МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ПО НАЛАДКЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ "СОЮЗТЕХЭНЕРГО"

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА ПО ГОРЕЛКАМ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ПО "СОЮЗТЕХЭНЕРГО"
Москва 1988

gost.e-ecolog.ru

Р А З Р А Б О Т А Н О Предприятием "Сибтехэнерго" Производственного объединения по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей "Союзтехэнерго"

И С П О Л Н И Т Е Л Ь В.Н.ТОЧИЛКИН

У Т В Е Р Ж Д Е Н О Производственным объединением по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей "Союзтехэнерго" I6.07.87 г.

Главный инженер К.В.ШАХСУВАРОВ

© СПО Союзтехэнерго, I988.

УДК 621.182.2

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА ПО ГОРЕЛКАМ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Срок действия установлен
с 01.01.88 г.
до 01.01.95 г.

Настоящие Методические указания распространяются на воздушные тракты стационарных энергетических паровых и водогрейных котлов и устанавливают методы расчетной оценки и средства обеспечения равномерного распределения воздуха по горелкам.

Методические указания не распространяются на установки, оборудованные индивидуальными устройствами подачи топлива и воздуха на горелку.

Методические указания предназначены для персонала предприятий ПО "Союзтехэнерго" при выполнении анализов проектов, разработке решений по реконструкции элементов трактов и при проведении наладочных работ, а также могут быть использованы проектными организациями при разработке пылегазовоздушных трактов котельных установок.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Неравномерность распределения воздуха (первичного и вторичного) по горелкам котла приводит к нарушению необходимого соотношения топливо – воздух в разных местах объема топки, что вызывает неравномерность горения, связанную с различием условий перемешивания компонентов, температурного уровня горения.

При этом возможно снижение экономичности сжигания из-за роста потерь с механической неполнотой сгорания, ухудшение условий теплообмена в топке и повышение уровня образования NO_x, которое зависит от температуры горения и локальных избытков воздуха.

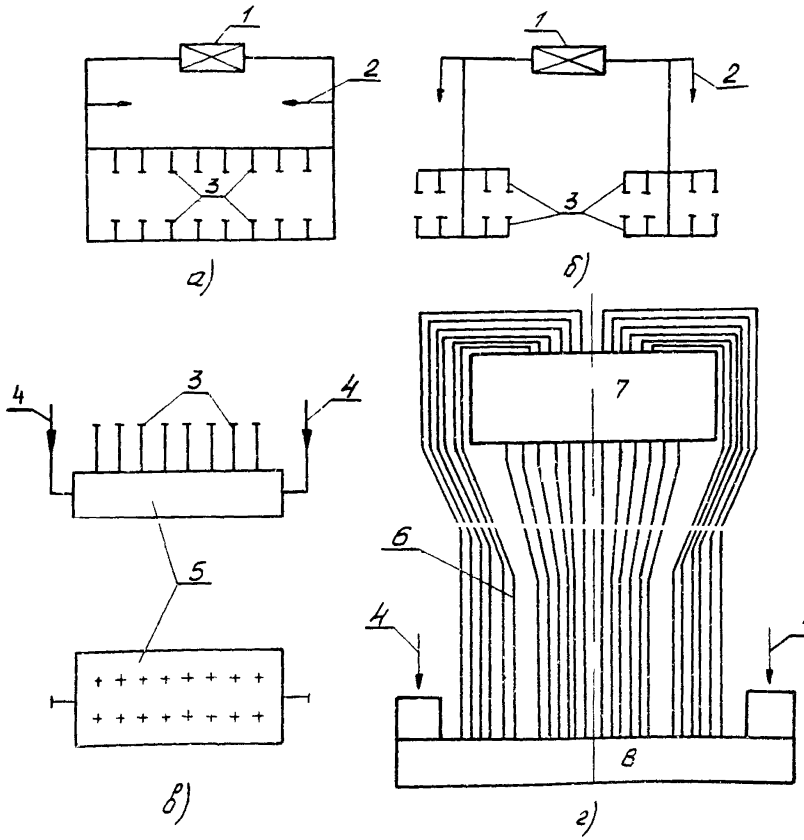
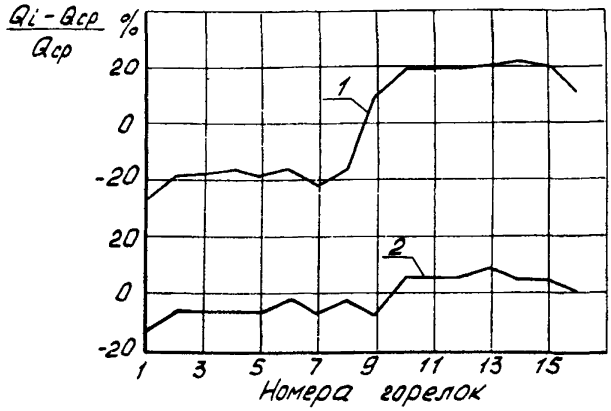
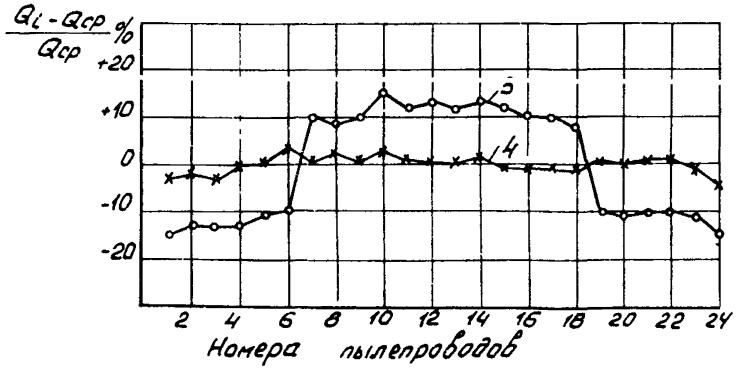


Рис. I. Схемы распределения вторичного (*а* , *б* , *в*) и первичного (*г*) воздуха по горелкам:

I - воздухоподогреватель; 2 - подача воздуха в первичный тракт; 3 - отводы к горелкам; 4 - подвод воздуха; 5 - общий короб вторичного воздуха; 6 - пылепроводы; 7 - топка; 8 - короб первичного воздуха



а)



б)

Рис.2. Распределение вторичного (*а*) и первичного (*б*) воздуха по горелкам:

1 - исходная неравномерность (для схемы рис. I, *а*);
2 - после установки перегородок в подводящих коробах;
3 - исходная неравномерность (для схемы рис. I, *г*);
4 - после установки сегментных диафрагм на коротких пылепроводах

Таким образом, важным условием обеспечения надежной и экономичной работы топочного устройства является равномерность и стабильность распределения воздуха по горелкам.

