

# ИСПЫТАНИЯ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В связи со сложностью комплекса аэродинамических, химических и тепловых процессов, происходящих при сжигании топлива, наиболее надежным инструментом при создании горелочных устройств является испытание. Испытание – это экспериментальное определение качественных и количественных характеристик горелочных устройств и создаваемых ими факелов при работе горелок в стендовых или промышленных условиях. Испытания классифицируются по видам.

На стадии разработки горелочных устройств выполняются исследовательские испытания. При этих испытаниях определяются качественные характеристики горелок, выбираются лучшие режимы их работы и лучшие варианты конструкций, в наибольшей степени отвечающие требованиям технического задания на разработку. Кроме того, определяются существенные факторы, влияющие на характеристики факела. Исследовательские испытания завершаются, как правило, разработкой рекомендаций для создания рабочей документации опытного образца горелочного устройства, которое затем подвергается контрольным испытаниям.

Контрольные испытания горелок разделяются на несколько основных видов: приемочные, квалификационные, периодические, типовые, сертификационные и испытания по предписаниям органов государственного надзора. Эти испытания выполняются испытательными центрами, аккредитованными органами стандартизации.

Приемочные испытания опытного образца или опытной партии выполняются с целью определения целесообразности поставки этой продукции на производство или использования по назначению.

Квалификационные испытания горелок выполняются с целью определения готовности производства к выпуску продукции данного типа и в заданном объеме.

Периодические испытания выпускаемой продукции выполняются в объемах и в сроки, установленные нормативно-технической документацией, с целью контроля стабильности качества горелочных устройств и определения возможности продолжения их выпуска. Как правило, их совмещают с сертификационными испытаниями.

Типовые испытания горелок выполняются с целью оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений в их конструкцию.

Сертификационным испытаниям подвергаются горелочные устройства с целью установления соответствия их технических характеристик национальным или международным нормативным документам.

Обязательная сертификация предусматривается для следующего горелочного оборудования:

- бытовая аппаратура, работающая на твердом, жидком и газообразном топливе;
- отопительные котлы;
- горелки газовые промышленные;
- горелки промышленные на жидком топливе;
- теплогенераторы для животноводства, птицеводства и кормопроизводства.

Обязательная сертификация распространяется также на все импортируемые горелочные устройства, независимо от типа и назначения. При этом испытания продукции для обязательной сертификации проводятся исключительно испытательными лабораториями и центрами, аккредитованными Госстандартом России в системе ГОСТ Р, а выдача сертификатов соответствия – органами по сертификации, аккредитованными

Госстандартом России или региональными центрами стандартизации, метрологии и сертификации (СМиС).

Для проведения обязательной сертификации продукции изготовитель или продавец обращаются в орган по сертификации соответствующей продукции (перечень органов с указанием области их аккредитации (деятельности) публикуется ежегодно Госстандартом России и имеется в региональных центрах СМиС). При желании заказчик может указать испытательную лабораторию или центр, в котором будут проведены испытания для целей сертификации.

Продукция, представленная на сертификация, должна иметь технические условия, зарегистрированные в установленном порядке, конструкторскую и эксплуатационную документацию.

Если в технических условиях на продукцию по каким-либо причинам разработчик указал более жесткие условия, чем в ГОСТах или правилах, то соответствие требованиям определяется на основе этих технических условий, а не стандартов и Правил.

Орган по сертификации определяет испытательному центру и заказчику, на соответствие какого (каких) требований безопасности и стандартов проводится сертификация и в каком объеме (схема сертификации). Эти требования отражаются в специальном документе – Решении о проведении сертификации, которое передается Заказчику и Испытательной лаборатории (центру). Испытательные лаборатории (центры), не имеющие статуса независимых, проводят испытания с участием представителя органа по сертификации или Госстандарта России.

Заказчик имеет право участвовать в испытаниях продукции в качестве наблюдателя.

В необходимых случаях, кроме испытания продукции, орган по сертификации проводит проверку производства у предприятия-изготовителя продукции.

По результатам испытания продукции и/или проверки производства орган по сертификации оформляет сертификат соответствия на ограниченную партии продукции или на определенный срок. В течение срока действия орган по сертификации проводит контрольные проверки.

Испытания (техническое освидетельствование) по предписаниям надзорных органов проводятся в объеме предписания. Однако, как правило, они проводятся на соответствие всем требованиям соответствующих типу продукции ГОСТов, а не только требованиям безопасности. В этом плане объем испытаний – больше и требования более жесткие, так как включают и соответствующие требования правил и норм надзорного органа.

Добровольная сертификация и испытание продукции, не подлежащей обязательной сертификации, проводятся по взаимно согласованной методике и программе и их результаты, как и результаты сертификационных испытаний, являются конфиденциальными.

Методы контрольных испытаний определяются стандартами и нормативами в зависимости от типов горелок и их назначения.

## **ИСПЫТАНИЕ ГАЗОВЫХ ГОРЕЛОК**

Горелки общего назначения до 10 МВт с ручным, полуавтоматическим и автоматическим управлением, работающие на топливных газах, сжигаемых в смеси с воздухом, а также газовая часть комбинированных горелок, предназначенных для работы и на жидком топливе, должны проходить контрольные испытания с целью установления паспортных характеристик горелок и выявления соответствия их общим техническим требованиям и технической документации разработчика и изготовителя.

Методы контрольных испытаний не распространяются на специальные горелки, на горелки, являющиеся составной частью газоиспользующего оборудования – для быта и

предприятий общественного питания, а также на специальные испытания отдельных элементов горелок (электродвигатели, дутьевые вентиляторы, элементы автоматики), по которым должны быть самостоятельные гарантии качества завода-изготовителя.

Эти горелки испытываются по специальным методикам, разработанных с учетом общих требований, определяемых стандартами и техническими условиями.

