УДК 669.184.15:681.5

А.С.АНАШКИН
Металлургический факультет, аспирант кафедры печей, контроля и автоматизации металлургического производства

НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА В УПРАВЛЕНИИ ГАЗОВЫМ РЕЖИМОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОНВЕРТЕРА

Описана автоматизированная система управления газовым режимом горизонтального конвертера, разработанная автором для конвертерного отделения плавильного цеха ГМК «Печенганикель». Задача управления газовым режимом конвертера заключается в поддержании в его газовом тракте разрежения, обеспечивающего, с одной стороны, максимизацию содержания диоксида серы в конвертерных газах, поступающих на сернокислотное производство и, с другой стороны, минимизацию выбросов конвертерных газов в атмосферу цеха. Сложность решения данной задачи в рамках автоматизированной системы управления состоит в отсутствии технических средств, позволяющих контролировать как содержание диоксида серы в потоке горячих запыленных газов, так и выбросы газов в атмосферу цеха через зазоры газового тракта. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитать содержание диоксида серы в конвертерных газах по косвенным показателям (расходу дутья, разрежению в пылевой камере конвертера и температуре конвертерных газов). Для исключения выбросов конвертерных газов в атмосферу цеха в системе применен нечеткий алгоритм управления, позволяющий формализовать и использовать в автоматизированной системе производственный опыт оператора-технолога, осуществляющего в настоящее время ручное управление газовым режимом конвертера.

Automated control system of the horizontal converter developed by the author for converter department of the smelting workshop of the ore mining and processing enterprise “Pechenganickel”. The main task in controlling gas regime of the converter is to maintain negative pressure in its gas path, which will, on the one hand, provide maximisation of sulphur dioxide share in converter gases directed to the sulphuric acid processing and, on the other hand, minimise gas blowouts in the workshop atmosphere. The difficulty of solving this problem in the context of an automated control system consists in the lack of technology to control both the contents of sulphur dioxide in the flow of hot dust-laden gas and gas blowouts through the gas path gaps. A mathematical model was developed that enables calculation of sulphur dioxide contents in converter gases basing on indirect measures (blast input, negative pressure in the dust chamber of the converter and converter gas temperature). To eliminate converter gas blowouts in the workshop atmosphere a fuzzy controlling algorithm is used in the system that enables formalisation and application in the automated control system factory floor experience of the operator who presently controls the gas regime of the converter manually.

