

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ НАСАДОК ДОМЕННЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

В.Ю. Шашкин

Рассмотрены перспективные конструкции насадок доменных воздухонагревателей и пути развития конструкций насадок.

Ключевые слова: доменный воздухонагреватель, насадка, каналы.

В выборе формы кирпича и формы каналов, а также в выборе толщины стенки между ячейками, живого сечения и аккумулирующей массы насадки общего направления нет, поэтому по-прежнему применяются многочисленные конструкции насадок, различающиеся по этим параметрам.

Следует отметить значительный вклад коллектива авторов ряда работ ВНИИМТ (г. Свердловск) в изучение возможностей интенсификации конвективного теплообмена в каналах различной формы в применении к регенеративным воздухонагревателям [1, 2, 3, 4]. Ими проведен большой объем экспериментальных и теоретических исследований в этом направлении. Полученные результаты базировались на представлениях теории подобия и моделирования процессов конвективного теплообмена. Экспериментальная установка для получения коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления каналов насадок при некоторых допущениях достаточно адекватно моделировала изучаемые процессы. Полученные во ВНИИМТ результаты широко использовались в промышленности при анализе эффективности работы воздухонагревателей и при реконструкции насадок аппаратов. Эти данные также применялись в проектной практике при поиске новых эффективных форм насадок.

Большое количество данных по определению характеристик экспериментальных насадок с каналами различной формы содержится в работах ВНИИМТ (г. Свердловск) [1, 2]. Авторы работ рассматривали каналы как с различными вариантами турбулизирующих элементов, так и при различном положении этих элементов в каналах. Исследовалось влияние отдельных видов турбулизаторов на теплообмен и гидравлическое сопротивление каналов. Рассматривались гладкие каналы квадратного сечения, каналы

со ступенчатым изменением проходного сечения, каналы, оснащенные горизонтальными каналами различной формы, щелевые каналы, каналы со сложной формой проходного сечения: шестиугольные, звездообразные, оснащенные продольными полусферическими ребрами, а также каналы, оснащенные поперечными ребрами конической и треугольной формы. Всего приводятся полученные зависимости по 16 каналам в работе [2] и по 24 каналам в работе [1]. Исследовано влияние отношения длины канала к его эквивалентному диаметру на теплообменные и гидравлические характеристики каналов. Исследования производились в широком диапазоне чисел Re , причем захватывались области развитого турбулентного, ламинарного течения, а также области переходных режимов течения. Авторами установлено, что применение горизонтальных проходов в насадке эффективно, они турбулизируют поток теплоносителя, и незначительно повышают гидравлическое сопротивление. Наилучшие показатели коэффициентов теплоотдачи конвекцией были получены для ступенчатых насадок и насадок с выступами. Однако гидравлическое сопротивление этих насадок, по сравнению с насадками со сплошными гладкими каналами увеличилось в гораздо большей мере, чем других.

Большое количество работ по определению перспективных форм каналов насадок посвящено исследованию конфузорно-диффузорных каналов рис. 1. Насадки с конфузорно-диффузорными каналами представляются очень перспективными, при относительно высоких показателях конвективной теплоотдачи, они обладают хорошим соотношением характеристик по теплоотдаче и гидравлическому сопротивлению. Чередующиеся конфузоры и диффузоры хорошо турбулизируют поток, не создавая при этом большого гидравлического сопротивления. При этом такие насадки технологичны в изготовлении и монтаже.

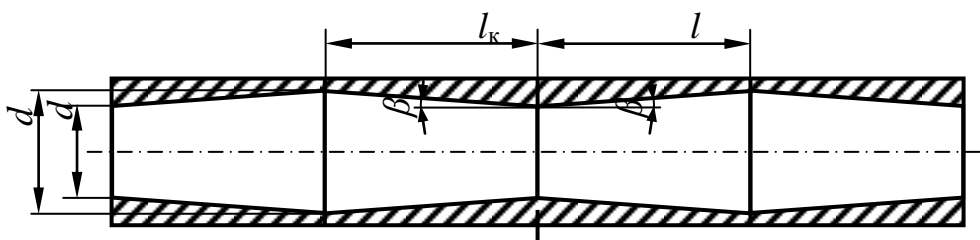


Рис. 1. Конфузорно-диффузорный канал

В работе [5] содержатся данные по экспериментальному определению теплогидравлических характеристик девяти конфузорно-диффузорных каналов, имеющих различные отношения длин конфузорных и диффузорных участков. Результаты работы позволяют отследить зависимость влияния геометрических параметров на теплотехнические и гидравлические характеристики.

