

УДК 662.711

Ю.Л. Юрьев, В.П. Орлов, С.А. Панюта, Т.В. Штеба

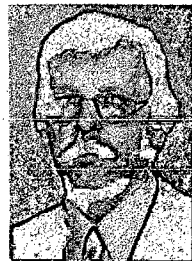
Юрьев Юрий Леонидович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой химической технологии древесины Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет 65 печатных работ в области технологии получения и переработки древесного угля, технологии растительных биоактивных препаратов.



Орлов Владимир Петрович родился в 1937 г., окончил в 1959 г. Уральский политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии древесины Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет 58 печатных работ в области гидродинамики и тепломассообмена при сушке и обжиге дисперсных материалов, очистке газов.



Панюта Сергей Алексеевич родился в 1956 г., окончил в 1978 г. Уральский политехнический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Уральского научно-исследовательского химического института. Имеет 32 печатные работы в области термической активации минеральных и органических материалов.



Штеба Татьяна Валерьевна родилась в 1965 г., окончила в 1988 г. Уральский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры химической технологии древесины Уральской государственной лесотехнической академии. Имеет 12 печатных работ в области технологии получения и переработки древесного угля.

**ПРОБЛЕМЫ АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ
В АКТИВНЫЕ УГЛИ**

Предложена технология переработки измельченной древесины на активные угли, включающая комбинированную сушилку, реторту с внешним обогревом и печь активации с z-образной вставкой; приведены характеристики оборудования для активации древесного угля.

Российская технология активных древесных углей имеет ряд особенностей, мешающих ей конкурировать с зарубежными производителями аналогичной продукции. Ее идеология основана на переработке кусковой древесины в древесный уголь и последующем его использовании. Именно с этим связаны такие отрицательные характеристики производства, как низкая удельная производительность оборудования, высокая энергоемкость и экологическая опасность.

Технология производства древесных активных углей включает три основные операции – сушку древесины, пиролиз высушенной древесины и активацию древесного угля.

Влажность древесины, поступающей из сушилки на пиролиз, является одним из основных факторов, определяющих производительность аппаратов для производства древесного угля. В зависимости от типа аппарата на пиролиз обычно подается древесина влажностью 10 ... 25 %. Повышение влажности ведет к увеличению удельного расхода теплоносителя и себестоимости получаемого древесного угля, тепловорная способность парогазовой смеси при этом снижается.

Применяемая технология измельченной древесины характеризуется низкой удельной производительностью аппаратов.

Существующие варианты конвективной сушки в пневматических, аэрофонтанных, барабанных сушилках и сушилках с псевдооживленным слоем в той или иной степени решают проблему обезвоживания древесины исходя из технологических потребностей. Сушка до критической влажности не вызывает затруднений, однако при достижении влажности 5 ... 10 % процесс переходит во внутридиффузионную область и скорость сушки резко снижается.

Использование пневматической трубы-сушилки для этих целей приводит к неоправданно большим длинам труб (30 ... 50 м) из-за малого времени пребывания материала в аппарате. При этом увеличивается гидравлическое сопротивление аппарата, т. е. возрастают энергозатраты и металлоемкость. Гораздо чаще для глубокой сушки измельченной древесины применяют аэрофонтанные сушилки, в которых благодаря циркуляции частиц создаются благоприятные условия для проведения внутридиффузионной стадии. Однако в многокамерных аэрофонтанных сушилках невозможно получить одинаковый гидродинамический режим работы в каждой камере, поскольку в связи с падением температуры теплоносителя снижается скорость в горловине, падает скорость сушки и удельный влагосъем. Таким образом, применение простых некомбинированных сушилок для глубокой сушки измельченной древесины не позволяет в полной мере использовать их потенциал, а именно высокую скорость удаления физической влаги в пневматической сушилке и значительное время пребывания частиц в аэрофонтанной сушилке.

Таблица 1

Показатели	Значения показателей для разных установок		
	Труба-сушилка	Аэрофонтанная	Комбинированная
Характеристики установки:			
удельный влагосъем, кг/(м ³ · ч)	80	120	240/80
объем, м ³	2,43	1,62	0,65/0,48
длина, м	34,0	8,5	9,2/2,5
диаметр, м	0,40	0,35	0,40/0,40
Параметры теплоносителя:			
а) температура, °С:			
на входе	600	400	600/250
на выходе	100	100	250/100
б) расход, кг/с			
	0,32	0,54	0,54
в) скорость, м/с			
	10	10	10/8

Примечание. В числителе приведены данные для части, относящейся к трубе-сушилке, в знаменателе – к аэрофонтанной сушилке.

