

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПИРОЛИЗНОЙ КАМЕРЕ

*Аннотация.* В статье приводятся расчетные и экспериментальные зависимости гидродинамических параметров псевдооживленного слоя, в котором реализован процесс низкотемпературного пиролиза. Установлена область устойчивого псевдооживления, в которой колебательными движениями теплоносителя можно управлять и таким образом управлять эффективностью тепломассообменных процессов в пиролизной камере.

**Введение.** В промышленности, сельском хозяйстве всё больший интерес вызывает использование нетрадиционных источников энергии, к которым можно отнести биогаз, полученный путём термической обработки отходов сельского хозяйства, в частности перерабатывающих предприятий.

Исследование большого числа пиролизных установок различной конструкции показало, что многие из них не отвечают основным требованиям технологии пиролиза. В научной литературе описывается получение топливного газа [1–4]. Однако приведенные способы и устройства имеют ряд недостатков. Это несовершенство технологических режимов с малым выходом газообразного топлива (30–40 % от массы органического вещества), осуществляемых без учета изменения влажности. Не рассматриваются тепломассообменные процессы при термическом разложении органического сырья. В работах [3,4] не предусмотрены меры оперативного реагирования на текущее изменение физико-механических свойств в потоке сырья и коррекции параметров технологического процесса пиролиза с целью достижения требуемых оптимальных результатов. Теоретическое обоснование в цитируемых работах не приведено. Поэтому на сегодняшний день задача технологического и аналитического обоснования физических процессов, происходящих при пиролизе биомассы, является актуальной.

Одним из эффективных методов в исследовании механизма и кинетики процессов термохимического превращения отходов биомассы является комплексный термический анализ, включающий математическое моделирование. Отметим, что использование только математической модели дает погрешность при оценке и интерпретации получаемых результатов, а иногда и явно ошибочные гипотезы. Феноменологическое описание нуждается в дополнительной информации, главным образом структурного характера, что особенно важно при исследовании динамики процессов.

**Цель работы.** Определить гидродинамические характеристики пиролизной трубы и зависимость давления в слое режимов обработки.

**Материалы и результаты исследований.** В предложенной технологической схеме пиролиз сырьевой массы осуществляется в два этапа:

- предварительная сушка и пиролиз сырьевых частиц в вертикально расположенной трубе-сушилке при температуре теплоносителя (рис.1) 240-420 °С с 60% выходом летучих компонентов;

- пиролиз в неподвижном слое со 100% выходом летучих компонентов.

(вертикальный канал), согласно разработанной технологической схеме (рис.1).

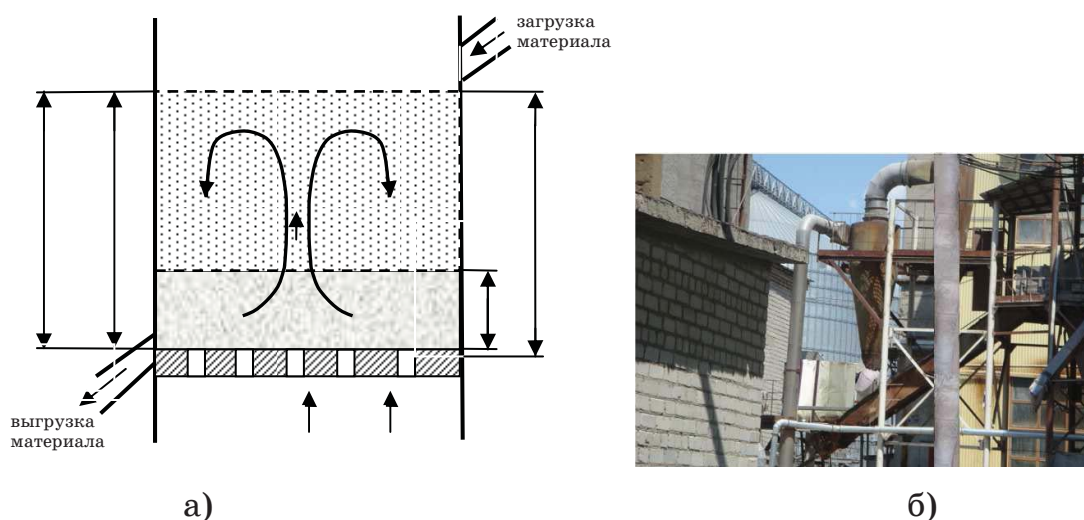


Рисунок 1 - Технология сушки-пиролиза мелкодисперсных материалов:

- а) схема технологии пиролиза
- б) фотография установки пиролиза

Эффективность процесса пиролиза зависит от температуры газа-носителя и гидродинамических режимов продувания псевдооживленного слоя. Эти режимы установлены в работе [5]. Взаимодействие газа носителя с дисперсным слоем характеризуется существенной неравномерностью давления в слое, что при определенных условиях может приводить к самовоспламенению биомассы.

