

УДК 669.162.252

Совершенствование системы очистки доменного газа

Горинов О.И., Горбунов В.А., кандидаты техн. наук, Долинин Д.А., инж.

Для управления режимом подачи орошающей воды на скруббер газоочистки доменного газа, не снижая степень его очистки, предложено и внедрено устройство контроля остаточной запыленности. Это позволило оптимизировать режимы очистки и снизить расход воды на 700 м³/час. Проведены экспериментальные исследования по выявлению допустимых режимных параметров. Создана математическая модель скруббера, проведены исследования на ней качества очистки.

Ключевые слова: мокрый скруббер, доменная печь, система очистки доменного газа, математическая модель, режимные карты.

Perfection of system of cleaning blast-furnace gas

Gorinov O.I, candidate of technics, Gorbunov V.A., candidate of technics, DOLININ D.A., engineer

For management of a mode of giving of irrigating water on a scrubber of gas purification of blast-furnace gas, not reducing degree of its cleaning, it is offered and the control unit of a residual dust content is introduced. It has allowed to optimize modes of cleaning and to lower the water expense at 700 m³ per hour. Experimental researches on revealing of admissible regime parameters are spent. The mathematical model of a scrubber is created; researches on it of quality of cleaning are carried out.

Keywords: wet scrubber, blast-furnace stove, system of cleaning blast-furnace gas, mathematical model, regime of the card.

На металлургических предприятиях очистка доменного газа от пыли производится последовательно в трех ступенях:

- 1) грубая очистка газа в сухих инерционных пылеуловителях;
- 2) полутонкая очистка газа в скрубберах;
- 3) тонкая очистка газа в трубах Вентури и дроссельных группах.

Основным звеном газовой очистки является мокрый скруббер. Улавливание пыли в скруббере осуществляется за счет капель воды, образованных посредством форсунок. Капли воды коагулируют с частицами пыли и оседают в нижней части скруббера, откуда отводятся в виде шлама в отстойник. При этом очевидно, что чем больше капель воды приходится на одну частичку пыли, тем больше вероятность ее захвата этой каплей и осаждения вместе с ней. Поэтому количество подаваемой воды и качество ее распыла (диаметр капель) являются определяющими параметрами, влияющими на степень очистки газа. Но вместе с тем начальная запыленность колошникового газа и его расход также оказывают влияние на степень очистки. Один из принципов безотходной технологии – низкий уровень водоиспользования. Углубление очистки ниже установленной нормы связано с неоправданными дополнительными расходами воды и связанными с ними затратами. Кроме того, излишняя влага в доменном газе снижает его качество как топлива, уменьшая теплотворную способность, что, в свою очередь, ведет к ухудшению качества нагрева воздуха в воздухонагревателях доменных печей, и, как следствие, происходит снижение производительности самих доменных печей и перерасход кокса.

Существующие способы мокрой очистки не имеют контроля остаточной запыленности доменного газа, которая не должна превышать установленную норму 4 мг/м³ [1]. Поэтому воду на скруббер подают с запасом, завышающим необходимый расход. Кроме того, в процессе эксплуатации размеры каналов разбрызгивающих форсунок увеличиваются, и для нормальной их работы требуется повышать давление воды, что также ведет к дополнительному ее перерасходу. Проектный расход орошающей воды на

скруббер для доменной печи объемом 2700 м³ составляет 2300÷2700 м³/ч.

На газоочистках доменного газа в целях оптимизации режимов их работы требуется контролировать и регулировать остаточную запыленность и влажность газа для обеспечения минимально необходимого расхода орошающей воды, не снижая при этом требуемое качество очистки.

Одним из способов совершенствования системы мокрой газоочистки является установка устройства по контролю остаточной запыленности доменного газа и корректировка расхода орошающей воды на основании полученных значений концентраций пыли.

Метод контроля остаточной запыленности доменного газа после газоочистки основан на отборе проб определенного количества газа из газопровода с последующим осаждением и замером влаги и пыли в ней [2]. Предложенная нами усовершенствованная система очистки доменного газа изображена на рис. 1.