При проведении контрольных испытаний и обработке их результатов употребляют наименования и обозначения:

<b>УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ</b>		
$c$	теплоемкость	Дж/(м <sup>3</sup> ·к) [Дж/(кг·к)]
$d$	диаметр	Мм
$E(i)$	энергия (теплосодержание)	Дж/кг
$F$	площадь	мм <sup>2</sup>
$L_0$	стехиометрическое количество воздуха	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> (м <sup>3</sup> /кг)
$L = \alpha L_0$	действительное количество воздуха	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> (м <sup>3</sup> /кг)
$P$	абсолютное давление	Па
$p$	избыточное давление	Па
$Q_n^p$	низшая теплота сгорания	Дж/м <sup>3</sup> (Дж/кг)
$t$	температура	°С
$T$	температура	К
$V(G)$	количество (пропускная способность)	м <sup>3</sup> /с (кг/с)
$\omega$	скорость	м/с
$\alpha$	коэффициент расхода воздуха	
$\xi$	коэффициент сопротивления	
$\varphi(\mu)$	коэффициент истечения	
$\rho$	плотность	
$m$	объемная кратность инжекции	
$n$	массовая кратность инжекции	
<b>ИНДЕКСЫ</b>		
в	воздух	
г	газ	
см (с)	смесь	
0	при температуре 0°С и давлении 101,4 кПа	

Перед проведением контрольных испытаний горелочных устройств на основании технической документации и представленного образца определяют:

- **классификационные признаки;**
- **конструктивность (степень стандартизации и унификации);**
- **технологичность конструкции (количество нормочасов на изготовление, обслуживание и ремонт);**
- **наличие автоматики (систем дистанционного розжига, обеспечения безопасности, регулирования производительности);**
- **основные размеры (влияющие на рабочий процесс, габаритные и присоединительные);**
- **энергозатраты на привод вентилятора и питание устройств автоматики;**
- **массу горелки;**
- **новизну конструкции;**
- **эстетичность конструкции;**
- **удельную металлоемкость.**

Технологичность конструкции определяется следующими основными показателями:

- **технологичность изготовления отдельных деталей;**
- **технологичность сборки горелки;**
- **технологичность монтажа и ремонта.**

Объем автоматизации горелочного устройства определяется наличием элементами автоматики. Энергозатраты на привод вентилятора и питание средств автоматики определяются по паспортным данным комплектующего оборудования или прямыми замерами. Массу горелки определяют взвешиванием. Новизна конструкции оценивается по патентному формуляру и наличию патента или авторского свидетельства. Эстетичность устройства характеризуется современностью форм, целесообразностью компоновки конструктивных элементов и удобством обслуживания. Удельную материалоемкость определяют как отношение массы горелочного устройства в килограммах к номинальной теплопроизводительности горелки в ваттах, причем удельную материалоемкость определяют отдельно для керамики (огнеупорного материала), черных металлов и жаропрочных сплавов.

В ряде случаев, кроме огневых испытаний горелок, желательно проведение на заводе-изготовителе устройств «холодных» испытаний с целью проведения условных эталонных расходных характеристик устройств и коэффициентов гидравлических сопротивлений газового и воздушных трактов.

Условные эталонные расходные характеристики горелочных устройств и коэффициенты гидравлических сопротивлений определяются:

для дутьевых горелок – при отдельной продувке газового и воздушного трактов;

для инжекционных горелок и радиационных труб с инжекционным смесителем – при совместном течении потоков по газовому и воздушным трактам;

для газомазутных горелок – при продувке газового и воздушных трактов и тракта для распыливающего агента.

При определении условных расходных характеристик продувкой воздухом газ заменяется воздухом в соотношении: 1 м<sup>3</sup> газа равен 1 м<sup>3</sup> воздуха. Соотношение между расходом воздуха и расходом имитирующего газ, принято равным стехиометрическому для данного вида газа.

Коэффициенты гидравлического сопротивления соответственно газового  $\xi_{\Gamma}$  и воздушного  $\xi_{\text{в}}$  трактов определяются по формулам:

$$\xi_{\Gamma} = 2 \cdot P_{\text{в.}\Gamma} \cdot 10^3 / \rho_{\text{в.}\Gamma} \cdot W_{\text{в.}\Gamma}^2 ; \quad \xi_{\text{в}} = 2 \cdot P_{\text{в}} \cdot 10^3 / \rho_{\text{в}} \cdot W_{\text{в}}^2 \quad (14.1)$$

где  $P_{\text{в.}\Gamma}$  - избыточное давление воздуха, имитирующего газ, на входе в горелку, кПа;  $P_{\text{в}}$  - избыточное давление воздуха перед горелкой, кПа;  $W_{\text{в.}\Gamma}$  и  $W_{\text{в}}$  - среднерасходная скорость в характерных сечениях газового и воздушных трактов, м/с.

Для дутьевых горелок

$$W_{\text{в.}\Gamma} = (V_{\text{в.}\Gamma} / F_{\Gamma}) \cdot (T_{\text{в}} / 273) \cdot [101,3 / (P_{\text{в.}\Gamma} + B_0)]; \quad (14.2, \text{ а})$$

$$W_{\text{в}} = (V_{\text{в}} / F_{\text{в}}) \cdot (T_{\text{в}} / 273) \cdot [101,3 / (P_{\text{в}} + B_0)]; \quad (14.2, \text{ б})$$

где  $V_{\text{в.}\Gamma}$  - расход воздуха, имитирующего газ, м<sup>3</sup>/с;  $V_{\text{в}}$  - расход воздуха, м<sup>3</sup>/с.

Для инжекционных горелок с сужающимся соплом при  $P_{\text{в.}\Gamma} < 90$  кПа

$$W_{\text{в.}\Gamma} = (V_{\text{в.}\Gamma} / F_{\Gamma}) \cdot (T_{\text{в}} / 273) \cdot [101,3 / (P_{\text{в.}\Gamma} + B_0)] \cdot [(P_{\text{в.}\Gamma} + B_0) / B_0]^{1/k}; \quad (14.3)$$

при  $P_{в.г} \geq 90$  кПа

$$W_{в.г} = (V_{в.г}/F_{г}) \cdot (T_{в}/273) \cdot [101,3/(P_{в.г} + B_0)] \cdot [(k + 1)/2]^{1/(k-1)}; \quad (14.4)$$

где  $T_{в}$  – температура воздуха, К;  $B_0$  – атмосферное давление, кПа;  $\rho_{в.г}$  и  $\rho_{в}$  – плотность воздуха соответственно в характерных сечениях газового и воздушного трактов, кг/м<sup>3</sup>.

Для дутьевых горелок

$$\rho_{в} = 1,29 \cdot (273/T_{в}) \cdot [(P_{в} + B_0)/101,3]; \quad (14.5, а)$$

$$\rho_{в.г} = 1,29 \cdot (273/T_{в}) \cdot [(P_{в.г} + B_0)/101,3]; \quad (14.5, б)$$

Для инжекционных горелок при  $P_{в.г} < 90$  кПа

$$\rho_{в.г} = 1,29 \cdot (273/T_{в}) \cdot [(P_{в.г} + B_0)/101,3] \cdot [B_0/(P_{в.г} + B_0)]^{1/k}; \quad (14.6)$$

при  $P_{в.г} \geq 90$  кПа

$$\rho_{в.г} = 1,29 \cdot (273/T_{в}) \cdot [(P_{в.г} + B_0)/101,3] \cdot [B_0/(P_{в.г} + B_0)]^{1/(k-1)}; \quad (14.7)$$

где  $k$  – показатель адиабаты для воздуха;  $F_{г}$  и  $F_{в}$  – площади характерных сечений соответственно газового и воздушных трактов, м<sup>2</sup>.

