

УДК 620.91:67.08

В.В. Карманов, В.Д. Михайлик, Н.Л. Костюнин

ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ, ПЕЛЛЕТОВ, БРИКЕТОВ ИЗ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

У статті представлено особливості переробки відходів рослинної сировини з отриманням паливних гранул, пелетів, брикетів, устаткування для їх охолодження та утилізації тепла готового продукту.

Введение. В связи с повышенным спросом на экологически чистое топливо, который происходит на фоне постоянного роста цен на энергоресурсы, утилизация отходов растительного происхождения (биомассы) становится высокорентабельным способом экономии энергоресурсов.

Топливные гранулы, пеллеты, брикеты (в дальнейшем биотопливо), производимые на пресс-формователях, не содержат никаких добавок. Процесс получения основан на спекании лигнина, который выделяется при нагреве под давлением из растительных клеток.

В основе технологии производства биотоплива лежит процесс прессования шнеком отходов (костры льна, соломы, шелухи подсолнечника, гречихи и т.п.) или мелко измельченных отходов древесины (опилок) под высоким давлением при нагревании от 160 до 350 °С. Получаемое биотопливо не включают в себя никаких связующих веществ, кроме одного натурального – лигнина, содержащегося в клетках растительных отходов. Сам по себе лигнин присутствует в достаточных количествах в любом виде древесины (кроме коры), шелухе семян, соломе, костре льна и даже в скорлупе грецкого ореха и т.п. Также необходимо обратить внимание на подготовку сырья перед переработкой. Сырье необходимо досушивать до влажности 8-10%.

Наиболее важной топливно-технологической характеристикой биомассы, которая используется как твердое топливо, есть ее тепловая способность, которая зависит от множества факторов: генетических особенностей энергетических растений, влияние окружающей среды, условий хранения, влажности и другие. В таблице 1 приведено среднюю тепловую способность некоторых видов топлива (калорийность) [1, 10, 11].

Таблица 1

| Вид топлива | Тепловая способность видов топлива | |
|--------------------------|------------------------------------|---------------|
| | кДж/кг | Ккал/кг |
| 1 | 2 | 3 |
| Бензин | 47 300 | 11 250 |
| Дизельное топливо | 44 800 | 10 700 |
| Природный газ | 35 000- 43 000 | 8 350-10 250 |
| Уголь-антрацит | 32 500 - 34 000 | 7 750-8 100 |
| Кокс | 28 000 - 31 000 | 6 650-7 400 |
| Уголь каменный | 15 000 - 27 000 | 3 550-6 450 |
| Брикеты (из опилок) | 16300-2800 | 3 900-6 650 |
| Брикеты (из костры льна) | 18000 | 4200 |
| Торф | 13 800 - 20 500 | 3 300 - 4 900 |
| Уголь бурый | 16 300 | 3 900 |
| Дерево сухое | 14 400 - 17 400 | 3 450 - 4 150 |

Основная часть. Процесс переработки растительных остатков основан на процессе пресс-формования. Пресс-формованием называется процесс переработки продуктов путём размягчения или пластификации и придания им формы продавливанием через матрицу, сечение которой соответствует конфигурации изделия. В ходе процесса пресс-формования под действием высокого давления происходит переход механической энергии в тепловую, с подводом дополнительного тепла, что приводит к нагреву перерабатываемого сырья.

Небольшие брикеты, гранулы или пеллеты, разной геометрической формы, после пресс-формования имеют температуру не менее 100°C÷120°C. При таких температурах может происходить слеживание продукта в накопительном контейнере, с образованием слипшихся кусков агломератов, что ведет к потере продукта, и может вызвать нарушение в технологической линии. Поэтому целесообразно обеспечить охлаждение продукта после пресс-формования. На наш взгляд, рациональным вариантом является совмещение процесса охлаждения с утилизацией тепла продукта.

Для рационального использования результатов эффективного применения технологии псевдоожижения с целью получения топливных продуктов в виде гранул, пеллетов и брикетов нами изучен передовой опыт в науке и технике по рациональному охлаждению зернистых и гранулированных продуктов с помощью техники струйного псевдоожижения [2, 3, 4, 5, 6].

