DOI: 10.17117/na.2015.09.905

Поступила (Received): 24.09.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.09.905.pdf>

Шахов С.В., Сухарев И.Н., Шубкин С.Ю. Анализ результатов математического моделирования процессов барабанного дымогенератора

Shakhov S.V., Sukharev I.N., Shubkin S.Yu.
**Analysis of the results of mathematical simulation
of a drum smoke generator**

Дымогенерация, или получение технологического копильного дыма, заключается в неполном сжигании древесины (опилок, стружки или специально подготовленного топлива) при малом доступе воздуха и при определенной температуре. В настоящее время большинство копильных установок оборудованы централизованными источниками дымообразования дымогенераторами, степень совершенства которых колеблется в значительной мере от автоматических до кустарных, совершенно немеханизированных

Ключевые слова: дымогенератор, пиролиз, насадки

Timegenerated, or obtaining technological smoke is the incomplete burning of wood (sawdust, shavings or specially prepared fuel) with little access of air and at a certain temperature. Currently most of the smoking units are equipped with centralized sources of smoke generation smoke generator, the degree of perfection of which varies greatly from automatic to artisanal, non-mechanized completely

Key words: smoke generator, pyrolysis, nozzles

Шахов Сергей Васильевич

*Доктор технических наук, профессор
Воронежский государственный университет
инженерных технологий
г. Воронеж, пр. Революции, 19*

Shakhov Sergey Vasilyevich

*Doctor of Engineering Sciences, Professor
Voronezh state university of engineering
technologies
Voronezh, Revolyutsii Ave, 19*

Сухарев Игорь Николаевич

*Аспирант
Воронежский государственный университет
инженерных технологий
г. Воронеж, пр. Революции, 19*

Sukharev Igor Nikolaevich

*Postgraduate
Voronezh state university of engineering
technologies
Voronezh, Revolyutsii Ave, 19*

Шубкин Сергей Юрьевич

*Аспирант
Воронежский государственный университет
инженерных технологий
г. Воронеж, пр. Революции, 19*

Shubkin Sergey Yuryevich

*Postgraduate
Voronezh state university of engineering
technologies
Voronezh, Revolyutsii Ave, 19*

На сегодняшний день на рынке растёт ассортимент продукции деликатесной группы, появляются всё новые виды оригинальных копчёных изделий.

Для правильного понимания сущности процесса и расчёта целевых технологических величин необходимо выполнить его математическое моделирование.

Задачей моделирования математических процессов барабанного дымогенератора является насколько уменьшается энергопотребление установки при рециркуляции насадки.

Дымогенератор является барабанным аппаратом (рис.1), внутри которого перемещаются стальные шарики (насадки) и опилки. Стальные шарики (насадка) разогреваются магнитным полем индуктора, теплота от них передается опилкам (материалу) и обеспечивает их пиролиз.

Рис. 1. Схема барабанного дымогенератора со стержневой насадкой

Аппарат работает в непрерывном режиме, опилки в левой части непрерывно подаются через загрузочный патрубок. Твердый остаток, образующийся в результате пиролиза опилок, выводится в правой части аппарата в разгрузочный бункер, а далее через патрубок удаления золы. С помощью специального транспортного устройства, расположенного в центральной части аппарата, осуществляется рециркуляция стальных шариков насадки.

В слой насадки и материала через распределительное устройство подается обогащенная азотом воздушная смесь, которая предварительно приготавливается методом ультрафильтрации. Смесь имеет пониженное содержание кислорода во избежание сгорания опилок.

По длине аппарата устройство можно разделить на 5 зон.

В зоне 1 происходит нагревание опилок от начальной (комнатной) температуры до температуры кипения воды в опилках (100 °C).

В зоне 2 осуществляется удаление влаги из опилок. Температура опилок здесь изменяется незначительно и примерно равно 100 °C ÷ 120 °C.

В зоне 3 осуществляется подогрев обезвоженных опилок до температуры начала пиролиза.

В зоне 4 осуществляются основные процессы пиролиза опилок: образование, испарение и возгонка основного количества продуктов разложения древесины. Эти процессы протекают в интервале температур от 270 °С до 450 ÷ 500 °С [1, 2, 3]. В процессе пиролиза выделяется теплота в количестве 1÷1,25 МДж/кг. Масса твердого остатка в конце пиролиза составляет примерно 1/3 от начальной массы опилок.

Зона 5 служит для прокаливания твердого остатка при температуре не выше 550÷560 °С.

Все процессы, протекающие в аппарате, кроме процесса пиролиза, требуют подвода теплоты. В процессе пиролиза теплота выделяется. Это приводит к разогреву материала и насадки. Рециркуляция насадки позволяет полезно использовать теплоту пиролиза опилок на более ранних стадиях в зонах 1-3.