Для дутьевых горелок характерные сечения оговариваются организацией, проводящей контрольные испытания, или задаются организацией – разработчиком горелок. Для инжекционных горелок в качестве характерного сечения газового тракта принимается выходное сечение носика горелок.

Количество точек измерения должно быть не меньше пяти. На основе результатов холодных испытаний строят зависимости расхода газа и воздуха от их давлений перед горелкой и зависимости коэффициентов гидравлических сопротивлений по газовому и воздушному пути от чисел Рейнольдса для газового и воздушного потоков в характерных сечениях.

На контрольные испытания представляют образец горелки и техническую документацию, включающую чертежи общих видов, узлов и деталей (непосредственно влияющих на рабочий процесс), технические характеристики, технические условия, инструкции по монтажу и эксплуатации и прочие документы по согласованию между предъявителем и испытательным центром.

Условия проведения испытания горелки, влияющие на режим ее работы (тепловое напряжение поперечного сечения камеры, давление в камере, степень экранирования, степень стеснения факела), должны быть максимально приближены к эксплуатационным.

Горелку испытывают на всех видах газообразного топлива, для которых она предназначена. Колебания величины числа Воббе не должны превышать  $\pm 5\%$  от средней в процессе испытаний горелки.

Контрольные испытания проводят на специальных стендах. Допускается проведение испытаний горелок тепловой мощностью более 3 МВт на промышленных тепловых агрегатах, для которых эти горелки предназначены.

Методика контрольных испытаний горелок заключается в следующем.

Образец горелки подвергают визуальному осмотру, при котором выявляются внешние повреждения. Проверяют перемещение ходовых частей горелки, при котором выявляют пределы перемещений, а также неисправности, задерживающие перемещение. Определяют массу горелки.

Проводят проверку основных размеров горелки, влияющих на показатели ее работы, а также ответственных размеров, включая габаритные, установочные и присоединительные, на соответствие их указанным на чертежах. При необходимости производят разборку и сборку горелки.

Проверяют плотность рабочих полостей горелки с помощью мыльной пены или другим способом при заданном давлении.

Горелку монтируют на стенд или тепловой агрегат со всеми необходимыми комплектующими приспособлениями согласно инструкции завода-изготовителя.

В процессе испытаний определяют химический состав газообразного топлива, его плотность, низшую теплоту сгорания, низшее число Воббе.

Испытания проводят на стационарном режиме при плавном увеличении и уменьшении мощности. Момент наступления стационарного режима соответствует для металлических водоохлаждаемых камер горения изменению температуры уходящих газов не более чем на 5°С за 30 мин, для футерованных камер горения - не более чем на 10°С за 30 мин.

При испытаниях горелки определяются расходные и регулировочные характеристики согласно табл. 1 – 3 (для горелок с автоматическим регулированием характеристики определяют как с включенной, так и с выключенной автоматикой, если это допускает конструкция горелки).

При проведении испытаний присоединительное давление поддерживают постоянным.

Давление (разрежение) в камере горения необходимо измерять на стенке на удалении от выходного сечения горелки (горелочного туннеля) вне потока, выходящего из нее, в том месте, где поток полностью раскрывается, достигая стенок. При измерении этой величины непосредственно у выходного сечения горелки возможны значительные ошибки из-за эжектирующего воздействия выходящего потока, особенно при скоростных горелках.

Число промежуточных режимов равно: для горелок с многоступенчатым регулированием – числу промежуточных (между номинальной и минимальной рабочей) ступеней регулирования; для горелок с плавным регулированием – не менее 2. Символы “-“ , “0” и “+” указывают на то, что соответствующая величина при разрежении, атмосферном или избыточном давлении в камере горения.

Параметры, указанные в табл. 1 –3, должны быть определены от минимальной до максимальной тепловой мощности по документации на горелку. Кроме того, следует определить возможные предельные режимы эксплуатации горелки.

**Количество контрольных режимов для горелок с ручным управлением, а также для автоматических дутьевых горелок и блочных горелок с плавным регулированием мощности должно быть не менее 5.**

Для автоматических инжекционных, дутьевых горелок и блочных горелок со ступенчатым регулированием мощности соответствующие характеристики определяются при указанных в документации уровнях тепловой мощности.

Предельные режимы определяются как режимы, при которых имеет место нарушение устойчивой работы горелки (погасание пламени, изменение локализации пламени, перегрев деталей, отказ элементов горелки).

В процессе испытания достигаются только наименьший верхний и наибольший нижний предельные режимы при повышении или понижении мощности.

Для горелок, работающих с противодавлением (разрежением), производится проверка устойчивости при увеличении противодавления или разрежения в 1,5 раза при  $P_T \leq \pm 50$  Па и в 1,2 раза при  $P_T > \pm 50$  Па.

Для горелок, применяемых, например, в сушилах ( $\alpha > 1$ ), проверка устойчивости работы производится при значениях коэффициента разбавления или расхода воздуха, устанавливаемых по согласованию между предъявителем и испытательным центром.

Предельные режимы работы горелок следует определять не менее пяти раз.  
 Коэффициент расхода воздуха определяют следующими методами:  
 для дутьевых горелок – по замерам расходов газа и воздуха или по составу продуктов сгорания;  
 для инжекционных горелок с полной инжекцией – по составу газозвушной смеси, отбираемой в конце смесителя, или по составу продуктов сгорания.  
 Для горелок с раздельной подачей воздуха по зонам смесеобразования должны определяться отдельно коэффициенты расхода воздуха первичного, вторичного и т.д.  
 Минимально необходимый коэффициент расхода воздуха для горелок всех типов определяется по составу продуктов сгорания при наличии химического недожога, не превышающего норм, и при устойчивом факеле. Отбор проб продуктов сгорания производится в выходном сечении камеры горения.

Таблица 1

**Характеристики, определяемые при испытании горелок с ручным управлением**

Класс горелок	Характеристика горелок	Условия испытаний
1. Инжекционные горелки	Зависимость расхода газа от давления газа перед горелкой (расходная характеристика горелки) $V_g = f(P_g)$ Зависимость коэффициента расхода воздуха от давления газа перед горелкой (регулирующая характеристика горелки) $\alpha = f(P_g)$ (кроме атмосферных горелок)	Давление в камере горения - рабочее ( $P_{к.г.раб.}$ ), максимальное ( $P_{к.г.макс.}$ ), минимальное ( $P_{к.г.мин.}$ ) - поддерживают постоянным на всех режимах. Степень открытия регуляторов расхода первичного воздуха инжекционных горелок устанавливают по документации на горелку. Коэффициент расхода воздуха на номинальном режиме минимальный ( $\alpha_{мин.}$ ).
2. Горелки с принудительной подачей воздуха	Зависимость расхода газа от давления газа перед горелкой $V_g = f(P_g)$ Зависимость коэффициента расхода воздуха от давления газа перед горелкой $p_g = f(P_g)$ Зависимость давления воздуха от давления газа перед горелкой (регулирующая характеристика) $P_g = f(P_r)$	Давление в камере горения - рабочее ( $P_{к.г.раб.}$ ) - поддерживают на всех режимах. Коэффициент расхода воздуха минимальный ( $\alpha_{мин.}$ ).
3. Горелки с принудительной подачей воздуха и независимым регулированием первичного и вторичного воздуха.	Дополнительно к характеристикам по п.2 определяют: зависимость давления первичного воздуха от давления газа $P_g' = f(P_r)$ ; зависимость давления вторичного воздуха от давления газа $P_g'' = f(P_r)$ ; зависимость расхода вторичного воздуха от расхода первичного воздуха (если это допускает конструкция горелки) $\alpha_{мин.}$	Давление в камере горения - рабочее ( $P_{к.г.раб.}$ ) - поддерживают постоянным на всех режимах. Коэффициент расхода воздуха минимальный ( $\alpha_{мин.}$ ).

