МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ВИХРЕВЫХ ТОПОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

В.П. Щуренко*, Е.М. Пузырев*, П.К. Сеначин**
**НИЦ ПО «Бийскэнергомаш», г.Барнаул*
***АлтГТУ им. И.И.Ползунова, г.Барнаул*

Аэродинамика и топочные процессы в циклонных камерах и вихревых потоках изучались и изучаются практически во всех ведущих научно-исследовательских и учебных институтах. Тем не менее, из-за отсутствия методик расчета для разработки низкотемпературных вихревых топочных устройств потребовалось создание стендовых установок. В экспериментальной котельной НИЦ ПО «Бийскэнергомаш» были созданы специальные стендовые установки, проводилось холодное моделирование, были выполнены стендовые и промышленные исследования.

При разработке стендовой базы и методик исследования учитывался имеющийся опыт изучения вихревых потоков [1–4]. При моделировании в первую очередь ставилась задача исследования принципов и возможности организации аэродинамики и топочного процесса в некруглых камерах и приближенных к ним камерах призматического типа: восьми, затем шестигранных, при различной ориентации оси вращения вихря и др.

При разработке, с учетом технологии и реального многообразия номенклатуры завода, типа резервного топлива и других характеристик были предложены и запатентованы различные модификации профиля вихревой топки [5–11], включая многоугольные, дубль- и сообщающиеся, радиальные и др. вихревые камеры.

Для отработки этих конструкций ВТ применялось изотермическое моделирование. В качестве примеров модели показаны на рис.1-4. На рис.1. показано моделирование аэродинамического удержания опилок в восьмигранной топке с горизонтальной осью вихря. На рис.2. моделирование удержания лузги в шестигранной расширяющейся уступом топке с горизонтальной осью вихря. На рис.3. показано моделирование удержания опилок в восьмигранной дубль-топке с вертикальными осями вихрей и наклонным дном. На рис.4. показана пятиугольная модель топки радиального типа с удержанием подсолнечной лузги.

Моделирование показало возможность надежного удержания легких парусных час-

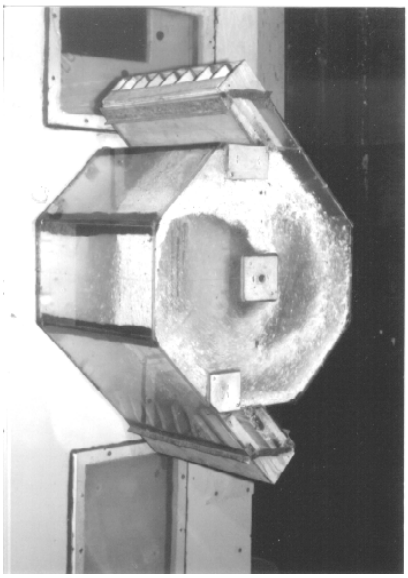

Рис.1. Картина удержания вращающихся частиц в модели вихревой топки с горизонтальной осью вращения

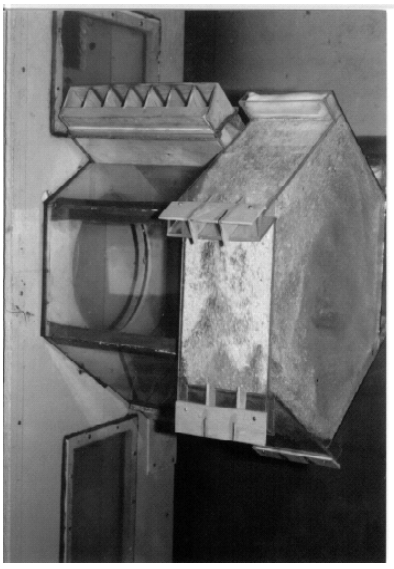

Рис. 2. Аэродинамическая обстановка в двухкамерной вихревой топке с удержанием частиц за уступом

тиц не только в общепринятых, но сложных в производстве, цилиндрических циклонах, но и в многоугольных, дубль- и сообщающихся, радиальных и др. вихревых камерах. При этом очень важную роль играет схема организации дутья, преимущественно и составлявшая предмет моделирования. Например, за счет дутья можно стабилизировать потенциально неустойчивую (перекачка частиц в более загруженный вихрь) схему сообщающихся согласованно вращающихся вихрей (дубль- , тройные и т.д.).