Проба газа за счет давления в газопроводе 6 отбирается трубкой 7 и направляется в пылекаплеуловитель циклонного типа 12, где за счет внезапного расширения и закрученности потока влага конденсируется, отделяется вместе с пылью из потока и по стенкам стекает в нижнюю часть, откуда посредством вентиля В4 подается в измерительное устройство 13. В измерительном устройстве определяется весовое количество пыли и влаги, что и будет отражаться регистрирующим прибором 18. Из отделителя 12 отобранная проба газа сбрасывается за дроссельной группой или ГУБТ в сетевой газопровод 15.

Поскольку запыленность газовой среды должна быть отнесена к единице его объема, то проба газа отбирается при известном ее количестве.

Способ определения количества отбираемого газа основан на уравнивании скорости газа во входном отверстии отборной трубки 7 со скоростью газа в основном потоке газопровода 6, в котором она известна по расходу газа в нем и его диаметру. Этот способ известен как изокINETический. Уравнивание скоростей осуществляется следующим образом.

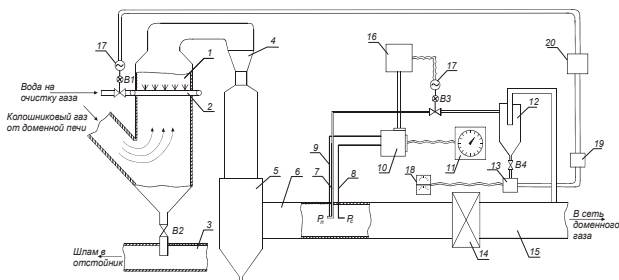


Рис. 1. Схема контроля остаточной запыленности и влажности доменного газа: 1 – мокрый форсуночный скруббер; 2 – водяные балки с форсунками; 3 – канализационный канал для отвода шлама; 3 – труба Вентури; 4 – каплеуловитель; 5 – газопровод очищенного газа; 6 – отборная трубка; 7 – трубка статического давления газа в газопроводе; 8 – импульсная трубка полного давления; 9 – дифференциальный манометр типа «Сапфир»; 10 – прибор для регистрации давления типа «Диск»; 11 – отделитель пыли и влаги; 12 – измеритель пыли и влаги типа «Скат-1»; 13 – дроссельная группа или ГУБТ; 14 – сетевой газопровод доменного газа; 15 – корректирующий преобразователь; 16 – исполнительный механизм; 17 – приборы для регистрации концентрации и влажности газа; 18 – корректор; 19 – преобразователь

В совокупности трубки 8 и 9 представляют собой известную трубку Пито для определения скоростного (динамического) напора p_d , который может быть замерен дифференциальным манометром 10 при закрытом вентиле В3 как разность между полным давлением p_n и статическим p_c , т.е. $p_d = p_n - p_c$, что и будет отражено регистрирующим прибором 11. Этот скоростной напор образован за счет скорости газа в основном газопроводе и, по сути, ее отображает. Скорость газа во входном сечении отборной трубки при этом будет равна нулю.

При открывании вентиля В3 будет осуществляться движение и отбор газовой пробы через отборную трубку 7 за счет разности давлений в газопроводах 6 и 15. При этом скорость газа во входном сечении отборной трубки будет повышаться, а показание прибора 11 при этом будет понижаться, поскольку скоростной напор p_d начнет срабатывать в отделителе 12. Изменяя расход отбираемого газа вентилем В3, можно добиться такого расхода, а следовательно, и скорости газа, при которых показание прибора 11 будет равным нулю. Такое состояние соответствует тому, что скорость газа в трубке 7 становится равной скорости газа в газопроводе 6, или другими словами, разность статических давлений в месте отбора пробы в газопроводе и отборной трубке в месте присоединения импульсной трубки 9 будет равна нулю. Для обеспечения изокINETИЧНОСТИ внутри отборной трубки сечение ее от места отбора до вентиля В3 должно быть постоянным. Импульсная трубка 9 должна присоединяться к отборной трубке 7 при соблюдении требований по измерению статического давления.

При измерении расхода газа в газопроводе 6 баланс статических давлений, измеренных трубками 7 и 8, нарушится. Для автоматического поддержания равенства этих статических давлений установлен корректирующий преобразователь 16, который в зависимости от направления отклонения перепада давления дает команду исполнительному механизму 17 накрытие или открытие вентиля В3.