Длина факела  $l_f$  определяется по химическому анализу  $CO_2$  в продуктах сгорания. Конец факела определяется наибольшей координатой вдоль оси стенда, где  $CO_2/CO_{2m}=0,95$ . Длина факела может быть определена по изменению химической неполноты сгорания вдоль оси стенда.

Состав уходящих продуктов сгорания, включая содержание в них окислов азота, определяется по пробам, отбираемым в выходном сечении камеры горения.

Потребляемая мощность электродвигателя вентилятора горелки определяется прямым замером.

Для полуавтоматических и автоматических горелок производится определение времени защитного отключения подачи топлива от розжига горелки, погасании пламени, аварийном отклонении давлений газа и воздуха. Время определяется прямыми замерами при многократно повторяемых (не менее 15 раз) розжигах горелки и проверки работы устройств безопасности в режиме срабатывания с прекращением подачи газа. Время защитного отключения подачи топлива при розжиге горелки проверяется при закрытом ручном кране путем замера интервала времени с момента открытия отсечного клапана до его закрытия. Время защитного отключения при погасании пламени определяется в диапазоне рабочего регулирования путем прекращения подачи газа быстрым закрытием крана, с последующей фиксацией момента срабатывания отсечного клапана. Время защитного отключения подачи топлива при отклонениях давлений газа и воздуха определяется путем поочередного снижения или повышения контролируемых давлений при отключенном устройстве контроле пламени.

Таблица 2

### План испытаний горелок с двухступенчатым регулированием тепловой мощности

Назначения горелки в зависимости от эксплуатационного давления в камере горения			Контрольные режимы и измеряемые параметры	Условия испытаний			
для избыточного давления и разрежения	для избыточного давления	для разрежения		Настройка автоматики регулирования	настройка давления (разрежения) в камере горения	давление в камере горения	коэффициент расхода воздуха
+		+	Второй номин. режим: $V_{Г.НОМ.}^- ; \alpha_{МИН.}^-$	На номин. режим при $P_{к.з.}=0$ или при $1,1 P_{к.з.раб.}$	На номин. режим при $1,1 P_{к.з.раб.}$	1,1 раб. разрежения ( $1,1 P_{к.з.раб.}$ )	Миним. $\alpha_{МИН.}^-$
+		+	Второй миним. режим: $V_{Г.МИН.РАБ.}^- ; \alpha_{МИН.}^-$	То же	То же	Устанавливаются сами при переходе от $V_{Г.НОМ.}^-$ к $V_{Г.МИН.РАБ.}^-$	
+	+	+	Первый номин. режим: $V_{Г.НОМ.}^0 ; \alpha_{МИН.}^0$	На номин. режим $P_{к.з.}=0$	На номин. режим $P_{к.з.}=0$	Атмосферное $P_{к.з.}=0$	$\alpha_{МИН.}^0$
+	+	+	Первый минимальный рабочий режим: $V_{Г.МИН.РАБ.}^0 ; \alpha_{МИН.}^0$	То же	То же	Устанавливаются сами при переходе от $V_{Г.НОМ.}^0$ к $V_{Г.МИН.РАБ.}^0$	
+	+		Третий номин. режим: $V_{Г.НОМ.}^+ ; \alpha_{МИН.}^+$	На номин. режим при $P_{к.з.}=0$ или при $1,1 P_{к.з.раб.}$	На номин. режим при $1,1 P_{к.з.раб.}$	1,1 раб. избыт. давления $1,1 P_{к.з.раб.}$	Миним. $\alpha_{МИН.}^+$
+	+		Третий миним. режим: $V_{Г.МИН.РАБ.}^+ ; \alpha_{МИН.}^+$	То же	То же	Устанавливаются сами при переходе от $V_{Г.НОМ.}^+$ к $V_{Г.МИН.РАБ.}^+$	



Абсолютная погрешность поддержания заданного коэффициента расхода воздуха  $\pm\Delta\alpha$  для автоматических и блочных горелок определяется во всем диапазоне рабочего регулирования тепловой мощности как наибольшее положительное и отрицательное отклонение коэффициента расхода воздуха от установленного значения.

После испытания горелки производится ее повторный осмотр, измерение основных параметров, влияющих на показатели работы.

Для контрольных испытаний горелок применяют стенды с футерованными (полностью или частично) и металлическими водоохлаждаемыми камерами горения. Камеры горения стендов выполняются круглыми, прямоугольными, с арочным сводом и плоским подом.

Предпочтительные ряды диаметров металлических камер горения стендов: 200, 280, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500, 1800 мм; футерованных камер горения: 400, 500, 600, 1000 мм.

Предпочтительные размеры стороны футерованных камер горения квадратного сечения: 1000, 1500 и 2000 мм.

При установке испытываемой горелки в камере сгорания следует придерживаться требования, чтобы степень стеснения факела (отношение диаметра камеры горения стенда к диаметру горелочного туннеля) при испытании была близкой к величине этого параметра при эксплуатации горелки в промышленных условиях.

