

Черников И.А.

НОВЫЙ СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Имеющиеся огневые технологии сжигания низкосортных топлив обусловлены использованием топок, которые сложны конструктивно, требуют больших металло- и энергозатрат, имеют низкий коэффициент полезного действия. Лабораторией "ПУЛЬСАР" Брестского политехнического института, под руководством Северянина В.С. предложен новый метод сжигания низкосортных топлив с вертикальным круговым ворошением.

Для достижения высокоэффективного топочного процесса необходимо:

- повышать КПД (за счёт уменьшения тепловых потерь);
- уменьшать габариты топки (увеличивая плотность тепловыделения);
- приближать коэффициент избытка воздуха к единице.

Основой проектирования топочного устройства, является скорость горения топлива, которая в дифференциальном виде записывается так:

$$-\frac{d\delta}{d\tau} = \frac{C}{M \cdot \frac{\rho_u}{\rho_z} \cdot \left(\frac{\delta}{Nu_\delta \cdot D} + \frac{1}{K} \right)}, \quad (1)$$

где

C - концентрация кислорода в пространстве, окружающем топливо;

δ - размер частицы топлива;

M - стехиометрическое соотношение;

ρ_u, ρ_z - плотности частиц топлива и газа;

D - коэффициент диффузии;

Nu_δ - диффузионный критерий Нуссельта;

K - константа скорости горения.

Из выражения (1) видно, что для увеличения скорости горения необходимо: увеличивать C (это достигается увеличением поверхности реагирования слоя благодаря вертикальному ворошению); увеличивать Nu_δ , т.е. увеличивать скорость обдувания частицы топлива воздухом (это можно сделать, выделив данную частицу из массы, используя вертикальное ворошение); увеличивать температуру реагирования (при вертикальном ворошении частицы будут лучше обдуваться факелом); уменьшать размер частиц (при ворошении будет иметь место механическое разрушение частиц топлива).

Топочный процесс в роторной топке представляет собой интенсифицированное горение массы частиц топлива, перемещаемых в вертикальной плоскости специальными лопастями. При этом за счёт изменения формы слоя, образования падающего потока частиц с находящейся сверху лопасти образуются новые поверхности контакта, как потока частиц, так и отдельных частиц с газовой средой, в которой имеется кислород. Роторная топка (рис. 1) представляет собой горизонтальный цилиндр 1 с вращающимися лопастями 2. Топливо поступает в топку при помощи питателя 3. Продукты сгорания удаляются газоходом 4 или 5. Воздух подаётся воздуховодом 6 через передний торец цилиндра 1. Шлак удаляется через патрубок 7.

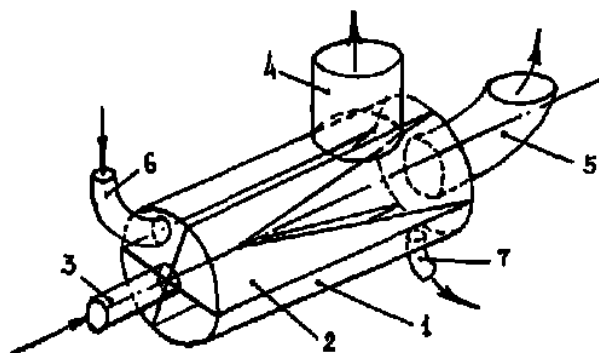


Рисунок 1.

Для анализа выберем поперечное сечение топки на середине её длины и будем считать это сечение усреднённым для всей топки. Получаем следующую расчётную схему (рис. 2).

- где
- R - радиус цилиндра;
 - l - ширина лопасти;
 - α - угол между лопастями (обеспечивающий полное ссыпание топлива с лопасти);
 - γ - угол между радиусами (на которых расположены лопасти);
 - h - высота падения слоя топлива (ограничена положением лопасти, когда с неё ссыпается всё топливо; это положение

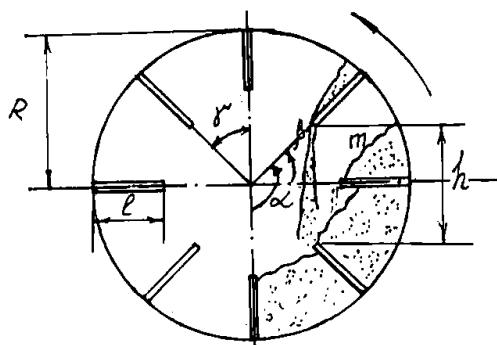


Рисунок 2.

