

# ТЕЧЕНИЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В НАСАДКЕ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ПРОХОДАМИ ДОМЕННОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

*В.Ю. Шашкин*

## HEAT CARRIER FLOW IN A CHECKER WITH HORIZONTAL PASSAGES OF AN AIR HEATER

*V.Yu. Shashkin*

Анализ энергетической эффективности поверхности нагрева насадки с горизонтальными проходами доменного воздухонагревателя математическим моделированием течения теплоносителя в сложной многоканальной системе последовательно-параллельных каналов произвольной заданной структуры с автоматизированным отображением структуры системы.

*Ключевые слова:* доменный воздухонагреватель, насадка, математическое моделирование, течение, каналы.

The analysis of power efficiency of a blast furnace air heater checker with horizontal passages by means of mathematical modeling of heat-carrier flow in a complex multichannel system of series-parallel channels of custom structure with automated system structure plotting.

*Keywords:* blastfurnace air heater, checker, mathematical modeling, flow, channels.

Повышение эффективности работы доменных печей в значительной степени зависит от параметров дутья, нагретого в блоке регенеративных воздухонагревателей. Блок, обеспечивающий доменную печь дутьем, потребляет большое количество различных видов энергии, его строительство и эксплуатация обходятся весьма дорого. Поэтому снижение затрат на нагрев дутья, повышение его температуры, увеличение срока эксплуатации регенеративных аппаратов очень важно для доменного производства.

При проектировании и оценке эффективности доменных воздухонагревателей одним из сложных вопросов, является неравномерность распределения потоков теплоносителя по насадке, создаваемая участками примыкания, и создаваемая самой насадкой при блокировке части каналов ввиду их разрушения и засорения.

Наличие неравномерности в распределении потоков по насадке регенеративного теплообменного аппарата является одним из наиболее важных факторов, определяющих условия его тепловой работы и технико-экономических показателей [1]. При неравномерном распределении теплоносителей разность температур по сечению насадки может быть довольно значительной по всей ее высоте. Неравномерность существенно снижает эффективность работы воздухонагревателя (чем больше разница в температурах по сечению насадки, тем более неравномерно участие элементов насадки в аккумуляции и отдаче тепла). Температурные напряжения в насадке, обусловленные неравномерным распределением теплоносителей, могут в не-

сколько раз превышать напряжения от веса вышележащих ее слоев и быть причиной преждевременного выхода воздухонагревателя из строя. Возникают трудности в выборе высоты отдельных зон (выкладываемых из различных огнеупоров), что приводит к необходимости увеличения высоты дорогостоящих высокотемпературных зон и создает неодинаковые условия на разных участках насадки. Участки с увеличенной относительной скоростью дутья и уменьшенной скоростью продуктов горения испытывают большие колебания температуры за период в верхней части насадки, а участки с противоположным соотношением скоростей - в нижней ее части. Это вынуждает увеличить высоту участков, выкладываемых из более дорогих высококачественных огнеупоров, и их долю в общей высоте насадки. В конечном счете, неравномерное распределение теплоносителей приводит к удорожанию или преждевременному выходу из строя воздухонагревателя.

Уменьшение неравномерности распределения потоков теплоносителя по насадке доменного воздухонагревателя возможно за счет создания горизонтальных проходов в насадке. Наличие перетоков по горизонтальным проходам позволяет сгладить неравномерность в распределении потоков теплоносителя по насадке теплообменного аппарата и создаваемую участками примыкания, и создаваемую самой насадкой при блокировке части каналов. Применение горизонтальных проходов в насадках эффективно, они сохраняют в работе поверхность нагрева за местом блокировки канала, повышают турбулизацию потока в канале и соот-

ветственно интенсификацию теплообмена. Но течение теплоносителя по такой насадке требует более детального изучения. Для более точной и объективной оценки эффективности работы насадки с горизонтальными проходами необходимо определить распределение теплоносителя по ней, влияние горизонтальных каналов на относительную поверхность нагрева, какая часть каналов работает в расчетном режиме, а в каких расход теплоносителя больше или меньше расчетного, как изменится размер поверхности теплообмена при блокировке каналов.

Течение теплоносителя по такой насадке исследовалось мало и в основном экспериментально, потому что рассчитать распределение потоков по каналам насадки с горизонтальными проходами достаточно сложно, нужна специальная методика расчета.