Таблица 3

### План испытаний горелок с многоступенчатым и плавным регулированием тепловой мощности

Назначения горелки в зависимости от эксплуатационного давления в камере горения			Контрольные режимы и измеряемые параметры	Условия испытаний			
для избыточного давления и разрежения	для избыточного давления	для разрежения		Настройка автоматики регулирования	настройка давления (разрежения) в камере горения	давление в камере горения	коэффициент расхода воздуха
+		+	Второй номин. режим: $V_{г.ном.}^- ; \alpha_{мин.}^-$	На номин. режим при $P_{к.з.}=0$ или при $1,1 P_{к.з.раб.}$	На номин. режим при $1,1 P_{к.з.раб.}$	1,1 раб. разрежения ( $1,1 P_{к.з.раб.}$ )	Миним. - $\alpha_{мин.}$
+		+	Промежуточные режимы	То же	То же	Устанавливаются сами при переходе от $V_{г.ном.}^-$ к $V_{г.пром.}^-$	
+		+	Второй миним. режим: $V_{г.мин.раб.}^- ; \alpha_{мин.}^-$	«-«	«-«	То же, от $V_{г.пром.}^-$ к $V_{г.ном.}^-$	
+	+	+	Первый номин. режим: $V_{г.з.}^0 ; \alpha_{мин.}^0$	На номин. режим $P_{к.з.}=0$	На номин. режим $P_{к.з.}=0$	Атмосферное $P_{к.з.}=0$	$\alpha_{мин.}^0$
+	+	+	Промежуточные режимы	То же	То же	Устанавливаются сами при переходе от $V_{г.ном.}^0$ к $V_{г.пром.}^0$	
+	+	+	Первый минимальный рабочий режим: $V_{г.мин.раб.}^0 ; \alpha_{мин.}^0$	«-«	«-«	То же от $V_{г.пром.}^0$ к $V_{г.ном.}^0$	

+	+		Третий номин. режим: $V_{г.ном.}^+ ; \alpha_{мин.}^+$	На номин. режим при $P_{к.з.}=0$ или при $1,1 P_{к.з.раб.}$	На номин. режим при $1,1 P_{к.з.раб.}$	1,1 раб. избыт. давления $1,1 P_{к.з.раб.}$	Миним. $\alpha_{мин.}^+$
+	+		Промежуточные режимы	То же	То же	Устанавливаются сами при переходе от $V_{г.ном.}^+$ к $V_{г.пром.}^+$	
+	+		Третий миним. режим: $V_{г.мин.раб.}^+ ; \alpha_{мин.}^+$	«-«	«-«	Устанавливаются сами при переходе от $V_{г.пром.}^+$ к $V_{г.мин.раб.}^+$	

Стенды должны быть снабжены окнами для визуального наблюдения за факелом и работой горелки, а также штуцерами для ввода измерительных зондов.

Камеры горения для испытания горелок должны быть плотными: изменение коэффициента расхода воздуха по длине стенда за счет присосов должны быть в пределах погрешности определения этого коэффициента.

При необходимости определения интенсивности теплоотводами от факела стенки металлических водоохлаждаемых камер горения выполняют секционными. Каждая секция должна иметь самостоятельный подвод и слив охлаждающей воды. Расход охлаждающей воды определяется счетчиком либо взвешиванием контрольной емкости, заполняемой водой в течение фиксированного времени. Температуру воды на сливе из каждой секции калориметра поддерживают приблизительно одинаковой для исключения продольных перетоков тепла между соседними калориметрами.

При проведении контрольных испытаний предъявляют следующие требования к методам и средствам измерений. Приборы для контрольных испытаний должны проходить метрологическую проверку. Использование при контрольных испытаниях нестандартных измерительных средств допускается при условии согласования между предъявителем и испытательным центром.

Измерительные зонды, особенно для отбора проб продуктов горения из факела, должны быть водоохлаждаемыми для исключения догорания горячих компонентов в отбираемой пробе.

Измерительные зонды должны иметь минимально возможный диаметр корпуса с целью внесения минимального возмущения в поток, вытекающий из горелки. Это особенно важно при отборе проб вблизи горелочного туннеля.

Типы приборов должны определяться в соответствии с конкретными условиями проведения испытаний. При этом измерения всех параметров следует производить с помощью регистрирующих приборов, приборов с математической машинной обработкой результатов испытаний, а в случае использования показывающих приборов необходимо фотографировать показания.

Показания приборов записываются на специальных бланках, которые вместе с диаграммами регистрирующих приборов должны составлять единый комплект, заверенный подписями ответственных лиц.

Основные размеры горелки измеряются микрометрическими и штанген-инструментами, шаблонами, пробками. Погрешность измерения основных размеров определяется допусками на изготовление и номинальными размерами по ГОСТ 8.051. Масса горелки определяется взвешиванием. Приведенная погрешность измерительного прибора при определении массы горелки не должна превышать  $\pm 2\%$ .

Химический состав газообразного топлива, представляющий собой смесь углеводородов и неуглеводородных компонентов ( $C_nH_m$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2S$ ) определяется газожидкостной и газоадсорбционной хроматографией.

Допускается выполнение анализа газовых проб в специальной химической лаборатории; при этом состав проб отобранного газа не должен изменяться и зависеть от метода отбора, хранения и транспортировки.

Расходы газа и воздуха определяются по перепаду давления на диафрагмах, расходомерных соплах или специальных сужающих устройствах. Для измерения расходов газа и воздуха допускается использование расходомеров объемного и турбинного типов, а также пневмометрических трубок. Погрешности измерительных приборов при этом выбираются такими, чтобы относительная погрешность измерения расхода газа или воздуха с использованием регистрирующего дифференциального манометра не превышала  $\pm 2,5\%$ .

Давление окружающей среды измеряется барометром. Погрешность измерения не должна превышать  $\pm 100$  Па.

Давление газа и воздуха перед сужающим устройством при измерении расходов газа и воздуха, перед испытываемой горелкой и в камере горения измеряют манометрами с упругими измерительными элементами (пружинными или мембранными) или жидкостными. Выбор средств измерения производится в зависимости от требуемых пределов измерения. Приведенная погрешность манометров с упругими измерительными элементами не должна превышать  $\pm 0,6\%$ . Погрешность измерения давления жидкостными манометрами не должна превышать  $\pm 0,5$  мм высоты столба рабочей жидкости. При измерении давлений газа и воздуха у горелок низкого давления при определении минимальной мощности и в камере горения при давлении до 100 Па допускается использовать приборы с абсолютной погрешностью  $\pm 10$  Па, при давлении до 1,0 кПа –  $\pm 10$  Па абс., а при давлении свыше 1 кПа –  $\pm 1\%$  отн.

Температура газообразного топлива и воздуха, идущего на горение, измеряется термометром сопротивления или термопарой с автоматическим регистрирующим прибором. Допускается использование стеклянных технических термометров с ценой деления шкалы  $1^\circ\text{C}$ . Приведенная погрешность измерительного прибора не должна превышать  $\pm 1\%$ .

Температура уходящих газов измеряется термопарой с автоматическим регистрирующим прибором с приведенной погрешностью не более  $\pm 1\%$ .

Температура наружных поверхностей горелки и наиболее нагретых внутренних деталей горелки измеряется поверхностной термопарой. Допускается использование пирометров излучения и термоцветных красок. Приведенная погрешность измерительного прибора не должна превышать  $\pm 2,5\%$ .

Температура окружающей среды измеряется стеклянным ртутным термометром с приведенной погрешностью не более  $\pm 1\%$ .