обусловлено углом естественного откоса β).

Задача сводится к тому, чтобы определить поверхность потока топлива S , ссыпавшегося с лопастей с высоты h , а так же образующиеся новые поверхности m при переворачивании массы топлива в ячейках между лопастями

$$S = 2 \cdot h \cdot n_1 \cdot k^I + m \cdot n_2 \cdot k^{II}, \quad (2)$$

где

n_1 - общее количество лопастей (ячеек), с которых ссыпается топливо;

n_2 - количество ячеек (лопастей), в которых топливо переворачивается;

k^I - учитывает разную h для разных лопастей с разными

α ;
 k^{II} - учитывает разные (по заполнению топливом) ячейки.
 Принимаем

$$n_1 = n_2 = n \cdot 360^\circ / (90^\circ + \beta),$$

где
 n - общее количество лопастей;
 β - угол естественного откоса.

$$90^\circ + \beta = \alpha \tag{3}$$

Согласно тригонометрическим зависимостям

$$n = 2 \cdot (R - l) \cdot (1 - \sin \alpha) \tag{4}$$

Для определения новой добавочной поверхности m необходимо рассмотреть поперечное сечение ячейки между двумя лопастями (рис. 3):

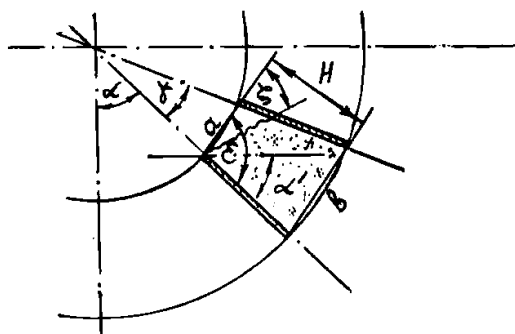


Рисунок 3.

При

$$0 < \zeta < \arcsin \left(\frac{H}{a+b/2} \right), a < m \sqrt{H^2 + [a+(b-a)/2]^2},$$

при

$$\arcsin \left(\frac{H}{a+b/2} \right) < \zeta < \beta, \sqrt{H^2 + [a+(b-a)/2]^2} > m \cdot l.$$

По геометрическим построениям имеем:

$$m = a / \cos \zeta; a = 2 \cdot \pi \cdot (R - l) / n;$$

$$H = l \cdot \cos(\gamma/2); \gamma = (360^\circ / n);$$

$$b = 2 \cdot \pi \cdot R / n; \alpha^I = (90^\circ - \alpha);$$

$$\varepsilon = (90 + \gamma/2)^\circ; \zeta = \varepsilon - (\alpha^I + \beta).$$

Для характеристики интенсивности топочного процесса важна не абсолютная поверхность контакта топлива с окислителем, а удельная, т.е. поверхность, приходящаяся на единицу количества (массы) топлива:

$$s = S/G, \text{ м}^2/\text{кг} \tag{5}$$

$$S = \sum S_c + \sum S_n, \tag{6}$$

где

$\sum S_c$ - суммарная поверхность топлива ссыпавшегося с лопастей;

$\sum S_n$ - суммарная добавочная поверхность слоя, переворачивающегося в ячейках между лопастями;

G - масса топлива в топке.

В данном случае

$$G = \rho \cdot V \cdot n_3 \cdot 360^\circ \cdot k^{III} / (90 + \beta); \tag{7}$$

принимаем:

$$n_3 \approx n_1 \approx n_2; V = 0.5 \cdot H \cdot (a + b);$$

k^{III} - учитывает заполнение ячеек (нижние - максимальное), на угле $\alpha = \beta$ - нулевое;

$$k^{III} \approx 0.5;$$

ρ - плотность топлива.