Продувки на моделях позволили определить оптимальные геометрические характеристики, распределение дутья, форму сопел, углы их наклона и геометрию газовыпускного окна. В опытах определялись поля скоростей, рис.5., 6, и коэффициенты сопротивления, изучалось формирование потоков выноса частиц и другие элементы аэродинамической обстановки.

Профиль осевой скорости, рис.5., указывает на сложный характер течений. По наблюдениям в моделях может формироваться несколько взаимодействующих зон циркуляции с возвратными течениями. Пристенные струи вблизи сопл движутся по обычным законам, на линиях сопряжения плоских стенок могут образовываться вихри тонкой структуры, типа вихрей Гёртлера. Отраженное от глухой торцевой стенки течение наиболее сложно.

Увеличение загруженности частицами меняет аэродинамическую обстановку, приводит к расслоению потоков и неустойчивости, вихрь исчезает, частицы не удерживаются в топке. В котельной практике это наиболее опасные режимы крупномасштабных пульсаций и хлопков с пожароопасным выбросом потоков пламени и искр, задымлением помещения и остановом котла по срабатыванию защит. По опытам, при правильной организации аэродинамики критическая загруженность частицами в модели может быть увеличена в десятки раз. Таким образом, холодное моделирование позволяет обеспечивать стабильность работы реальной топки.

Подача донного дутья под горизонтальное или наклонное дно имитирует работу колосника. Так моделировались вихревые топки со слоевым сжиганием на колосниках крупных фракций или твердого резервного топлива.

Полученные данные составили основу для выбора профиля и геометрии топок, а так же для составления рекомендаций по проектированию вихревых топочных устройств котлов.

По схеме донного дутья [6, 11] сейчас работают водогрейные котлы КВ-1,86 ВД (КВ-1,6-95 ВД), тепловой мощностью 1,86 МВт оснащенные наклонным колосником с двухсторонним зажиганием и вихревой камерой дожигания.



Рис.3. Картина удержания опилок в модели вихревой дубль-топки с вертикальной осью вращения вихря

