

**Н. Ф. Тимербаев, Р. Г. Сафин, З. Г. Саттарова**

## **УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ, СОДЕРЖАЩИХ ТОКСИЧНЫЕ ВЕЩЕСТВА**

*Ключевые слова: древесные отходы, высокотемпературная переработка, термическая переработка, формальдегид, наикислороженный воздух, зона сушки, камера сгорания, камера газогенерации.*

*Проведен анализ образования древесных отходов. Дано описание разработанной высокотемпературной установки для термической переработки твердых отходов, содержащих токсичные вещества, которая имеет несколько технологических зон. Наличие технологических зон позволяет наиболее эффективно переработать отходы, и обеспечивает экологическую безопасность и максимальную энергоэффективность процесса.*

*Keywords: a wood waste, high-temperature processing, thermal processing, formaldehyde, multioxygen air, a drying zone, the combustion chamber, the gasification chamber*

*The analysis of formation of a wood waste is carried out. The description of the developed high-temperature installation for thermal processing of the firm waste containing toxic substances which has some technological zones is given. Presence of technological zones allows to process most effectively a waste, and provides ecological safety and the maximum power efficiency of process.*

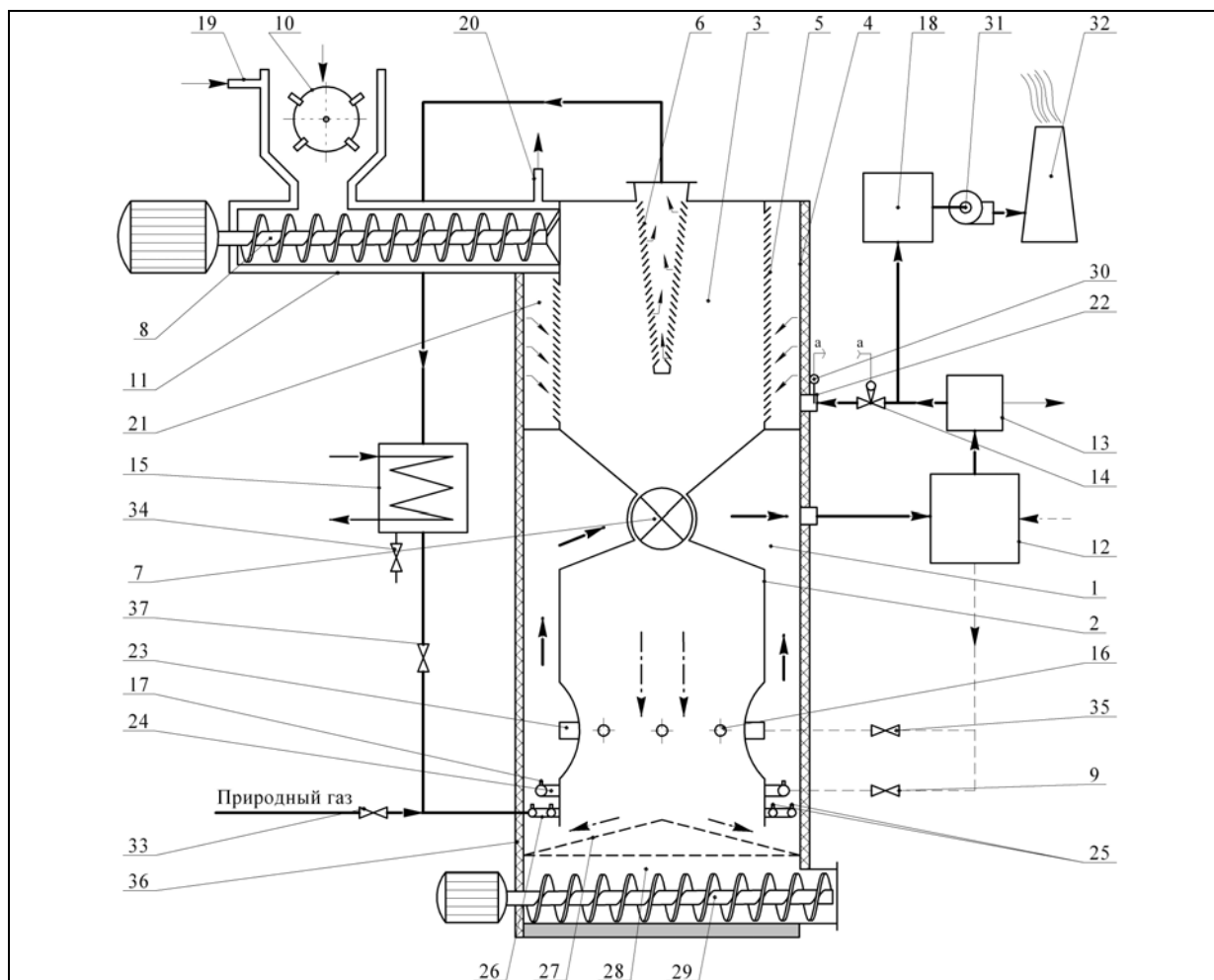
Древесные отходы – технологическая неизбежность любого деревоперерабатывающего производства. В зависимости от специфики производства выход древесных отходов может составлять до 50% от использованного сырья. Известны различные варианты использования и переработки отходов деревообрабатывающих производств. Тем не менее, в целом по отрасли применение находят менее 85% древесных отходов. Это объясняется тем, что вторичная переработка отходов по сравнению с переработкой кондиционного сырья часто связана с дополнительными трудовыми и материальными затратами. И если на крупных предприятиях отходы зачастую используются в качестве технологического сырья для производства плит, целлюлозно-бумажных и гидролизных производств, то на предприятиях с небольшим объемом производства отходы, как правило, вывозятся на свалки, в отвалы, иногда реализуются населению или сельскохозяйственным предприятиям.

