

Пассивное состояние металла обеспечивают плотные, сплошные тонкие оксидные пленки. По составу они могут состоять из различных модификаций гематита Fe_2O_3 , магнетита Fe_3O_4 и вюститита FeO . Соотношение этих компонентов зависит от температуры теплоносителя и особенностей НОВР. При оптимальных условиях на поверхности металла образуется окисная пленка, состоящая из магнетита, который в процессе эксплуатации котла постепенно покрывается насосным слоем гематита. Из-за разницы в кристаллической структуре окислов, образующих наружный и внутренний слои образований, связь между ними непрочная. Это делает невозможным значительный рост наружного слоя железистоокисных отложений, так как рыхлый слой гематита легко удаляется при пусках и остановках котлов. Практически это позволило существенно увеличить межпромысловый период эксплуатации котлов СКД, а во многих случаях и полностью отказаться от проведения эксплуатационных химических очисток.

Для котлов барабанного типа в ближнем и дальнем зарубежье в настоящее время практикуется применение блочной обессоливающей установки для очистки турбинного конденсата и работа на питательной воде самого высокого качества. Это позволяет значительно упростить коррекционную обработку теплоносителя при одновременном увеличении межпромыслового периода.

Заключение. Следует обратить внимание на ухудшение экологической обстановки водоисточников поверхностного типа. Загрязнение природной воды специфическими формами органических примесей, не удаляемых традиционными методами очистки воды на ХВО, вызывает серьезные проблемы при эксплуатации котлов как прямоточного, так и барабанного типов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Динамика межпромысловочного периода эксплуатации барабанных котлов высокого давления на основе температурных вставок и показателей качества воднохимического режима / А.Ф. Богачев, В.В. Ульянов [и др.] // Теплоэнергетика – № 7. – 2004.
2. О температурном контроле металла экранных труб котлов высокого давления с естественной циркуляцией / Ю.В. Козлов // Электрические станции. – № 10. – 2001.
3. Плиссин, Г.И. Метод технической диагностики оборудования отложений на теплопередающей поверхности котлов и конденсаторов турбин.
4. Температурный режим и контроль состояния экранных труб / В.В. Холщев // Теплоэнергетика. – № 8. – 2000.
5. Василенко, Г.В., Сутоцкий, Г.П. Предельно допустимая внутренняя загрязненность топочных экранов барабанных котлов высокого давления.
6. Методические указания по контролю за состоянием основного оборудования тепловых электрических станций; определение количества и химического состава отложений: РД34.37.306-87 – М.: ВТИ, 1987.
7. Применение системы контроля температуры экранов котлов ТГМЕ-464 для анализа работы топки в пускоостановочном режиме / А.М. Грибков, Ю.В. Щелоков, П.М. Тюклин // Теплоэнергетика. – № 9. – 2004.
8. Белоконова, А.Ф. Водно-химические режимы тепловых электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
9. Холщев, В.В. Температурный контроль состояния экранных труб // Теплоэнергетика. – №8. – 2000.

Материал поступил в редакцию 13.04.09

KARNITSKI N.B., CHIZ V.A., NEREZKO A.V. Effectivity raising of boiler acting of HES by using of temperature monitoring of heat surfaces

It is shown in this article possible of increasing of effective boiler by studying of heat surfaces temperature regime.

УДК 621.181

Карницкий Н.Б., Чиж В.А., Нерезько А.В.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ЗАНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Введение. Современные теплоэнергетические установки развиваются по пути создания новых технологий топливоиспользования и совершенствования традиционных способов выработки электроэнергии и теплоты. При этом можно отметить, что органическое топливо в ближайшее время и на перспективу будет доминирующим в топливном балансе страны при увеличении доли местных видов топлива. Проблема топливоиспользования с максимальной эффективностью, при повышении цены на газообразное и жидкое топливо, становится еще более актуальной.

Важным показателем различных видов органического топлива является минеральная часть, которая влияет на занос поверхностей нагрева, эрозийный износ, к.п.д. котла и выбор типа золоулавливающих устройств. Для прогнозирования ряда зависящих от минеральной части показателей, в том числе такого, как сыпучие свойства, в отечественной практике нет даже более или менее признанных эмпирических зависимостей. Показатели работы котлов ТЭС зависят от количества и свойств минеральной части золы. В практических условиях взамен величины содержания минеральных примесей применяется такой показатель, как зольность топлива (A), представляющая собой массу неорганического остатка (золы) после полного сгорания топлива, отнесенную к единице массы исходного топлива. Состав минеральной части характеризуется усредненным (валовым) химическим составом, выраженным, как правило, в виде предельных окислов (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O).

