

А. А. Макаров, А. Н. Грачев

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА РЕАКТОРА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В РЕЖИМЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АБЛЯЦИИ

Ключевые слова: быстрый пиролиз, реактор абляционного пиролиза.

В статье представлена методика расчета реактора термического разложения органических материалов в режиме механической абляции, которая позволяет, при заданном уровне производительности и известных режимных параметрах процесса, оценить габаритные размеры реактора и подобрать характеристики привода.

Key words: fastpyrolysis, ablative pyrolysis reactor.

The paper presents a method of calculation ablative pyrolysis reactor parameters. It makes possible, for a given capacity and operating parameters, to assess the overall dimensions of the reactor and it's mechanical characteristics.

В настоящее время одними из главных векторов развития отраслей топливно-энергетического комплекса РФ являются переход на путь инновационного и энергоэффективного развития, а также интеграция в мировую энергетическую систему [1]. Для их успешной реализации необходимо привлечь в топливно-энергетический комплекс возобновляемые источники энергии, например, такие как различные отходы растительного сырья: отходы лесопромышленного комплекса (горбыли, щепы, стружка, опил), сельскохозяйственные отходы (отходы элеватора, солома), отходы коммунального хозяйства и другие. Наиболее привлекательным решением для интеграции данного вида ресурсов в существующий ТЭК является технология быстрого пиролиза. Процесс быстрого пиролиза заключается в термическом разложении органических соединений в отсутствие окислителя, при относительно низких температурах 450-550 °С, высокой скорости нагрева 500-1000 °С/сек и незначительном времени пребывания продуктов в реакционном пространстве (до 2-3 с). В результате чего образуются углистый остаток и парогазовая смесь, которая в последствии разделяется на жидкие продукты и неконденсируемый газ [2]. При небольших объемах локальной переработки растительного сырья наиболее эффективной видится термическое разложение в режиме механической абляции. В этом случае происходит механическое удаление (унос) зоны прореагировавшего продукта, что приводит к интенсификации процесса за счет снижения термического и диффузионного сопротивления [2].

Авторами статьи выполнено комплексное исследование по данному вопросу: идентифицирована физическая картина процесса термического разложения в режиме механической абляции [3]; разработано математическое описание процесса [4]; определено влияние скорости смещения, температуры поверхности абляции и давления на образец на скорость термического разложения древесины в режиме механической абляции [5]; определена оптимальная скорость смещения образца древесины относительно поверхности нагрева при которой обеспечиваются

минимальные удельные энергетические затраты на процесс [6]. Однако высокую практическую ценность представляют методики расчета, позволяющие спроектировать аппаратное оформление процесса термического разложения органических материалов в режиме механической абляции. При этом основными параметрами расчета реактора абляционного пиролиза являются производительность, габаритные размеры и необходимая мощность для обеспечения абляции. С использованием результатов проведенных экспериментальных, теоретических и исследовательских работ была разработана установка и реактор абляционного пиролиза [7].

Согласно данной схеме реактор абляционного пиролиза представляет собой горизонтальную обогреваемую цилиндрическую обечайку, в которую помещен ротор с лопатками, обеспечивающими прижим сырья к обечайке реактора (см. рис 1).

Согласно расчетной схеме, производительность реактора, (кг/час) можно определить выражением 1.

$$Pr = U_{\text{терм.разл.}} \cdot S_{\text{пов.}} \cdot K_{\text{зап.}} \cdot \rho_{\text{сырья}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{терм.разл.}}$ - средняя скорость термического разложения (м/с), которую можно определить исходя из температурных режимов и свойств сырья с применением разработанной математической модели термического разложения в режиме абляции [4,5]; $K_{\text{зап.}}$ - коэффициент заполнения реактора, который характеризует отношение объема сырья к рабочему объему кольцевого зазора в реакторе; $\rho_{\text{сырья}}$ - плотность используемого сырья (кг/м³).

Как показали пилотные испытания опытного реактора, достаточно устойчивые режимы работы реактора достигаются при значениях коэффициента заполнения $K_{\text{зап.}}$ до 0,6. При увеличении коэффициента заполнения реактора наблюдается увеличение необходимой мощности на валу ротора вплоть до его заклинивания.

Площадь поверхности термического разложения в выражении (1) можно определить с помощью соотношения:

$$S_{\text{пов.}} = \pi * D * L \quad (2)$$

где L – длина рабочей части реактора, м; D – диаметр камеры реактора, м.