I.2. Характер распределения воздуха по горелкам определяется совершенством тракта, особенностями компоновочных решений, наличием и правильностью использования средств регулирования и контроля расходов воздуха по участкам тракта.

I.3. Основными конструктивными и компоновочными недостатками пылевоздушных трактов (рис.I), влияющими на характер и значение расходной неравномерности, являются:

разветвленная коллекторная система распределительных коробов;

асимметричность систем по отношению к группам горелок;

выполнение раздающих коробов, тройников и отводов с нарушениями рекомендуемых соотношений [I, 2, 3] ;

выполнение поворотов непосредственно перед раздающими элементами трактов;

различие по длине и конфигурации отдельных отводов к горелкам от общих раздающих коробов;

различие коэффициентов сопротивления горелок (положение регулирующих устройств, взаимное расположение подвода и кармана горелки, предварительная закрутка потока воздуха в кармане и др.);

большое количество шиберов на группу и индивидуально на каждую горелку.

Один или несколько из указанных недостатков могут быть причиной неравномерности, достигающей 20-50% (рис. 2), что недопустимо по условиям обеспечения надежной и экономичной работы котла.

2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВТОРИЧНОГО ВОЗДУХА

2.I. С целью усовершенствования существующих или вновь проектируемых воздушных трактов наряду с традиционными аэродинамическими расчетами выполняется предварительная расчетная оценка трактов с точки зрения равномерности распределения воздуха по горелкам и определения путей модернизации тракта.

2.I.I. Составляется подробная схема тракта от общего короба за воздухоподогревателем до горелок включительно.

2.I.2. Воздушный тракт разбивается на участки, при этом выделяются общий раздающий участок тракта и участки подвода воздуха к каждой горелке.

2.I.3. Выделяются раздающие и распределительные элементы тракта, которые могут быть источником неравномерности распределения воздуха (тройники, отводы, раздающие коллекторы и т.п.) при различных режимах работы системы (отключение горелок, изменение расходов воздуха на мельницы и др.).

2.I.4. Составляется таблица исходных конструктивных (длина, размеры коробов, гидравлический диаметр, сечения и прочее) и режимных (расход, скорость, плотность, температура) параметров всех участков тракта. При этом распределение расходов по участкам задается в соответствии с требованиями технологии.

2.I.5. При заданных параметрах выполняется аэродинамический расчет тракта для всех характерных участков от воздухоподогревателя до горелок включительно. Расчет выполняется согласно рекомендациям [I,2] при условии полного открытия имеющихся в тракте шиберов.

По данным расчета определяются следующие коэффициенты сопротивления:

- коэффициенты сопротивления всех наиболее характерных участков тракта, отнесенные к динамическому давлению в расчетном сечении (за расчетное принимается обычно сечение короба на отводе к горелке или общего короба на входе в систему):

$$\xi_{уч} = \frac{\Delta h_{уч}}{h_{др}}, \qquad (2.I)$$

где $\Delta h_{уч}$ - перепад полных давлений на соответствующем участке тракта, определяемый расчетом при заданных расходах воздуха, кгс/м^2 (Па);

$h_{др}$ - динамическое давление в расчетном сечении, кгс/м^2 (Па);

- коэффициент сопротивления всего тракта, включая горелки:

$$\xi_{\Sigma} = \frac{\Delta h_{\Sigma}}{h_{др}}, \qquad (2.2)$$

где $\Delta h_{\Sigma} = \Delta h_{тр} + \Delta h_{отв} + \Delta h_{г}$ - суммарные потери полного давления в тракте, кгс/м^2 (Па);

$\Delta h_{тр}$, $\Delta h_{отв}$, $\Delta h_г$ – перепады полных давлений на раздающем участке тракта, на отводе к горелке, на горелке соответственно, кгс/м^2(Па);

– коэффициенты сопротивления горелок и отводов к ним, также отнесенные к $h_{др}$:

$$\xi_г = \frac{\Delta h_г}{h_{др}}; \quad \xi_{отв} = \frac{\Delta h_{отв}}{h_{др}} . \qquad (2.3)$$

2.I.6. По полученным значениям коэффициентов сопротивления производится оценка тракта с позиций выявления участков повышенного сопротивления, симметрии выполнения системы по отношению к горелкам (или группам горелок), ожидаемого характера распределения и др.

2.I.7. При достаточной симметрии тракта по отношению к горелкам, когда коэффициенты сопротивления отводов к горелкам близки между собой, определяется коэффициент гидравлической жесткости системы $K_г$, который позволяет оценивать значение возможной для данного тракта максимальной расходной неравномерности:

$$\delta Q_{макс} = \frac{Q_{макс} - Q_{мин}}{Q_{ср}} 100 ,$$

где $Q_{макс}, Q_{мин}, Q_{ср}$ – соответственно максимальный, минимальный и средний расходы воздуха через горелки данной системы, м^3/с;

$$K_г = \frac{\xi_г + \xi_{отв}}{\xi_{сист}} \quad или \quad K_г = \frac{\Delta h_{отв} + \Delta h_г}{\Delta h_{\Sigma}} \qquad (2.4)$$

С увеличением $K_г$ снижается максимальная расходная неравномерность распределения воздуха по горелкам (рис.3) и уменьшается влияние на нее внешних и внутренних возмущений (резкое изменение расхода, отключение горелок и др.), т.е. повышается стабильность распределения. По графику (см.рис. 3) определяется значение $\delta Q_{макс}$ для данного воздушного тракта при условии полного открытия шиберов и исключения их влияния на характер распределения.

2.I.8. В случаях, когда прямая оценка $\delta Q_{макс}$ по коэффициенту гидравлической жесткости невозможна ввиду значительной несимметрии воздушного тракта и существенной разницы в коэффициентах сопротивления отводов к горелкам, производится расчет-