Для углей низкой степени углеродизации, к которым смело можно отнести и бурые угли, имеющиеся на территории нашей республики, составы внутренней и внешней золы существенно различаются. Внутренняя зола содержит минеральные элементы органических соедине-

ний и мелкие минеральные примеси. Внешняя зола – это часть, которая при размоле отделяется от органического угольного вещества и состоит из крупных минералов, их ассоциаций и сростков.

При неизменном составе внутренней и внешней золы изменение содержания каждого из компонентов $R_m O_n$ (здесь $R_m O_n$ один из компонентов, например, K_2O , Na_2O , SiO_2 и т.д.) по уравнению смешения может быть определено по выражению:

$$R_m O_n = \epsilon + aP,$$

где $P=100/A$; A , % - зольность топлива, a и ϵ – эмпирические коэффициенты, рассчитанные по составу внутренней и внешней золы.

Процесс образования отложений на поверхностях нагрева.

В процессе горения неорганическая часть топлива подвергается воздействию высоких температур и продуктов сгорания. Физико-химическая характеристика образующихся в топке и газоходах котельного агрегата зависит не только от свойств неорганической части топлива, но и от температуры факела, состава газовой среды, размеров частиц топлива, времени пребывания частиц в топке и газоходах, и многое другое. Процессы превращения неорганической части топлива в котле протекают в следующих плоскостях [1]:

- разложение первичных минералов на более простые соединения;
- улетучивание (сублимация, испарение) отдельных компонентов топлива и образование мелкодисперсных минералов (аэрозолей);
- образование под воздействием температуры газовой среды новых минералов;
- переход отдельных частиц или всей минеральной массы в пластическое или жидкое состояние.

Частицы летучей золы, движущиеся с потоком газов, достигают поверхностей нагрева вследствие сил инерции, электростатических сил, сил термофореза. Закрепиться на гладкой и чистой поверхности могут только наиболее мелкие частицы (размер до 1 мкм), которые удерживаются силами межмолекулярного притяжения. При высоких температурах поверхности больше влияние оказывает процесс спекания слоя отложений. Наивысшей спекаемостью обладают самые тонкие фракции золы (размер менее 0,5 мкм).

Далее процесс образования прочно связанных с трубой отложений ускоряется вследствие повышения ее шероховатости и в результате процесса сульфатизации. Одновременно с упрочнением слоя и образованием связанных отложений постепенно увеличивается содержание SO_3 . Скорость связывания частиц золы в отложениях зависит от наличия способных к сульфатизации компонентов золы, осевших на поверхность нагрева, и в первую очередь, от количества свободной окиси кальция.

Из образующихся в топочном процессе соединений щелочных металлов, которые, передвигаясь в зону более низких температур, переходят в гидроксиды, а затем, реагируя с кислыми компонентами продуктов сгорания, образуют сульфаты. Наряду с этим процессом возможно образование отложений на базе щелочных гидроксидов путем прямой их конденсации. В наружных слоях отложений могут конденсироваться и карбонаты щелочных металлов, которые, реагируя с силикатами, образуют легкоплавкие стекла и тем самым способствуют образованию спекшихся отложений. Пары щелочных соединений конденсируются на частицах летучей золы еще в топке, когда продукты сгорания в процессе охлаждения проходят температуру их конденсации.

С учетом образования отложений разных топлив и стадийности процессов заноса принята совокупность показателей. Для твердых топлив это склонность к формированию прочных селективно-обогащенных отложений (железных, сульфатно-кальциевых) и температура начала шлакования $t_{шл}$. В последнее время этот перечень показателей дополнен характеристикой прочностных свойств шлаковых отложений, нормированными индексами склонности к образованию прочных селективно-обогащенных отложений P_n и загрязнений на базе активных щелочей P_{Na} , комбинированным индексом склонностью к шлакованию топки R_{St} . В зоне котла с температурой газов выше $t_{шл}$ с ростом зольности увеличивается интенсивность шлакования. Однако в целом, например, уголь при росте зольности становится менее шлакующим, как за счет уменьшения склонности к образованию прочных первичных отложений, росту $t_{шл}$, снижения прочности отложений при равной температуре, так и из-за снижения температуры горения.