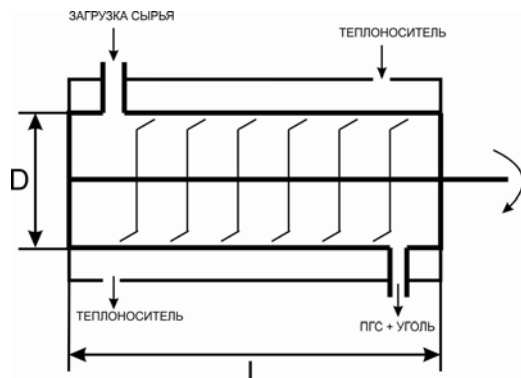


Рис. 1 - Расчетная схема реактора быстрого абляционного пиролиза

Задавшись скоростью скольжения, можно определить необходимое число оборотов ротора по выражению:

$$n = \frac{2 * V_{\text{скол}}}{\pi * D} \quad (3)$$

Скорость скольжения выбирается из условий обеспечения эффективного режима абляции для данного вида сырья в сочетании с разумными энергетическими затратами. Для древесины оптимальное значение скорости абляции составляет 1,43 м/с [6].

В ходе термического разложения пиролизуемое сырье будет контактировать с поверхностью нагрева, и активно прижиматься лопатками за счет их упругой деформации dx в результате затягивания сырья по ходу вращения ротора. При этом распределение сил на сырье можно проиллюстрировать в виде упрощенной схемы представленной на рис.2.

Согласно данной схемы на образец действуют сила реакции опоры (N), давление (P), силы трения ($F_{\text{тр}}$), и тяговое усилие ($F_{\text{тяги}}$).

При этом необходимую мощность на валу ротора можно определить уравнением:

$$N = M_{\text{кр}} * \omega = \frac{M_{\text{кр}} * \pi * n}{30} \quad (4)$$

где $M_{\text{кр}}$ - крутящий момент на валу ротора (Н*м);
 n – частота вращения ротора (об/мин)

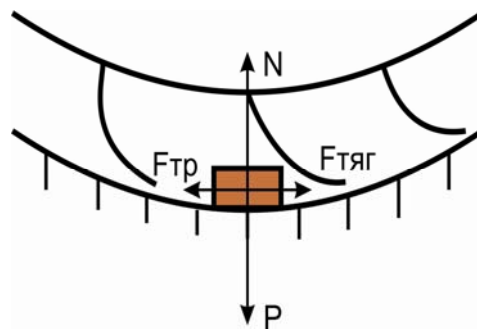


Рис. 2 - Распределение сил на сырье при абляционном пиролизе в реакторе

$$M_{\text{кр}} = \sum_i^n F_{\text{тяги}} * \frac{D}{2} = \sum_i^n k * \Delta x_i * K_{\text{тр}} * \frac{D}{2} \quad (5)$$

где k – жесткость лопатки, которая зависит от конструктивных свойств лопатки, и dx – деформация лопатки в режиме механической активации. Значение dx можно достаточно точно получить путем моделирования напряженно-деформированного состояния в САЕ системах. Коэффициент трения в выражении 5 определялся экспериментально и рекомендуемое значение для инженерной практики составляет 0,15 [2].

Таким образом, разработанная методика позволяет, при заданном уровне производительности и известных режимных параметрах процесса, оценить габаритные размеры реактора и подобрать характеристики привода.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г., № 1715-р.
2. А.Н. Грачев, А.А. Макаров, Р.Г. Хисматов, Р.Г. Сафин, *Лесной журнал*, 4, 116-123 (2009).
3. А.Н. Грачев, А.А. Макаров, Р.Г. Хисматов, В.Н. Башкиров, Международная научно-техническая конференция "Актуальные проблемы развития лесного комплекса" (г. Вологда, 2008 г.). Вологда, 2008. С106-109.
4. А.Н. Грачев, А.А. Макаров, М.К. Герасимов, В.И. Петров // *Вестник Казанского технологического университета*, 4, 50-51 (2012).
5. А.Н. Грачев, А.А. Макаров, Р.Г. Сафин, А.Т. Шаймуллин, *Вестник Казанского технологического университета*, 8, 68-73 (2011).
6. А.Н. Грачев, А.А. Макаров, Р.Г. Сафин, Д.В. Тунцев, Международная научно-техническая конференция «Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-22» (г. Псков, 2009 г.). Псков, 2009. С 41-42.
7. Пат. РФ 2395559 (2009)