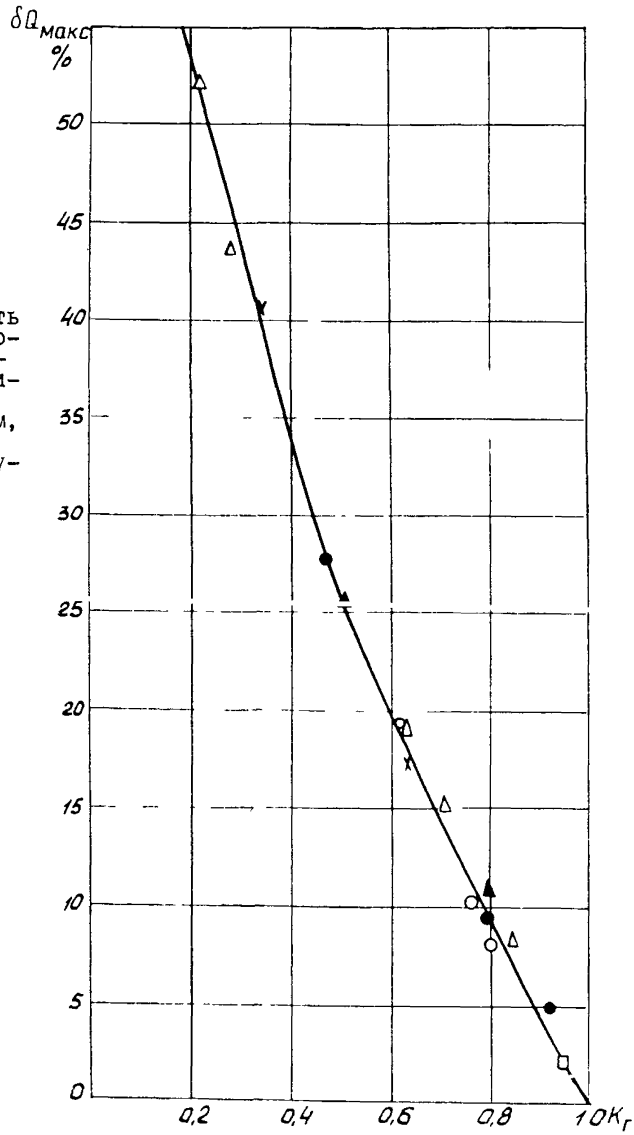


Рис.3. Зависимость расходной неравномерности от коэффициента гидравлической жесткости системы по данным, полученным экспериментальным путем на различных установках

ная оценка расходной неравномерности. Для этого задается давление в общем воздушном коробе на входе в тракт и при известных (рассчитанных согласно п. 2.I.5) коэффициентах сопротивления участков тракта, обеспечивающих подвод воздуха к разным горелкам, определяется расход воздуха через них и максимальная неравномерность его распределения. Порядок выполнения расчетов в данном случае аналогичен приведенному в табл. Ш для тракта первичного воздуха.

2.I.9. При $\delta Q_{макс} \geqslant$ IO-I5% (предельное значение выбирается исходя из необходимости обеспечения на каждой горелке коэффициента избытка воздуха не менее I,0 при данной неравномерности) необходимо проводить полный анализ элементов тракта с целью выявления возможных причин неравномерности и разработки мероприятий по ее снижению.

2.2. Возможными путями снижения неравномерности в пределах существующей компоновки тракта являются:

повышение коэффициента гидравлической жесткости системы до K_r = 0,75 + 0,9;

выравнивание коэффициентов сопротивления всех отводов к горелкам.

2.2.I. При наличии запаса по напору дутьевых вентиляторов, например в схемах с подачей первичного воздуха от них, повышение K_r возможно за счет увеличения доли сопротивления горелок и отводов к ним, а именно:

- повышения коэффициента сопротивления горелок (например, для вихревых горелок с регулируемым аппаратом с обязательной увязкой этого решения с условиями воспламенения и выгорания топлива, шлакованием топки и др.);

- установки перед горелками дроссельных устройств (прямоугольные или сегментные диафрагмы, решетки и т.п.), расчет которых выполняется согласно [4,5] по заданному перепаду в зависимости от располагаемого запаса по напору;

- установки разделительных перегородок по всей длине общих подводящих воздушных коробов.

2.2.2. Повышение K_r возможно также за счет снижения сопротивления подводящего тракта путем:

симметричного выполнения раздающих коробов и тройников;

установки в раздающих и поворотных коробах направляющих и разделительных листов;

применения тройников и отводов улучшенной формы [2] ;

увеличения сечения подводящих воздуховодов.

2.2.3. Для выравнивания коэффициентов сопротивления отводов к горелкам могут быть использованы такие решения, как:

изменение сечений или конфигурации отводящих коробов, отличающихся значением сопротивления;

установка на отводах с меньшим сопротивлением дополнительных местных сопротивлений типа диафрагм или решеток, расчет которых ведется по данным[2,4,5] исходя из требуемого коэффициента сопротивления.

При наладке воздушного режима используются имеющиеся в тракте шиберы с обязательным контролем расхода воздуха на горелки, а также перепады статических давлений на конфузорном участке горелки или на стационарном дроссельном устройстве (например, труба Вентури).

2.3. При применении общих воздушных коробов для подвода воздуха к группе горелок должны выполняться приводимые ниже требования.

2.3.1. Размеры общего короба должны отвечать условию

$$\frac{\Sigma f_{отв}}{n F_к} \leq 0{,}24 \quad , \qquad (2.5)$$

где $\Sigma f_{отв}$ - суммарное сечение отводов из короба к горелкам, $м^2$;

n - количество подводов воздуха к коробу;

$F_к$ - сечение подводящего к коробу воздуховода, $м^2$.

2.3.2. Расстояние от верхней и нижней стенок короба до оси ближайших отводов к горелкам должно быть не менее I,I диаметра отводящего воздуховода.

2.3.3. Сопротивление всех отводов, включая горелки, должно быть одинаковым.

2.3.4. Установка индивидуальных шиберов перед горелками, воздух к которым подается из общего короба, нецелесообразна.

2.3.5. С повышением коэффициентов сопротивления горелок и отводов к ним степень неравномерности распределения воздуха уменьшается (возрастает коэффициент гидравлической жесткости системы). При малых коэффициентах сопротивления отводов, вклю-

чая горелки, необходимо уменьшать отношение по формуле (2.5) до 0,I-0,I5.

2.4. Компоновка воздушного тракта должна исключать изменение характера распределения воздуха за счет взаимного влияния изменения расходов воздуха по отдельным участкам тракта при регулировании нагрузки котельной установки или другом оперативном воздействии на режимы работы топки и системы пылеприготовления. Для этого участки тракта, имеющие независимое регулирование (например, подача горячего воздуха на мельницу или в короб первичного воздуха, вторичного воздуха на группу горелок), должны выполняться раздельными. При невозможности выполнения этого условия по компоновочным соображениям необходимо форму и размеры общих воздуховодов, из которых производится раздача воздуха по участкам, выбирать согласно требованиям п.2.3 или устанавливать в них разделяющие листы. Кроме того, повышение коэффициента гидравлической жесткости системы также способствует уменьшению зависимости исходного характера распределения от изменения режимных условий.

2.5. При проектировании, поиске путей реконструкции и наладке систем раздачи воздуха по горелкам мощных котельных установок, тракты которых сильно разветвлены и достоверная оценка характера распределения воздуха затруднена, особенно при изменении режимных условий (отключение горелок или блоков горелок и т.п.), необходимо проводить их проверку и отработку на изотермических моделях с соблюдением полного геометрического и гидродинамического подобия. Это позволяет, наряду с прямой оценкой общего сопротивления тракта и его участков, определять характер распределения воздуха по горелкам как при стационарном режиме, так и при его изменениях, выявлять недостатки и разрабатывать решения по совершенствованию трактов.