Для получения экспериментальной и расчетной зависимостей гидравлического сопротивления псевдооживленного слоя сырьевого материала  $\Delta P$ , высоты слоя  $H$  и порозности от скорости газа создана лабораторная установка, показанная на рис. 1

При скоростях потока близких к первой критической скорости  $U_{кр1}$  слой переходит в состояние псевдооживления. При этом частицы начинают перемещаться. Таким образом, обеспечивается хорошее перемешивание материала, усреднение температуры в слое и равномерно распределенное взаимодействие с теплоносителем. Возникают и пульсации давления (частота  $\nu=1-2$  Гц). Однако для достижения устойчивого гидродинамического состояния слоя необходимо повышать расход газа и скорость воздуха. При достижении второй критической скорости  $U_{кр2}$  слой разрушается.

Для наших условий критерий  $Ar=5,9 \cdot 10^6$  и  $Lu=0,46$ , что соответствует первой критической скорости.

Исследуемые зависимости представлены на рис. 2.

На рисунках показаны расчетная зависимость (1) и экспериментальная (кривая 2), которая несколько отличается от расчетной. Повышение сопротивления слоя  $\Delta P$  в области значений скорости 0,4 м/с и гистерезис обусловлены, очевидно, силами сцепления между частицами слоя и трением о стенки аппарата. На графиках нет четкой границы начала псевдооживления, поскольку материал полидисперсный и для каждой фракции псевдооживление начинается при разных критических скоростях, близких к 0,4 м/с.

