

УДК 631.243

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ФАКЕЛЬНО-ВИХРЕВОГО РЕЖИМА В ТОПКЕ ДЛЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

ДАДЫКО А.Н.,
аспирант

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428,
Российская Федерация, e-mail: agolubkovich@yandex.ru

При эксплуатации топок необходимо контролировать количество воздуха, расходуемого при горении топлива, для чего исследуют аэродинамику топки. На холодной модели изучены аэродинамические параметры топки для растительных материалов, в том числе три варианта организации вторичного дутья: со стороны ввода топлива, с противоположной стороны и с обеих сторон. Выявили их влияние на устойчивость воспламенения и горения топлива. Установили условия образования вихревых циркуляционных контуров, их количество при различной подаче в модель воздуха, интенсивность их вращения и зависимость расположения контуров от величины расходной концентрации. В качестве модельных тел использовали реальные объекты сжигания: лузгу подсолнечника и сечку соломы. Критериями оптимизации сжигания служили степень заполненности топочной камеры материалом, вращающимся в циркуляционных камерах, и интенсивность вращения вихрей. При этом обращали внимание на минимальную величину скорости воздуха, подаваемого в модель в качестве первичного, вторичного и третичного дутья, ограничивая ее условием невыпадения частиц из вихрей. Оптимизация расхода подаваемого воздуха обусловлена снижением коэффициента избытка при сжигании (1,2-1,5). Определили, что оптимальная структура течения двухфазного потока в камере модели предусматривает один или два циркуляционных вихря со скоростью вращения 4; 6 и 8 м/с при расходной концентрации 0,2-0,3 кг материала на 1 кг воздуха. Таким параметрам соответствуют максимальное заполнение камеры и минимальное выпадение частиц из вихрей.

Ключевые слова: топка, сжигание растительных отходов, моделирование, факельно-вихревой режим.

Актуальность использования биотоплива для сушки зерна все более очевидна [1-6]. В частности, в топках зерносушилок сжигают растительные отходы [7-9]. Однако эффективность сжигания частиц в факельно-вихревом режиме недостаточна.

При эксплуатации и настройке их по режимным графикам, в том числе топок, агрегируемых с зерносушилками, важное значение придается контролю воздуха, расходуемого на горение топлива. Расход воздуха зависит от совершенства структуры течения двухфазного потока в камере топки, которое должно обеспечивать полное сгорание, равномерное распределение теплоты по объему, минимальный унос.

Важное значение имеет контроль температуры

горения, так как температура топочных газов (подогретого воздуха, подаваемого в зерносушилку) ограничена регламентом в зависимости от условий сушки.

Цель исследований – обоснование аэродинамических условий осуществления факельно-вихревого режима сжигания растительных материалов в топке.

Материалы и методы. Исследования проводили на плоской холодной модели, толщиной 0,1 и высотой 1,5 м, со стеклянными вставками. Снизу модели была установлена наклонная секционированная решетка, через которую подавали первичный воздух. В качестве объектов сжигания использовали лузгу подсолнечника и сечку соломы, которые в камеру модели подавали пневматически (рис. 1).

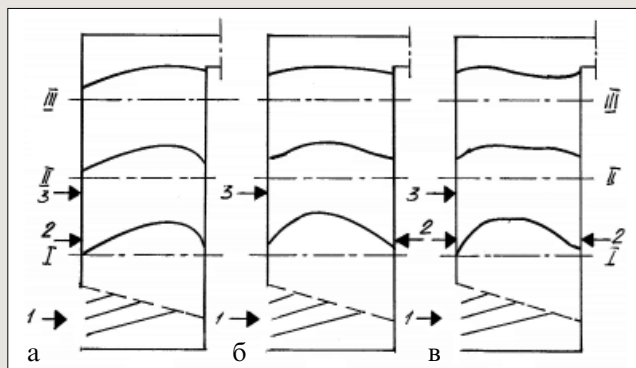


Рис. 1. Поля скоростей воздуха при различной организации подачи вторичного дутья от стенок модели:

а – от фронтальной; б – от задней; в – от двух стенок; избыток первичного воздуха $\alpha_1=1,3-1,4$; суммарный избыток $\alpha_{\text{сум}}=1,6-1,8$; I, II, III – первичное, вторичное дутье и подача топлива соответственно

Лузгу и сечку соломы смешивали с продуктами их сгорания в отношении 1:1 ($K=1$).

