

Рис.2 ГБК типа « $x-a_w$ » семейства зубчатых передач К-Н-V, условно связанных зубчатым колесом с внутренними зубьями Z_b (Стандартный исходный контур, $m = 2,5$ мм, $\beta = 0$): а - $Z_b = 100, Z_1' = 99$; б - $Z_b = 100, Z_1'' = 98$; в - $Z_b = 100, Z_1''' = 97$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

Л.Е.Ровин

Гомельский политехнический институт им. П.О.Сухого (Гомель)

Эффективность технологических установок, в которых реализуются тепло- и массообменные процессы, существенно зависит от рациональной организации газовых или двухфазных потоков.

Математическое описание и расчёты по дифференциальным уравнениям гидродинамики сложны для точного решения и требуют предварительного определения большого числа граничных условий, что в конкретных случаях не всегда возможно. Поэтому основным методом исследования течения газов в промышленных объектах, таких как плавильные печи, аппараты очистки выбросов, химические реакторы и т.п., остаётся моделирование.

Традиционный подход при гидродинамическом моделировании потоков в аппаратах заключается в обеспечении геометрического подобия, идентичности ввода-вывода газов и равенства критериев Рейнольдса (Re) и Эйлера (Eu) на входе. Газ рассматривается как несжимаемая жидкость с постоянными физическими свойствами (вязкость, плотность), что правомерно при высоких скоростях потоков в производственных установках.

Таким образом, моделирование ведётся для случая изотермического движения, игнорируя процессы горения и теплообмена в рабочем пространстве установок, резко нарушающих условия постоянства плотности и вязкости газов по тракту. Но так как движение газов проходит в условиях автомодельности, то это отступление от реальных условий не приводит к изменению характера движения (турбулентности).

Практика изотермического моделирования даёт достаточно хорошее приближение при определении общего перепада давления, влияния местных сопротивлений газораспределительных устройств и др. Использование этого метода позволило разработать принципиально новый тип мокрых пылеуловителей для плавильных печей, взамен широко применяемого ранее. На Рис. 1 представлены схемы традиционного (а) и нового (б) пылеуловителей для вагранок. В первом поток, как показали исследования, движется узким слоем вдоль корпуса, а центральную часть аппарата занимает циркуляционная застойная зона. Струя газов, выходя из трубы под зонтом, отклоняется и, «растягиваясь» по радиусу круга, достигает стенок в виде тонкого кольцевого потока. Форсунки орошения устанавливаются в центре аппарата или равномерно по его сечению. Очевидно, что эффективность орошения и теплообменных процессов в этом аппарате невелики.

Разработанный на основе данных моделирования аппарат кольцевого типа, помимо меньших габаритов имеет внутренний обтекатель, выполненный коническим с углом при вершине $20-22^\circ$, что соответствует естественному углу раскрытия затопленной струи. Такая

конструкция устраняет циркуляционные зоны, обеспечивает плотное равномерное орошение по всему сечению потока газов. Сопротивление аппарата «б» оказалось ниже, чем типа «а» на 30–50 Па при одинаковых расходах, что существенно при работе пылеуловителей на самотяге. Дополнительный эффект по очистке и охлаждению газов был достигнут за счёт вторичного дробления капель и стенки в узком кольцевом канале аппарата.

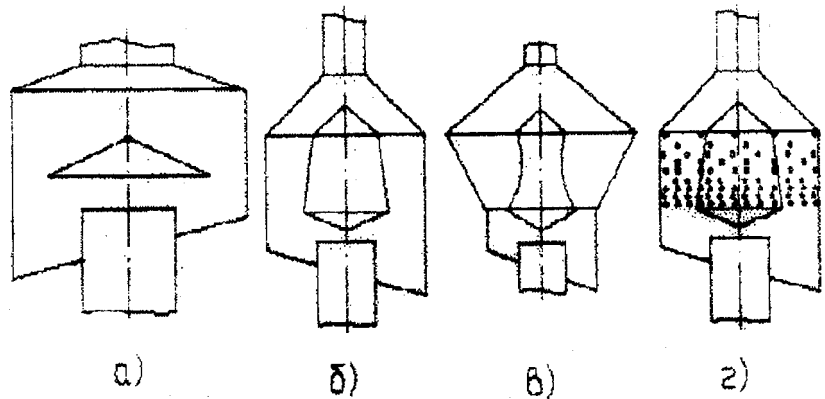


Рис. 1. Модели пылеуловителей.