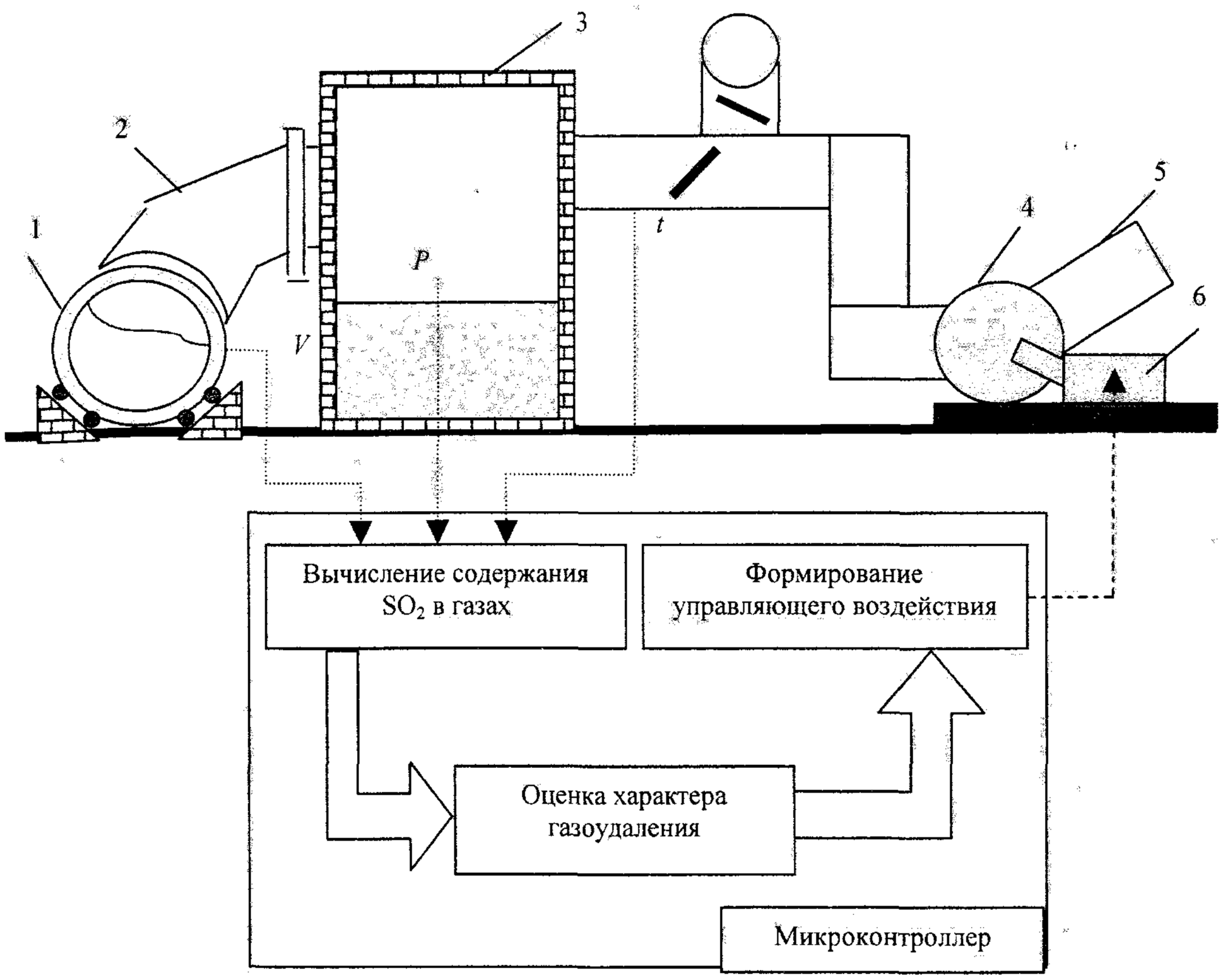
В настоящее время кафедрой печей, контроля и автоматизации металлургического производства института разрабатывается система автоматического управления газовым режимом горизонтальных конвертеров плавильного цеха комбината «Печенганикель».

В конвертерном отделении плавильного цеха этого комбината работают пять конвертеров, дающих газ неравномерно, с перерывами, что связано с особенностями технологии. Наиболее концентрированные по диоксиду серы газы направляются на сернокислотное производство, остальные – в ды-

мовую трубу, причем управление подачей газов осуществляется оператором вручную. Оператор должен следить сразу за несколькими работающими конвертерами, оценивая содержание диоксида серы в газах каждого конвертера по косвенным показателям, непрерывно измеряемым на объекте: расходу дутья, подаваемого в конвертер, разрежению в пылевой камере и температуре отходящих газов. Это связано с тем, что газоанализаторы на SO_2 не могут быть применены для целей оперативного контроля состава конвертерных газов вследствие их большого запаздывания. Таким образом, для управления газовым режимом конвертерного отделения оператор должен наблюдать за большим числом технологических параметров, оценивать по ним содержание диоксида серы в газах каждого работающего конвертера и принимать своевременные и адекватные управляющие решения. Частые ошибки оператора, связанные с тяжелыми условиями его работы, приводят к снижению концентрации диоксида серы в газах на входе в цех производства серной кислоты до 2-3 %, а нередко и ниже 2 % и крупным выбросам конвертерных газов в атмосферу цеха.

Для повышения концентрации диоксида серы в газах, поступающих на производство серной кислоты, и снижения выбросов конвертерных газов в цех, готовится к внедрению автоматизированная система управления.