2.6. Рассмотренные методы оценки и пути совершенствования трактов вторичного воздуха могут быть использованы также при анализе трактов газовой рециркуляции.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВИЧНОГО ВОЗДУХА ПО ГОРЕЛКАМ

3.I. Основной особенностью схем транспортирования пыли горячим (или слабоподогретым) воздухом или сушильным агентом в системах пылеприготовления с промбункером, связанной с взаимной компоновкой вспомогательного оборудования, общих распределительных коробов и горелок, является существенная разница в длинах и конфигурации пылепроводов, определяющих различие в значениях коэффициентов сопротивления отводов к горелкам. Положение зачастую усугубляется имеющей место неравномерностью подачи пыли в пылепроводы, способствующей увеличению разницы в коэффициентах сопротивления. В результате этого неравномерность распределения первичного воздуха может быть значительной (30-40%, см. рис. 2), что недопустимо по условиям эксплуатации как с точки зрения организации топочного процесса, так и по причине возможного забивания пылепроводов с большим сопротивлением.

Для оценки характера и значения исходной неравномерности распределения воздуха по горелкам следует произвести расчет тракта первичного воздуха.

3.2. При расчете тракта первичного воздуха принимаются следующие условия:

для выравнивания расходов первичного воздуха устанавливаются сегментные диафрагмы на коротких пылепроводах, обеспечивающих выравнивание сопротивлений;

расчет размеров диафрагм производится для условий движения в пылепроводах двухфазных потоков (пыль + воздух);

количество пыли, поступающей в каждый пылепровод, принимается равным при всех режимах работы оборудования.

При проведении наладочных и доводочных работ это условие обеспечивается предварительной наладкой системы пылепитания (надежная и одновременная работа всех питателей пыли, своевременный технический осмотр их с выставлением требуемых зазоров, работа питателей пыли с полностью открытыми отсекающими шиберами, выравнивание частоты вращения питателей пыли, правильность и идентичность работы узла ввода пыли в пылепровод и др.).

3.3. Расчет тракта первичного воздуха производится в следующем порядке:

3.3.I. Исходные конструктивные данные по каждому пылепроводу:

общая длина от короба первичного воздуха до горелок;

длина участков с различными диаметрами;

диаметры по участкам (сечения);

устройства и приспособления (шиберы, измерительные устройства и др.);

количество, форма и размеры местных сопротивлений;

тип и конструктивные особенности канала первичного воздуха горелки, ее коэффициент сопротивления (по результатам измерений или рекомендациям [6, 7] .

3.3.2. Режимные параметры тракта первичного воздуха:

расход и параметры (температура, давление) горячего воздуха (сушильного агента);

расход пыли на котел;

концентрация пыли в пылепроводе при условии равномерной раздачи пыли и воздуха по пылепроводам;

расход и параметры аэросмеси (при условии полного перемешивания пыли с воздухом).

3.3.3. По имеющимся конструктивным данным производится разбивка пылепроводов на группы с примерно одинаковой длиной и конфигурацией и по каждой группе выбирается средний пылепровод. Такая разбивка допустима при незначительном различии в сопротивлениях отдельных пылепроводов в группе с целью уменьшения объема расчетов.

3.3.4. Согласно рекомендациям [I] выполняется подробный аэродинамический расчет каждого (или среднего для каждой группы) пылепровода при условии равенства расходов воздуха и пыли по ним при нескольких режимах работы (см. табл. Ш).

3.3.5. По результатам аэродинамического расчета определяются суммарные коэффициенты сопротивления пылепроводов от общего короба до горелок включительно, отнесенные к скорости на основном участке пылепровода (см. табл.Ш).

3.3.6. По рассчитанным коэффициентам сопротивления длинных и коротких пылепроводов и перепаду давлений на участке общий короб первичного воздуха - выход из горелок в топку (перепад давлений ΔH задается, исходя из необходимости пропустить через

пылепроводы требуемый расход воздуха и пыли) выполняется расчет ожидаемой расходной неравномерности для данной системы пылепроводов и по ее значению определяются меры по обеспечению равномерности раздачи первичного воздуха по горелкам. Расчет неравномерности выполняется методом последовательных приближений (см.табл.Ш).

В первом приближении принимаются коэффициенты сопротивления пылепроводов по данным аэродинамического расчета, выполненного при условии равного распределения пыли и воздуха. В последующих приближениях уточняется значение топливной составляющей коэффициента сопротивления пылепроводов, зависящее от концентрации пыли, которая неодинакова для пылепроводов с различными расходами воздуха (расход пыли предполагается одинаковым). После уточнения суммарного коэффициента сопротивления для каждого пылепровода определяется расходная неравномерность. При данных расчетах допускается температуру аэросмеси принимать постоянной. Для предварительной оценки неравномерности достаточно двух-трех приближений (см.табл.Ш).

3.3.7. По разнице сопротивлений между пылепроводами (длинного и короткого) при номинальной нагрузке определяется дополнительное сопротивление, которое необходимо установить на коротких пылепроводах для выравнивания коэффициентов сопротивления всех участков тракта:

$$\xi_{доп} = \xi_{дл} - \xi_{кор}, \qquad (3.I)$$

где $\xi_{дл}$ и $\xi_{кор}$ – коэффициенты сопротивления соответственно длинного и короткого пылепроводов, рассчитанные с учетом топливной составляющей при условии равного распределения по ним воздуха и пыли при номинальной нагрузке (см. табл.Ш).

3.3.8. Для выравнивания расходов путем установки шайб в пылепровод с максимальным сопротивлением двухфазному потоку (длинный пылепровод) шайба не устанавливается, а во все остальные пылепроводы устанавливаются сегментные диафрагмы с коэффициентами сопротивления, равными разнице между длинным и соответствующим коротким пылепроводами и обеспечивающими одинако-

вые расходы и перепады давлений на всех пылепроводах.

3.3.9. Выполняется поверочный расчет системы пылепроводов с целью определения возможной неравномерности распределения воздуха за счет изменения концентрации пыли в пылепроводах при отклонении режима от номинального и фиксированных размерах сегмента (см.табл. Ш).

Из табл. Ш видно, что установка диафрагм позволяет снизить неравномерность распределения воздуха до 4-6% при всех режимах работы по сравнению с исходной (35-40%).

3.4. Для выравнивания сопротивлений пылепроводов рекомендуется устанавливать сегментные диафрагмы, преимуществом которых является простота установки и изготовления, а также возможность их размещения на участке до смесителя пыли или после него. Существующие методы расчета сегментных диафрагм [4] позволяют с достаточной для практических задач точностью определять их размеры по заданному сопротивлению.

3.4.I. Коэффициент сопротивления требуемой диафрагмы определяется из аэродинамического расчета пылепровода (см.табл. Ш):

$$\xi_{доп} = (\xi_{д} - \xi_{кол}) \frac{h_{др}}{h_{дм}} , \qquad (3.2)$$

где $\xi_{доп}$ – коэффициент сопротивления сегментной диафрагмы, отнесенный к динамическому напору в сечении пылепровода, где устанавливается диафрагма;

$h_{др}$ и $h_{дм}$ – динамическое давление в расчетном сечении пылепровода и в месте установки диафрагмы, Па.