Описываемый способ контроля запыленности и влажности имеет следующие достоинства:

- позволяет определять запыленность газа любой влажности и концентрации капельной влаги;
- устройство просто в изготовлении и монтаже;

- не имеет дефицитных и дорогостоящих материалов и оборудования;
- позволяет раздельно определять количество пыли, капельной и паровой влаги в газе;
- надежный, так как не имеет расходомеров;
- точный, поскольку за счет равенства скоростей нет искажений скоростных полей в сечении отбора;
- может быть полностью автоматизирован;
- позволяет определять запыленность токсичных газов;
- позволяет определять запыленность газов, находящихся под давлением.

Предложенный и разработанный способ совершенствования системы очистки доменного газа внедрен на ОАО «Северсталь» (г. Череповец) [3]. Проведены экспериментальные исследования на газоочистке по выявлению допустимых режимных параметров, позволяющих, не снижая степени очистки газа, снизить расход воды на орошение.

В процессе эксперимента производился контроль запыленности доменного газа после скруббера и труб Вентури при изменении расхода орошающей воды (рис. 2, 3). Расход воды на орошение скруббера изменялся в интервале от 1800 м³/ч до 2500 м³/ч, а на каждую трубу Вентури – от 50 м³/ч до 150 м³/ч. Кривые на рис. 2, 3 получены методом полиномиальной аппроксимации 2 степени.

Исследования показали, что степень очистки доменного газа слабо зависит от расхода орошающей воды в исследуемом интервале (рис. 2) и запыленность доменного газа в этом интервале изменяется от 40 до 20 мг/м³.

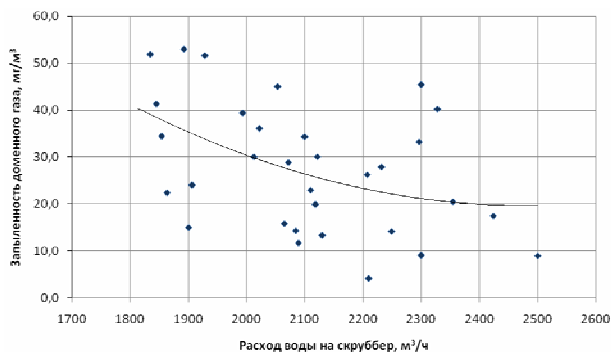


Рис. 2. Зависимость запыленности доменного газа после скруббера от расхода воды

Трубы Вентури «дочищают» доменный газ до значений ниже требуемой нормы (рис. 3) на всем исследуемом интервале расхода воды, что также способствует ее экономии.

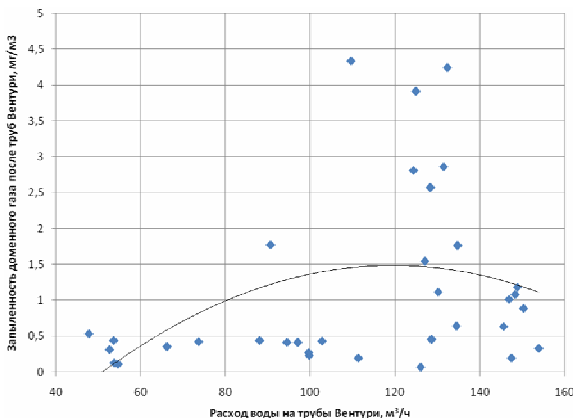


Рис. 3. Зависимость запыленности доменного газа после труб Вентури от расхода воды

В результате анализа экспериментальных исследований выявлен резерв экономии оборотной воды на скруббере и трубах Вентури, который составляет не менее $700 \text{ м}^3/\text{ч}$ (30 %).

Качество очистки скруббером, в конечном счете, будет определяться не только количеством орошающей воды, но и качеством ее распыла эвольвентными форсунками. Для исследования работы скруббера разработана и создана его математическая модель в программном комплексе FlowVision [4].

На основании моделирования работы эвольвентных форсунок, установленных внутри скруббера, была получена зависимость максимального диаметра факела разбрызгивания от расхода воды на эвольвентную форсунку, а также получена зависимость степени перекрытия факелами воды канала скруббера от расхода воды, подаваемого на форсуночный аппарат (рис. 4).