Основным участком, на котором происходит разбавление конвертерных газов, а также их выброс в атмосферу, является зазор между горловиной конвертера и напыльником (см. рисунок). Наличие или отсутствие газовых выбросов, а также избыточного разбавления конвертерных газов подсасываемым под напыльник воздухом определяется расходом конвертерных газов



Система управления газовым режимом конвертера
1 – горизонтальный конвертер; 2 – напыльник; 3 – пылевая камера; 4 – дымосос;
5 – газоход в СКЦ; 6 – асинхронный электродвигатель

через горловину конвертера, разрежением, создаваемым дымососами в пылевой камере, и величиной указанного зазора.

Задача оптимального управления газовым режимом конвертера сводится к получению максимально возможной концентрации диоксида серы в газах на выходе из пылевой камеры посредством выбора разрежения в последней с учетом двух ограничений:

- конвертерные газы не должны выбиваться из-под напыльника в цех;
- температура газов не должна превышать предельных значений, диктуемых условиями сохранности оборудования газового тракта.

При синтезе автоматической системы оптимального управления газовым режимом горизонтального конвертера возникает ряд трудностей, связанных с недостатком информации о технологическом процессе. Непосредственно на объекте могут быть измерены только три технологических параметра: расход дутья, подаваемого на конвертер, разрежение в пылевой камере и температура газов на выходе из последней. Величина зазора между горловиной конвертера и напыльником, необходимая для математического описания газового режима, не может быть измерена на агрегате, так как конфигурация зазора постоянно изменяется вследствие образования настылей на краях горловины конвертера. Такую важнейшую характеристику конвертерных газов, как содержание в них диоксида серы, также невозможно оперативно контролировать стандартными техническими средствами, ввиду большого запаздывания технологического контроля. Наличие или отсутствие выбросов газов в цех из-под напыльника в принципе не поддается количественной оценке.

Для определения значений эквивалентных размеров зазора между горловиной конвертера и напыльником δ и содержания диоксида серы в газах на выходе из пылевой камеры C_{SO_2} разработана математическая модель, позволяющая рассчитать эти величины по показателям, косвенно их характеризующим и измеряемым на объекте: расходу дутья, подаваемого на конвертер $V_д$, разрежению в пылевой камере $P_{п.к}$ и температуре отходящих газов $t_{газ}$. Модель представляет собой систему уравнений, описывающих разбавление и теплообмен конвертерных газов на всем их пути от ванны агрегата до выхода из пылевой камеры, которая условно может быть представлена в виде

$$(\delta, C_{SO_2}) = f(V_д; P_{п.к}; t_{газ})$$

и решается численными методами на ЭВМ.

Трудность, связанная с невозможностью измерения и количественной оценки наличия или отсутствия газовых выбросов, преодолена использованием в системе управления математического аппарата теории нечетких множеств, позволяющего описать этот фактор в виде лингвистических оценок типа: «в настоящее время конвертер выбрасывает газы довольно сильно», либо «газовых выбросов нет», либо «наблюдается избыточный подсос воздуха под напыльник».

Характер газоудаления из конвертера формируется совокупностью трех факторов: расхода дутья, однозначно определяющего расход технологических газов, выделяющихся в ванне конвертера, разрежения в пылевой камере и величины зазора между горловиной и напыльником, обусловливающих пропускную способность напыльника по газам. Нечеткая логика дает возможность увязать влияющие факторы с лингвистической оценкой характера газоудаления и присвоить последней вероятностную оценку степени ее адекватности реальному аэродинамическому процессу, лежащую в пределах от нуля до единицы, и называемую функцией принадлежности. Иными словами, зная расход дутья, разрежение в пылевой камере и величину зазора, можно, используя математический аппарат нечеткой логики определить, что, например, «имеет место сильный выброс газов в атмосферу, при этом степень адекватности данной оценки реальной ситуации составляет 0,8». Характеристику газоудаления такого вида уже можно применять для выбора оптимального значения разрежения. Для определения указанных характеристик составлена база продукционных логических правил вида:

$$\text{ЕСЛИ } V_д = \ldots \text{ И } P_{п.к} = \ldots \text{ ТО } Y = \ldots ,$$

где Y – лингвистическая оценка характера газоудаления из конвертера, принимающая следующие значения: «конвертер сильно выбрасывает газы из-под напыльника»; «конвертер выбрасывает газы из-под напыльника»; «нормальное газоудаление»; «имеется подсос воздуха под напыльник», «имеется сильный подсос воздуха под напыльник».