Исследована структура двухфазного потока для трех случаев организации вторичного дутья, которое играет определяющую роль для устойчивого воспламенения и горения топлива: подача со стороны ввода топлива, с противоположной стороны и с обеих сторон (рис. 1). Сравнение полученных полей скоростей показало, что в зависимости от направления дутья изменяется их профиль в той части топочной камеры, в которой происходит воспламенение частиц топлива.

При подаче дутья по варианту (а) происходит смещение максимума составляющей скорости потока первичного дутья к противоположной стене, в котором взвешиваются частицы загружаемого топлива. При подаче дутья по варианту (б) установлен симметричный профиль скоростей по всем сечениям камеры, а при подаче по варианту (в) – максимум смещается в сторону ввода топлива. При оценке эффективности того или иного варианта организации дутья необходимо принять во внимание следующее. Температура топочных газов на входе в воздухоподогреватель из углеродистой стали не должна превышать $800-850^\circ\text{C}$, а при сжигании сухой лузги при избытке воздуха ($\alpha_1=1,3-1,4$) температура топочных газов в топке достигает 1100°C и выше. Следовательно, для разбавления топочных газов доли вторичного и третичного дутья должны быть достаточно весомы (60-80%) относительно первичного, и при большой начальной скорости вторичного (третичного) дутья может проходить «наброс» факела на стенку топки, что нежелательно, то есть целесообразно иметь симметричный профиль скоростей и работать по варианту (б).

При сжигании влажного топлива ($W \geq 14\%$), когда температура горения снижается и на входе в воз-

духоподогреватель не превышает 800°C , оптимален вариант (в), так как в этом случае скоростной профиль осевых составляющих струй более симметричен.

Интенсивная циркуляция частиц в вихрях, которая обусловлена вводом струй воздуха от противоположных сторон камеры, благоприятна для создания однородного температурного поля и предопределяет эффективность факельно-вихревого режима. За счет действия гравитационных сил происходит разделение потоков и формирование как циркуляционных вихрей, так и перемещающегося по решетке слоя частиц. Материал удерживается в циркуляционных вихрях, практически полностью заполняет объем камеры и запитывает слой на решетке, если он образуется.

Структура вихрей в нижней части камеры следующая: частицы прижимаются к противоположным стенкам камеры с образованием тора. При избыточной подаче твердой фазы и переполнении камеры наблюдалось «захлебывание» вращающегося потока. Вследствие этого стабильная структура вихревого течения нарушалась, материал выпадал на решетку и начинал фонтанировать при образовании слоя. Интенсивный вынос частиц из камеры приводил к самоочистке решета и последующему возобновлению вихревого течения. Зона двухфазного течения потока ограничивалась частью камеры ниже сечения плоскости ввода вторичного дутья. В целом удержание частиц без подачи вторичного воздуха оказалось малоэффективным, а их концентрация была незначительной.

Наиболее крупные частицы не взвешиваются и не увлекаются воздушным потоком, но осаждаются на решетку и смещаются по ней в крайнюю секцию. При повышении скорости воздуха они взвешивались, и через некоторое время весь материал с решетки выносился и вовлекался в циркуляционные контуры.

Оптимальное отношение площадей секционированной решетки для устойчивого факельно-вихревого цикла: 0,23; 0,6; 0,17, начиная от верхней секции. При этом обратные токи циркуляционных вихрей устойчиво подавали частицы к устью струи. При подаче воздуха через одну крайнюю секцию решетки установлено образование одного циркуляционного вихря и повышенная скорость воздуха в вихре. При средней скорости по сечению камеры приблизительно $1,2 \text{ м/с}$ величина осевой скорости потока в вихре достигала $V_0=8 \text{ м/с}$, тогда как при подаче воздуха через две крайние секции не превышала $4-6 \text{ м/с}$.

Для устранения залегания материала на решетке угол ее наклона изменяли от 15 до 40° . Уже при минимальной подаче материала для $\alpha_p=20^\circ$ части-

цы лузги устойчиво вовлекались восходящим потоком, для сечки соломы минимальный угол наклона решетки составил $\alpha_p = 30^\circ$. При подаче дутья в одну секцию возвратные токи более интенсивны, чем при подаче в две, поэтому, несмотря на большую массу частиц, осаждающихся на решетке, происходит устойчивое увлечение их струей в циркуляционный контур.

Вихревые течения, образующиеся при факельно-вихревом режиме, существенно повышают степень заполненности камеры частицами, по сравнению с факельным, и тем самым создают более благоприятные условия для повышения теплонпряженности топочного объема. Интенсивность внутрикамерной циркуляции существенно выше при факельно-вихревом режиме, по сравнению с факельным, а если учитывать кратность циркуляции, то предпочтение следует отдать двухвихревому варианту.