Шумовые характеристики горелки определяются прибором, измеряющим уровни стационарных акустических шумов в определенных пределах. Погрешность измерительного прибора не должна превышать  $\pm 2$  дБ.

Измерение параметров времени (времени защитного отключения  $\tau_p$ ,  $\tau_n$ ,  $\tau_d$ ) производится секундомером с ценой деления шкалы 0,01 с. Погрешность измерения не должна превышать  $\pm 0,03$  с.

Определение состава продуктов сгорания ( $\text{CO}'_2$ ,  $\text{O}'_2$ ,  $\text{CO}'$ ,  $\text{H}'_2$ ,  $\text{CH}_4'$ ,  $\text{NO}'_x$  и  $\text{SO}'_2$ ) рекомендуется производить следующими методами:

$\text{CO}'_2$  и  $\text{O}'_2$  - волнометрическим методом путем избирательного поглощения компонентов поглотительными растворами; .....

.....  
(далее описываются методы анализа 80-90 гг.)  
.....

При необходимости контроля внутреннего строения факела испытываемой горелки определяют аэродинамические характеристики потока в камере горения, характеристики выгорания и теплообмена.

Аэродинамические характеристики (динамический напор) определяются с помощью пневмометрического зонда и микроанометра. Разрежение, создаваемое потоком, вытекающим из горелочного туннеля в объем камеры горения, определяется измерениями давления (разрежения) на стенке стенда по его длине. Измеренные значения относят к величине давления (разрежения) в конце камеры горения.

Характеристики горения (концентрации газов в объеме факела) определяют по анализу проб продуктов горения.

Температуру в объеме факела определяют с помощью термопары с закрытым спаем и отсосом через нее продуктов сгорания.

Локальную и интегральную теплоотдачу от факела определяют калориметрированием.

При обработке результатов испытаний нормальными атмосферными условиями считают барометрическое давление воздуха  $B_0 = 101,325$  кПа; температура воздуха  $t_0 = 273,15$  К; плотность воздуха  $\rho_B = 1,29$  кг/м<sup>3</sup>.

Плотность газа ( $\rho_\Gamma$ ) в кг/м<sup>3</sup> определяют по таблицам или вычисляют по формуле:

$$\rho_\Gamma = \sum_{i=1}^n \rho_i r_i, \quad (14.8)$$

где  $r_i$  - объемная доля компонента в газе,  $\rho_i$  - плотность компонента в газе, кг/м<sup>3</sup>;

$$\rho_i = B_0 / R_i t_0, \quad (14.9)$$

где  $R_i$  - газовая постоянная компонента, Дж/(кг\*К),

$$R_i = 8310 / \mu_i, \quad (14.10)$$

где  $\mu_i$  - молекулярная масса компонента, кг/кмоль.

Теплоту сгорания газа низшую ( $Q_H$ , кДж/м<sup>3</sup>) вычисляют по формуле

$$\begin{aligned} Q_H = & 126,4CO + 108,0H_2 + 359,0CH_4 + 644,6C_2H_6 + 932,0C_3H_8 + \\ & + 1228,0C_4H_{10} + 1460,8C_5H_{12} + 595,2C_2H_4 + 877,8C_3H_6 + 1135,1C_4H_8 + \\ & + 1414C_5H_{10} + 1403,4C_6H_6 + 234,4H_2S \end{aligned} \quad (14.11)$$

Число Воббе низшее ( $W_{0H}$ , кДж/м<sup>3</sup>) вычисляют по формуле

$$W_{0H} = Q_H / \sqrt{\rho_\Gamma / \rho_B}. \quad (14.13)$$

Тепловую мощность горелки ( $P$ , кВт) вычисляют по формуле:

$$P = V_\Gamma Q_H. \quad (14.13)$$

Коэффициент предельного регулирования горелки по тепловой мощности вычисляют по формуле

$$k_{ПР.Р} = P_{\max} / P_{\min}, \quad (14.14)$$

где  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  - максимальная и минимальная тепловая мощность горелки (кВт) соответственно.

Коэффициент рабочего регулирования горелки по тепловой мощности вычисляют по формуле

$$k_{Р.Р} = P_{НОМ} / P_{\min}, \quad (14.15)$$

где  $P_{НОМ}$  - номинальная тепловая мощность горелки, кВт.

Коэффициент расхода воздуха  $\alpha$  вычисляют по одной из формул

$$\alpha = V_B / (V_\Gamma V_0), \quad (14.16)$$

где

$$V_0 = (1/21)[0,5H_2 + 0,5CO + 1,5H_2S + (m+n/4)C_nH_m - O_2], \quad (14.17)$$

$$\alpha = \frac{N_2 - N_2 / V_{C.G.}}{N_2' - N_2' / V_{C.G.} - 3,76(O_2' - 0,5CO_2' - 0,5H_2' - 2CH_4')}, \quad (14.18)$$

где

$$V_{C.G.} = \frac{CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10} + 5C_5H_{12} + \dots}{CO_2' + O_2' + CO_2' + CH_4' + \dots} + \frac{+2C_2H_4 + 3C_3H_6 + H_2S}{CO_2' + O_2' + CO_2' + CH_4'}, \quad (14.19)$$

или

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2' - 0,5CO_2' - 0,5H_2' - 2CH_4'}, \quad (14.20)$$

$$\alpha = \frac{O_{2\max}'}{CO_2' + CO_2' + CH_4'}, \quad (14.21)$$

Определение  $CO_{2\max}$  - см. формулу (14.24) или

$$\alpha = (V_0)^{-1} \left[ (CH_4 / CH_{4(об)}^{cm}) - 1 \right], \quad (14.22)$$

где  $CH_{4(об)}^{cm}$  - объемная концентрация метана в газозвушной смеси, %.

Длина факела определяется из графика степени выгорания по длине факела как расстояние от выходного сечения туннеля горелки до точки, где  $CO_2$  составляет 95% от максимального значения.

Длину видимого факела при испытании горелок на открытом стене определяют визуально.

