

УДК 536.24

РАСЧЕТ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБЧАТОГО РЕАКТОРА ТИПА ГАЗОВЗВЕСЬ ДЛЯ ЗАКАЛКИ ГАЗОВ ПИРОЛИЗА ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Печенегов Ю.Я., Косова О.Ю.

*Саратовский государственный технический университет
txp@techn.sstu.ru*

В настоящее время процессы пиролиза и газификации рассматриваются как головные в технологиях использования твердого топлива в энергетике и промышленности. Современные концепции пирогазификации основываются на высокоскоростном нагреве пылевидного топлива в реакторе-пирогазификаторе и закалке получаемых парогазовых продуктов, что дает возможность управлять выходом целевых компонентов.

В данной работе предлагается методика расчета основных теплогидравлических и конструктивных характеристик закалочного трубчатого реактора, горизонтально ориентированного, с вертикальной подачей в поток горячего пиролизного газа холодных частиц пылевидного твердого топлива, направляемого на переработку. Закалочное устройство при этом несет дополнительные функции теплоутилизатора, возвращая тепло пиролизного газа с нагретыми топливными частицами в реактор-пирогазификатор. Скорость закалки в потоке топливной газозвеси, по данным [1], достигает $10^6 \div 10^7$ К/с. Этот показатель является одним из лучших среди известных способов закалки газов.

Рассматривается трубчатый закалочный элемент с заданными начальной скоростью пиролизного газа w при его температуре $t_{П}$ на входе в трубу и удельном расходе сухого газа g_z , кг на 1 кг сухой массы подаваемого топлива. Холодные топливные частицы имеют начальные влажность W и температуру $t_{Т,Н}$ (принято $t_{Т,Н} = 0$ °С). Решается задача определения длины x трубчатого элемента при заданной конечной разности осредненных в сечении потока газозвеси температур газа $t_{z,к}$ и частиц $t_{Т,К}$, (принято $\delta t = t_{z,к} - t_{Т,К} = 10$ °С). Начальное влагосодержание газа получаемого, например, при пиролизе горючих сланцев, можно принять равным $X=0,05/g_z$, кг/кг сухого газа.

Для термически тонких пылевидных частиц топлива и адиабатного потока газозвеси тепловой расчет закалочной трубы будет сводиться к решению задачи межфазного теплообмена. В условиях сложных по составу газов и резкой переменностью их свойств по длине трубы расчет необходимо проводить поинтервально. Алгоритм расчета представлен в виде блок-схемы на рис. 1.

В блоке 2 вводятся исходные данные, включающие принятый диаметр трубы D , диаметр d_T частиц топлива и такие их начальные характеристики, как истинная плотность ρ_T , влажность W^* , %, температура $t_{Т,Н}$, геометрический фактор формы Φ , а также начальный компонентный состав пиролизного газа, длины Δx расчетных участков трубы и др. В блоке 3 вычисляются начальные плотность и влагосодержание X газа. В блоке 4 по принятой скорости w вычисляется расход газа G_H . В блоке 5 определяются расходы сухой массы топлива $G_{T,сух}$ и газа $G_{г,сух}$, а в блоке 6 находится

расход топливной влаги W , кг/с. В блоке 7 вычисляется расход исходного топлива $G_{T,H}$ как сумма расходов сухой массы и влаги.