Для оценки P_{Fe} предложено уравнение [1]

$$P_{Fe} = sf - af / \left[Sp^{ash} (ev - av \cdot v^a) + \Delta S \right], \quad (1)$$

где $\Delta S = 0,1(0,813 \cdot Fe_2O_3 - Sp^{ast})$, sf , af , ev , av – эмпирические коэффициенты, зависящие от марки угля; Sp^{ash} , % – содержание пиритной серы в пересчете на золу, Fe_2O_3 , % – содержание железа в минеральной части, v^a , °C – адиабатическая температура горения.

Склонность к образованию низкотемпературных загрязнений на базе активных щелочей вычисляется по данным об ионообменном натрии Na_2O^a

$$P_{Na} = 0,416 (Na_2O^a)^{0,313}. \quad (2)$$

Склонность к образованию прочных сульфатно-кальциевых отложений P_{Ca} определяется из выражения

$$P_{Ca} = 0,5 (CaO^{расме})^{0,22} - P_{Na}. \quad (3)$$

Влияние температуры на свойства отложений. Со временем температура поверхности наружных плотных отложений с ростом их

толщины непрерывно увеличивается и приближается к температуре продуктов сгорания. С некоторой температуры внешней поверхности этих отложений на них начинают образовываться растущие против потока гребневидные отложения. Образование последних наблюдается лишь при температуре частиц, превышающих в момент касания с поверхностью «критическую» величину.

Зависимости $t_{шл}$ от химического состава минеральной части имеют вид [1]

$$t_{шл} = 945 + 7,77 \cdot K_o \text{ при } K_o > K_{o,кр} = 2,25, \quad (4)$$

$$t_{шл} = 940 + 52,23 / K_o \text{ при } K_o < K_{o,кр}. \quad (5)$$

где $K_o = (SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2) / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$.

Для топлив с повышенным содержанием щелочных компонентов температура $t_{шл}$ ниже, и приближенно этот фактор может быть учтен введением поправки

$$\Delta t_{шл} = -12 (NaO^* - 1,8), \quad (6)$$

где $Na_2O^* = Na_2O + K_2O^a$ и K_2O^a – содержание этих компонентов в ионообменной форме.

В нашей стране в связи с практически отсутствием экспериментальных исследований подобного рода, наиболее востребованными являются разработки по оценке шлакующих свойств и шлакования (заноса) котлов с использованием ограниченного количества сведений. Для уменьшения риска грубых ошибок при использовании ограниченной информации и решений новых задач должны применяться математические методы, в том числе методы математического моделирования.

Математическая модель по оценке критического заноса поверхностей. Математическая модель по оценке критического заноса поверхностей нагрева включает следующие факторы. Критерий заноса R_F , определяемый с учетом наличия в отложениях основных, щелочно-земельных и щелочных оксидов.

В аналитическое выражение для определения R_F дополнительно введены такие факторные элементы, как V_2O_5 , NiO и $R_2O = K_2O + Na_2O$. Введением последнего подчеркивается его особая роль в процессе заноса поверхностей нагрева. Эти легкоплавкие оксиды способствуют образованию липкой пленки на поверхностях нагрева, что способствует, даже при малой исходной зольности топлив, в последующем интенсивному заносу теплообменных поверхностей нагрева.

Для получения регрессионной зависимости по определению критического заноса R_F был использован план ПФЭ-2³ [2]. Основной уровень первого фактора (R_2O , %) составлял 7,05, верхний 13, соответственно нижний 1,1. Интервал варьирования – 5,95. Второй фактор (d_{cp} , мкм) характеризует средневзвешенный размер золотых частиц. Основной уровень при этом составил 225, верхний и нижний, соответственно, 400 и 50 мкм. Интервал варьирования 175 мкм. Фактор заноса (R_F) при вышеуказанных уровнях характеризуется следующими показателями. Основной уровень – 248,1, верхний – 475, нижний – 21,2. Интервал варьирования – 226,9.