Оптимальному режиму газоудаления из конвертера соответствует лингвистическая оценка «нормальное газоудаление», остальные оценки описывают нежелательные производственные ситуации. Функция принадлежности оценки $\mu(Y)$ рассчитывается по формуле нормального распределения случайной величины.

Определение оптимального разрежения в пылевой камере производится расчетным образом на основании нечеткой оценки характера газоудаления из конвертера с учетом текущей температуры газов на выходе из пылевой камеры. Так, одной и той же оценке вида «сильный газовый выброс» при сильно перегретых газах должно соответствовать более сильное увеличение разрежения, чем при холодных газах, с целью понижения температуры газов за счет подсоса большего количества холодного воздуха. Таким образом, система выполняет свою основную задачу (повышение содержания диоксида серы в газах), обеспечивая при этом соблюдение двух наложенных на качество управления ограничений: исключает газовые выбросы и поддерживает температуру газов в заданных пределах. Выбор конкретного управляющего сигнала производится по методике японских математиков Сугэно и Такаги. Эта методика предусматривает фиксированные возможные варианты управления, которые выбираются в зависимости от технологической ситуации. В описываемой системе предусмотрены 15 вариантов управляющих воздействий: семь вариантов увеличения разрежения (при наличии газовых выбросов), семь вариантов уменьшения разрежения (при низких концентрациях диоксида серы в газах) и «нулевой» вариант, оставляющий разрежение в пылевой камере без изменения (при достижении оптимального режима газоудаления из конвертера). Таким образом, система выдает управляющий сигнал в виде рекомендации увеличить или уменьшить разрежение в пылевой камере на некоторую величину.

Реализация принятого управляющего решения может производиться двумя способами. Первый способ предусматривает двухуровневую систему управления. Верхним уровнем является описанная система выработки рекомендации по изменению разрежения в пылевой камере. Нижний уровень обеспечивает требуемое разрежение в пылевой камере посредством изменения угла поворота заслонки, установленной на газоходе между пылевой камерой и дымососом. Управление двигателем заслонки при этом может производиться по любому стандартному закону регулирования, обеспечивающему требуемые точность и быстродействие. Второй вариант предусматривает регулирование разрежения в пылевой камере изменением частоты вращения дымососа при помощи тиристорного преобразователя. Это позволяет установить четкую связь между разрежением в пылевой камере и частотой вращения дымососа, что повышает точность регулирования.

Работа рассмотренной системы управления выглядит следующим образом. Измеренные на объекте управления расход дутья, разрежение и температура газов на выходе из пылевой камеры преобразуются в цифровой код посредством аналого-цифрового преобразователя и вводятся в управляющую машину, где используются в блоке вычисления содержания диоксида серы в газах и зазора между напыльником и горловиной конвертера. В соответствии с определенным зазором δ выбирается база правил логического вывода для оценки характера газоудаления. На основании выбранной базы правил по измеренным значениям расхода дутья $V_д$ и разрежения в пылевой камере $P_{п.к}$ производится оценка характера газоудаления из конвертера; полученное значение оценки Y передается в следующий блок – блок выбора управляющего воздействия. В этом блоке происходит вычисление оптимального управляющего воздействия U по нечеткой оценке характера газоудаления Y и

измеренной текущей температуре газов на выходе из пылевой камеры $t_{газ}$. Управляющее воздействие $U = \pm \Delta P$, вычисленное в виде рекомендации увеличить либо уменьшить разрежение в пылевой камере, реализуется поворотом заслонки на газоходе на определенный угол или изменением частоты вращения дымососа.

В настоящее время производится разработка алгоритмического обеспечения системы управления и выбор технических средств для ее реализации.

Предварительные расчеты по составленной имитационной модели показали, что описанная система управления обеспечивает повышение содержания диоксида серы в газах в среднем на 0,8-1,2 %, температура газов остается в заданных пределах, а их случайные выбросы в атмосферу сведены к минимуму.

Научный руководитель профессор, д.т.н. *К.П.Власов*