Изменение степени выгорания факела на оси дается графической зависимостью

$$CO_2' / CO_{2(m)}' = f(l / d), \quad (14.23)$$

где  $CO_2'$  и  $CO_{2(m)}'$  - соответственно объемная концентрация  $CO_2$  в заданной точке оси факела и расчетная объемная концентрация  $CO_2$  в продуктах полного сгорания при заданном коэффициенте расхода воздуха, %;  $l$  - расстояние от выходного сечения горелки до точки измерения, мм;  $d$  - диаметр гидравлический) выходного сечения, мм.

$$CO_{2(m)}' = CO_2' + CO_2' + CH_4'. \quad (14.24)$$

Сумму объемов горючих компонентов в продуктах, сгорания, приведенную к  $\alpha = 1,0 / \left| \sum V_{Г.К.} \right|_{\alpha=1,0}$ , вычисляют по формуле

$$\left| \sum V_{Г.К.} \right|_{\alpha=1,0} = h \sum V_{Г.К.}, \quad (14.25)$$

где

$$\sum V_{Г.К.} = CO_2' + H_2' + CH_4', \quad (14.26)$$

$h$  - коэффициент разбавления сухих продуктов сгорания:

$$h = (CO_{2\max}' + H_2S) / (CO_2' + CO_2' + CH_4' + SO_2'); \quad (14.27)$$

$CO_{2\max}'$  - расчетная объемная концентрация  $CO_2$  в сухих продуктах полного сгорания при  $\alpha = 1,0$ .

$$CO_{2\max}' = \left| V_{CO_2} \right|_{\alpha=1,0} / \left| V_{C.G.} \right|_{\alpha=1,0} * 100\%, \quad (14.28)$$

где  $\left| V_{CO_2} \right|_{\alpha=1,0}$  - объем  $CO_2$  в сухих продуктах сгорания при  $\alpha = 1,0$  в м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газа.

$$\left|V_{CO_2}\right|_{\alpha=1,0} = 0,01(CO_2 + CO + CH_4 + 2C_2H_6 + 3C_3H_8 + 4C_4H_{10} + 5C_5H_{12} + 2C_2H_4 + 3C_3H_6), \quad (14.29)$$

где  $\left|V_{C.G}\right|_{\alpha=1,0}$  - объем сухих продуктов сгорания при  $\alpha = 1,0$  в  $m^3/m^3$  газа.

$$\left|V_{C.G}\right|_{\alpha=1,0} = \left|V'_{CO_2}\right|_{\alpha=1,0} + 0,01H_2S + \left|V'_{N_2}\right|_{\alpha=1,0}, \quad (14.30)$$

где

$$\left|V'_{N_2}\right|_{\alpha=1,0} = 0,79V_0 + 0,01N_2. \quad (14.31)$$

Потери тепла от химической неполноты сгорания вычисляют по формуле

$$q_3 = V_{C.G} \left[ (126,4CO' + 108H_2' + 358,20CH_4') / Q_H \right] * 100\%. \quad (14.33)$$

При обработке результатов измерений в объеме факела определяется профиль динамического напора в сечениях потока и по его оси.

Аэродинамическую длину факела определяют из графика изменения относительного динамического напора по длине камеры горения. Эта зависимость представляется в виде

$$h_{OC} / h_{CP} = f(l / d), \quad (14.33)$$

где  $h_{OC}$  и  $h_{CP}$  - соответственно динамический напор на оси факела на расстоянии от горелки и средний динамический напор в выходном сечении горелки или ее туннеля.

По профилю динамического напора определяют угол раскрытия факела. За границу факела, развивающегося в камере горения, принимают линию (поверхность), являющуюся геометрическим местом точек, в которых динамический напор равен нулю или изменяет знак на противоположный. Таким же образом определяют границы внутренних и периферийных зон циркуляции и застойных областей.

По данным измерений динамических напоров, температур и плотности продуктов горения при необходимости определяют интенсивность циркуляции газов в камере, вызванную истечением факела из горелки. Эту зависимость представляют в виде

$$G_\phi / G_\Gamma = 1 + G_\Pi / G_\Gamma = f(l / d) \quad (14.34)$$

где  $G_\phi$ ,  $G_\Gamma$  и  $G_\Pi$  - соответственно массовый расход потока, кг/с, в сечении факела, выходном сечении горелки и в зоне обратного сечения.

Характеристики выгорания представляют в виде графиков изменения концентраций газов в сечениях и по длине факела. В таком же виде представляется изменение коэффициента расхода воздуха и химической неполноты горения, определяемые по формулам (14.16) и (14.32), в которых объемные концентрации газов взяты по данным измерений в каждом сечении факела.

Полученные данные по измерению химнедожога,  $q_3$ , %, по длине камеры, представленные в виде зависимости

$$q_3 = f(l / d), \quad (14.35)$$

также характеризуют длину факела.

Однако эта зависимость, так же как и зависимость (14.23), оказывается справедливой только для прямотруйных факелов и непригодна для факелов вихревого типа, плоскопламенных, у которых на оси факела располагается развитая зона циркуляции, заполненная в основном продуктами полного горения.

В этом случае степень выгорания необходимо определять по величине изменения интегрального химического недожога.

Тепловой поток от факела к стенкам водоохлаждаемых камер определяют по формуле

$$Q_i = G_i \cdot c \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) / \tau, \text{ кВт} \quad (14.36)$$

где  $G_i$  - расход воды через калориметр, кг;  $c$  - теплоемкость охлаждающей воды, кДж/(кг·град.);  $\tau$  - время измерения расхода воды, с;  $t_{\text{вых}}$  и  $t_{\text{вх}}$  - соответственно температура воды на выходе и входе калориметра, °С.

Удельный тепловой поток определяется по выражению

$$q_i = Q_i / F, \text{ кВт/м}^2, \quad (14.37)$$

где  $F$  - площадь поверхности калориметра, м<sup>2</sup>, и представляется в виде зависимости

$$q_i = f(l / d) \quad (14.38)$$

Суммарная теплоотдача по длине камеры определяется как сумма тепловых потоков на заданной длине камеры.

Относительная суммарная теплоотдача по длине камеры определяется отношением суммы тепловых потоков к тепловой мощности горелки  $P_i$ , определенной с учетом физического тепла газа и воздуха и также представляется в виде зависимости

$$\sum Q_i / P_i = f(l / d), \quad (14.39)$$

## ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ МАЗУТНЫХ И ГАЗОМАЗУТНЫХ ГОРЕЛОК

Помимо общих требований и характеристик, относящихся к сжиганию газообразного топлива, при контрольных испытаниях газомазутных горелок должна быть учтена специфика сжигания мазута совместно с газом и самостоятельно.

За основные показатели, характеризующие работу газомазутной горелки при сжигании мазута, дополнительно к характеристикам сжигания газа принимают:

- **характеристику мазута (низшая теплота сгорания, элементарный состав, вязкость, влажность, механические примеси, коксуемость);**
- **теплотехнические и аэродинамические характеристики факела как при сжигании смеси газа и мазута, так и при сжигании одного мазута, если это предусмотрено технологией работы газомазутной горелки;**
- **качество распыливания мазута; коксообразование, зольные отложения;**
- **универсальность газомазутной горелки при переходе на газ или мазут другого состава.**

При испытаниях газомазутных горелок дополнительно к характеристикам, перечисленным при испытаниях газовых горелок, определяют:

- **качество распыла мазута (дисперсный состав, равномерность распыливания по сечению, угол распыливания);**
- **аэродинамические и теплотехнические характеристики факела, а именно распределение динамических и статических напоров по длине факела, степень выгорания по длине факела, воспринятый тепловой поток от факела, длина факела;**
- **степень черноты мазутного факела;**

- **наличие коксовых отложений в горелке, коксовых и зольных отложений в камере горения.**

При холодных испытаниях газомазутных горелок дополнительно к данным, относящимся к работе на одном газе, определяют расходные характеристики и коэффициенты гидравлического сопротивления тракта для распыливающей среды (пар, компрессорный воздух) продувкой его паром или воздухом высокого давления.