Одними из энергоемких производств ряда отраслей промышленности являются химические производства гранулированных и зернистых продуктов. Объем продукции этих производств довольно велик. Так, более половины удобрений выпускается в виде зернистых или гранулированных продуктов, и по технологии проходит обработку в кипящем слое.

Охлаждение гранулированных минеральных удобрений в последнее время все чаще осуществляют в аппаратах кипящего слоя. Аппараты «классического» кипящего слоя имеют целый ряд общеизвестных недостатков, которые в большей мере удается устранить с помощью режимов струйного псевдоожижения. При этом режим проточного слоя зернистого материала с его внутренним или сквозным фонтанированием представляет наибольший научный и прикладной интерес.

Промышленные охладители обычно имеют ряд недостатков [2, 3]:

1. Температура удобрений на выходе из охладителя в летний период при средней производительности 4,16 - 5,56 кг/с (15-20 т/ч) превышает допустимую для затаривания 313 К (40°C). Поэтому производительность снижается, и охладитель в летний период становится «узким» местом, сдерживающим рост выпуска продукции.

2. Газораспределительная решетка при работе постепенно забивается из-за обрастания отверстий мелкими гранулами и пылью. Поэтому охладитель периодически останавливался на чистку решетки.

3. Для пуска охладителя необходимо включать в работу дополнительный вентилятор, так как не псевдоожижаются гранулы, подаваемые в первоначально пустой аппарат при «классических» режимах псевдоожижения.

Исследование охладителя кипящего слоя [2] показали, что на охлаждение обычно используется менее 40% от всего количества воздуха, поступающего в охладитель. Поэтому для устранения всех перечисленных недостатков было предложено обеспечить в охладителе режим внутреннего фонтанирования, вместо обычного псевдоожижения.

Особенность конструкции газораспределителя состоит в том, что решетка содержит продольные и поперечные чередующиеся щели из рядов отверстий диаметром 0,004 м, которые в продольном направлении имеют шаг в 2-4 раза больший, чем в поперечном (0,20 и 0,05 м соответственно) [2]. Предложенная конструкция газораспределителя обеспечивает режим внутреннего фонтанирования, улучшает поперечное перемещение, при этом горячий продукт меньше смешивается с охлажденным.

Затраты на реконструкцию охладителя составили незначительную сумму порядка 200 долларов США, так как пришлось заменить всего лишь один узел аппарата – газораспределительную решетку [2]. Режим внутреннего фонтанирования, обеспеченным новым газораспределителем, состоит в создании квазистационарных струй (факелов) в нижней части слоя. При этом обеспечивается такой режим псевдоожижения, при котором длина факела струи меньше рабочей высоты слоя.

Основным преимуществом такого режима является интенсификация теплообмена и уменьшение уноса материала. При этом коэффициент использования воздуха повышается до 90%. Повышение роста скорости воздуха в отверстиях решетки уменьшает забиваемость отверстий решетки. Рост скорости воздуха достигается уменьшением живого сечения решетки. В свою очередь, уменьшение живого сечения и увеличение скорости воздуха в отверстиях повышают устойчивость работы охладителя, что позволяет осуществить пуск охладителя одним вентилятором.

Как показали испытания промышленных охладителей (резервного и рабочего), из-за конструктивных особенностей наблюдалось нарушение гидродинамики псевдоожижения, проводившее к образованию застойных зон на газораспределительной решетке в начальной зоне охладителей. Обследование показало, что в эту зону очень мало поступало охлажденного воздуха из-за перегородки в подрешеточной камере.

Кроме того, вытяжка после одного из охладителей осуществлялись только через торцевой патрубок перед выгрузным устройством. В результате начальная и центральная части охладителя недостаточно продувались воздухом, так как охладители работают под разрежением. Для улучшения работы охладителей в подрешеточных камерах было ликвидировано перегородки, устранен подсос воздуха за охладителями и смонтирован дополнительный вытяжной центробежный патрубок на один из охладителей.

При обследовании охладителей измерялись температуры воздуха и продукта на выходе и входе, расход охлаждающего воздуха, разрежение на входе, под решеткой, над решеткой.