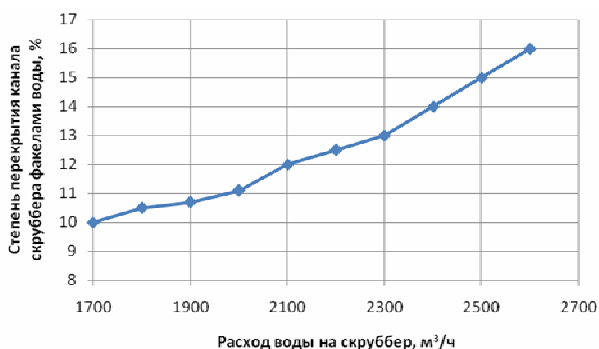


Рис. 4. Зависимость степени перекрытия факелами воды канала скруббера от расхода воды на орошение

При исследовании работы скруббера на математической модели было получено поле скоростей доменного газа перед разбрызгивающим аппаратом и проведена оценка влияния неравномерностей скоростного поля перед разбрызгивающим аппаратом на размеры факела разбрызгивания воды форсункой.

По результатам физического и численных экспериментов получены зависимости удельной запыленности доменного газа после скруббера от степени перекрытия факелами воды канала скруббера и удельной запыленности доменного газа после скруббера от расхода воды на орошение (рис. 5).

Анализ полученных зависимостей показал, что увеличение степени перекрытия факелами разбрызгиваемой воды от 12,5 % за счет увеличения ее расхода не ведет к повышению степени очистки доменного газа. Поэтому увеличение удельного расхода орошающей воды на скруббер выше $4,35 \text{ м}^3$ на 1 тыс. м^3 доменного газа не только не улучшает его работу, но и экономически не выгодно, поскольку влечет за собой перерасход оборотной воды.

Горин Огег Иванович,
Ивановский государственный энергетический университет,
кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой энергетики теплотехнологий и газоснабжения,
e-mail: gorinov@tvp.ispu.ru

Горбунов Владимир Александрович,
Ивановский государственный энергетический университет,
кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики теплотехнологий и газоснабжения,
e-mail: zamdekana@iff.ispu.ru

Долинин Денис Александрович,
Ивановский государственный энергетический университет,
инженер-программист кафедры энергетики теплотехнологий и газоснабжения,
e-mail: tevp@tvp.ispu.ru

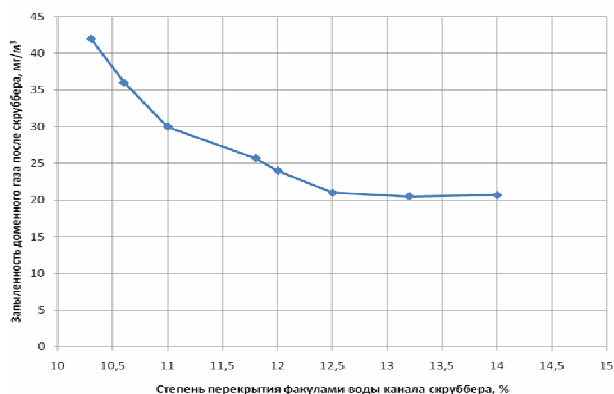


Рис. 5. Зависимость запыленности доменного газа после скруббера от степени перекрытия факелами воды канала скруббера

Полученные экспериментальные данные по запыленности доменного газа за скруббером и трубами Вентури были использованы для обучения нейросети [5] для определения удельной запыленности доменного газа в зависимости от его расхода и расхода воды на орошение.

На основании нейросетевой технологии были получены режимные карты работы скруббера и труб Вентури.

Режимные карты работы скруббера и труб Вентури позволяют на основании расхода доменного газа, проходящего через газоочистку, выбрать технически обоснованный расход воды.

Список литературы

1. **Правила безопасности** в газовом хозяйстве металлургических и коксохимических предприятий и производств ПБ 11-401-01.
2. **Горин О.И., Долинин Д.А.** Повышение уровня безотходности в технологии мокрой очистки доменного газа: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XIV Бенардосовские чтения). – Иваново, 2007. – Т. 2. – С. 48.
3. **Патент** на изобретение 2324525. Способ мокрой очистки отходящих доменных газов.
4. **Михрина Т.В., Горбунов В.А.** Использование пакета FlowVision для исследования работы скруббера по очистке доменного газа: Тез. докл. XIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», 1–2 марта 2007 г. В 3-х т. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – Т. 2. – С. 420–421.
5. **Горбунов В.А., Долинин Д.А.** Использование нейросетевой технологии для повышения эффективности работы газоочистного оборудования после доменной печи: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XIV Бенардосовские чтения). – Иваново, 2007. – Т. 2. – С. 43.