На рис. 2 и 3. приведены результаты моделирования дымогенератора при значениях параметров:

$d_m = 50$ мкм; $d_n = 6$ мм; $\varepsilon_m = 0,4$; $\varepsilon_n = 0,4$; $\rho_m = 900$ кг/м³; $\rho_n = 7800$ кг/м³; $D = 0,2$ м; $\alpha = 135^0$; $L = 2$ м; $G_z = 2 \cdot 10^{-4}$ кг/с; $\rho_z = 1,2$ кг/м³; $\theta_{m0} = 20$ °С; $\theta_{mk} = 100$ °С; $t'_A = 20$ °С; $\theta_{n0} = 500$ °С; $c_z = 1000$ Дж/кг·К; $c_m = 2700$ Дж/кг·К; $c_n = 460$ Дж/кг·К; $W_0 = 0,25$; $G_m = 0,001$ кг/с; $m_m = 0,35$; $G_n = 0,005$ кг/с; $\alpha_{nm} = 2$ Вт/м²·К; $Q_{mag} = 578$ Вт; $r = 2,2 \cdot 10^6$ Дж/кг·К; $q_n = 10^6$ Дж/кг; $\theta_{mnn} = 270$ °С; $\tau_n = 300$ с;

Рис. 2. Распределение температур материала и насадки по длине барабана

Рис. 3. Распределение влажности материала по длине зоны обезвоживания

Шаг по длине барабана принимается равным $\Delta x = 1 \text{ мм}$;

В 1-й зоне температура изменяется от 20 до 100 °C. Температура насадки здесь падает от 450 до 373 °C, несмотря на внутреннее тепловыделение в насадке из-за действия переменного магнитного поля. Падение температуры насадки объясняется большим тепловым потоком от насадки к материалу, поскольку температура материала мала и температурный напор здесь большой.

В зоне 2 температура материала постоянна и примерно равна температуре кипения воды, температура насадки здесь по-прежнему падает.

В зоне температура материала по-прежнему увеличивается, хотя и не так быстро как в первой зоне. Это объясняется существенно меньшей разностью температур насадки и материала, чем в зоне 1. Температура насадки здесь уменьшается до минимальной, а затем начинает расти. Минимум температуры насадки соответствует сечению, в котором внутренние тепловыделения в точности равны тепловому потоку от насадки материала. При больших значениях координаты x внутренние тепловыделения принимают тепловой поток от насадки, что приводит к повышению температуры насадки.

В четвертой зоне выделяется большая теплота пиролиза в материале, что приводит к его быстрому разогреву. Температура материала становится значительно больше температуры насадки, и тепловой поток здесь направлен от материала к насадке. Насадка, таким образом, разогревается как за счет внутренних тепловыделений, так и теплоты, подводимой от материала. Поэтому темп повышения температуры здесь существенно выше, чем на в зоне 3.

В зоне 5 пиролиз прекращается, разность температур материала и насадки уменьшается.

Разработанная математическая модель позволяет выявить влияние технологических параметров на работу дымогенератора.

При изменении коэффициента теплоотдачи от насадки к материалу изменяется только разность температур насадки и материала (рис. 4, 5). Остальные параметры изменяются незначительно.

Рис. 4. Распределение температур материала и насадки по длине барабана при $\alpha_{nm} = 5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$

Рис. 5 Распределение температур материала и насадки по длине барабана при $\alpha_{nm} = 10 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$

Увеличение тепловыделений насадки позволяет существенно сократить необходимую длину барабана. Как видно из рисунка 6, при $Q_{mag} = 800 \text{ Вт}$ длина барабана, на которой заканчивается активный пиролиз, равна 0,769 м. Начальная и средняя температуры насадки при этом существенно повышаются (рис. 6).

Рис. 6 Распределение температур материала и насадки по длине барабана при $Q_{mag} = 800 \text{ Вт}$

На рисунках 7÷9 показатели зависимости длины зоны окончания пиролиза

$$L_{\text{пир}} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4, \quad (1)$$

температуры материала в конце пиролиза, а также конечных температур насадки и материала.

Рис. 7 Зависимость длины активной части барабана от мощности нагревателя

Рис. 8 Зависимость температуры материала в конце процесса пиролиза от мощности нагревателя

Рис. 9. Зависимость конечных температур материала и насадки от мощности нагревателя

Результаты моделирования позволяют сделать вывод о том, что рециркуляция насадки уменьшает энергопотребление установки примерно на одну треть.

Список используемых источников:

1. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической промышленности. М.: Химия, 1981. 812 с.
2. Голубев В.Н., Кутина О.И. Справочник технолога по обработке рыба и морепродуктов. СПб.: ГИОРД, 2003. 408 с.
3. Горбатов В.Н., Курко В.И. Новое в химии, технологии и технике копчения. М.: Обзорн. Информ. ЦНИИТЭИ мясомолпром. 1981. 48 с.
4. Гордон Л.В., Скворцов С.О., Лисов В.И. Технология и оборудование лесохимических производств. М.: Лесная промышленность, 1988. 360 с.
5. Добромиров В.Е., Макеев С.В. Экспериментальная установка для исследования процесса копчения жидких пищевых продуктов в электрическом поле // Вестник ВГТА. Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж, 2010. № 1. С. 87–89.
6. Жукова Г.Ф. Содержание N-нитрозаминов в отечественных пищевых продуктах // Вопросы питания. 1988. №6. С. 54-59.
7. Исаев С.И., Кожин И.А., Кофанов В.И. и др. Теория тепломассообмена. М.: Высш. школа, 1979.
8. Пелеев А.И., Бражников А.М., Гаврилова В.А. Тепловое оборудование колбасного производства. М.: Пищевая промышленность, 1970. 384 с.
9. Рогов И.А., Адаменко В.Я., Некрутман С.В. и др. Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленность. 287 с.

© 2015, Шахов С.В., Сухарев И.Н., Шубкин С.Ю.
Анализ результатов математического
моделирования процессов барабанного
дымогенератора

© 2015, Shakhov S.V., Sukharev I.N., Shubkin S.Yu.
Analysis of the results of mathematical simulation of
a drum smoke generator