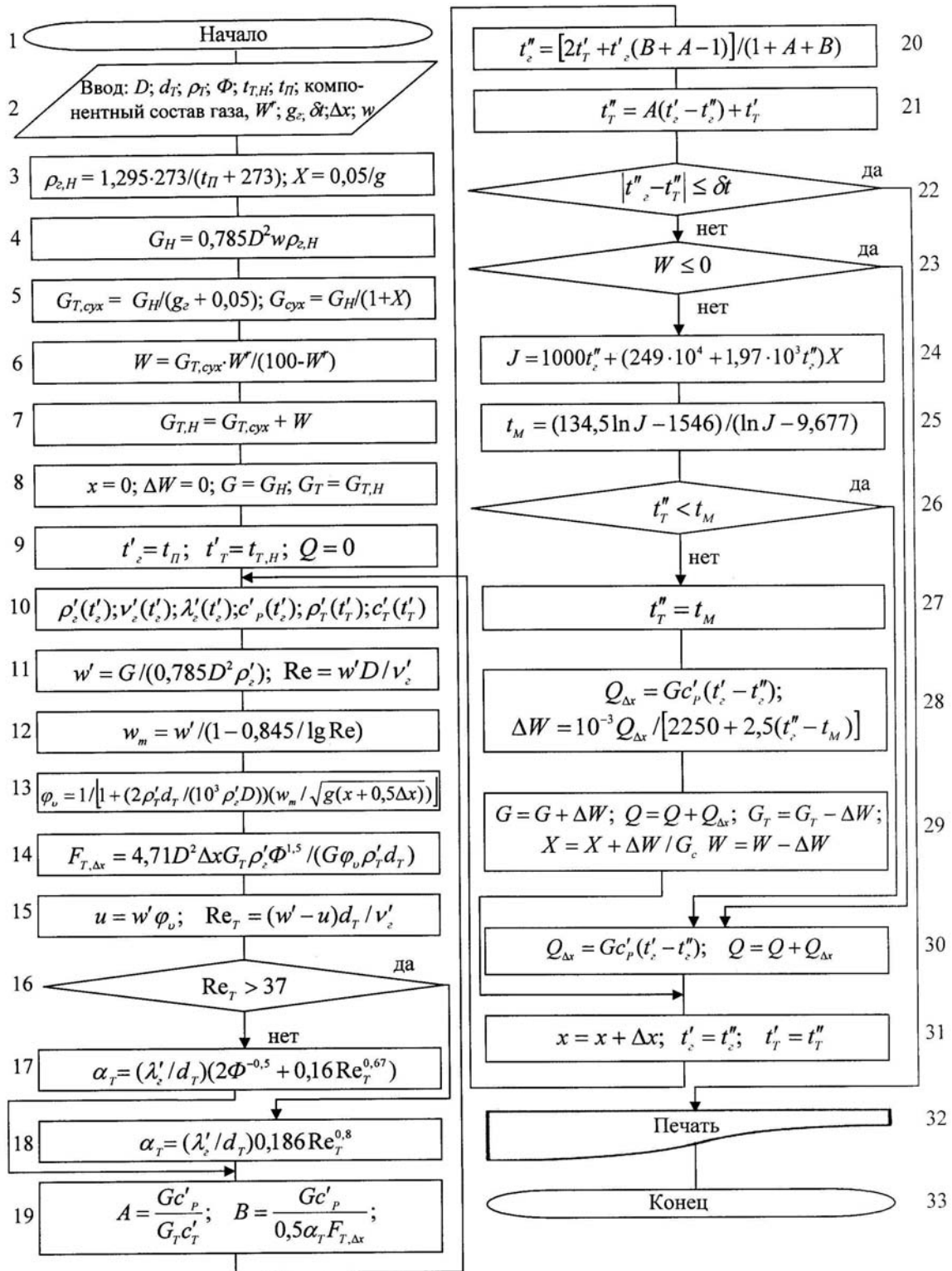


Рис. 1. Блок-схема расчета теплообмена в закалочной трубе

Начиная с блока 8 начинается поинтервальный расчет закалочной трубы. При начальных температурах газа t'_2 и твердой фазы t'_T на участке Δx рассчитываются с использованием известных методик теплофизические свойства газа и частиц. Учитывается компонентный состав пиролизного газа и перераспределение влаги топлива между фазами в процессе его высушивания.

В блоке 12 определяется скорость газа w_m на оси трубы по формуле Альтшуля, в блоке 13 – фактор скоростного скольжения φ_v фаз потока по зависимости [2], в блоке 14 – площадь поверхности частиц $F_{T,\Delta x}$ на участке Δx .

В последующих блоках вычисляется коэффициент межфазного теплообмена α_T в зависимости от величины Re_T частиц по формулам рекомендованным в [3]. В блоках 19÷21 рассчитываются температуры фаз потока t''_T и t''_2 в конце рассматриваемого участка Δx . Расчетные выражения для них получены в результате решения уравнений теплообмена

$$Q_{\Delta x} = \alpha_T F_{T,\Delta x} [(t'_2 + t''_2) / 2 - (t'_T + t''_T) / 2]$$

и теплового баланса

$$Q_{\Delta x} = Gc'_p(t'_2 - t''_2) = G_T c'_T(t''_T - t'_T)$$

для участка Δx .

Расчетный цикл, включающий блоки 23÷29, служит для вычисления параметров в процессе высушивания частиц. Температура t_M мокрого термометра в блоке 24 ÷ 25 определяется с использованием зависимостей рекомендованных в [4]. Количество испарившейся на участке влаги ΔW , кг/с, определяется в блоке 28 исходя из того, что переданная частицам топлива от газа теплота $Q_{\Delta x}$ полностью затрачивается на испарение (теплота парообразования $r = 2250$ кДж/кг) и на перегрев образующихся паров от t_M до t''_2 .