Насадки регенеративных теплообменников характеризуются сложностью и многообразием структур, а распределение потоков теплоносителей зависит как от конструкции элементов теплообменников, так и от режимов движения газов. Вследствие этого реализован подход расчета течений теплоносителей в системе последовательно-параллельных каналов с автоматизированным отображением структуры системы, состоящей из определенного набора типовых элементов. Он более прост по сравнению с существующими методами моделирования и анализа процессов в сложных тепло-гидродинамических системах, но при этом позволяет эффективно исследовать многоканальные системы. Работа насадки регенеративного теплообменного аппарата разбивается на достаточно короткие промежутки времени. В течение каждого промежутка процесс в насадке принимается стационарным. На каждом временном отрезке для расчетного анализа течения теплоносителя по насадке с горизонтальными проходами, используется модель расчета стационарного состояния многоканальной системы последовательно-параллельных каналов произвольной заданной структуры с автоматизированным отображением структуры системы.

Модель расчета течений в системе последовательно-параллельных каналов строится на следующих основных положениях:

- ставится задача определения параметров (давление, массовый расход, энтальпия) стационарного режима сложной многоканальной системы произвольной заданной структуры, состоящей из набора типовых элементов;

- главными элементами системы считаются каналы, которые объединяются в систему с помощью определенного набора соединительных элементов (местные сопротивления, узлы);

- при задании конкретной структуры системы используется естественный способ описания, удобный для пользователя программного комплекса;

- отображение структуры системы производится с помощью формализованного алгоритма

путем формирования матриц крайних и внутренних граничных условий;

- формирование указанных выше матриц производится на основе обобщенных линеаризованных моделей соединительных элементов.

Модели процессов в каналах строятся на основе уравнений неразрывности, сохранения количества движения и энергии, записанных в гидравлической форме.

Данный метод отображения структуры системы и исследования течений теплоносителей в системе последовательно-параллельных каналов принципиально предполагает возможность модернизации. Применение новой модели соединительного элемента приведет к коррекции элементов матриц крайних и внутренних граничных условий, тогда как общий алгоритм останется прежним. Тем самым, повышается область исследуемых систем.

Разработан алгоритм, на основе которого создана прикладная программа, позволяющая определять параметры (величину массового расхода, энтальпию теплоносителя в каналах, направление его течения, давление в каналах) стационарного состояния системы каналов произвольной заданной структуры и оперативно исследовать, как всю систему в целом, так и отдельные ее подсистемы на этапе проектирования и в процессе эксплуатации.

Разработаны схемы моделирования течения теплоносителя по сложной многоканальной системе (порядок нумерации каналов и узлов многоканальной системы). При этом количество каналов, входящих в систему, может превышать 1000, а схема их соединения быть любой сложности.

Модель применена к расчету течения теплоносителя по насадке регенеративного теплообменного аппарата. Она позволяет моделировать процессы в различных типах насадок с горизонтальными проходами регенеративных теплообменных аппаратов при различных режимах. Насадка представляется как система каналов, соединенных между собой определенным образом, в зависимости от ее конструкции.

Моделировались случаи работы насадки с горизонтальными каналами доменного воздухонагревателя при наличии неравномерного поля давления на входе в насадку и засорения каналов (локальный выход из строя насадки).

В качестве моделируемых были взяты насадки с различной формой каналов, с ячейками 45x45 мм с одинаковыми горизонтальными проходами в углах каналов. Насадка была представлена как последовательно-параллельное соединение каналов. В качестве теплоносителя рассматривался воздух.

Моделирование неравномерности потока на входе в насадку было проведено при различных полях давления на входе в насадку и величин соотношения пропускной способности горизонтальных каналов и вертикальных. Исследовалась неравномерность распределения потоков по вертикальным каналам в каждом горизонтальном слое,

изменение расходов в горизонтальных каналах по высоте насадки, влияние геометрических размеров.

Расчеты показали, что перераспределение потоков теплоносителя по вертикальным каналам заканчивается уже в первых слоях насадки. Далее же по высоте насадки, после выравнивания, через горизонтальные проходы расход теплоносителя незначительный, и они играют лишь роль турбулизаторов. То есть горизонтальные каналы не участвуют активно в процессе теплообмена и их наличие уменьшает площадь эффективной поверхности теплообмена. Таким образом, для каждой конструкции насадки необходимо подбирать оптимальную площадь их проходного сечения и распределение по высоте, чтобы минимизировать этот отрицательный эффект. Приведенная выше модель расчета позволяет это сделать.