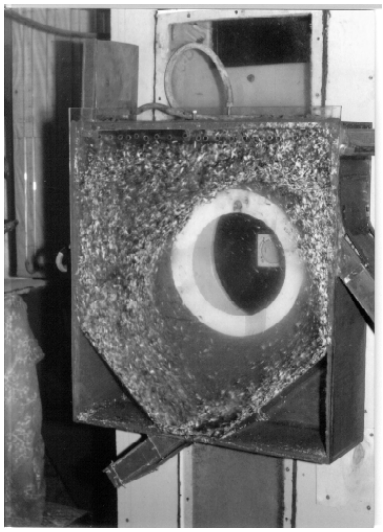

Рис.4. Аэродинамическая обстановка в модели вихревой топки радиального типа

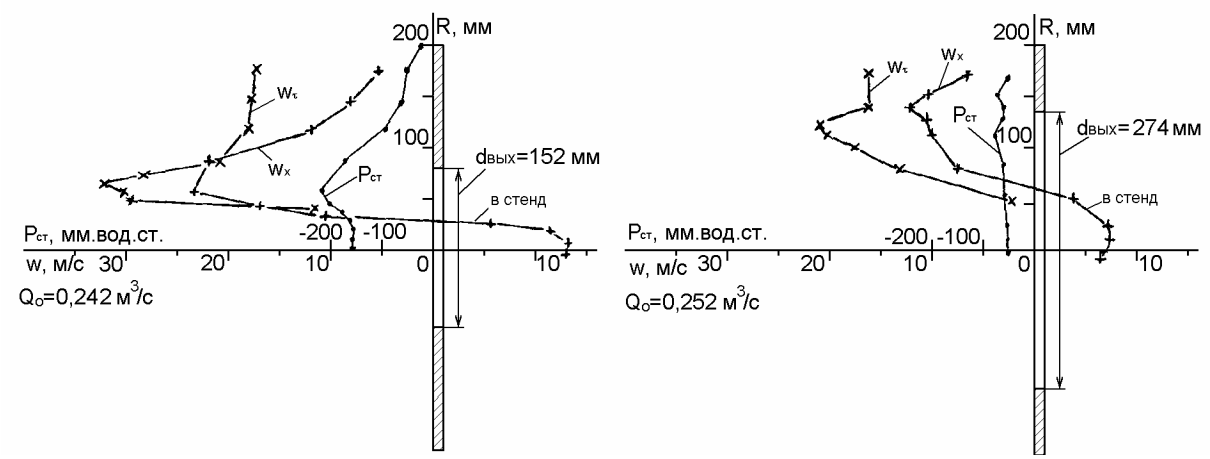

Рис.5. Поля статического давления $P_{ст}$, осевой w_x и тангенциальной w_t составляющих скорости потока вблизи от выходного окна мотели вихревой топки

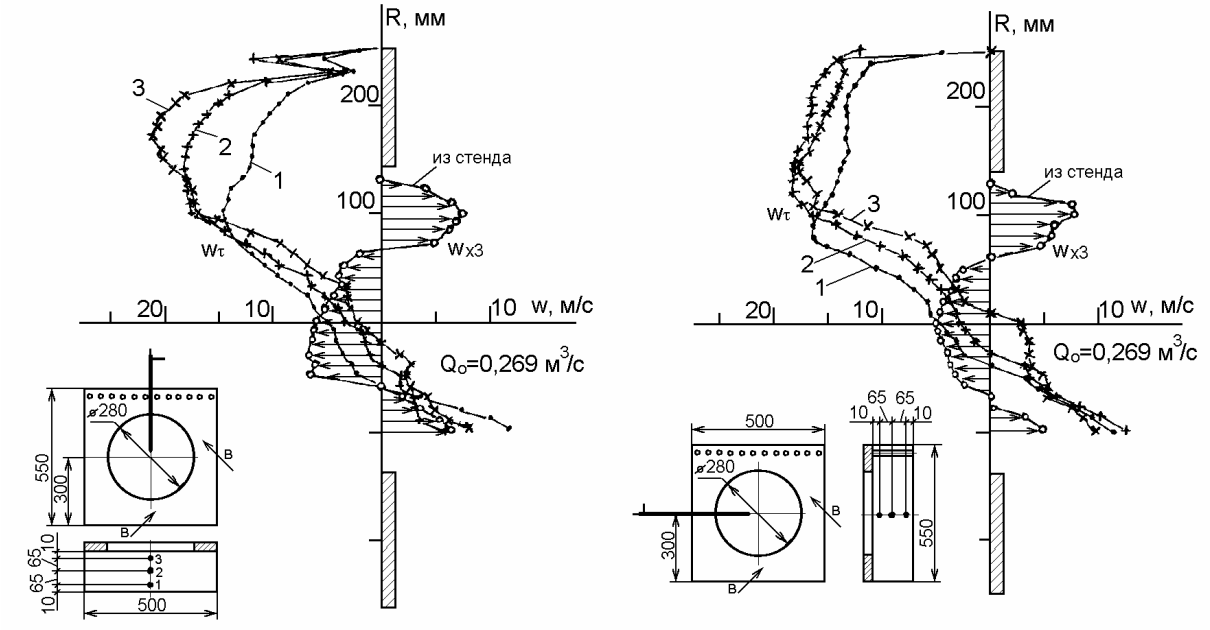

Рис. 6. Схема расположения мерных сечений 1, 2, 3 и поля тангенциальной w_t и осевой w_x скоростей на горизонтальном и вертикальном сечениях радиальной вихревой топки

Первые котлы были установлены в котельной Абазинского лесокомбината, г. Абаза и работают с отопительного сезона 1996/1997 г. Топливо с расходом в 1100–750 кг/ч включает рубленый горбыль, кору, щепу и опилки подаются без подготовки. Топочный процесс характеризуется высокой устойчивостью, попадание снега и льда не приводит к погасанию топки. Использование перепревших отходов также не вызывает трудностей, но их расход в 1,5–2,5 раза больше из-за высокой влажности и переокисленности. Выбросы не содержат коксовых и сажевых частиц, наблюдается практически полное догорание горючих в провале под дожигательным колосником, то есть нет снижения экономичности котла с уносом и недожогом.