Далее дается приращение Δx длины трубы x . На новом участке за начальные температуры фаз в блоке 31 принимаются конечные их значения на предыдущем участке.

По разработанному алгоритму были выполнены расчеты при различных сочетаниях входных параметров. Некоторые характерные результаты расчетов приведены на рис. 2÷8.

Варьирование длины расчетного участка Δx показало, что при $\Delta x \leq (2\div 4)D$ численные значения рассчитываемых величин не зависят от Δx . Для полной уверенности в точности расчета можно рекомендовать принимать $\Delta x = D$.

Из представленных рисунков следует, что интенсивное тепловое взаимодействие между газом и частицами осуществляется на относительно коротком входном участке трубы, составляющем около 0,1 м. Частицы на этом участке приобретают максимальную скорость, после чего их скорость снижается по x вместе со скоростью газа (рис.4). Снижение последней обусловлено уменьшением удельного объема газа с температурой. Относительная скорость газовой и твердой фаз потока ($w - u$) за

входным участком остается практически постоянной и низкой (рис.6), что приводит к спаду интенсивности теплообмена.

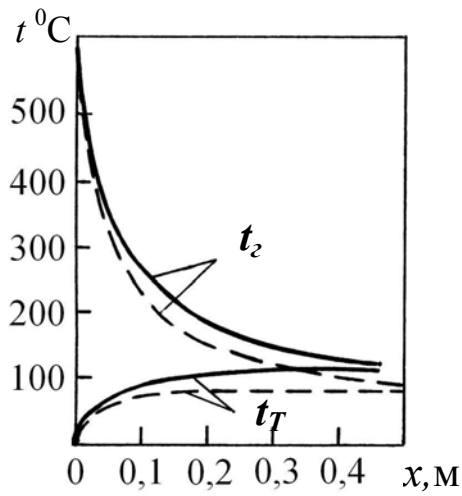


Рис.2. Изменение температур t_2 и t_T по длине x трубы: $D = 0,02$ м; $d_T = 160$ мкм; $\rho_T = 1500$ кг/м³; $\Phi = 1$; $t_{T,H} = 0$ °С; $t_{II} = 600$ °С; $g_z = 0,15$ кг газа/кг топл.; $w = 20$ м/с; $\delta t = 10$ °С; $\Delta x = 0,02$ м; сплошные линии – абсолютно сухое топливо ($W^* = 0\%$); пунктирные - $W^* = 16\%$; свойства газа определены как для продуктов сгорания

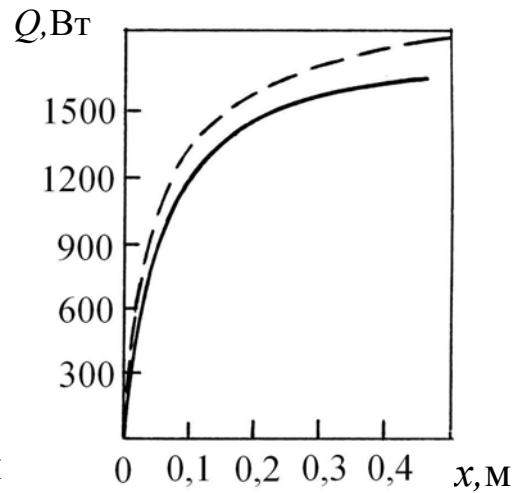


Рис. 3. Передаваемое тепло Q на длине x : условия как на рис.2

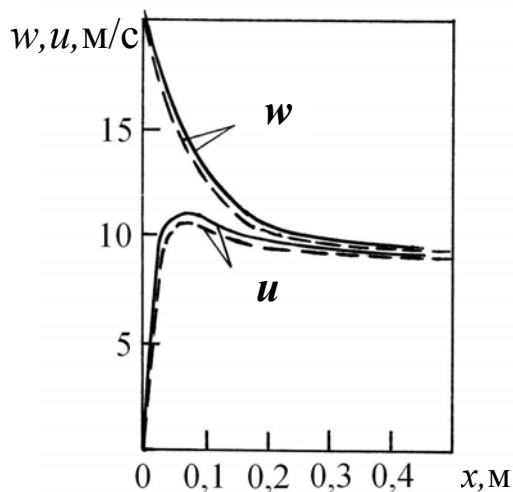


Рис. 4. Изменение скоростей газа w и частиц u по длине x трубы: условия как на рис. 2

