

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, щепа, 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. (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];

Кзап.. – коэффициент заполнения реактора, который характеризует отношение объема сырья к рабочему объему кольцевого зазора в реакторе; Rсырья, плотность используемого сырья (кг/м³). Как показали пилотные испытания опытного реактора, достаточно устойчивые режимы работы реактора достигаются при значениях коэффициента заполнения Кзап. 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: (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: (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 схеме на образец действуют сила реакции опоры (N), давление (P), силы трения ($F_{тр}$), и тяговое усилие ($F_{тяги}$). При этом необходимую мощность на валу ротора можно определить уравнением: (4) где $M_{кр}$ - крутящий момент на валу ротора ($N \cdot м$); n – частота вращения ротора (об/мин) Рис. 2 - Распределение сил на сырье при абляционном пиролизе в реакторе (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 CAE 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.