Используя матрицу ПФЭ-2³ ($N=8$), было получено уравнение регрессии в кодированных переменных [3]

$$Y = 1228 + 131,2x_1 + 126,2x_2 - 88,7x_3 + 1,250x_1x_2 - 36,25x_1x_3 + 21,25x_2x_3. \quad (7)$$

Путем перехода к натуральным переменным была получена следующая зависимость, связывающая прочность отложений τ_p и фактор заноса R_F

$$\tau_p = 1008 + 22,0R_2O + 0,72 d_{cp} - 0,39R_F, \text{ Па}, \quad (8)$$

Отсюда фактор заноса может быть определен как

$$R_F = \frac{1008 + 22,0R_2O + 0,72d_{cp} - \tau_p}{0,39}. \quad (9)$$

Анализ данной зависимости показывает, что максимальное влияние на прочность отложений оказывает наличие оксидов щелочных металлов.

Таблица 1. Химический состав наружных отложений на поверхностях нагрева

Характеристика	Разм.	Осиповичская ТЭЦ, пароперегреватель, топливо – щепа и опилки	Бобруйская ТЭЦ-1, топка, топливо – лигнит
Органические вещества	%	9,54	68,70
Зольность,	%	24,70	9,00
включая:			
– SiO ₂	%	24,70	9,06
– CaO	%	18,40	2,55
– Fe ₂ O ₃	%	24,50	7,34
– SO ₃	%	16,90	9,00

Физико-химические свойства отложений. Одинаковому химическому составу минеральной части может соответствовать разный вещественный (минералогический) состав. Для анализа ряда показателей и характеристик топлив информация о минеральной части в объеме золы и валового химического состава не достаточна, поскольку например, показатели шлакования (заноса) в большей мере зависят от вещественного состава, чем от химического. Определяющим также может быть размер внешних минеральных включений, степень их аутогезии друг с другом и органической частью, соотношение внутренней и внешней золы.

Вместе с тем, детальное знание состава минеральной части требуется не всегда. Для решения многих технических и экономических вопросов минеральная часть топлива может рассматриваться как инертный балласт, а в других случаях достаточно сведений о валовом химическом составе.

Валового химического состава достаточно также для прогнозирования процессов, в которых анализируемый эффект достигается химической активностью совокупности всех частичек летучей золы.

В качестве примера в таблице 1 приведен химический состав наружных отложений при использовании различных местных видов топлива.

Аутогезионные свойства отложений. Химический состав отложений характеризует лишь качественную структуру, не затрагивая прочностных свойств. В связи с этим, такая классификация как "рыхлые", "прочные", "липкие" отложения носят лишь условный характер и не дают количественной оценки их прочности.

Как подчеркивается в [4], сведения о фактическом значении и прочности отложений в настоящее время можно получить лишь экспериментальным путем.

Испытания проб на прямой сдвиг производилось по методике [5] с использованием модернизированного прибора Дженике с усовершенствованным измерительным устройством. Исследуемая проба отложений 6 (рис. 1) засыпается в элемент сдвига.

Уплотняющее давление V создается с помощью грузов посредством крышки 5. Сдвигающее усилие в горизонтальной плоскости S создается через систему: электродвигатель 1 – рамка 2 с тензодатчиками 3 – блок 4 – верхняя часть элемента сдвига 7. Усилие прикладывается до тех пор пока не произойдет сдвиг верхней части 7 относительно нижней 8. Удельная аутогезионная прочность пылей при прямом сдвиге определяется при предварительной удельной уплотняющей нагрузке $\sigma_y = 2,5 \cdot 10^4$ Па в интервале температур 293...673 К.

Расчетное значение коэффициента внутреннего трения $tg\varphi$ определяется путем построения круга Мора по максимальным значениям сдвиговых и нормальных напряжениях (нагрузки). В этом случае $tg\varphi$ определяется в точке касания этого круга с экспериментально полученной кривой предела текучести [6]. Расчетное значение начального сопротивления сдвигу $\tau_{расч}$ определяется также путем построения, причем в этом случае проводится касательная в точке касания наибольшего из кругов Мора с линией предела текучести и отрезок, отсекаемый ею на оси ординат, определяет величину $\tau_{расч}$.