3.4.2. При установке сегментной диафрагмы на основном участке пылепровода в запыленном потоке коэффициент ее сопротивления, определяющий размеры сегментной пластины, рассчитывается без учета топливной составляющей [8] по формуле

$$\xi_{осн} = \frac{\xi_{доп}}{(1+0{,}8\mu)} , \qquad (3.3)$$

где μ – концентрация пыли в потоке в месте установки сегмента, кг/кг.

3.4.3. По номограмме рис.4 в зависимости от коэффициента дополнительного сопротивления $\xi_{доп}$ определяются размеры диафрагмы $n = \frac{a}{d_{тр}}$ (где a – высота сегмента диафрагмы, мм, $d_{тр}$ –

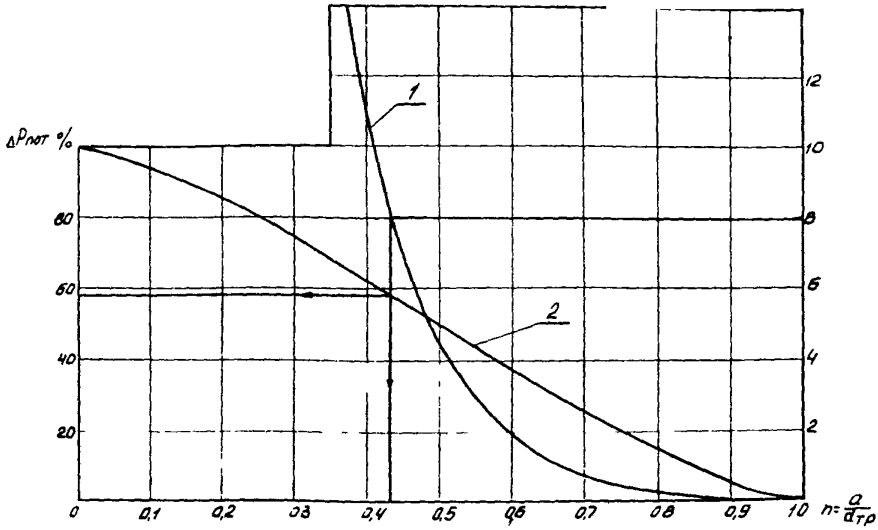


Рис.4. Зависимость коэффициента сопротивления (I) и невозвратимой потери давления (2) сегментной диафрагмы от отношения высоты сегмента диафрагмы к диаметру трубопровода

диаметр трубопровода, мм) и относительное значение невозвратимой потери давления ($\Delta P_{пот}$ %).

Номограмма построена с использованием данных [5, 6].

Расчет сегментных диафрагм можно также производить методом последовательных приближений.

3.4.4. После определения геометрических размеров сегментных диафрагм выполняется поверочный расчет по обычной методике.

В табл. П2 дан пример расчета размеров сегментной диафрагмы, устанавливаемой на пылепроводах для выравнивания сопротивлений.

3.4.5. Схема установки сегментных диафрагм на конкретных пылепроводах с учетом компоновочных условий дана на рис. 5.

3.5. При проектировании систем раздачи первичного воздуха для новых котельных установок может быть использован другой метод выравнивания сопротивления за счет применения пылепроводов различного диаметра.

3.6. После реализации мер по обеспечению равномерности рас-

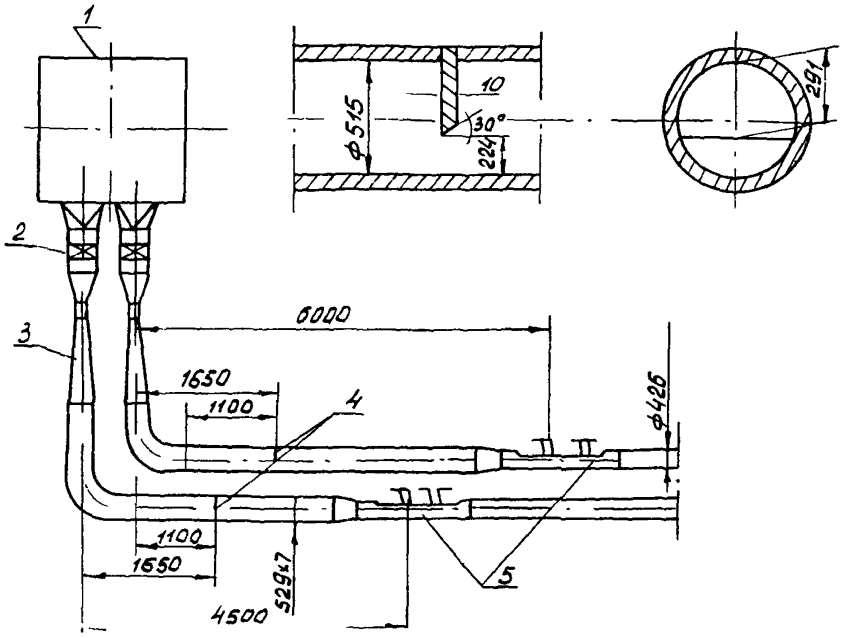


Рис. 5. Схема установки сегментных диафрагм на коротких пылепроводах котла ТПП-200:

I - короб первичного воздуха; 2 - шибер; 3 - труба Вентури; 4 - сегментная диафрагма; 5 - смеситель пыли

пределения первичного воздуха по горелкам, которые позволяют снизить исходную неравномерность с 30-40 до 4-7% (см.рис.2), контроль за расходом пыли при наладке может быть осуществлен путем измерения температуры пылевоздушной смеси во всех пылепроводах на таком одинаковом расстоянии от смесителя, на котором обеспечивается полная подсушка пыли (например, перед горелками). В этом случае:

$$t_{см}=\frac{C_{гв}\,t_{гв}+\mu\left(C_{пл}\,t_{пл}-r\,\frac{W_{пл}}{100}\right)-\frac{Q_5}{V_1}}{C_в+\mu\left(\frac{100-W_{пл}}{100}\,C_{lпл}+\frac{W_{пл}}{100}\,C_{вл}\right)}, \qquad (3.4)$$

где $t_{см}, t_{гв}, t_{пл}$ – температура смеси горячего воздуха и пыли К (^{o}C);

$C_{г.в}, C_{пл}, C_{в}, C_{t\,пл}$ – удельная теплоемкость горячего воздуха, исходной пыли, воздуха и сухой пыли, кДж/(кг·К)(ккал/кг·^{o}C);

μ – концентрация пыли в аэросмеси, кг/кг;

r – скрытая теплота парообразования, равная 595 ккал/кг;

V_1 – расход первичного воздуха, м^3/с;

$W_{пл}$ – влажность пыли в бункере, %;

Q_5 – потери тепла в окружающую среду, ккал/ч;

$C_{вл}$ – удельная теплоемкость испаренной влаги, равная 0,47 ккал/(кг·^{o}C).