Необходимо отметить то обстоятельство, что многочисленные варианты переработки отходов касаются лишь натуральной древесины: кора, обрезки пиломатериалов, стружка, опилки, древесная пыль, обрезки шпона [1]. Но в настоящее время в отрасли продолжает расти удельный вес композиционных древесных материалов: древесностружечных и древесноволокнистых плит, в том числе и облицованных, фанеры и других древесных пластиков. Наличие в частицах этих отходов клея, чаще всего карбамидоформальдегидного и свободного формальдегида исключает возможность их утилизации методом сжигания в черте города, в связи с выделением токсичных веществ [2].

Затвердевший в порах древесных частиц клей ухудшает адгезию их со связующими и клеевыми составами и тем самым исключает возможность их использования для прессования из них изделий склеиванием и в производстве плит, ограничивает их применение в производстве строительных материалов. В связи с этим поиск новых методов переработки отходов предприятий деревоперерабатывающей промышленности остается актуальной задачей.

Известны различные установки термической переработки твердых отходов. Основными недостатками известных установок является использование отходов определенной влажности и неспособность обеспечить полную очистку отходящих газов от вредных токсичных веществ [3]. Существующие установки очистки отходящих газов разработаны для крупных производств, и не рентабельны для небольших предприятий. [4]

С целью решения этой проблемы на кафедре «Переработка древесных материалов» была разработана высокотемпературная установка для термической переработки твердых отходов, содержащих токсичные вещества (рис. 1).



**Рис. 1 - Высокотемпературная установка для термической переработки твердых древесных отходов, содержащих токсичные вещества**

Высокотемпературная установка для термической переработки твердых отходов, содержащих токсичные вещества, использующая наислороженный воздух в качестве окислителя, состоит из печи представляющей собой прямоточную цилиндрическую камеру сгорания 1 с установленной в нее камерой газогенерации 2. Над камерой сгорания 1 расположена зона сушки 3, выполненная в виде цилиндрической обечайки 4 с установленными в нее соосно расположенными перфорированными цилиндрической 5 и конической 6 вставками. Вставки могут быть выполнены в виде жалюзи. Зона сушки 3 и камера газогенерации 2 изолированы друг от друга шлюзовым питателем 7. В верхней части зоны сушки 3 расположена шнековая система подачи твердых отходов 8, с молотковым измельчителем 10 и рубашкой охлаждения 11.