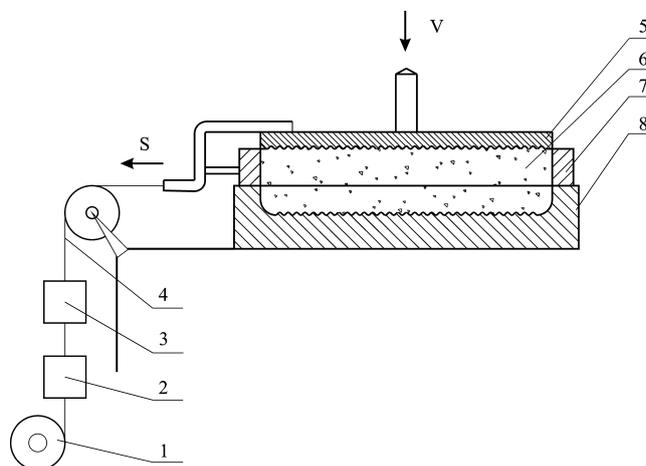


Рис. 1. Схема модернизированного прибора Дженике для испытания проб отложений на прямой сдвиг: 1 – электродвигатель; 2 – рамка; 3 – тензодатчик; 4 – блок; 5 – крышка; 6 – проба отложений; 7 – кольцо; 8 – корпус

Экспериментальное значение начального сопротивления сдвигу $\tau_{расч}$ определяется при отсутствии уплотнения из зависимости $\tau_0 = f(\sigma)$.

Полученные данные по аутогезионным свойствам отложений позволяют определить их прочность и выбрать наилучший способ очистки поверхностей нагрева.

В таблице 2 приведены результаты проведенных опытов. Для примера взята проба наружных отложений с предтопка котла Е-30-3,9-440 ФТ Бобруйской ТЭЦ-1.

Таблица 2. Прочностные свойства отложений

Параметры	Разм.	Уплотняющая нагрузка V , МПа		
		0,1	0,2	0,3
Усилие S	Н	34,3	51,9	63,7
Площадь сдвига	м ²	0,04	0,04	0,04
Сопротивление сдвигу, τ	МПа	0,8575	1,2975	1,5925

Угол внутреннего трения и удельное расчетное сопротивление сдвигу определены по рис. 2, построенному согласно данным таблицы 2.

Воспользовавшись графо-аналитическим методом, получаем по рисунку 2 следующие значения величин: удельное расчетное сопротивление сдвигу $\tau_{расч} = 0,52$ МПа, угол внутреннего трения 34,7°.

Заключение. В настоящее время идет накопление экспериментальных данных по вышеуказанной методике. Полученные данные по аутогезионным свойствам отложений в сочетании с химсоставом, которые позволят определить скорость заноса экранных труб для различных видов топлива, выбрать способ очистки поверхностей нагрева в зависимости от характера отложений с оптимальной периодичностью.

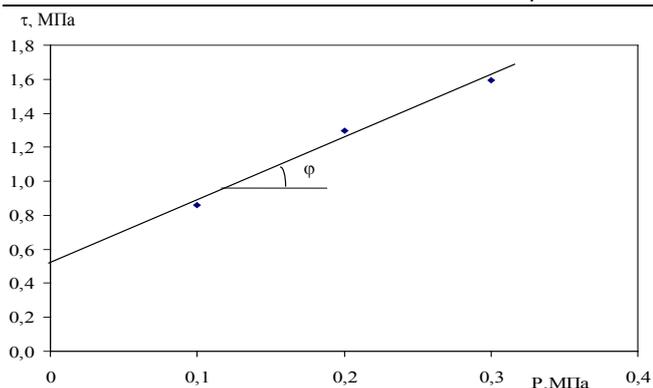


Рис. 2. График зависимости сопротивления сдвигу от нормальных напряжений

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Минеральная часть топлива. Шлакование, загрязнение и очистка котлов: сборник докладов IV научно-практической конференции. Челябинск, 4-7 июня 2007 г.: в двух томах. – Т. 1. – 214 с.
2. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.В. Филаретов – Мн.: Изд-во БГУ, 1982. – 302 с.
3. Карницкий, Н.Б. Синтез надежности и экономичности теплоэнергетического оборудования ТЭС. – Мн.: ВУЗ ЮНИТИ, 1999. – 227 с.
4. Зимон, А.Д., Аутогезия сыпучих материалов / А.Д. Зимон, Е.И. Андрианов. – М.: Metallургия, 1978. – 288 с.
5. Дженике. Э.В. Складирование и выпуск сыпучих материалов / Под ред. М.И. Агошкова. – М.: Мир, 1968. – 164 с.
6. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов. – М.: Машгиз, 1952. – 216 с.