На новых котельных установках и системах пылеприготовления с промбункером при транспортировании пыли сушильным агентом целесообразно организовать измерение расхода угольной пыли в течке из-под питателя пыли (пылемер ВТИ-ЦКТИ, емкостные и др.).

3.7. Для контроля за расходом первичного воздуха по пылепроводам могут быть использованы перепады на выравнивающих сегментных диафрагмах, предварительно протарированных трубкой Прандтля, или другие измерительные устройства, устанавливаемые до ввода пыли (сопла, трубы Вентури и др.).

3.8. Рассмотренная схема расчета пылепроводов и выбора размеров выравнивающих сегментных диафрагм может быть принята за основу при составлении алгоритма и программы расчета на ЭВМ.

Выполнение расчетов на ЭВМ позволит значительно расширить возможности методики как в плане определения размеров сегментных диафрагм для каждого конкретного пылепровода при их большом числе, так и для оценки допустимого диапазона степени неравномерности раздачи топлива и воздуха при различных режимах работы тракта.

ПРИМЕРЫ

Аэродинамический расчет пылепроводов,

Наименование	Обозначение	Способ определения	$D = D_{ном}$	
			Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
				I. Исходные
I.I. Расход топлива, кг/с	$B_п$	-	38	
I.2. Расход горячего первичного воздуха на корпус котла, $м^3/с$	$V_{г.в}$	Из расчета системы пылеприготовления	I20	
I.3. Расход аэросмеси на корпус котла, $м^3/с$	$V_{аэр}$	-	97	
I.4. Концентрация пыли в пылепроводе, кг/кг	$\mu_{ср}$	Из расчета	0,59	
I.5. Температура горячего воздуха, °С	$t_{г.в}$	Тепловой расчет	387	
I.6. Плотность горячего воздуха, $кг/м^3$	$\rho_{г.в}$	$\rho_0 \frac{273}{273+t_{г.в}}$	0,535	
I.7. Температура аэросмеси на основном участке пылепровода	$t_{аэр}$	Из расчета смесителя	259	
I.8. Плотность аэросмеси на основном участке пылепровода, $кг/м^3$	$\rho_{аэр}$	Из расчета смесителя	0,664	
I.9. Количество пылепроводов на один корпус котла, шт.	n	Из чертежей	24	
I.I0. Диаметр начального участка пылепровода до смесителя, мм	d_1	Из чертежей	5I5	5I5

Приложение

РАСЧЕТОВ

Таблица ПI

исходной и конечной неравномерности

$D_{макс} = I,I\ D_{ном}$		$D = 0,6\ D_{ном}$		$D = 0,6\ D_{ном}$	
Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
данные					
4I,8		22,6		22,6	
I20		I20		96	
97		97		78	
0,65		0,353		0,436	
387		387		387	
0,535		0,535		0,535	
259		259		259	
0,664		0,66		0,66	
24		24		24	
5I5		5I5		5I5	

Наименование	Обозначение	Способ определения	$D=D_{ном}$	
			Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
I.II. Диаметр основного участка пылепровода, мм	d	Из чертежей	404	404
I.I2. Сечение начального участка пылепровода, м^2	f_1	$0{,}785\,d^2$	0,208	0,208
I.I3. Сечение основного участка пылепровода, м^2	f	$0{,}785\,d^2$	0,I3	0,13
I.I4. Длина начального участка пылепровода, м	ℓ_1	Из чертежей	5,0	5,0
I.I5. Длина основного участка пылепровода, м	ℓ	Из чертежей	66,0	23,3
I.I6. Тип горелки			Вихревая	
I.I7. Скорость на выходе из канала первичного воздуха горелки, м/с	$W_г$	Из расчета горелки	I8,5	
I.I8. Динамическое давление на выходе из горелки (канал первичного воздуха), (кгс/м^2) Па	$h_{д\,г}$	$\frac{W_г^2\,\rho_{аэр}}{2}$	II,6(II4)	
			2. Аэродинамический	
2.I. Скорость воздуха на начальном участке пылепровода, м/с	W_1	$\frac{V_{г.в}}{n_1 f_1}$	24	
2.2. Скорость аэросмеси на основном участке пылепровода, м/с	$W_{пп}$	$\frac{V_{аэр}}{n f}$	3I	
2.3. Динамическое давление на начальном участке, кгс/м^2 Па	$h_{д_1}$	$\frac{W_1^2\,\rho_{г.в}}{2}$	I5,7(I54)	

Продолжение таблицы III

$D_{макс} = 1,1 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$	
Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
404		404		404	
0,208		0,208		0,208	
0,13		0,13		0,13	
5,0		5,0		5,0	
66,0	23,3	66,0	23,3	66,0	23,3
горелка					
18,5		18,5		18,2	
11,6(114)		11,6(114)		11,6 (114)	
расчет					
24		24		19,2	
31		31		25	
15,7(154)		15,7(154)		10,1(99)	

Наименование	Обозначение	Способ определения	$D = D_{ном}$	
			Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
2.4. Динамическое давление на основном участке, кгс/м² (Па)	$h_{др}$	$\frac{W^2 \rho_{аэр}}{2}$	32,5(319)	
2.5. Коэффициент местных сопротивлений на начальном участке (шибер, труба Вентури, поворот на 90°)	$\xi_{мн}$	0,1+0,65+0,25	1,0	
2.6. Эквивалентный коэффициент сопротивления трения на начальном участке	$\xi_{тр.н}$	$\lambda_н \frac{l_1}{d_1}$ $\lambda_н = 0,03$	0,29	
2.7. Коэффициент сопротивления начального участка	$\xi_{нач}$	$\xi_{мн} + \xi_{тр.н}$	1,29	
2.8. То же, отнесенное к скорости в основном участке	$\xi_{гп}$	$\xi_{нач} \frac{h_д}{h_{др}}$	0,62	
2.9. Коэффициент местных сопротивлений основного участка от воздушной составляющей				
2.9.1. Для длинного пылепровода: два поворота на 50°, два поворота на 90°, один поворот на 30°, пылесмеситель	$\xi_м$	2(0,1+0,14)+ +0,05+0,35; компоновка по чертежам	0,88	
2.9.2. Для короткого пылепровода: два поворота на 15°, один поворот на 57°, один поворот на 20°, пылесмеситель	$\xi_м$	2x0,035+0,12+ +0,04+0,35	0,58	
2.10. Коэффициент местных сопротивлений основного участка с учетом топливной составляющей	$\xi_{мо}$	$\xi_м (1+2,5\mu)$	2,18	1,44