В отдельных производственных опытах измерялась температура продукта по длине охладителя. В ходе испытания промышленных охладителей установлено, что «чистая» решетка со слоем удобрений ($H_p=0,15$ м) имеют сопротивление 1400-1800 Па и определен период устойчивой работы охладителей от начала работы до зарастания решетки камеры и роста ее сопротивления примерно до 2500 Па при одном

работающем вентиляторе. Этот период равен не менее 5 суток. Ежесуточный рост сопротивления решетки из-за ее забивания составлял порядка 100-150 Па.

Указанный диапазон изменения интенсивности псевдооживления выбран в соответствии с известными рекомендациями.

Полученные данные по кинетике охлаждения удобрений позволяют сделать вывод о том, что определяющим в интенсивности охлаждения является гидродинамика процесса, формируемая газораспределителем, а не расход охлаждающего воздуха на псевдооживление удобрений. При этом для охлаждения крупнозернистых гранулированных удобрений, с размером фракции до 0,004 м и выше рациональным является гидродинамический режим с локальным фонтанированием в проточном слое.

Испытания показали [2], что после проведенной модернизации обеспечивается необходимый режим охлаждения туков при полной загрузке линии, в том числе и в летний период. О достаточно высокой интенсивности охлаждения говорит тот факт, что скорость охлаждения удобрений по длине охладителя приближается к скорости охлаждения при полном теплообмене. Указанная конструкция охладителей кипящего слоя увеличивает их рабочую кампанию за счет снижения забиваемости решеток. В результате чего уменьшилось число часов простоев на чистку.

Согласно испытаниям охладителей в летний период, требуемая температура продукта ниже 313 К (40°C) после охлаждения при удельном расходе порядка 2 м³/кг обеспечивается уже на половине длины охладителя, т.е. на расстоянии 4 м от загрузочного бункера. При длине существующего охладителя 8 м такая интенсификация охлаждения обеспечивает существенный резерв производительности аппарата (в 2 раза).

Анализ полученных данных показывает, что гидравлические сопротивления решеток уже через 16-20 часов эксплуатации до и после реконструкции отличаются незначительно, несмотря на уменьшение живого сечения решетки после реконструкции и увеличение скорости истечения воздуха в отверстиях.

Удельный расход воздуха на охлаждение снизился, главным образом, в летний период, за счет того, что в этот период возросла производительность охладителя.

Эти результаты объясняются влиянием активной струйной гидродинамики, создаваемой новым газораспределителем.

Образование застойных зон между рядами щелей не происходило, судя по визуальным наблюдениям, через смотровое стекло. Проведенные эксперименты подтвердили правильность выбранного шага между рядами отверстий ($S=0,05$ м, $t=0,2$ м).

Кроме того, были проведены экспериментальные исследования истираемости гранул сложно-смешанных удобрений. Эксперименты проводились на пилотной установке. Мелкие гранулы и обломки гранул ($d_3 \leq 0,001$ м) были отсеяны. Затем материал был загружен в камеру и псевдооживался в течение 5 минут (максимальное время пребывания гранул в промышленном охладителе). После этого была взята навеска материала (5 кг) и снова произведен рассев на сите №1 с ячейкой в свету 0,001 м. Обломков и мелочи практически не обнаружено, что свидетельствует о незначительной истираемости гранул удобрений при работе охладителя в режиме внутреннего фонтанирования.

В качестве вывода можно рекомендовать для охлаждения гранулированных удобрений разработанную газораспределительную решетку, создающую эффективный режим внутреннего фонтанирования.

Результаты испытаний и эксплуатации реконструированных охладителей с предложенными газораспределительными решетками показывают, что имеется резерв экономии энергозатрат на воздуходувные устройства (вентиляторы). Это стало возможным за счет меньших расходов охлаждающего воздуха при незначительном росте гидродинамических сопротивлений газораспределителей и увеличении компани устойчивой работы охладителей.

Анализ показывает, что после реконструкции охладителей улучшилось их технико-экономические показатели, и за счет реализации возможна экономия энергозатрат на охлаждение удобрений. Эта экономия достигается без замены существующих вентиляторов при своевременном переключении охладителей и вентиляторов на профилактическую очистку охладителей.