Подача топочного газа из камеры сгорания 1 в зону сушки 3 осуществляется последовательно через рекуперативный теплообменник 12, имеющий возможность подогревать наислороженный воздух до температуры 500 – 600 °С, парогенератор 13 и регулятор расхода 14. Удаление отработанного сушильного агента из зоны сушки 3 и подача его в камеру сгорания 1 осуществляется через коническую вставку 6 и конденсатор 15. Форсунки 16 и 17 для подачи наислороженного воздуха расположены в нижней части камеры

газогенерации 2 и в нижней части камеры сгорания 1 соответственно. После парогенератора 13 установлен мокрый скруббер 18.

Установка функционирует следующим образом.

Твердые отходы сбрасывают в молотковый измельчитель 10, где их измельчают и направляют в шнековую систему 8, откуда отходы подаются в зону сушки 3. Для предотвращения возгорания отходов шнековая система подачи 8 снабжена водяной рубашкой охлаждения 11, где воду подводят через патрубок 19, а отводят через патрубок 20. Сушку осуществляют за счет конвекции отходов топочным газом температурой 200 °С через перфорированную цилиндрическую вставку 5, образующую со стенкой корпуса кольцевой канал 21, в который через патрубок 22 подается топочный газ. Отработанный топочный газ (сушильный агент) отводят через перфорированную коническую вставку 6 и направляют в конденсатор 15 для удаления из него водяных паров.

Высушенные отходы из зоны сушки 3 через шлюзовую питатель 7 подают в камеру газогенерации 2, где в верхней части происходит сухая перегонка с выделением горючих газов и углеродного остатка.

В средней части камеры газогенерации 2 продукты перегонки сжигают в среде наислороженного воздуха, подаваемого через форсунки 16 которые расположены на воздушном поясе 23. При этом углеродный остаток также частично сгорает и прокаливается, что увеличивает процентное содержание углерода в общей массе.

В нижней части камеры газогенерации в зоне восстановления при взаимодействии продуктов сгорания с углеродным остатком образуется высокотеплотворный генераторный газ и зола. Генераторный газ попадает в камеру сгорания 1 и сжигается наислороженным воздухом, подаваемым через коллектор 24 форсунками 17. Так же в камеру сгорания 1 через форсунки 25 коллектора 26 подается высушенный топочный газ, где дожигается наислороженным воздухом. Температура в зоне горения камеры сгорания 1 достигает 2000 °С. Для сокращения теплотерь в окружающую среду камера сгорания теплоизолирована минеральным теплоизолятором 36.

Наислороженный воздух поступает в форсунки 16 и 17 из рекуперативного теплообменника 12, в котором происходит его нагрев до 500-600 °С топочным газом, отходящим из камеры сгорания 1.

Обогрев камеры газогенерации 2 осуществляется кондуктивно за счет топочных газов образованных при сжигании генераторного газа и дожигании топочного газа поступающего через форсунки 25 коллектора 26 из конденсатора 15.

Зола просыпается через колосниковую решетку 27, а затем попадает в бункер 28 и удаляется с помощью шнека 29.

После рекуперативного теплообменника 12 топочный газ направляют в парогенератор 13. Из парогенератора 13 рециркуляционный топочный газ с температурой 200 °С подается в зону сушки 3 через регулятор расхода 14, который снабжен датчиком температуры 30. Часть топочного газа направляют в мокрый скруббер 18, где происходит его очистка и выброс дымососом 31 через трубу отходящих газов 32 в атмосферу.