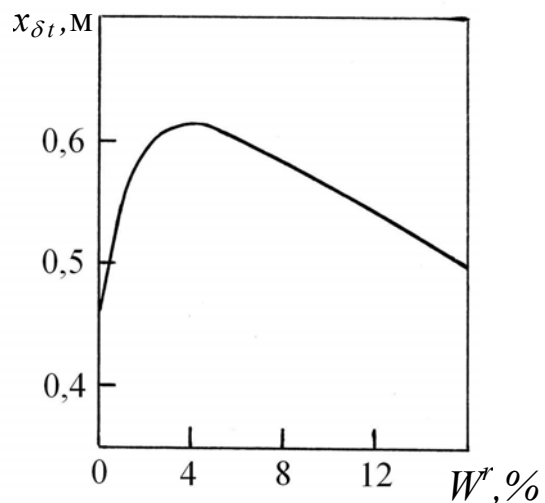


Рис. 5. Изменение длины $x_{\delta t}$ закалочной трубы в зависимости от влажности W^* подаваемого топлива: условия как на рис. 2

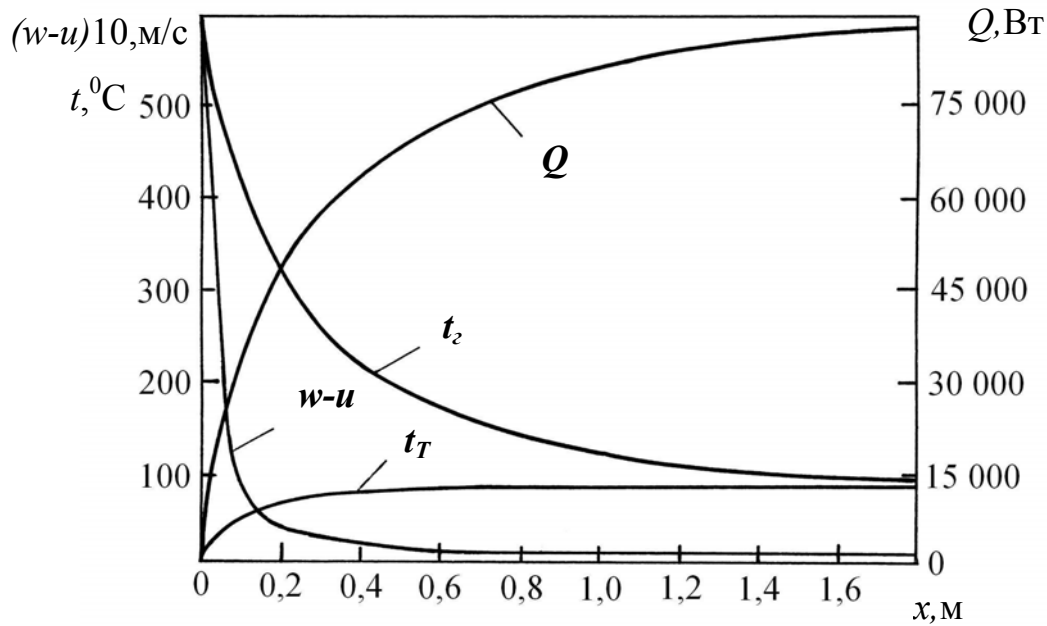


Рис. 6. Изменение относительной скорости $(w-u)$, передаваемого тепла Q , температур газа t_2 и частиц t_T по длине трубы x : условия как на рис. 2, кроме $D = 0,08 \text{ м}$; $w = 60 \text{ м/с}$; $W^* = 8\%$

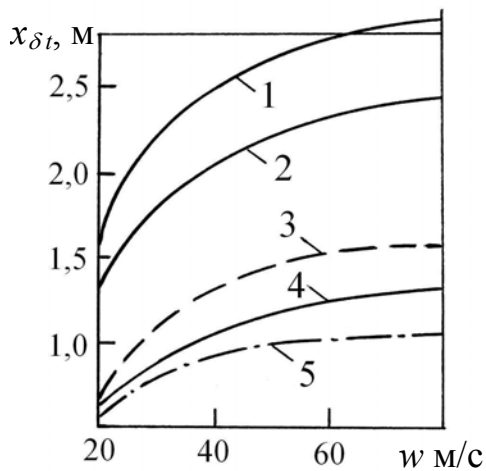


Рис. 7. Изменение длины $x_{\delta t}$ закалочной трубы в зависимости от скорости w газа на входе: $D = 0,02 \text{ м}$; $d_T = 160 \text{ мкм}$; $\rho_T = 1500 \text{ кг/м}^3$; $\Phi = 1$; $t_{T,H} = 0^\circ\text{C}$; $\delta t = 10^\circ\text{C}$; $\Delta x = 0,02 \text{ м}$; $W^* = 8\%$; 1- $t_{II} = 700^\circ\text{C}$; $g_2 = 0,75 \text{ кг газа/кг топл.}$; 2 - 700, 0,45; 3 - 800, 0,15; 4 - 700, 0,15; 5 - 600, 0,15