В работе [6] рассмотрена насадка с каналами типа «елочка». Такой канал в сборе для одного направления потока представляет собой последовательный ряд диффузоров, а для противоположного – ряд конфузоров рис. 2. В каналах типа «елочка» дополнительная турбулизация достигается за счет наличия в канале ступенек, образующихся при последовательном совмещении усеченных конусов. Авторами [6] установлено, что теплоотдача конвекцией и гидравлическое сопротивление в турбулентной области течения для чисел $Re > 3500$ не зависят от направления потока. Отмечается, что при течении в режиме развитой турбулентности наблюдается двукратное увеличение коэффициента теплоотдачи конвекцией при росте коэффициента трения в 3,5–4,0 раза по сравнению с гладкими каналами при тех же значениях Re . Наиболее интересны результаты эксперимента, полученные при течении теплоносителя вдоль конфузора в диапазоне Re от 600 до 2500, то есть в зоне ламинарного и переходного режимов течения. Авторами дается анализ возможного применения насадки с каналами типа «елочка», средним диаметром канала 30 мм, при условии ее использования в воздухонагревателях доменной печи объемом 1386 м³. По мнению авторов работы [6], это позволяет снизить общую высоту насадки аппарата на 5–8 метров по сравнению с насадкой, где применены гладкие каналы.

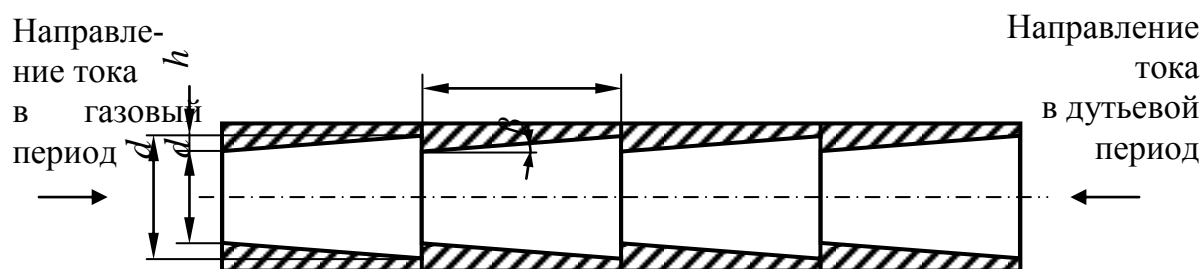


Рис. 2. Канал типа «елочка»

Наиболее рациональной оказалась комбинированная насадка, когда верхняя ее часть выполняется каналом типа «елочка» (с периодическими сужениями), а нижняя - цилиндрическим каналом [7]. В работе автор приводит данные расчетов для разных насадок одного из бесшахтных воздухонагревателей конструкции Калугина при сохранении внутреннего диаметра насадки (см. табл.). Из которых следует, что при сохранении параметров нагрева дутья, высота и масса комбинированной насадки, по сравнению со стандартной, уменьшаются существенно.

Ряд теоретико-экспериментальных работ провел коллектив авторов под руководством проф. Соломенцева С.Л. (г. Липецк). Этим коллективом предложено несколько конструкций эффективных насадок [8, 9, 10, 11, 12].

В статье [11] приведены данные лабораторных исследований насадки из кирпичей, образующих горизонтальные проходы в виде вертикальных щелей на узких боковых гранях. В этом случае вся поверхность широких и