Начальный прогрев установки осуществляется за счет сжигания природного газа, который поступает в камеру сгорания 1 через вентиль 33 при закрытом вентиле 35, 37 и открытом вентиле 9. Конденсат из конденсатора 15 отводится через вентиль 34.

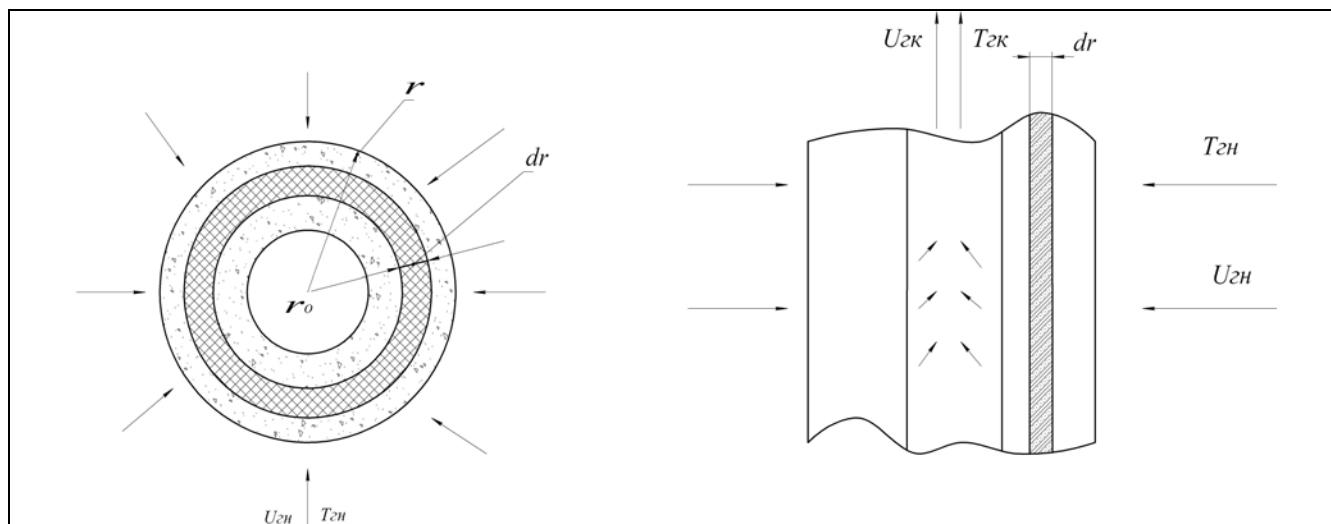
Математическое описание процесса предварительной сушки твердых отходов топочными газами можно записать в виде системы четырех дифференциальных уравнений, описывающих изменение влагосодержания и температуры топочного газа и изменение влагосодержания и температуры по сечению слоя твердых отходов, содержащих токсичные вещества. Физическая картина процесса изменения влагосодержания и температуры отходов и топочных газов представлена на рис.2.

Изменение влагосодержания и температуры топочного газа в камере сушки можно определить из дифференциальных уравнений материального и теплового балансов записанных в следующем виде [5]:

$$\frac{\partial U_r}{\partial \tau} = - \frac{j \cdot f}{\rho_0(1-\varepsilon)L_0} B_0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_r}{\partial \tau} = \frac{q}{c_r \rho_{0r} \varepsilon} f \quad (2)$$

где  $U_r$  – влагосодержание топочного газа, кг/кг;  $j$  – поток вещества, кг/( $m^2 \cdot c$ );  $f$  – удельная поверхность,  $m^2/m^3$ ;  $\rho$  – плотность слоя,  $kg/m^3$ ;  $\varepsilon$  – порозность слоя,  $m^3/m^3$ ;  $B$  – массовый расход топлива кг/с;  $L$  – массовый расход газа, кг/с;  $q$  – удельный тепловой поток, Дж/кг·с.



