для котла ТГМ-84Б (станционный №4) показаны значения выбросов окислов азота NO_x при сжигании смешанного топлива по схеме: горелки № 2 и №3 – на мазуте, горелки №№ 1,4,5,6 – на газе. При паровой нагрузке 220 т/ч горелки №№ 5,6 второго яруса при работе на газе были отключены, то есть в работе находилось четыре горелки (n=4): две на газе (№№ 1 и 4) и две на мазуте (№№ 2 и 3).

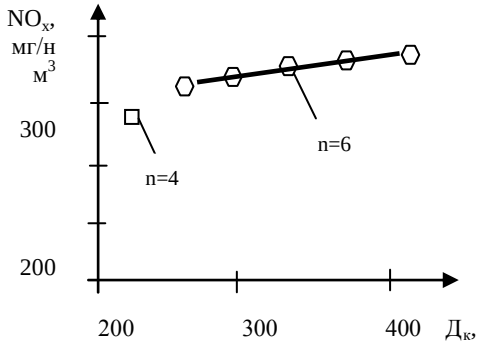

Рис. 3. Выбросы окислов азота при сжигании смешанного топлива по схеме: горелки №№ 2 и 3 – на мазуте, горелки №№ 1,4,5,6 – на газе в зависимости от нагрузки и числа работающих горелок n

При числе горелок n=6: две горелки №№ 2 и 3 первого яруса на отметке 6,6 м работали на мазуте, остальные №№ 1,4,5,6 – на газе (см. рис. 3), с ростом нагрузки

заметно увеличились выбросы окислов азота, по сравнению с числом горелок n=4. Сравнивая результаты рис. 2 и 3 можно сделать вывод, что повышение температуры в зоне горения, связанное со сжиганием топливного газа, способствует увеличению образования окислов азота при сжигании смешанного топлива.

При числе работающих горелок n=4 выбросы окислов азота значительно меньше, что связано не только с долей тепловыделения от сжигания газа, но и с долей воды, содержащейся в мазуте. В данном случае на газе работают 2 горелки, расположенные на первом ярусе, и повышения температуры в зоне факела от сгорания мазута не происходит, так как факелы горелок № 1 и № 4 преимущественно отдают теплоту экранным поверхностям нагрева. На испарение воды в мазуте также расходуется теплота. Включение в работу горелок №№ 5,6 второго яруса при работе на газе повышает температуру продуктов сгорания в факеле от горелок №№ 2,3 первого яруса, и происходит рост интенсивности образования окислов азота.

В табл. 2 приведены технико-экономические показатели по режимам работы котла ТГМ-84Б (станционный №4) при выбросах окислов азота, показанных на рис. 3.

Таблица 2

Технико-экономические показатели по режимам работы котла ТГМ-84Б (станционный №4) при экспериментах, отраженных на рис. 3

Параметр	Значение					
Паровая нагрузка $Д_к$, т/ч	220	260	300	340	380	420
Давление перегретого пара, МПа	140					
Температура перегретого пара, °С	560					
Температура питательной воды, °С	230					
Давление мазута перед горелками, МПа	1,2	1,4	1,7	2,1	2,6	3,1
Давление газа перед горелками, кГ/см^2	0,1	0,12	0,15	0,21	0,25	0,29
Расход газа на котел, тыс. м^3/ч	2	3	4	6	8	10
Количество горелок на газе, шт.	2	4	4	4	4	4
Количество горелок на мазуте, шт.	2	2	2	2	2	2
Давление воздуха перед горелками, кГ/м^2	35	40	58	88	123	153
Температура воздуха перед регенеративным воздухоподогревателем, °С	75	75	75	70	70	70
Температура газов за поворотной камерой, °С	620	643	655	670	695	730
Содержание кислорода в режимном сечении, %	1,8	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2
Температура уходящих газов, °С	140	144	149	150	152	155
Разрежение вверху топки, кГ/м^2	2	2	2	3	3	3
Потери тепла с уходящими газами, %	3,66	3,82	4,04	4,32	4,45	4,60
КПД котла брутто, %	95,57	95,53	95,40	95,19	95,10	95,01

Как видно из табл. 2, значения КПД при сжигании смешанного топлива значительно выше по сравнению со сжиганием в котле только одного топлива – мазута. Одной из причин низких значений выбросов окислов азота при сжигании мазута, как уже отмечено выше (см. рис. 2), является то, что мазут сжигался сильно обводненный с содержанием воды по массе 5,2 %. По регламенту допускается содержание воды по массе 3 %. Повышенное содержание воды способствовало снижению температуры в факеле и снижению выбросов окислов азота. Снижение содержания кислорода в режимном сечении до 1,2 % при нагрузке 420 т/ч при сжигании смешанного топлива позволяет получить высокие КПД – до 95,01 % – даже при высокой температуре уходящих газов, равной 155 °С.

Выводы:

1. Наибольшая эффективность при регулировании выбросов окислов азота при сжигании мазута в котлах может быть достигнута за счет применения в качестве топлива обводненного мазута. Основной недостаток этого метода – повышенное содержание кислорода в уходящих газах, что приводит к снижению КПД котла.

2. Для регулирования выбросов окислов азота при сжигании мазута в смеси с топливным газом для котлов ТГМ-84Б предпочтительным является режим с меньшим количеством горелок, работающих на топливном газе.

Summary

Dieser Artikel beschreibt die Regulierung von Emissionen von Stickstoffoxiden bei der Verbrennung von Heizöl in den Kesseln. Auch gibt es einen Vergleich der Heizölverbrennungsemissionen bei der Verbrennung von Brenngas . Die Verordnung ist durch Abschalten oder auf bestimmten Brennern drehen. Methoden der Ausführung wurde an der Küste durchgeführt - Chelny CHP Kessel TGM - 84.

Keywords: Effizienz, brennende Ölbrenner , Stickoxide, TGM - 84B, Sauerstoff-Brenner, der gemischte Kraftstoff

Литература

1. Таймаров М.А. Современные проблемы энергомашиностроения. - Казань : КГЭУ, 2004. 106 с.

2. Таймаров М.А., Чикляев Д.Е. Образование термических окислов азота при сжигании газа. // Вестник Казан. технол. ун-та. 2013. Т.16, № 23. С.73–75.

3. Таймаров М.А. Разработка методов снижения выбросов окислов азота котлами ТЭС. Казань: КГЭУ, 2013. 69 с.

4. Таймаров М.А. Лабораторный практикум по курсу «Котельные установки и парогенераторы». Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2004. 107 с.

5. Таймаров М.А. Практические занятия на ТЭЦ. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. 2003. 64 с.

6. Таймаров М.А., Кувшинов Н.Е. Технология утилизации смол пиролиза и водяносмоляной эмульсии на ПАО «Казаньоргсинтез» // Вестнтк Казан. технол. ун-та. 2015. Т. 18, № 24.

Поступила в редакцию 25 апреля 2016 г.

Таймаров Михаил Александрович – д-р техн наук, профессор кафедры «Котельные установки и парогенераторы» (КУПГ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел. 8(843)527-92-20. E-mail: Taimarovma@yandex.ru.

Кувшинов Никита Евгеньевич – магистрант кафедры «Котельные установки и парогенераторы» (КУПГ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел. 8(927)442-83-83. E-mail: kuvshinovnikita@mail.ru.

Чикляев Дмитрий Евгеньевич – аспирант кафедры «Котельные установки и парогенераторы» (КУПГ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел. 8(906)111-56-33.

Чикляев Евгений Геннадьевич – старший преподаватель кафедры «Физическое воспитание» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел. 8(903)314-39-84.