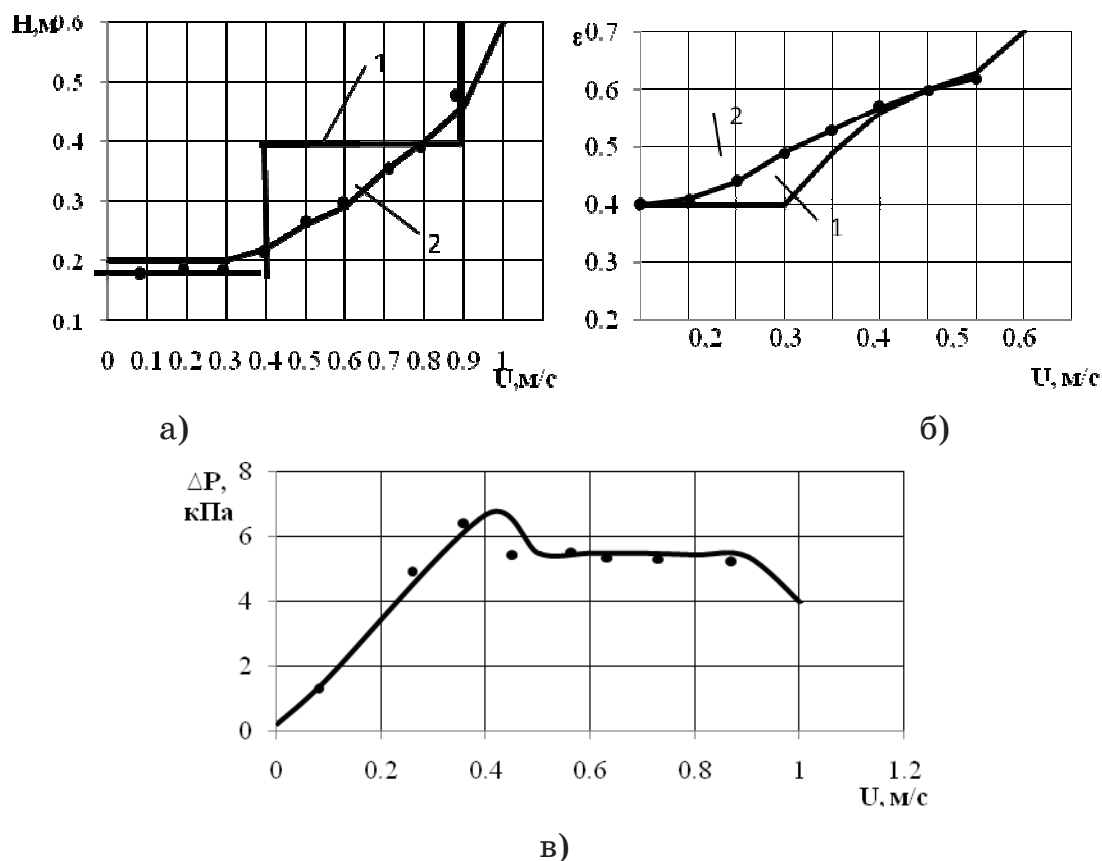


Рисунок 2 - Экспериментальные зависимости гидродинамических параметров слоя от скорости воздуха: а) высоты слоя; б) порозности; в) сопротивления слоя 1- расчетная кривая, 2- эмпирическая зависимость

От температуры воздуха критическая скорость ожижения зависит мало (рис.3), и учитывается теплофизическими характеристиками газа.

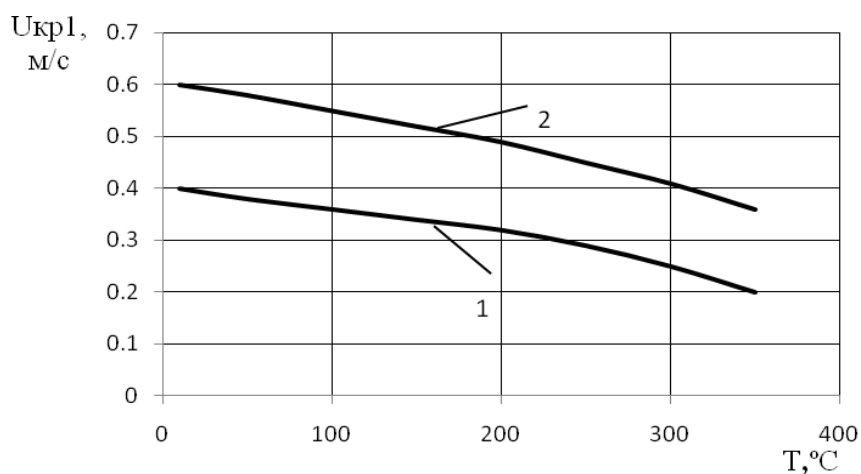


Рисунок 3 - Зависимость критической скорости псевдоожигения от температуры воздуха

1 – влажность материала 8%; 2 – влажность материала 30%.

Если слой содержит влажный материал и в процессе термообработки происходит испарение влаги, то изначально скорость  $U_{кр1}$  превышает этот показатель для сухого, но влияние температуры для этого материала более заметно.

Между скоростями начала псевдооживления материала при атмосферном  $U_{кр1}$  и повышенном  $U_{кр}^*$  давлении существует зависимость, где  $\rho_0$  и  $\rho_0^*$  - насыпная плотность слоя при атмосферном и повышенном давлении;  $\lambda_0$  и  $\lambda^*$  - сопротивление слоя при атмосферном и повышенном давлении.

При ламинарном режиме течения, характерном для частиц сравнительно малого диаметра, коэффициент сопротивления обратно пропорционален  $Re$ . С увеличением давления повышается и плотность воздуха, поэтому переход частиц небольшого размера в псевдооживленное состояние происходит при больших числах  $Re$ , следовательно, при меньших значениях сопротивления. Одновременное увеличение плотности и снижение коэффициента сопротивления приводит к тому, что их произведение остается практически неизменным. Для крупных частиц, которые переходят в псевдооживленное состояние в турбулентной области,  $\lambda$  изменяется мало, поэтому знаменатель в уравнении (1) возрастает, а  $U_{кр}^*$  - уменьшается. Таким образом, псевдооживление начинается при более низких скоростях, тем ниже, чем выше давление.

Для наших условий давление  $(0,1-2,5)10^5$  Па. Исследование динамических параметров слоя выполнены на лабораторном стенде и результаты приведены на рис. 4.