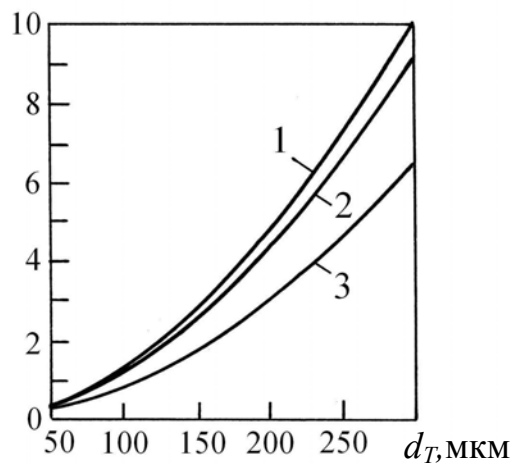


Рис. 8. Изменение длины $x_{\delta t}$ закалочной трубы в зависимости от диаметра частиц d_T : $\rho_T = 1500 \text{ кг/м}^3$; $\Phi = 1$; $t_{T,H} = 0^\circ\text{C}$; $t_{II} = 600^\circ\text{C}$; $\delta t = 10^\circ\text{C}$; $\Delta x = D$; $W^* = 8\%$; $g_2 = 0,3 \text{ кг газа/кг топл.}$; $w = 40 \text{ м/с}$; 1 - $D = 0,1 \text{ м}$; 2 - 0,06; 3 - 0,02

Длина трубы x_{δ} , на которой достигается заданная разность температур фаз $\delta t = t_2 - t_T = 10^0\text{C}$, в зависимости от W^* проходит через максимум (рис.5). Рост x_{δ} с увеличением W^* при малых значениях W^* обусловлен более низкими абсолютными значениями t_2 и t_T по отношению к случаю $W^* = 0$ (рис.2). За входным участком t_T становится равной температуре t_M мокрого термометра и не растет по x . При этом газ при заданной δt охлаждается до более низкой температуры, чем при $W^* = 0$, и это приводит к росту x_{δ} . При $W^* > 4$ преобладающее влияние начинает оказывать увеличение по x расхода газовой фазы за счет парообразования при высушивании частиц. Данный процесс интенсифицирует межфазный теплообмен и, как следствие, величина x_{δ} с увеличением W^* понижается.

Росту x_{δ} способствует увеличение w , g_2 , t_{II} , d_T , D ; причем особенно сильное влияние оказывает d_T .

С увеличением g_2 водяной эквивалент газа G_{Cp} становится соизмерим и даже выше водяного эквивалента влажного топлива. В этом случае передаваемого частицам тепла оказывается достаточно для полного высушивания влаги топлива. Поэтому при высоких g_2 конечная температура топлива может быть существенно выше температуры мокрого термометра.

Таким образом, трубчатое закалочное устройство типа газозвесь относится к категории балансовых теплообменников. Оно эффективно выполняет функции закалки пиролизных газов, за доли секунды снижая их температуру. При заданной технологии переработки топлива величине g_2 , возможности регулирования конечных температур $t_{2,k}$ и $t_{T,H}$ ограничены и они состоят в изменении, прежде всего, влажности W^* подаваемого в закалочное устройство топлива.

Литература

- [1] Солженкин П.А., Пригожин В.И. Закалка продуктов плазмохимических реакций // Труды Второй междунаучно-практич. конф. «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и тепловые процессы)». Т. 2. М.: Изд-во ВИМ. 2005. С. 211-218.
- [2] Баланин Б.А. О разгоне твердых частиц в канале // ИФЖ. Т. 58. № 1. 1990. С. 16-20.
- [3] Горбис З.Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков. М.: Энергия. 1970. 424 с.
- [4] Муштаев В.И. Конструирование и расчет аппаратов со взвешенным слоем / В.И. Муштаев, А.С. Тимонин, В.Я. Лебедев. М.: Химия. 1991. 344 с.