узких вертикальных граней кирпичей в насадке открыта и участвует в теплообмене с теплоносителями, обеспечиваются турбулизация и интенсификация теплообмена, а также возможность перемещения газов в поперечном направлении. Последнее предупреждает потери поверхности нагрева насадки из-за случайных перекрытий отдельных ее каналов. В предложенной конструкции насадки по сравнению с насадкой из обычного кирпича, в зависимости от размеров поперечного сечения кирпичей действительная относительная поверхность нагрева, по мнению авторов, может быть увеличена в 1,6–1,8 раза практически без уменьшения опорной площади кирпича, определяющей механическую прочность насадки. Коэффициенты гидравлического сопротивления и конвективного теплоотдачи в области турбулентного режима течения соответственно в 1,7–1,9 и 2–2,3 раза больше по сравнению с насадкой из обычного кирпича, причем нижние приделы этих величин относятся к насадкам с наибольшим шагом между горизонтальными проходами. Согласно расчетам авторов работы, применение предложенной насадки вместо обычной при прочих равных условиях позволяет уменьшить требуемую высоту насадки воздухонагревателя на 36 % и соответственно уменьшить затраты на его сооружение.

Таблица

Характеристики бесшахтного воздухонагревателя
при использовании разных типов насадок [7]

Параметр	Тип насадки		
	ГОСТ 2090175 41 мм	Гладкий канал 30 мм	Комбинирован- ный канал 30 мм
Поверхность напева насадки, м ² /м ³	32,7	48,0	48,7
Температура купола, °С	1550	1550	1550
Температура дутья, °С	1400	1400	1400
Гидравлическое сопротивление, Па	800	780	1180
Масса насадки, т	1890	1525	1200
Высота насадки, м	37,24	30,51	24,48

В статье [9] приведены данные лабораторных исследований насадки из щелевого кирпича, разработанной с целью дальнейшего увеличения относительной поверхности нагрева и повышения турбулизации и интенсификации теплообмена. А также насадка из кирпичей в форме параллелепипедов, широкие боковые грани кирпичей выполнены в виде параллелограммов. Кроме того, с целью увеличения интенсивности теплообмена на широких боковых гранях последние предложено снабдить наклонными к горизонтальной оси под углом 45 градусов канавками. Такая форма кирпичей разработана с целью устранения недостатков возникающих при изготовлении элементов насадки из кирпичей, образующих горизонтальные проходы [11].

Результаты исследований [9] показали, что изготовление насадки из кирпичей с дополнительными горизонтальными проходами по сравнению с насадками из обычных кирпичей позволяет увеличить относительную действительную поверхность нагрева насадки в $\sim 2,5$ раза при уменьшении коэффициента заполнения насадки на ~ 15 %. Насадка из кирпичей в форме параллелепипедов имеет относительную действительную поверхность нагрева, равную относительной действительной поверхности нагрева насадки из кирпичей, образующих горизонтальные проходы в виде вертикальных щелей. В насадке из кирпичей в форме параллелепипедов коэффициенты гидравлического сопротивления и конвективной теплоотдачи соответственно на ~ 10 и 20 % меньше по сравнению с насадками из кирпичей, образующих горизонтальные проходы в виде вертикальных щелей, однако выполнение канавок на широких боковых гранях кирпичей позволяет сблизить значения теплотехнических характеристик указанных насадок. При этом снижается стоимость изготовления, устраняются недостатки, возникающие при изготовлении кирпичей, образующих горизонтальные проходы.

В работе [8] исследовались разработанные насадки: щелевая из кирпичей с трапецидальной формой широких боковых граней и с дистанционными выступами, блочная в виде ребристых кирпичей со срезами на ребрах и узких боковых гранях. Результаты лабораторных исследований [8] показали их высокую теплотехническую эффективность. Коэффициенты гидравлического сопротивления и конвективного теплообмена в исследованном диапазоне чисел Рейнольдса (турбулентный режим движения) в первой и второй насадке соответственно в $1,8-1,2$; $1,4$ и $2,6-2,0$; $2,1$ раза больше по сравнению с насадкой из обычного кирпича. Расчеты, проведенные авторами работы [8], показали, что применение рассмотренных насадок вместо обычной позволит уменьшить требуемую высоту насадки воздухонагревателя в $1,5$ раза при прочих равных условиях.