Предложенный режим работы охладителей со щелевой газораспределительной решеткой позволил изменить график включения энергоемких мельничных вентиляторов типа ВМ-17 путем маневрирования. При этом постоянно работает не два, а один вентилятор. Период устойчивой работы охладителя увеличивается в 3 раза.

Рекомендуемые газораспределители охладителей имеют более высокое начальное гидродинамическое сопротивление (примерно на 20%). Однако возможное снижение расхода охлаждающего воздуха более существенно, порядка 40%. Поэтому возможное снижение потребляемой мощности приводов вентиляторов и соответственно расхода электроэнергии составляет порядка 32%.

Кроме рассмотренных конвективных охладителей, нами изучены охладители с кондуктивными теплообменниками в виде погруженных в слой охлаждаемых поверхностей. Так, в комбинированных

схемах сушки и охлаждения сыпучих материалов по патенту Украины №33423 [7] с целью повышения экономичности перегородки охладителя выполнены в виде змеевиков, вход и выход которых посредством соответствующих коллекторов соединены с выходом и входом калорифера сушки. На основе этой разработки для сельхоз сырья, была создана компактная установка более высокой производительности для термообработки подобных материалов, содержащая последовательно соединенную камеру с патрубками ввода, вывода теплоносителя и загрузки продукта и охладитель прямоугольного сечения, снабженный перегородками в виде змеевиков, подключенных к коллекторам. Особенность конструкции состоит в том, что охладитель отделен от камеры сушки порогом из змеевиков, трубы которого установлены вплотную, а боковые стенки охладителя выполнены в виде коллекторов.

Представляет интерес также известная конструкция теплообменника в виде труб, размещенных в слое на газораспределительной решетке, а последняя выполнена гофрированной, при этом трубы установлены во впадинах гофр (рис. 1) [8].

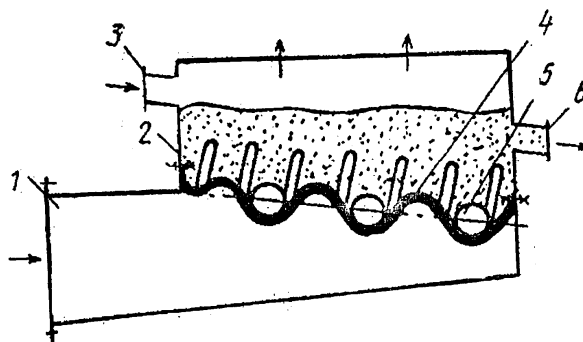


Рис. 1. Схема известного аппарата с проточным фонтанирующим слоем.

1 – патрубок ввода воздуха (газа) под решетку; 2 – рабочая прямоугольная камера; 3 – патрубок ввода частиц обрабатываемого материала; 4 – гофрированная газораспределительная решетка; 5 – теплообменные трубы в гофра - впадинах; 6 – патрубок вывода продукта.

Однако недостатком такой конструкции является сложность изготовления гофрированной газораспределительной решетки и необходимые трудозатраты на это изготовление. Поэтому для упрощения конструкции и уменьшения трудозатрат нами предложен аналогичный аппарат, в котором теплообменные трубы размещены на плоской наклонной решетке между ее щелями (рис. 2) [9].

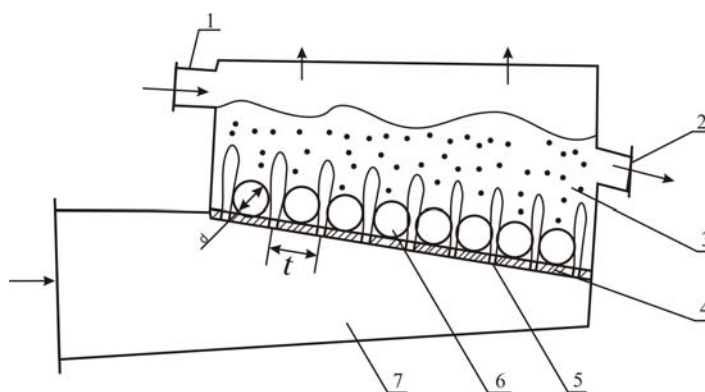


Рис. 2. Схема предложенного аппарата.