Материал поступил в редакцию 23.04.09

KARNITSKI N.B., CHIZ V.A., NEREZKO A.V. Forecasting of critical drift of surfaces of heating of heat exchangers

In the given work the multifactorial mathematical model under the forecast of drift of surfaces of heating of heat exchangers is resulted. The dependence connecting durability of adjournment and the factor of drift is received. Researches adhesion properties of the adjournment formed on surfaces of heating of coppers, using local firm fuel are conducted.

УДК 620.9

Северянин В.С., Кушнерик В.В.

ОСОБЕННОСТИ ПРЕРЫВИСТОЙ ПОДАЧИ ВОЗДУХА В ТОПКУ

Введение. Несмотря на достаточно глубокую изученность топочных процессов, остается много неясных моментов, особенно в нестационарных режимах горения. Известно, что прерывистое обдувание частиц горящего топлива, в общем, увеличивает скорость горения, т.е. тепловую мощность топки. Однако анализ прерывистой подачи воздуха в топку приводит к выводу, что возможны режимы, когда в топку можно подать больше воздуха, чем при его равномерной подаче, а значит и увеличить количество сгоревшего топлива. Кроме того, возможны и другие эффекты.

Расчетные характеристики. Общую схему прерывистой подачи воздуха изобразим следующим образом (рис. 1). Имеется топочный объем v ; патрубок сечением F , через который удаляется газ из топочного объема при помощи дымососа или самотягой; отверстие для подачи воздуха на горение, с сечением f . Через отверстие проходит поток со скоростью W , и расходом воздуха V . Отверстие резко открывается и закрывается с определенными интервалами времени τ_0 и τ_3 .

Рассмотрим коэффициент избытка воздуха α в топке при прерывистой подаче воздуха. В топочном объеме имеется некоторое количество топлива, для сжигания которого теоретически требуется количество воздуха N . Коэффициент α равен отношению объема воздуха, подаваемого в топку V к теоретически необходимому для горения объему воздуха N .

$$\alpha = \frac{V}{N}$$

В [1] получено (1).

Выражение (1) позволяет определить мгновенное значение расхода воздуха в процессе его прерывистой подачи в топку в любой момент времени τ .

Для оценки количества воздуха, поданного в топку при прерывистой подаче, нужно рассмотреть интегральное отношение объема воздуха при прерывистой подаче к объему при стационарной подаче (2).

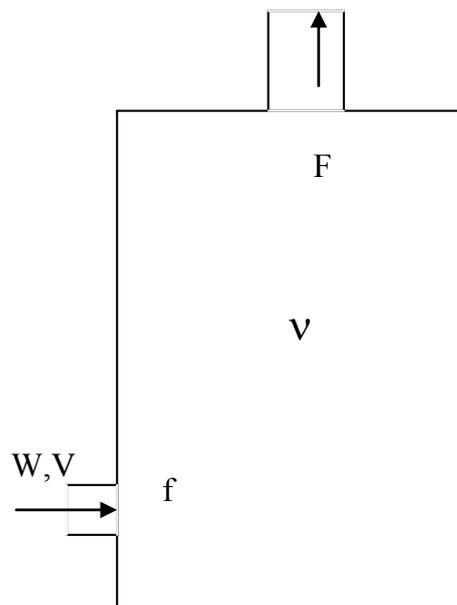


Рис. 1

Выражение для K определяем численно.

Выбираем постоянные значения аргументов [2] (таблица 1).

Получим некоторые зависимости.

При фиксированных параметрах $Wz=10$ м/с; $\tau_3=0,5$ сек; $F=0,1$ м²; $f=0,01$ м²; $v=1,5$ м³; и изменяя температуру уходящих газов от 1673 К до 973 К получим следующую зависимость $K(T)$.

Из графика видно, что при снижении температуры уходящих газов объем подаваемого воздуха увеличивается.

Время закрытия τ_3 при упомянутых условиях влияет на K , как показано на рис. 3.

Северянин Виталий Степанович, профессор, д.т.н., профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

ул. Московская, 267, УО БрГТУ, г. Брест, Беларусь.

Кушнерик Валерий Васильевич, ст. преподаватель Брестского государственного университета им. А.С. Пушкина.

Беларусь, БГУ им. А.С. Пушкина, 224665, г. Брест, бульвар Космонавтов, 21.