Однако производственные испытания пылеуловителей и натуральные измерения полей скорости в сечениях аппарата показали, что имеются существенные отличия от модельных характеристик. Например, вдоль конического обтекателя наблюдались встречные нисходящие потоки, что при изотермическом моделировании исключалось (Рис. 2).

Для того, чтобы получить картину распределения скоростей, близкую к реальным условиям, очевидно, необходимо учесть и смоделировать процесс охлаждения газов в пылеуловителе. Температура газов по высоте аппарата изменяется по эмпирическому уравнению:

$$t = t_0 (h + 1)^{-k\alpha_v},$$

где t и t_0 – текущая и начальная температуры; h – высота рабочей зоны; α_v – объёмный коэффициент теплоотдачи, равный в данном случае $(1-1.5) \times 10 \text{ Вт/м}^3 \text{ К}$; k – коэффициент, зависящий от параметров орошения: плотности, дисперсности и температуры, равный $(1-2) \times 10^{-3}$. Соответственно, снижается и рабочий расход газов:

$$V = V_0 (1 + \alpha t),$$

где V и V_0 – текущий и начальный объём; α – коэффициент объёмного расширения, равный $1/273$.

Наиболее существенным фактором является скорость охлаждения, характеризуемая градиентом температуры $gradt$. Для аппаратов типа мокрых пылеуловителей в начальной зоне $gradt \geq (450-700) \text{ К/м}$, в вагранках в кислородной зоне при нагреве $gradt = (2500-3000)$, в зоне подгрева шихты $gradt \geq 300-350 \text{ К/м}$.

В результате резкого охлаждения и сокращения рабочего расхода газов происходит перераспределение скоростей по сечению аппарата (шахты). Поток «поджимается» к наружным стенкам, вдоль которых значение скорости сохраняется, а в центральной части резко уменьшается (Рис. 2). Границей возможности использования изотермического моделирования является равенство диаметров затопленной струи. Из условия равенства углов раскрытия струи можно записать:

$$tg\beta \leq tg\gamma = \frac{d}{\sqrt{l}} \left(\sqrt{\frac{l}{l} + \alpha gradt} - 1 \right),$$

где β – угол раскрытия затопленной струи; γ – угол теплового расширения (сжатия) струи; d – начальный диаметр; l – длина струи на расчётном участке.

Если принять $d=l=1 \text{ м}$, то предельное значение $gradt=120 \text{ К/м}$, что, очевидно, меньше приведённых выше данных.

Добиться подобия течения и распределения потоков можно при моделировании путём профилирования модели, т.е. осуществить геометрическое подобие не корпуса, а потока газов, в соответствии с изменениями рабочего расхода (Рис. 1в). Второй способ – использование перфорированной модели (Рис. 1г). Перфорация позволяет отводить часть газов по тракту, пропорционально изменению расхода или \sqrt{gradt} .

Разработанный метод изокINETического моделирования неизотермических потоков, в основе которого – равенство отношений рабочих скоростей и расходов газов в эквивалентных сечениях по тракту аппарата и модели позволяет моделировать изменения не только режи-

мов течения, но и теплообмена. На Рис. 2 показаны векторные диаграммы, полученные изокинетическим методом, хорошо соответствующие натурным испытаниям.