Рассмотрена зависимость между неравномерностью распределения потоков в вертикальных каналах на входе в насадку и высотой слоя, на котором происходит перераспределение теплоносителя в горизонтальной плоскости при изменении величины горизонтальных перетоков. Чем больше горизонтальные перетоки, тем быстрее газ из вертикальных каналов с большим давлением (расходом) перераспределится в вертикальные каналы с меньшим давлением (расходом) и произойдет выравнивание газовых потоков по насадке. Таким образом, увеличение пропускной способности горизонтальных каналов позволяет уменьшить высоту зоны перераспределения, тем самым большая часть насадки по высоте работает равномерно. Но слишком большое относительное увеличение пропускной способности горизонтальных каналов приводит к отрицательному эффекту - значительному увеличению неравномерности распределения теплоносителя по вертикальным каналам в первых слоях насадки. Расход на начальном участке насадки в вертикальных каналах с большим давлением на входе возрастет и будет выше расхода, который был бы при малых горизонтальных перетоках, а расход в вертикальных каналах с меньшим давлением на входе напротив будет на начальном участке меньше. Начальные участки насадки (верх или низ насадки в зависимости от режима работы) будут работать с большой неравномерностью массовых расходов по вертикальным каналам, что негативно скажется на эффективности насадки. Возникнут термические напряжения, каналы будут менее эффективно участвовать в процессе теплообмена.

Установлено также, что увеличение пропускной способности горизонтальных каналов (увеличение горизонтальных перетоков) увеличивает гидравлическое сопротивление насадки с горизонтальными каналами.

Изучалось перераспределение потоков теплоносителя по рабочим каналам при обтекании места блокировки и течение теплоносителя до и после заблокированного места при засорении каналов насадки с горизонтальными проходами.

Результаты расчетов показали, что при засо-

рении вертикальных каналов насадки с горизонтальными проходами теплоноситель проходит через горизонтальные каналы, и поверхность вертикального канала за местом засорения сохраняется для процесса теплообмена. Но в вертикальных каналах, соседних с заблокированным, наблюдается значительное колебание расхода по высоте. Это может привести к дополнительным термическим напряжениям в зоне блокировки.

Расход в вертикальных каналах, соседних с засоренными каналами, непосредственно за местом блокировки значительно падает. Происходит это в результате заполнения теплоносителем вертикальных каналов непосредственно за местом блокировки и инерционностью растекания теплоносителя по системе каналов. В результате, при работе доменного воздухонагревателя в вертикальных каналах, соседних с засоренными каналами, над местом блокировки расход воздуха в дутьевой период будет меньше, чем расход продуктов горения газов в газовый период, в этом месте насадки будет происходить перегрев каналов. В вертикальных каналах непосредственно над местом блокировки наблюдается та же картина. Таким образом, в перечисленных каналах в результате засорения, будут происходить термические разрушения и можно предположить, что область дефекта насадки будет расширяться вверх в стороны. Чем дольше после возникновения блокировки канала продолжает работать насадка, тем большая ее часть разрушается и потребуются больше затрат на ремонт насадки.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что горизонтальные каналы улучшают работу насадки: увеличивают ее живучесть, позволяют избавиться от неравномерностей распределения потоков теплоносителя по каналам, турбулизируют поток и увеличивают тем самым коэффициент теплоотдачи. Но для того, чтобы избежать отрицательных эффектов, которые они вносят в работу насадки, представляется необходимым тщательно подбирать их размер и размещение по высоте, оптимизируя эти параметры по расчетам.

Математическое моделирование потоков в каналах насадки с горизонтальными каналами позволяет оценить условия работы и размер поверхности теплообмена, ее изменение при блокировке части каналов, выбрать оптимальную величину горизонтальных перетоков, и может использоваться на этапе проектирования при создании новых насадок для оценки энергетической эффективности поверхности нагрева и анализа работы насадки доменного воздухонагревателя.

#### *Литература*

*1. Соломенцев, С.Л. Неравномерность распределения дутья и продуктов горения по сечению насадки / С.Л. Соломенцев, В.Д. Кортиков // Сталь. - 1976. - №II. ~ С 982-984.*

*Поступила в редакцию 16 июня 2009 г.*