Расходную характеристику по тракту подачи мазута определяют продувкой форсунки мазутом или другой жидкостью, имеющей такую же вязкость, как мазут при рабочей температуре. Распределение мазута в сечении струи и угол распыливания определяют на специальном стенде при помощи моделирующей жидкости (например, парафина при 70°C); при этом измерений дисперсный состав капель, равномерность распыливания по сечению, угол распыливания. В результате получают зависимости

$$\hat{G}_i = f(d_k); \quad \varepsilon = f(G_M) \text{ и } \alpha_0 = f(G_M), \quad (14.40)$$

где  $\hat{G}_i = G_i'/G$  – отношение массы капель заданного диаметра  $d_k$  к общей массе пробы;  $G_M$  – расход мазута через форсунку, кг/с;  $\alpha_0$  – половина угла раскрытия топливной струи, град.

$q_i$  – плотность топливного факела по радиусу:

$$q_i = G_i (r_{i+1}^2 - r_i^2) / \sum_{i=1}^n G_i (r_{i+1}^2 - r_i^2), \quad (14.41)$$

где  $G_i$  – масса топлива в отборной емкости, кг;  $r$  – расстояние отборной емкости от оси форсунки:

$$\varepsilon = (q_{\max} - q_{\min})/q_{\text{ср}}; \quad q_{\text{ср}} = \sum q_i/n, \quad (14.42)$$

где  $q_{\max}$ ,  $q_{\min}$ ,  $q_{\text{ср}}$  – максимальное, минимальное и среднее значение плотности топливного факела.

Перед проведением огневых испытаний на мазуте и совместно на газе и мазуте определяют химический состав и физические свойства мазута: вязкость, коксуемость, зольность, содержание серы, механических примесей, воды, водорастворимых кислот, щелочей, азотистых соединений (факультативно), асфальтенов, а также температуры вспышки, температуры застывания и плотности.

Для газомазутных горелок с ручным управлением, а также для автоматических горелок с выключенной автоматикой определяют зависимость между давлением дутьевого воздуха, распыливающей среды и мазута при коэффициентах расхода воздуха, минимально необходимых для полного сгорания топлива при рабочем давлении в топочной камере.

При огневых испытаниях газомазутных горелок измеряют:

- расход мазута;
- температуру и давление мазута перед форсункой;
- расход распылителя (пара, компрессорного воздуха);
- температуру распылителя непосредственно перед форсункой;
- расход вентиляторного воздуха;
- температуру и давление вентиляторного воздуха перед горелкой;
- барометрическое давление и температуру воздуха вблизи стенда и перед вентилятором;
- температуру и состав уходящих газов, отбираемых в последнем сечении камеры горения;
- концентрацию сажистых частиц в последнем сечении камеры горения.



Предельные режимы работы горелки на жидком топливе те же, что и на газообразном топливе, с добавлением предельных режимов, при которых наблюдают:

появление сажистых частиц в конце камеры горения в количестве, превышающем установленную норму;

резкое ухудшение качества распыливания, выражающееся в появлении капельной жидкости у выходного сечения горелки.

Потери тепла с механическим недожогом определяют по результатам химического анализа исходного топлива и газообразных продуктов сгорания в последнем сечении камеры горения стенда:

$$q_4 = Q_c \cdot C^p \cdot (1 - \beta_T / \beta_G), \quad (14.43)$$

где  $Q_c$  - теплота сгорания углерода, равная 32,8 МДж/кг;  $C^p$  - содержание углерода в исходном топливе, %;  $\beta_T$  и  $\beta_G$  - характеристики исходного топлива и газообразных продуктов сгорания соответственно:

$$\beta_T = 3 \cdot (1 - O_{ок}) \cdot (0,125 \cdot O_p + 0,039 \cdot N_p) / (C_p - 0,375 \cdot S_p);$$

$$\beta_G = 21 - (CO_2 + 0,605 \cdot CO + O_2) / (CO_2 + CO), \quad (14.44)$$

где  $O_{ок}$  - объемная доля кислорода в окислителе;  $O_p$ ,  $N_p$ ,  $S_p$  - соответственно содержание кислорода, азота и серы в исходном топливе, %;  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $O_2$  - содержание компонентов в продуктах сгорания, %.

Потери тепла с механическим недожогом можно определить по концентрации сажистых частиц в последнем сечении камеры горения стенда:

$$q_4 = 3,28 \hat{C} V_{гор} / Q_H^p, \% \quad (14.45)$$

где  $\hat{C}$  - средняя по последнему сечению камеры горения концентрация сажистых частиц, г/м<sup>3</sup>;  $V_{гор}$  - удельное количество продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/кг топлива;  $Q_H^p$  - низшая теплота сгорания топлива, МДж/м<sup>3</sup>. (правильно – МДж/кг).

Для стехиометрической смеси ( $\alpha = 1$ )

$$V_{гор} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}, \quad (14.46)$$

$$V_{RO_2} = 0,0187 \cdot K^p, \text{ м}^3/\text{кг топлива}, \quad (14.47)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot V_B + 0,008 \cdot N^p, \text{ м}^3/\text{кг топлива}, \quad (14.48)$$

$$V_{H_2O} = 0,11 \cdot H^p - 0,012 W^p + 0,016 \cdot V_B^0, \text{ м}^3/\text{кг топлива}, \quad (14.49)$$

При сгорании топлива с  $\alpha > 1$

$$V_{гор} = (1,87 \cdot K^p / RO_2') + V_{H_2O} \quad (14.50)$$

При сгорании с  $\alpha < 1$

$$V_{гор} = [1,87 \cdot K^p / (RO_2' + CO' + CH_4')] + V_{H_2O} \quad (14.51)$$

Степень черноты факела  $\varepsilon$  определяют оптическим пирометром методом Шмидта:

$$\varepsilon = (E_3 + E_1 - E_2)/E_3, \quad (14.52)$$

где  $E_1$  - показание пирометра при излучении пламени на абсолютно черное тело;  $E_2$  - то же, на нагретом неотражаемом фоне со степенью черноты, близкой к 1,0 (абсолютно черное горячее тело);  $E_3$  – показатель пирометра при излучении только горячего фона.

При контрольных испытаниях газомазутных горелок при определении вредных примесей в продуктах сгорания дополнительно по сравнению с испытаниями газовых горелок определяют содержание двуокиси серы  $\text{SO}_2$  и сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$ .