Подобная схема с механизированной горизонтальной колосниковой топкой «шурующая планка — ТШП–1,5» в течение нескольких лет успешно используется в реконструированных котлах КЕ-4-14 Барнаульского маслобойного завода при сжигании подсолнечной лузги и бурого угля в качестве резервного топлива.

Схемы [5] с сообщающимися, согласованно вращающимися вихрями (дубль-, тройные и т.д.), рис.3. удобны для разворачивания типоразмерного ряда на основе единого топочного блока с повышением мощности котла. Например, по проекту реконструкции котла КЕ-25 на сжигание подсолнечной лузги, дубль-топка позволяет в 1,5–2 раза снизить размеры топочного устройства. Дубль-топка вписывается в топочный объём котла КЕ-25.

Наиболее просты конструктивно топки [7, 8] с вертикальной осью вращения. Они могут выполняться, в том числе, просто огнеупорной кладкой. Первый реконструированный котел КЕ-6,5-14-270 ДВ используется фирмой «Каскад» для сжигания подсолнечной лузги. Два котла КЕ-10-14 ОГВ установлены в котельной ОАО «Чишмиское», п. Чишмы. Все вихревые топки обеспечивают глубокое выгорание частиц.

Применение конструктивно простых, неохлаждаемых топок [7] с вертикальной осью вращения с другой стороны связано с рядом технологических трудностей, и, например, попытки простого копирования их конструкции другими фирмами были неудачными.

Экранированные вихревые топки наиболее просто выполняются в варианте с горизонтальной осью вращения вихря, рис.1., 2. ПО «Бийскэнергомаш» поставил паровой котел Е-16-2,1-350, работающий в Урюпинском маслоэкстракционном заводе с 1998 г. Паровой котел Е-10-2,1-350 работает на маслоэкстракционном заводе в г. Усть-Лабинск.

На маслозаводах в п. Бутурлиновка и ряде др. для сжигания подсолнечной лузги успешно используются реконструированные котлы КЕ-4, КЕ-6,5, ДКВр-4 и ДКВр-6,5 с радиальной вихревой топкой [7], рис.4. Котлы с радиальной вихревой топкой наиболее компактны, их габариты не на много превышают внешние размеры собственно котельного блока, и они могут устанавливаться, как и газо-мазутные, на нулевой отметке.

Низкотемпературное сжигание и надежное удержание горящих частиц обеспечивает хорошее заполнение ими пристенного топочного объёма. При этом согласно отработанным на стендах, рис.1., 2, способам формирования зон повышенной концентрации частиц можно обеспечить газификацию и ступенчатое сжигание частиц.

Моделирование и опыт промышленного внедрения вихревых топок для сжигания лузги и растительных отходов показал, что вихревые топки, причем далеко не круглого сечения, рис.4., при правильной организации аэродинамики идеальны для организации удержания мелких и парусных частиц.

В развитие этой идеи было проведено моделирование и реконструкция П-образного котла ЭЧМ-60 по разработанной схеме с V-образными горелками.

Проект реконструкции котлов ЭЧМ-60-2 на низкотемпературное вихревое сжигание с угрубленным помолом и использованием вихря с горизонтальной осью вращения был выполнен в 1997 году согласно патенту [6]. Реконструкция, с целью отказа от 20–40% подсветки мазутом, была успешно проведена в районной коммунальной котельной г. Междуреченска. На рис.7. показан монтаж V-образных горелок.

Реконструкция котлов с отопительного сезона 1998/99 г. существенно стабилизировала ситуацию с теплоснабжением города Междуреченска, обеспечила независимость работы котельной от поставок мазута. Сейчас реконструированы все котлы. Они имеют устойчивый, высокоэффективный топочный процесс при использовании низкореакционного Кузнецкого СС угля. Тепловая мощность котлов, причем без подсветки мазутом, повышена до 50–60 Гкал/час, вместо 30–35. Экономический эффект от внедрения составил 52,3 млн. руб. в год.