1 – патрубок ввода воздуха под решетку; 2 – рабочая прямоугольная камера; 3 – патрубок ввода частиц обрабатываемого материала; 4 – газораспределительная решетка; 5 – щель решетки; 6 – теплообменные трубы; 7 – патрубок вывода продукта.

Выводы. Применительно к целому ряду гетерогенных процессов тепловой обработки крупнозернистых материалов рациональным является подвод или отвод тепла с помощью поверхностных теплообменников, погружаемых в кипящий или фонтанирующий слой этого материала. При таких компоновочных решениях предотвращается прямой контакт теплоносителя или хладагента со слоем, аппарат может работать при более низких числах псевдооживления за счет интенсивного кондуктивного теплообмена, и в результате уменьшается на 30% расход электроэнергии на воздуходувные устройства. Поэтому такого типа аппаратное оформление обеспечивает и экономическую, и экологическую эффективность. Последняя достигается за счет уменьшения

пылеуноса. Выполненные исследования внешнего теплообмена подтвердили его высокую интенсивность и равномерность, особенно в схемах непрерывного действия с проточным слоем. С учетом отмеченных особенностей разработана комплексная технологическая схема для охлаждения топливных гранул, пеллетов, брикетов и защищена патентом на полезную модель [9].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Карманов В.В., Михайлик В.Д., Костюнин Н.Л. Энергосберегающая технология и оборудование для получения топливных гранул, профилей (брикетов) из отходов растительного сырья // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2010. – № 2(16). – С. 72-76.
2. Михайлик В.Д., Лыков М.В. Повышение эффективности охлаждения гранулированных удобрений в аппаратах с псевдооживленным слоем // Химическая промышленность. – 1987. № 6. – С. 53-55.
3. Михайлик В.Д. Повышение эффективности теплообменных аппаратов с псевдооживленным слоем (гидродинамика, теплообмен, разработка и внедрение), докторская диссертация по специальности 05.17.08, ТИХМ, Тамбов. 1989 г., 360 с.
4. Михайлик В.Д., Глухов Г.Н. Аппараты фонтанирующего слоя с погруженными теплообменниками // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. № 3. – С58-62.
5. Михайлик В.Д., Михайлик С.В. Совершенствование техники фонтанирующего слоя // Труды Таврической госагроакадемии, - Мелитополь, - 2005, № 34. – С. 74-76.
6. Михайлик В.Д. Повышение эффективности аппаратов с проточным фонтанирующим слоем. // Вестник ХНТУ №3(29) Херсон, 2007. – С. 166-170.
7. Патент Украины на изобретение №33423. Комбінований апарат для сушки і охолодження сипучих матеріалів, автори Михайлик В.Д., Глухов Г.М., опубл. 15.02.2001, Бюл. № 1, 2001 р.
8. Патент Российской Федерации на изобретение №2022229. Теплообменник, авторы Михайлик В.Д., Яцков А.Д., опубл. 30.10.94. Бюл. №20.
9. Патент України на корисну модель №51321. Теплообмінник, автори Михайлик В.Д., Карманов В.В., Костюнін М.Л., опубл. 12.07.2010, Бюл. №13, 2010 р.
10. <http://waste.ua/index.php?page=ad&id=1084>
11. <http://www.dpva.info/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsHeatAndTemperature/ComnustionEnergy/FuelsHigherCaloricValues/>

КАРМАНОВ Виктор Васильевич – к.т.н., доцент кафедры экологии и БЖД Херсонского национального технического университета.

Научные интересы:

– процессы и аппараты переработки растительного сырья, энергосберегающие технологии, экологизация производства.

КОСТЮНИН Николай Леонтьевич – аспирант Херсонского национального технического института, научный сотрудник Южно-Украинского филиала УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого.

Научные интересы:

– переработка сельскохозяйственной продукции, утилизация отходов растительного сырья, экологизация производства.

МИХАЙЛИК Виктор Дмитриевич – д.т.н. профессор, заведующий кафедрой экологии и БЖД Херсонского национального технического университета.

Научные интересы:

– процессы и аппараты переработки растительного сырья, энергосбережение и экологизация производства.