**Рис. 2 - Схема подачи теплоносителя и расположение материала в камере**

Изменение влажности и температуры слоя твердых отходов в элементарном слое материала толщиной  $dR$  в зоне сушки при отсутствии общего градиента давления и фазовых превращений можно определить с помощью дифференциальных уравнений теплопереноса и переноса энергии соответственно [6]:

$$\frac{\partial U_M}{\partial \tau} = \frac{1}{r^R} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^R a_m \frac{\partial U_M}{\partial r} + r^R \delta a_m \frac{\partial T_M}{\partial r} \right); \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_M}{\partial \tau} = \frac{\alpha \cdot f}{c \cdot \rho \cdot \varepsilon} (T_M - T_r) - \omega_R \frac{\partial T}{\partial r}, \quad (4)$$

где  $U_M$  – влагосодержание материала, %;  $r$  – координата, м;  $R$  – параметр, зависящий от формы частиц;  $a_m$  – коэффициент массопроводности,  $m^2/c$ ;  $\delta$  – термоградиентный коэффициент %;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/( $m^3 \cdot K$ );  $T$  – температура  $^{\circ}C$ ;  $c$  – удельная теплоёмкость Дж/кг·К,

Для решения системы уравнений (1)–(4) необходимо определить условия однозначности и коэффициенты данных уравнений. Начальные условия для выражений (1)–(4) запишутся соответственно в виде:

$$U_r(0) = U_{гн} \quad (5)$$

$$T_r(0) = T_{гн} \quad (6)$$

$$U_M(x, 0) = U_{мн} \quad (7)$$

$$T_M(x, 0) = T_{мн} \quad (8)$$

Граничные условия для выражения (3) и (4) запишутся в виде соотношений:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} = \alpha (T_r - T_M); \quad (10)$$

$$j = \beta_p (p_n - p_{cp}) = \rho_0 a_m \left( \left. \frac{\partial U_m}{\partial r} \right|_{r=R} + \delta \left. \frac{\partial T_m}{\partial r} \right|_{r=R} \right), \quad (9)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $p$  – парциальное давление, Па;  $\beta$  – коэффициент массоотдачи, м/с.

Моделирование процесса сушки позволяет выбрать оптимальную конструкцию зоны сушки.

В целом, разработанная установка позволяет повысить эффективность процесса термической переработки твердых отходов содержащих токсичные вещества за счет предварительной сушки отходов и удаления влаги из них организацией рециркуляции топочного газа, а также кондуктивным подводом тепла из зоны сжигания генераторного газа в зону газогенерации.

### Литература

1. Сафин, Р.Р. Анализ современного состояния лесопромышленного комплекса и перспективы его развития на базе кафедр лесотехнического профиля КГТУ / Р.Г. Сафин, Р.Р. Сафин // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. – №4. – С. 120-130.
2. Огородников, С.К. Формальдегид / С.К. Огородников. - Л.: Химия, 1984. – 280 с.
3. Сафин, Р.Р. Математическое моделирование процесса пиролиза древесины при регулировании давления среды / Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, И.А. Валеев // Вестник МГУЛ. – 2005. – №2. – С. 168-174.
4. Тимербаев, Н.Ф. Очистка топочных газов энергетических установок работающих на твердых отходах / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, А.Р. Садрtdинов // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. - №11. – С. 247 - 251.
5. Тимербаев, Н.Ф. Повышение эффективности энергетического использования древесных отходов: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Казанский государственный технологический университет. – Казань, 2007. – 133 с.
6. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков [и др.] – М.: «Энергия», 1968. – 472 с.

---

© **Н. Ф. Тимербаев** - канд. техн. наук, доц. каф. переработки древесных материалов КГТУ, tna1@rambler.ru; **Р. Г. Сафин** - д-р техн. наук, проф., зав. каф. переработки древесных материалов КГТУ, safin\_rg@kstu.ru; **З. Г. Саттарова** – магистр КГТУ.