Тогда удельная поверхность слоя будет равна

$$s = \frac{S}{G} = \frac{R-l}{\rho \cdot l \cdot (2 \cdot R - l)} \times \frac{n \cdot [4 \cdot (1 - \sin \alpha) \cdot k^I + \pi \cdot k^{II} / (n \cdot \cos \zeta)]}{\pi \cdot \cos(\gamma/2) \cdot 360^\circ \cdot k^{III} / (90 + \beta)}$$

Обозначим ширину лопасти $l/R = r$, тогда $l = R \cdot r$,

$$s = \frac{1-r}{\rho \cdot r \cdot R \cdot (2-r)} \times \frac{n \cdot [4 \cdot (1 - \sin \alpha) \cdot k^I + \pi \cdot k^{II} / (n \cdot \cos \zeta)]}{\pi \cdot \cos(\gamma/2) \cdot 360^\circ \cdot k^{III} / (90 + \beta)}$$

Так как конец пересыпания достигается при $90^\circ + \beta = \alpha$, т.е. при $\sin \alpha = \cos \beta$, а так же при $\zeta = (90 + \gamma/2)^\circ$ при $k^I = k^{II} = k^{III} \approx 0.5$ для анализа принимаем

$$s = \frac{1-r}{\rho \cdot r \cdot R \cdot (2-r)} \times \frac{n \cdot [4 \cdot (1 - \cos \beta) + \pi / (n \cdot |\cos \zeta|)]}{\pi \cdot \cos(\gamma/2) \cdot 360^\circ / (90 + \beta)} \tag{8}$$

Если время вращения ротора - τ , когда угол α изменяется от 0 до β , а ω - угловая частота вращения ($\omega = 2\pi / T$, где T - период вращения), то

$$\omega \cdot \tau = 90^\circ + \beta,$$

$$\omega = (90^\circ + \beta) / \tau. \tag{9}$$

Весовая скорость горения выражается так

$$K_G = \Delta G / G_0 \cdot \tau, \tag{10}$$

где ΔG - сгоревшее топливо за время τ ;

G_0 - его начальная масса. Обозначим долю сгоревшего топлива за время достижения $90^\circ + \beta = \alpha$:

$$\lambda = \Delta G / G_0, \tag{11}$$

где $K_G = \lambda / \tau$;

или $\tau = \lambda / K_G$;

$$\text{поэтому } \omega = K_G \cdot (\beta + 90^\circ) / \lambda. \tag{12}$$

Из выражения (12) следует, что скорость вращения ротора необходимо увязывать с качеством топлива, при этом более реакционное топливо допускает большую скорость вращения для увеличения тепловой мощности топки.

Численный анализ показал, что удельная поверхность реагирования увеличивается с уменьшением радиуса топки, с увеличением количества лопастей ротора, с увеличением угла естественного откоса, с увеличением относительной ширины лопасти.

Было проведено экспериментальное опробование нового метода сжигания низкосортного топлива.

В ходе экспериментов определялось время выгорания топлива без ворошения и с применением вертикального кругового ворошения. При этом загружалась одинаковая масса топлива. Во втором случае, топливо выгорало в 2-3 раза

быстрее, по сравнению с первым, что говорит о существенном повышении мощности топочного устройства.

Максимальная загрузка топки топливом не была достигнута, в связи с этим необходимо продумать конструкцию питателя для увязки скорости подачи топлива со скоростью его выгорания.

В процессе работы топочного устройства наблюдался большой унос золы и частиц топлива в дымовую трубу. Это является вопросами конструкторской проработки.

УДК 628.16+18

Левчук Н.В., Строкач П.П.

АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ДЕНИТРИФИКАЦИИ ВОДЫ

Одним из источников поступления азота в окружающую среду являются азотсодержащие удобрения, городские и промышленные отходы. Значительная их часть сбрасывается в поверхностные воды. Даже будучи очищенными, эти отходы обуславливают значительное загрязнение водоемов, поскольку в процессе очистки удаляется меньше половины всего азота. В сточных водах водоотводящих сооружений ионы аммония могут подвергаться быстрому превращению в нитраты и мигрировать на некоторые расстояния от отстойника. Осадок из очистных сооружений также является существенным источником загрязнения азотом [1].