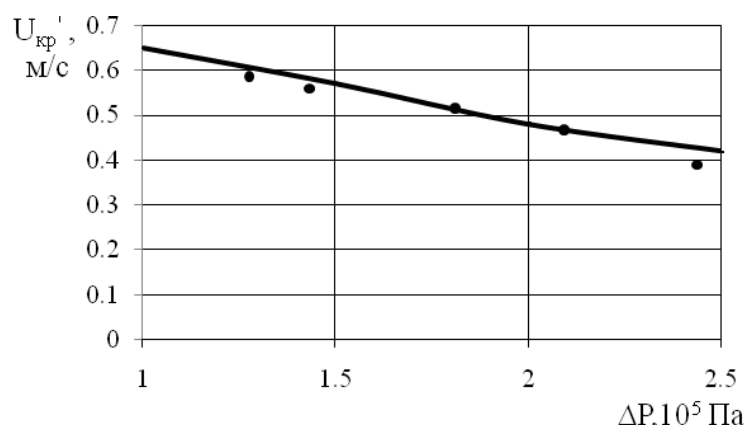


Рисунок 4 - Зависимость  $U_{кр}$  от давления (влажность частиц 40%, средний диаметр-4 мм)

Таким образом, границы существования кипящего слоя зависят от частотных характеристик (геометрических параметров и скорости газа); температуры и давления среды. Настоящими исследованиями установлены значения данных параметров, которые обобщены эмпирическими зависимостями (рис.5) и соответствующим уравнением

$$\varepsilon_{\text{ем}} = \frac{0,8Re^{0,6}}{Ar^0}, 2.$$

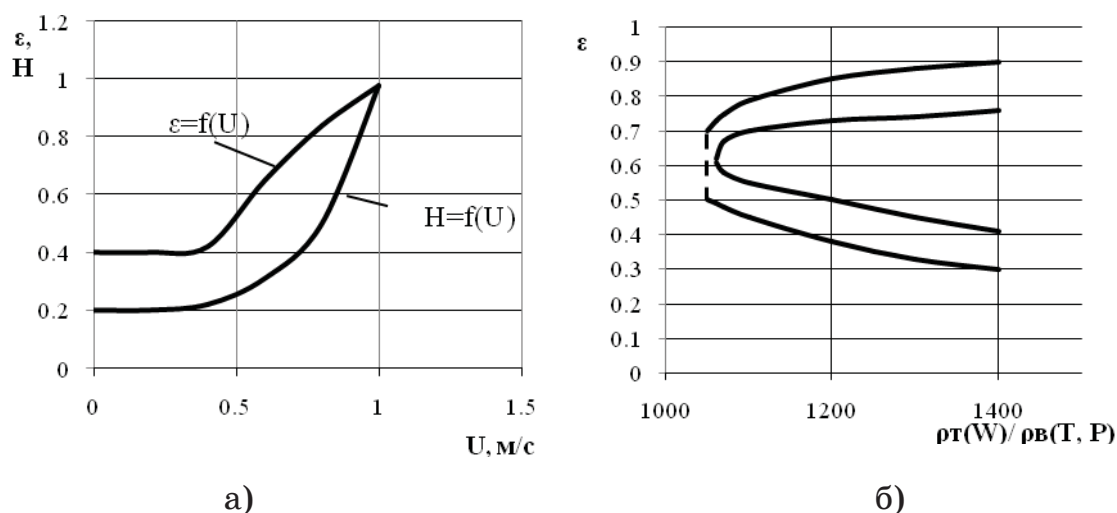


Рисунок 5 - Обобщенные зависимости показателей кипящего слоя:

- а) порозности и высоты слоя от скорости воздуха;
- б) порозности от отношений плотности воздуха и частиц

Пределы существования устойчивого пульсирующего слоя (частота 1-2 Гц) частиц с влажностью 10-40% в температурном диапазоне 100-400 °С показаны на рис. 3 б). Это обобщающая зависимость для пиролиза сырьевых частиц различной природы и влажности справедлива для высоты слоя  $H \approx D$ .

Выполненные экспериментальные исследования и полученные расчетные данные свидетельствуют о том, что совместная гидродинамическая характеристика вертикального теплообменного аппарата с дисперсной загрузкой будет существенно отличаться от характеристик пустой пиролизной камеры. Как показывает опыт, наложение пульсаций частиц и собственных пульсаций аппарата может приводить к нарушению движения частиц сырьевой массы. Между тем задача сводится к нахождению и теоретическому обоснованию таких гидродинамических режимов, при которых частицы будут перемещаться вверх по вертикальной трубе под действием теплоносителя и как можно дольше оставаться в термодоконтакте, т. е. их скорость

должна быть близка к скорости витания. Для этого следует определить область устойчивой работы аппарата относительно параметров  $P$  и  $G$ .