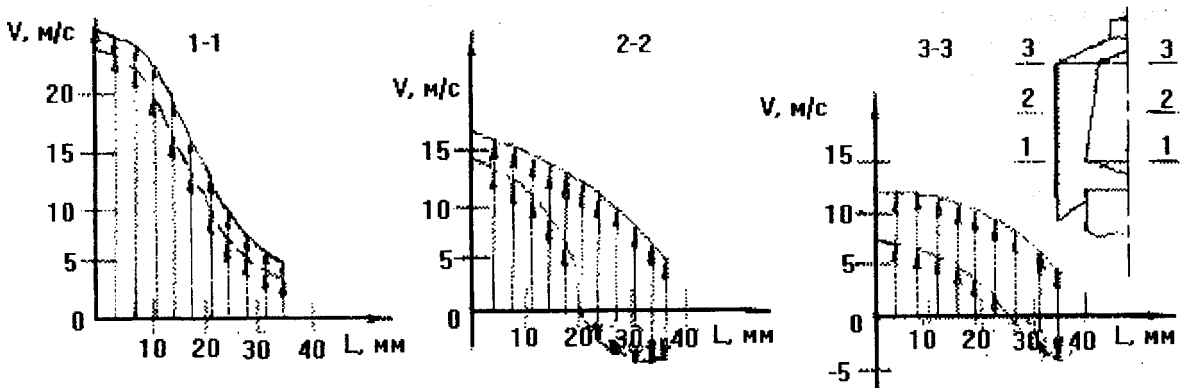


Рис. 2. Диаграммы скоростей в сечениях промышленного и модельного пылеуловителя с учётом (---) и без учёта (—) $gradt$

Результаты, полученные с помощью этого метода, позволили усовершенствовать конструкцию пылеуловителя вагранок, разработать оптимальный профиль шахты печи, модернизировать установку подогрева шихты, туннели горелок для дожигания газов и др. Метод изокинетического моделирования неизоэтермических потоков может успешно использоваться для оптимизации конструкций установок, работающих с высокими $gradt$ и $gradv$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

А.С.Козерук

Белорусская государственная политехническая академия (Минск)

В машиностроении обработка деталей с прецизионными цилиндрическими и коническими поверхностями осуществляется, в основном, по методу геометрического замыкания. Для реализации данного метода требуется высокоточное технологическое оборудование, которое в современных условиях не каждое из нуждающихся отечественных предприятий может приобрести.

При обработке упомянутых деталей нами применяется метод свободной притирки, который реализуется с помощью специальных устройств, устанавливаемых на сравнительно простой станок мод.ШП (изготовитель Сморгонский завод оптического станкостроения).

Устройство для обработки цилиндров выполнено в виде закреплённой на цилиндре планшайбы, причём инструмент, деталь и планшайба связаны между собой подвижно. Соединение между деталью и планшайбой выполнено в виде фрикционного зацепления колеса с торцом планшайбы. Ось симметрии колеса совмещена с осью вращения детали, поводок же инструмента подвижно связан с приводной штангой и нижней направляющей, закреплённой на жестко соединённой с основанием верхней направляющей, при этом подвижная часть последней связана с полюсом параллелограммного механизма, противоположный полюс которого соединён с основанием, а один из двух остальных полюсов параллелограммного механизма связан с приводной штангой.

Устройство для обработки конических деталей содержит планшайбы для крепления детали, которые соединены с центрами, установленными с возможностью относительного вращения в дополнительном устройстве, при этом один из центров через шарнир Гука жёстко связан с шестерней, входящей в зацепление с другой шестерней, закреплённой на валу, установленном в верхнем диске с возможностью относительного вращения и соединён с помощью скользящей шпонки с поводком, связанным с приводной штангой.

С целью выявления оптимальных значений наладочных параметров модернизированного станка мод.ШП выполнено математическое моделирование геометрических и кинематических связей процесса формообразования цилиндров и конусов по упомянутому методу. В основу моделирования положено определение суммарных скоростей скольжения в произвольно выбранной точке на поверхности детали за цикл её обработки.

Используя разработанную модель, проведён расчёт путей трения, проходимых произ-