Значительная часть загрязняющих веществ, содержащих оксиды азота, поступает в окружающую среду от передвижных источников, объектов энергетики и промышленных предприятий. Так, выбросы оксидов азота от стационарных источников на территории Беларуси за 1998 год составили 50,6 тыс. т. В результате трансграничного загрязнения воздуха суммарное выпадение нитратов (в пересчете на азот) составило 47,4 тыс. т., а ионов аммония - 150,8 тыс. т. [2]

Загрязнение водной среды соединениями азота происходит при удалении твердых бытовых и производственных отходов в отвалы и на свалки, производствами по переработке топлива, предприятиями пищевой промышленности, нефтеперерабатывающими заводами [1].

Азотсодержащие вещества чаще воздействуют на человека через воду. Их присутствие резко ухудшает качество природной питьевой воды, ее органолептические и бактериологические показатели. По мнению некоторых исследователей с употреблением загрязненной воды может быть связано от 30 до 50 % случаев новообразований. Приводятся расчеты, в соответствии с которыми потребление речной воды (по сравнению с водой подземных источников) может привести к увеличению этих заболеваний на 15 %. При поступлении больших доз нитритов в организм человека наблюдается накопление метгемоглобина. При количествах метгемоглобина в крови до 25% отмечается частичное кислородное голодание тканей, при 65-70% - наступает смерть [3]. Наиболее часто подвергаются заболеванию метгемоглобинемией дети грудного возраста.

Поступление нитратов в организм человека происходит с потреблением продуктов питания и воды. Считается, что до 70-80 % нитратов, поступающих в организм первоначально,

В роте использовались двойные лопасти, в зазор между которыми подавался воздух, поступающий на горение за счет естественной тяги, обеспечивающий достаточное охлаждение лопастей.

Экспериментальное опробование подтвердило правильность подхода к анализу данного процесса, и доказало возможность сжигания в топке низкосортного твердого топлива (опилки, древесные отходы, кора, и т.д.).

содержится в продуктах питания растительного происхождения, доля нитратов водного происхождения обычно существенно меньше. Однако установлено, что нитраты воды в среднем в 1,5 раза токсичнее нитратов, содержащихся в растительной пище. В случае повышенного содержания нитратов в воде именно они составляют основную часть нитратной нагрузки на организм человека. Реальная нагрузка существенно зависит от характера питания и количественного содержания нитратов в воде и достигает в ряде случаев 500-600 мг/чел в сутки. Для взрослого человека допустимая суточная доза нитратов принята 300-325 мг/чел [4]. Для детей - рассчитывается исходя из 5 мг нитратов на 1 кг массы тела. Из табл. 1 видно, что эта доза иногда превышает и может приводить к неблагоприятным для здоровья населения последствиям.

В последние годы появились исследования ученых, которые существенно дополнили представление о спектре биологического воздействия нитратов на организм человека: нарушение функций ферментных систем, действие на функции центральной нервной и сердечно - сосудистой систем, нарушение иммунного статуса.

Негативное влияние нитратов очевидно и при использовании воды в производстве ряда пищевых продуктов. В дрожжевой промышленности содержание нитратов в воде в концентрации 0,02 % прекращает развитие дрожжей. В пивоваренном производстве при изготовлении солода большие концентрации нитритов и

Таблица 1

Суммарная суточная нагрузка нитратами на сельское население в зависимости от их содержания в воде в различное время года.

Характеристика источников водоснабжения	Содержание NO ₃ ⁻ /чел, мг в разные периоды года			
	лето	осень	зима	весна
Источники, не загрязненные нитратами	101	95	90	100
Загрязнение источников не превышает гигиенических нормативов	218	140	145	217
Загрязнение источников превышает гигиенические нормативы	335	185	180	334

Левчук Наталья Владимировна. Аспирант каф. инженерной экологии и химии.

Строкач Петр Павлович. Профессор, зав. каф. инженерной экологии и химии.

Брестский политехнический институт (БПИ). Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267.