Рис.7. Монтаж V-образных горелок котла ЭЧМ-60

Котлы оборудованы двумя тангенциальными молотковыми мельницами ММТ–1500/2510/740 с шахтными гравитационными сепараторами, которые для замены мазута углем, переведены на грубый помол.

Вихревой топочный процесс отличается от штатного — факельного. До реконструкции факел имел L-образную форму. Он располагался выше отметки горелок ~9 м. Ниже этой отметки (примерно 1/3) топка не заполняется факелом и не участвует в процессе выжигания горючих. Факел сосредоточен вверху, где имеется ярко выраженное высокотемпературное ядро горения.

После реконструкции поток от V-образных горелок почти горизонтально натекает на задний экран на отметке ~8 м. Далее двумя потоками вихрь расходится вверх и вниз. Поток идущий вниз глубоко входит в холодную воронку топки. Здесь вихрь взаимодействует с плоским потоком нижнего дутья и восходит около фронтового экрана под корень факелов истекающих из V-образных горелок, обеспечивая их стабильное воспламенение.

Характерно, что при вынужденном останове котлов L-образный факел гаснет сразу, а горение в вихревом потоке наблюдается в течение 10–15 минут. Благодаря стабилизации воспламенения при работе реконструированного котла нет необходимости в подсветке мазутом. Его экономические показатели существенно лучше, чем у котла в исходном состоянии.

На реконструированном котле имеет место устойчивый вихревой топочный процесс с приемлемым механическим недожогом топлива (на уровне исходного варианта с факельным сжиганием) при отсутствии износа экранов, т.е. главного недостатка применяющихся схем низкотемпературных вихревых топок. Факел равномерно заполняет весь объем топки. Благодаря этому температура понижена и имеет место низкотемпературный топочный процесс. Шлак в пробах из холодной воронки представлен хорошо прогоревшими отдельными частицами без сплавленных агломератов и стекловидных кусочков, характерных для типовых котлов.

На сегодня низкотемпературные вихревые топки применены для сжигания лузги, древесных отходов и угля более чем в 30 котлах различных типов мощностью до 25 т/ч, установленных в 24 действующих котельных. Их использование расширяется и считается одним из основных направлений деятельности НИЦ ПО «Бийскэнергомаш», ЗАО ПО «Бийсэнергомаш», ОАО БиКЗ и ряда других фирм.

Литература:

1. Кнорре Г.Ф. и др. Теория топочных процессов. — М–Л.: Энергия, 1966. — 491 с.
2. Штым А.Н. Аэродинамика циклонно-вихревых камер. Владивосток.: Изд-во ДВГУ, 1985. — 199 с.
3. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. — М.: Мир, 1987. — 588 с.
4. Смульский И.И. Аэродинамика и процессы в вихревых камерах. — Новосибирск: ВО Наука, 1992. — 301 с.
5. Пузырев Е.М., Щуренко В.П. Циклонная топка. Патент РФ. №2105239. 20.02.98. Бюл. № 5.
6. Пузырев Е.М., Щуренко В.П., Шарапов М.А. Устройство для сжигания твердого топлива. Патент РФ № 2126113. 10.02.99. Бюл. № 4.
7. Пузырев Е.М., Щуренко В.П., Щербаков Ф.В. Вихревая топка. Патент РФ № 2126932. 27.02.99. Бюл. № 6.
8. Пузырев Е.М., Щуренко В.П. Способ сжигания измельченного топлива и циклонный предтопок котла для его осуществления. Патент РФ.№ 22127399. 10.03.99. Бюл. № 7.
9. Пузырев Е.М., Лихачева Г.Н., Скрябин А.А. Низкотемпературная вихревая топка. Патент РФ. №2132016. 20.06.99. Бюл. № 17.
10. Пузырев Е.М., Щуренко В.П. Вихревая камера сгорания. Патент РФ №2132512. 27.06.99. Бюл. № 18.
11. Пузырев Е.М. Топка. Патент РФ № 2166150. 20.12.2000, Бюл №35.