Продолжение таблицы III

$D_{макс} = 1,1 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$	
Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
32,5(319)		31,8(312)		21(206)	
1,0		1,0		1,0	
0,29		0,29		0,29	
1,29		1,29		1,29	
0,02		0,02		0,02	
0,88		0,88		0,88	
0,58		0,58		0,58	
2,31	1,52	1,66	1,09	1,84	1,21

Наименование	Обозначение	Способ определения	$D = D_{ном}$	
			Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
2.II. Эквивалентный коэффициент сопротивления трения от воздушной составляющей (основного участка)	$\xi_{тр}$	$\lambda_0 \frac{\ell}{d}$	3,28	I,I5
2.I2. То же с учетом топливной составляющей	$\xi_{тр.0}$	$\lambda_0(1+2,5\mu)\frac{\ell}{d}$	8,I	2,85
2.I3. Коэффициент сопротивления учитывающий потери давления на разгон топлива	$\xi_р$	2μ	I,I8	I,I8
2.I4. Коэффициент сопротивления горелки (по первичному воздуху)	$\xi_г$	Аэродинамический расчет	5	
2.I5. Коэффициент сопротивления горелки, отнесенный к скорости в основном участке пылепровода	$\xi_{го}$	$\xi_г \frac{h_{дг}}{h_д}$	I,78	I,78
2.I6. Суммарный коэффициент сопротивления пылепровода (без учета пыли)	$\Sigma\xi_0$	$\xi_н+\xi_м+\xi_{тр}+\xi_{го}$	6,56	4,I3
2.I7. Суммарный коэффициент сопротивления пылепровода с учетом пыли	$\Sigma\xi_п$	$\xi_н+\xi_м+\xi_{тр0}+$ $+\xi_р+\xi_{го}$	I3,9	7,9

3. Расчет исходной неравномерности распределения (без установки дополнительных сопротивлений)

3.I. Перепад давлений короба первичного воздуха – топка, кгс/м²	ΔH	Задано	354	354
3.2. Динамическое давление в пылепроводах, кгс/см²	$h_{др}$	$\frac{\Delta H}{\Sigma\xi_п}$	25,4	44,8

Продолжение таблицы III

$D_{макс} = 1,1 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$	
Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
3,28	1,15	3,28	1,15	3,28	1,15
8,61	3,02	6,17	2,16	6,5	2,4
1,3	1,3	0,706	0,706	0,872	0,872
5		5		5	
1,78	1,78	1,8	1,8	1,8	1,8
6,56	4,13	6,58	4,15	6,58	4,15
14,62	8,24	10,97	6,4	11,98	6,9

первичного воздуха для системы пылепроводов на коротких пылепроводах)

370	370	277	277	198	198
25,3	44,9	25,2	43,3	16,5	29,7

Наименование	Обозначение	Способ определения	$D = D_{ном}$	
			Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
3.3. Скорость в пылепроводах, м/с	$W_{пп}$	$4{,}43\frac{\sqrt{h_{др}}}{\sqrt{\rho_{азр}}}$	27,4	36,4
3.4. Условный расход через пылепровод $м^3/с$	$Q_{усл}$	$W_{пп} f$	3,56	4,73
3.5. Максимальная неравномерность по группе пылепроводов (первое приближение),%	δQ_I	$\frac{Q-Q_{ср}}{Q_{ср}} 100$	-I4,I	I4,I
3.6. Расход аэросмеси через пылепроводы с учетом неравномерности, $м^3/с$	Q_i	$\frac{V_{азр}}{n}\left(1+\delta Q_I\right)$	3,47	4,6I
3.7. Концентрация пыли в пылепроводах, кг/кг	μ_i	$\mu\frac{V_{азр}}{n Q_i}$	0,687	0,5I7
3.8. Коэффициент местных сопротивлений основного участка пылепровода с учетом топливной составляющей	$\xi_{мо_1}$	$\xi_{мо_1}\left(1+2{,}5\mu_i\right)$	2,39	I,33
3.9. Эквивалентный коэффициент сопротивления трения с учетом топливной составляющей	$\xi_{тро_1}$	$\lambda_0\left(1+2{,}5\mu\right)\frac{\ell}{d}$	8,9I	2,64
3.I0. Коэффициент сопротивления, учитывающий потери давления на разгон топлива	ξ_{p_i}	$2\mu_i$	I,374	I,034
3.II. Суммарный коэффициент сопротивления пылепровода с горелкой	$\Sigma\xi_n$	$\xi_н+\xi_{мо_1}+\xi_{тро_1}+\xi_{p_1}+\xi_г$	I5,I	7,4
3.I2. Перепад давления на систему, $кгс/м^2$	ΔH	Задано	335	335

Продолжение таблицы III

$D_{макс} = 1,1 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$	
Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
27,3	36,4	27,6	36,2	22,2	29,2
3,55	4,74	3,58	4,7	2,88	3,8
I4,3	I4,3	I3,5	I3,5	I3,7	I3,8
3,46	4,62	3,5	4,58	2,8	3,7
0,759	0,569	0,408	0,3I	0,506	0,383
2,55	I,4	I,78	I,03	I,99	I,I4
9,5	2,78	6,62	2,04	7,43	2,25
I,5I8	I,I38	0,8I6	0,62	I,0I2	0,766
I6,0	7,72	II,6	6,I2	I2,8	6,6
350	350	264	264	I87	I87

	Наименование	Обозначение	Способ определения	$D = D_{ном}$	
				Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
3.13.	Динамическое давление в пылепроводах, кгс/м^2	$h_{дp}$	$\frac{\Delta H}{\sum \xi}$	22,2	45,3
3.14.	Скорость в пылепроводах, м/с	$W_{пл}$	$4{,}43\frac{\sqrt{h_{дp}}}{\sqrt{\rho_{аэр}}}$	25,6	36,6
3.15.	Расход аэросмеси через пылепровод, м^3/с	Q_i	$W_{пл} f$	3,33	4,75
3.16.	Максимальная неравномерность по группе пылепроводов (второе приближение),%	δQ_{II}	$\frac{Q_i - Q_{ср}}{Q_{ср}} 100$	-17,6	17,6
3.17.	Концентрация пыли в пылепроводах; кг/кг	μ_i	$\mu \frac{V_{аэр}}{n Q_i}$	0,716	0,502
3.18.	Коэффициент местных сопротивлений основного участка пылепровода с учетом топливной составляющей	$\xi_{мо_2}$	$\xi_м (1+2{,}5\mu)$	2,46	1,31
3.19.	Эквивалентный коэффициент сопротивления трения	$\xi_{тр\,o_2}$	$\lambda_o (1+2{,}5\mu)\frac{\ell}{d}$	9,15	2,59
3.20.	Коэффициент сопротивления, учитывающий потери давления на разгон топлива	ξ_{p_2}	$2\mu_2$	1,428	1,002
3.21.	Суммарный коэффициент сопротивления пылепровода с горелкой	$\sum \xi_п$	$\xi_н + \xi_{мо_2} + \xi_{тр.o_2} + \xi_{p_2} + \xi_г$	15,69	7,26
3.22.	Перепад давлений на систему, кгс/м^2	ΔH	Задано	335	335
3.23.	Динамическое давление в пылепроводах, кгс/м^2	$h_{дp}$	$\frac{\Delta H}{\sum \xi_п}$	21,34	46,14