Сравнительный расчет процесса сушки измельченной древесины в трех типах сушилок (труба-сушилка, аэрофонтанная и комбинированная (труба-сушилка и аэрофонтанная сушилка)) представлен в табл. 1. При этом температура теплоносителя 250 °С выбрана как промежуточная при переходе трубы-сушилки в корпус аэрофонтанной сушилки.

Как видно из данных табл. 1, по всем показателям (удельный влагосъем, общий объем сушилки, размеры) комбинированная сушилка более предпочтительна. На первом этапе сушки (труба-сушилка) в ней осуществляется интенсивное удаление поверхностной влаги, а на втором (конус аэрофонтанной сушилки) – благодаря значительному времени пребывания частиц протекает внутридиффузионная стадия процесса.

Важный момент при расчете комбинированных сушилок – прогнозирование рабочих параметров на входе во вторую ступень сушки. При расчете коэффициента массоотдачи в первом периоде сушки нами использовалось критериальное уравнение

$$Nu = 0,62 Re^{0,5}_{\text{внт}}$$

Данные, полученные по этому уравнению, дают хорошее совпадение с экспериментальными для частиц размером 1,5 ... 2,0 мм (опил) и 4,0 × 5,0 × 0,3 мм (стружка). Рабочая скорость, входящая в критерий Рейнольдса, назначалась исходя из характеристик промышленного оборудования (8 ... 9 м/с). По линейному падению влагосодержания в первом периоде сушки была рассчитана влажность материала на входе во вторую ступень при различной длине рабочей зоны сушки в трубе-сушилке. Показано, что при длине трубы (от места ввода теплоносителя) 4 ... 5 м относительная влажность материала снижается с 42 ... 46 % до 22 ... 24 %, т. е. приближается к критической влажности для древесины (≈ 20 %). Таким образом, было подтверждено линейное изменение влагосодержания в первом периоде суш-

ки при значительном диапазоне изменения влажности, поэтому найденное эмпирически расстояние от ввода теплоносителя до второй ступени сушки (5 ... 6 м) подтверждено расчетом. Следует отметить, что нижний узел сушильного агрегата (труба-сушилка) выполняет роль питателя для верхней части (конус аэрофонтанной сушилки).

Следующим этапом расчета является прогнозирование параметров сушки между конусами аэрофонтанной сушилки (если по расчету их число более одного). В этом случае могут быть использованы лишь опытные данные, поскольку скорость сушки во втором периоде не имеет надежного математического описания.

Рассматриваемая модель комбинированной сушилки была рассчитана и изготовлена для одного из производств, использующего в технологии высушенную щепу. Производственные показатели изготовленной сушилки показали хорошую сходимость с расчетными. Комбинированная сушилка, как мы и предполагали, способна стабильно высушивать материал до влажности значительно ниже критической при высокой величине удельного влагосъема.

В настоящее время на пиролизных заводах существует ряд проблем, связанных с сжиганием парогазовой смеси. Так, из-за большого содержания воды и разбавления инертным носителем при конвективном обогреве реторты теплотворная способность парогазовой смеси невысока, что не гарантирует устойчивого процесса ее сжигания. По технологии, разработанной на кафедре ХТД, предлагается проводить пиролиз древесной щепы при кондуктивном подводе тепла, что обеспечивает получение концентрированной парогазовой смеси, не требующей подсветки при сжигании. С уменьшением влажности древесины, поступающей из сушилки, состав образующейся при пиролизе парогазовой смеси изменяется в сторону увеличения содержания смол и неконденсирующихся газов, что в свою очередь приводит к увеличению теплотворной способности парогазовой смеси. По нашему мнению, применение именно кондуктивного обогрева реторты для пиролиза измельченной древесины дает возможность получения парогазовой смеси, имеющей стабильную и достаточную теплотворную способность даже после выделения из нее пиролизной смолы. Известно, что ценность пиролизной смолы как химического сырья выше, чем топлива. Обессмоливание парогазов (без проведения конденсации) целесообразно и тем, что дает возможность получить парогазовую смесь, не забивающую коммуникации и удобную для сжигания.