Область устойчивой работы камеры, заполненной материалом, совместно с нагнетателем (график 2 на рис. 6) обозначена предельным циклом (график 3 на рис. 6), в котором колебательными движениями

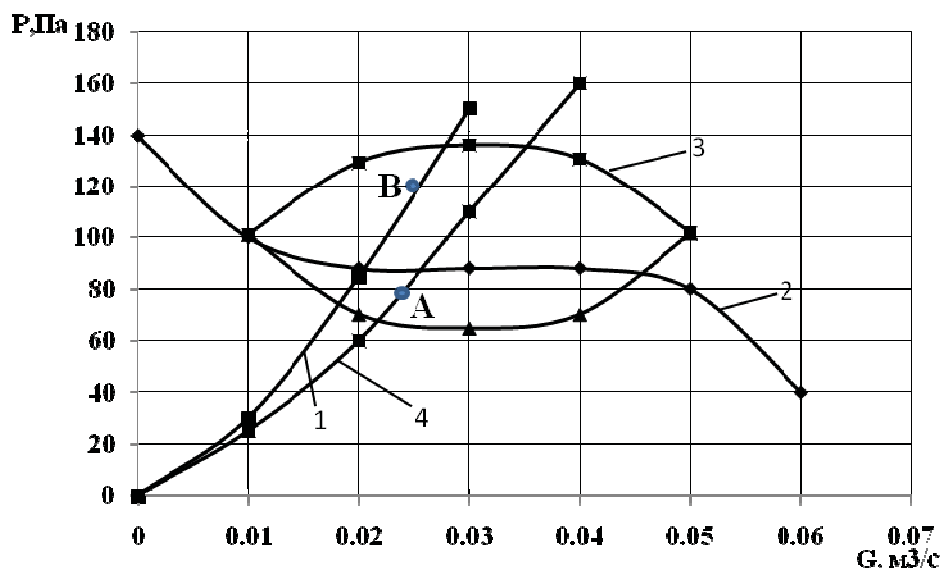


Рисунок 6 – Гидродинамические характеристики трубы:

1 – напорная характеристика с учетом пульсаций давления; 2 – характеристика нагнетателя; 3 – аттрактор; 4 – напорная характеристика с минимальным давлением теплоносителя можно управлять и таким образом управлять эффективностью тепломассообменных процессов в вертикальной трубе

Введение в канал распределенного сопротивления в виде дисперсной загрузки сырьевого материала способствует уменьшению амплитуды колебаний. Частота пульсаций давления в исследуемом лабораторном аппарате и напорная характеристика (1 – max, 4 – min) на рис.6 попадают в область устойчивой работы трубы-сушилки (от значений «А» до «В»).

#### Выводы

1. Установлено экспериментально и подтверждено расчетным путем, что амплитуда колебаний зависит от режима движения теплоносителя в вертикальном канале, расхода частиц, акустических характеристик аппарата.

2. Установлено, что изменение перечисленных факторов может приводить к соответствующему изменению интенсивности тепло-массообменных процессов в аппарате.

3. Определены экспериментально основные гидродинамические характеристики псевдооживленного слоя.

4. Построены предельные циклы устойчивой работы аппарата.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гелетуха Г.Г. Современное состояние и перспективы развития биоэнергетики в Украине / Г.Г. Гелетуха., Т.А. Железна // Промышленная теплоэнергетика. – 2005. – № 1. – С. 78 – 85.
2. Карпенко Е.М. Основные этапы совершенствования способов сжигания твердых топлив и их наиболее перспективные современные направления / Е.М. Карпенко, В.Е. Мессерле, В.С. Перегудов // Теплоэнергетика. – 2003. – № 12. – С. 42.
3. Кожурин В.Н. Пиролизный газ из отходов растениеводства / В.Н. Кожурин // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве. – 2006. – № 4. – С. 319 – 324.
4. Стеблинин А.Н. Технология быстрого низкотемпературного превращения растительного сырья в жидкое топливо / А.Н. Стеблинин, И.Э. Миневич // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве. – 2006. – № 4. – С. 345 – 349
5. Золотовская Е.В. Особенности термического разложения частиц биомассы / Е.В. Золотовская // Сборник научных трудов Днепро-дзержинского государственного технического университета. – 2010.- №2.

Получено 17.01.2011г.