Формирование вихрей в топочной камере, в верхней части которой размещены тепловоспламеняющие поверхности, например, воздухоподогреватель, требуют большего импульса вторичного дутья, чем достигаемого вводом вторичного воздуха при факельном режиме. Для этого была предусмотрена организация вторичного дутья из участков набегающего потока в сторону застойных зон по траекториям сепарирующихся частиц тангенциально к условному телу вращения.

Подача вторичного дутья из участков набегающего через сопла тангенциально в сторону застойных зон усиливает вихревое течение, улучшает перемешивание, выгорание, теплообмен, сепарацию и удерживание в надслоевом объеме частиц, выносимых из слоя.

Доля вторичного дутья определяется прежде всего из условий организации высокоэффективного топочного процесса. Необходимо, чтобы струи вторичного дутья проникали в вихревой объем, за-

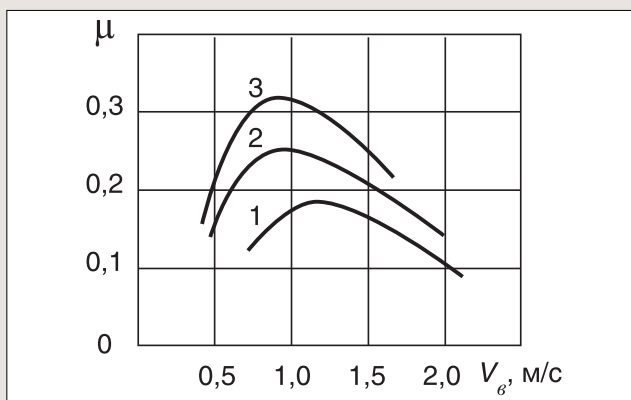


Рис. 2. Удерживающая способность вихрей для факельно-вихревого режима: 1, 2 – организация двух вихрей при $V_0 = 4$ и 6 м/с соответственно; 3 – одного вихря при $V_0 = 8 \text{ м/с}$; ($=15 \text{ кг/ч}$; $K=1$; μ – расходная концентрация)

стойные зоны и в корень восходящего потока.

Структура течения двухфазного потока в камере модели в зависимости от средней скорости первичного дутья V_v и расходной концентрации лузги приведена на рисунке 2. Очевидно, что лучшее заполнение частицами объема камеры реализуется при организации двух вихрей, что будет способствовать более равномерному тепловому напряжению топочной камеры.

Выводы. Удерживающая способность вихревых течений зависит в большей степени от скорости первичного и вторичного дутья и в меньшей степени – от количества вихрей в камере, причем эта способность имеет четко выраженный экстремум от скорости первичного дутья. Целесообразна организация двух вихрей со средней скоростью вращения в них воздуха $4-6 \text{ м/с}$.

Рекомендуется на лузге среднюю скорость первичного воздуха по сечению камеры поддерживать в пределах $1,0-1,2 \text{ м/с}$, что обеспечит коэффициент избытка воздуха $1,3-1,5$.

Литература

- Беленькая Л.И., Голубкович А.В., Дадыко А.Н., Марин Н.А. Альтернативные источники тепловой энергии для зерносушилок // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. – М.: ВИМ, 2013. – С. 35-39.
- Голубкович А.В. Топки на растительных отходах: процессы, конструкции, режимы, расчеты. – М.: ВИМ, 2011. – 172 с.
- Пат. № 2236643 РФ. Способ и устройство для сжигания твердого топлива, преимущественно растительных отходов / Анискин В.И., Голубкович А.В., Чижиков А.Г., Курбанов К.К. // Бюл. 2004. – № 26.

- Пат. № 2237834 РФ. Способ сжигания твердого топлива и устройство для его осуществления / Голубкович А.В., Анискин В.И., Курбанов К.К. // Бюл. 2004. – № 28.

- Анискин В.И., Голубкович А.В., Сотников В.И. Сжигание растительных отходов в псевдооживленном слое // Теплоэнергетика. – 2004. – № 6. – С. 49-53.

- Анискин В.И., Голубкович А.В. Перспективы использования растительных отходов в качестве биотоплива // Теплоэнергетика. – 2004. – № 5. – С. 60-65.

- Пат. № 2266468 РФ. Способ сжигания отходов в псевдооживленном слое и устройство для его осуществления / Голубкович А.В., Чижиков А.В. // Бюл. 2004. – № 26.

ков А.Г., Курбанов К.К. // Бюл. 2005. – № 35.