Следует отметить, что размеры и форма горизонтальных проходов и элементов насадки в целом в рассмотренных работах принимались из условий раскрытия для теплообмена большей части поверхности граней кирпича, достаточной степени интенсивности омывания газами поверхности нагрева в зоне примыкания кирпичей друг к другу, минимума уменьшения поперечного сечения кирпича по сравнению с обычным, а также с учетом требований технологии и себестоимости изготовления кирпичей. Значения ширины щели, образующей горизонтальный проход принимались из условия обеспечения достаточной турбулентности потока и максимально возможной поверхности нагрева, а также по условиям достаточной механической прочности насадок. При этом не исследовалось распределения потоков теплоносителя по каналам насадки с горизонтальными проходами и при выборе размеров горизонтальных проходов не учитывалось влияние величин перетоков, образуемых горизонтальными проходами, на эффективность работы насадки.

Приведенный выше обзор теоретических и экспериментальных работ по изучению возможностей интенсификации конвективного теплообмена в каналах различной формы в применении к регенеративным воздухонагревателям не может считаться достаточно полным. Однако он позволяет сделать вывод о том, что изучаемый вопрос, а именно, влияние формы канала и интенсифицирующих элементов на теплоотдачу конвекцией и гидравлическое сопротивление реальных регенеративных насадок, имеет важное прикладное значение. С другой стороны, для решения этого вопроса необходимо уточнение теоретических представлений о воздействии формы каналобразующих элементов насадки, конструкции насадки регенеративного теплообменного аппарата в целом, на процессы, происходящие в ее каналах.

Библиографический список

1. Тимофеев, В.Н. Исследование конвективной теплоотдачи и гидравлического сопротивления насадок новых типов для доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, С.П. Каштанова // Теплообмен и аэродинамика в металлургических агрегатах. (ВНИИМТ. Сб. № 13). – М.: Металлургия, 1967. – С. 5–49.
2. Тимофеев, В.Н. Исследование коэффициентов теплоотдачи конвекцией и коэффициентов гидравлического сопротивления новых форм насадок доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, С.П. Каштанова // Регенеративный теплообмен и теплоотдача в струйном потоке (ВНИИМТ. Сб. № 8). – Свердловск: Металургиздат, 1962. – С. 68–105.
3. Тимофеев, В.Н. Техничко-экономическое сравнение насадок новых типов для доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, С.П. Каштанова // Теплообмен и аэродинамика в металлургических агрегатах (ВНИИМТ. Сб. № 13). – М.: Металлургия, 1967. – С. 61–88.
4. Шкляр, Ф.Р. Доменные воздухонагреватели (конструкции, теория, режимы работы): коллективная монография / Ф.Р. Шкляр С.П. Каштанова, В.М. Малкин, Я.П. Калугин. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
5. Интенсификация работы регенеративных теплообменников / М.И. Агафонова, В.М. Малкин, Ф.Р. Шкляр и др. // Совершенствование тепловой работы и конструкций металлургических агрегатов. Темат. отрасл. Сб. – М.: Металлургия, 1982. – С. 84–85.
6. Канунникова, Л.М. Исследование эффективных насадок с каналами переменного сечения для доменных воздухонагревателей / Л.М. Канунникова, Я.П. Калугин // Теплотехническое обеспечение основных металлургических производств. Темат. сб. – М.: Металлургия, 1990.
7. Калугин, Я.П. Разработка теоретических основ и конструкций с внедрением в промышленность новых высокотемпературных регенеративных теплообменных аппаратов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Я.П. Калугин. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2009. – 34 с.
8. Соломенцев, С.Л. Исследование щелевой, блочной и аналога шаровой насадок / С.Л. Соломенцев, С.М. Басукинский // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1998. – № 3. – С. 60–62.

9. Соломенцев, С.Л. Исследование эффективных насадок типа каупера из кирпичей / С.Л. Соломенцев, С.М. Басукинский, П.И. Кирьянов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1990. – № 9. – С. 82–84.

10. Соломенцев, С.Л. Усовершенствование насадки регенератора нагревательного колодца / С.Л. Соломенцев, Б.Л. Марков, В.К. Сигмунд, и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1985. – № 7. – С. 142–144.

11. Соломенцев, С.Л. Улучшенная насадка каупера / С.Л. Соломенцев, В.К. Сигмунд, и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1984. – № 7. – С. 132–135.

12. Соломенцев, С.Л. Моделирование аэродинамики в системе параллельных сплошных каналов и методика экспериментирования на таких моделях / С.Л. Соломенцев, Ф.Р. Шкляр, В.Д. Коршиков // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1984. – № 3. – С. 98–101.