Продолжение таблицы III

$D_{макс}$ =I,I $D_{ном}$		D =0,6 $D_{ном}$		D = 0,6 $D_{ном}$	
Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
2I,9	45,3	22,8	43,I	I4,6	28,3
25,4	36,6	26,2	36,I	20,8	29,0
3,3	4,76	3,4	4,69	2,7	3,77
-I8,I	I8,I	-I5,9	I5,9	-I6,5	I6,5
0,796	0,552	0,4I9	0,304	0,526	0,377
2,00	I,00	I,0I	I,02	2.03	I.I3
9,8I	2,74	6,73	2,03	7,59	2,23
I,594	I,I04	0,842	0,6I0	I,05	0,754
I6,69	7,58	I2,06	6,04	I3,35	6,49
350	350	264	264	I87	I87
20,97	46,I7	2I,89	43,70	I4,00	28,8

Наименование	Обозначение	Способ определения	$D = D_{ном}$	
			Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
3.24. Скорость в пылепроводах, м/с	$W_{пп}$	$4{,}43\frac{\sqrt{h_{др}}}{\sqrt{\rho_{азр}}}$	25,I	36,90
3.25. Расход воздуха через пылепровод, $м^3/с$	Q_i	$W_{пп} f$	3,26	4,79
3.26. Максимальная неравномерность по группе пылепроводов (третье приближение), %	δQ_{III}	$\frac{Q_i - Q_{ср}}{Q_{ср}} 100$	-I8,9	I8,9

4. Расчет неравномерности при условии выравнивания

Дальнейший расчет ведется при условии установки диафрагмы
В скобках даны значения при установке

4.I. Суммарный коэффициент сопротивления пылепровода с горелкой	$\Sigma\xi_п$	Из табл. III $\Sigma\xi_{п.кар}+6$	I3,9	I3,9
4.2. Перепад давлений на систему, $кгс/м^2$	ΔH	Задано	450	450
4.3. Динамическое давление в пылепроводах, $кгс/м^2$	$h_{др}$	$\frac{\Delta H}{\Sigma f_п}$	32,4	32,4
4.4. Скорость в пылепроводах, м/с	$W_{пп}$	$4{,}43\frac{\sqrt{h_{др}}}{\sqrt{\gamma}}$	30,9	30,9
4.5. Расход воздуха через пылепровод, $м^3/с$	Q	$W_{пп} f$	4,02	4,02
4.6. Максимальная неравномерность по группе пылепроводов, %	δQ	$\frac{Q_i - Q_{ср}}{Q_{ср}} 100$	0	0

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы III

$D_{макс} = 1,1 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$		$D = 0,6 D_{ном}$	
Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод	Длинный пылепровод	Короткий пылепровод
24,89	36,90	25,71	36,33	20,33	29,17
3,23	4,80	3,34	4,72	2,64	3,79
-19,5	19,7	-17,1	17,1	-17,9	17,9

сопротивлений длинного и короткого пылепроводов

фиксированных размеров ($\xi_{1доп} = 6$) на всех режимах работы.
сегмента на запыленном потоке.

14,62	14,24 (14,43)	10,97	12,4 (11,62)	11,98	12,9 (12,4)
475	475	355	355	252	252
32,5	33,4	32,4	28,6	21,0	19,5
31,0	31,4	30,9	29,1	25,0	24,1
4,03	4,08 (4,05)	4,06	3,82 (3,95)	3,25	3,13 (3,2)
-0,6	0,6	3,0	-3,0	1,9	-1,9

Таблица 12

Расчет размеров сегментной диафрагмы, устанавливаемой на пылепроводах меньшего сопротивления

Наименование	Обозначение	Способ определения	Место установки диафрагмы		
			Основной пылепровод, аэросмесь	Основной пылепровод, воздух	Начальный участок, воздух
I. Коэффициент сопротивления диафрагмы, отнесенный к скорости потока перед ней		Из аэродинамического расчета пылепроводов для $D_{ном}$ $\xi_{доп} = \xi_{дп} - \xi_{кор} = 13,9 - 7,9 = 6,0$			
основной пылепровод на запыленном потоке	$\xi_{осн}$	$\xi_{осн} = \frac{\xi_{доп}}{(1+0,8\mu)}$ $\mu = 0,59$ кг/кг	4,08	–	–
основной пылепровод на чистом воздухе	$\xi_{о}$	Задано	–	6,0	–
начальный участок пылепровода	$\xi_{н}$	Задано	–	–	I2,3
2. Диаметр участка пылепровода, где устанавливается диафрагма, мм	d	Задано	404	404	5I5
3. Отношение высоты сегмента пылепровода к его диаметру	n	По номограмме рис.4	0,5I	0,465	0,39
4. Высота сегмента пылепровода, мм	a	nd	206	I88	20I
5. То же диафрагмы, мм	t	$d-a$	I98	2I6	3I4
6. Невозвратимая потеря давления, %	$\Delta P_{пот}$	По номограмме рис.4	49	54,5	64

Список использованной литературы

I. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ расчет котельных установок. Нормативный метод. Л.: Энергия, 1977.

2. ИДЕЛЬЧИК И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение, 1978.

3. ИДЕЛЬЧИК И.Е. Аэрогидродинамика технологических аппаратов. - М.: Машиностроение, 1983.

4. МАКАРОВ А.Н., ШЕРМАН И.А. Расчет измерительных и регулирующих дроссельных устройств. - М.: Госэнергоиздат, 1953.

5. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами.

6. ОСТ 108.030.26-78. Горелки вихревые пылеугольные, пылегазовые и компоновка их с топками.

7. РТМ 108.030.120-78. Горелки прямоточные пылеугольные, пылегазовые и компоновка их с топками.

Ответственный редактор С.В.Морозова
Литературный редактор Ф.С.Кузьминская
Технический редактор Т.Ю.Савина
Корректор Н.В.Зорина

Подписано к печати 28.04.88 Формат 60х84 1/16
Печать офсетная Усл.печ.л.2,09Уч.изд.л. 2.0 Тираж 1300 экз.
Заказ №222/88 Издат. № 88605

Производственная служба передового опыта эксплуатации энергопредприятий Союзтехэнерго
105023, Москва, Семеновский пер., д. 15

Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
109432, Москва, 2-й Кожуховский проезд, д.29, строение 6

gost.e-ecolog.ru