8. Голубкович А.В., Дадько А.Н., Марин Р.А. Моделирование подсушки влажных частиц растительных отходов в топке зерносушилки // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. до-

кл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2014. – С. 258-261.

9. Голубкович А.В. Растительные отходы для сельскохозяйственной энергетики // Энергия: экономика, техника, экология. – 2005. – № 7. – С. 24-29.

MODELING OF AERODYNAMICS OF FLARE AND VORTEX MODE IN A FIRE CHAMBER FOR VEGETABLE WASTE

A.N. Dadyko

All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: agolubkovich@yandex.ru

At operation of fire chambers it is necessary to control amount of the air spent when fuel burning. For for this purpose scientist investigate aerodynamics of a fire chamber. On cold model we studied aerodynamic parameters of a fire chamber for plant materials, including three options of the organization of secondary blasting: from fuel input, from the opposite side and from both parties. Their influence on stability of ignition and burning of fuel was revealed. Conditions of formation of vortex circulating contours, their quantity at various giving of air in model, intensity of their rotation and dependence of an arrangement of contours from consumed concentration amount were established. As model bodies we used real objects of burning: sunflower hull and straw shreds. As criteria of optimization of burning were degree of fullness of the chamber with a material rotating in circulating cameras and vortex rotation intensity. The minimum speed of the air given to model as primary, secondary and tertiary blasting, was limited by a constraint of not drop-out of particles from vortices. Optimization of a given air consumption is caused by decrease in coefficient of surplus when burning (1.2-1.5). The optimum structure of a two-phase blast provides one or two circulating vortices in the camera of model with a speed of rotation of 4; 6 and 8 meters per second at consumed concentration of 0.2-0.3 kg of material per 1 kg of air. The maximum filling of the camera and the minimum loss of particles from vortex correspond to such parameters.

Keywords: Fire chamber; Burning of vegetable waste; Modeling; Flare and vortex mode.

References

1. Belen'kaya L.I., Golubkovich A.V., Dadyko A.N., Marin N.A. *Alternativnye istochniki teplovoy energii dlya zernosushilok* [Alternative sources of heat energy for grain dryers] *Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 2.* Moscow: VIM, 2013. pp. 35-39 (Russian).

2. Golubkovich A.V. *Topki na rastitel'nykh otkhodakh: protsessy, konstruksii, rezhimy, raschety* [Fire chambers on vegetable waste: processes, designs, modes, calculations]. Moscow: VIM, 2011. 172 pp. (Russian).

3. Pat. № 2236643 RF. *Sposob i ustroystvo dlya szhiganiya tverdogo topliva, preimushchestvenno rastitel'nykh otkhodov* [Way and apparatus for burning of solid fuel, mainly vegetable waste]. Aniskin V.I., Golubkovich A.V., Chizhikov A.G., Kurbanov K.K. // *Byul.* 2004. No 26 (Russian).

4. Pat. № 2237834 RF. *Sposob szhiganiya tverdogo topliva i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Way of burning of solid fuel and apparatus for its implementation]. Golubkovich A.V., Aniskin V.I., Kurbanov K.K. // *Byul.* 2004. No 28 (Russian).

5. Aniskin V.I., Golubkovich A.V., Sotnikov V.I.

Szhiganie rastitel'nykh otkhodov v psevdoozhizhennom sloe [Burning of vegetable waste in a fluidized bed]. *Teploenergetika.* – 2004. No 6. – S. 49-53.

6. Aniskin V.I., Golubkovich A.V. *Perspektivy ispol'zovaniya rastitel'nykh otkhodov v kachestve biotopliva* [Prospects of use of vegetable waste as biofuels] *Teploenergetika.* 2004. No 5. pp. 60-65 (Russian).

7. Pat. № 2266468 RF. *Sposob szhiganiya otkhodov v psevdoozhizhennom sloe i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Way of burning of waste in a fluidized bed and apparatus for its implementation]. Golubkovich A.V., Chizhikov A.G., Kurbanov K.K. // *Byul.* 2005. No 35 (Russian).

8. Golubkovich A.V., Dadyko A.N., Marin R.A. *Modelirovanie podsushki vlazhnykh chastits rastitel'nykh otkhodov v topke zernosushilki* [Modeling of subdrying of humid particles of vegetable waste in fire chamber of grain dryer]. *Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* Moscow: VIM, 2014. pp. 258-261 (Russian).

9. Golubkovich A.V. *Rastitel'nye otkhody dlya sel'skokhozyaystvennoy energetiki* [Vegetable waste for agricultural power economy]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya.* 2005. No 7. pp. 24-29 (Russian).