При пиролизе щепы образуется мелкий древесный уголь, не соответствующий стандарту по фракционному составу. В качестве твердого восстановителя такой уголь имеет крайне ограниченную сферу применения. В то же время он является более удобным сырьем для получения активных углей, чем уголь из кусковой древесины, так как пиролиз щепы значительно легче поддается управлению, а свойства угля из щепы более стабильны, чем угля из кусковой древесины. Реализация этих преимуществ, по нашему мнению, может существенно усилить конкурентоспособность отечественных актив-

ных древесных углей. К сожалению, в настоящее время в России нет ни одного промышленного предприятия, производящего активные угли из щепы.

Аппаратурное оформление процесса активации углей достаточно многообразно. Наиболее широко используемые аппараты для данного процесса – печи кипящего слоя, шахтные и барабанные печи конвективного типа. Все они дают возможность реализовать требуемые технологические условия при высокой интенсивности процесса. Однако они имеют существенный недостаток – высокий удельный расход пара, что является следствием разбавления пара теплоносителем и малой доли твердой фазы в системе газ–твердое. Коэффициент заполнения аппаратов не превышает 10 ... 15 %, в противном случае получают продукт неравномерного качества.

Для обеспечения значительной скорости процесса активации в слое карбонизированного материала необходимо создать достаточно высокую концентрацию активирующих паров. В вышеупомянутых аппаратах их удельный расход слишком велик – от 10 до 30 т пара на тонну продукта, что в несколько раз больше теоретического. Это приводит к увеличению себестоимости активных углей.

Наиболее рациональным аппаратом, удовлетворяющим всем требованиям процесса активации, является вращающаяся печь барабанного типа с зигзагообразными вставками, обеспечивающими эффективный теплообмен в системе газ–твердое. Аппараты данного типа разработаны УНИХИМом и уже более 15 лет эксплуатируются на 6 предприятиях химической промышленности; они защищены 9 патентами и авторскими свидетельствами и имеют следующие достоинства:

- интенсивный теплообмен за счет перемешивания как в радиальной, так и в осевой плоскости;
- минимальный разброс по времени пребывания частиц;
- отсутствие разбавления паров теплоносителем;
- высокий коэффициент заполнения зигзагообразных каналов (40 ... 50 %);
- небольшой пылеунос.

Кроме того, для данного процесса эти аппараты имеют дополнительное технологическое преимущество – самопроизвольное пульсирующее давление пара в зигзагообразной вставке, значительно интенсифицирующее процессы теплопереноса. Пульсирующее давление с определенной частотой возникает благодаря конструкции зигзагообразных каналов, т. е. без использования дополнительных технологических приемов и устройств. Особенностью зигзагообразных каналов является возможность при коэффициенте заполнения 30 ... 50 % образовывать гидрозатворы между зигзагами канала в определенном, а именно, вертикальном положении при его вращении. При изменении положения канала давление стравливается, минимальное давление в канале отмечено при его горизонтальном положении.

В 1991–1995 гг. УНИХИМом и УГЛТА проведено опробование аппаратов с зигзагообразными вставками для процесса активации угля, подтвердившее их преимущества в плане значительного сокращения удельного

Таблица 2

Конструкция аппарата	Режим активации	Обгар, %	Объем микропор, см ³ /г	Расход пара, т/т продукта	
				теоретический	экспериментальный
Печь КС	$t = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\alpha < 10\%$	14...50	0,25...0,39	0,35...2,00	10,00...30,00
Шахтная печь	$t = 800...950\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\alpha < 7\%$	21...76	0,33...0,40	0,54...6,30	5,90...10,50
Барабанная печь	$t > 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\alpha < 15\%$	15	0,23...0,29	0,36	10,00
Печь со вставкой	$t = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 50\%$	15	0,25	0,36	0,46
»	$t = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 50\%$	40	0,29	1,34	1,70
»	$t = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 50\%$	15...25	0,25...0,29	0,36...0,6	0,46...0,86
»	$t = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\alpha = 50\%$	50...81	0,25...0,29	1,00...4,26	1,80...5,00

Примечания. 1. t – температура активации, α – коэффициент заполнения аппарата. 2. Строки 1, 3 – древесный уголь, 2 – каменный уголь, 4, 5 – лиственный древесный уголь, 6 – хвойный древесный уголь, 7 – бурый уголь.

расхода пара. В табл. 2 приведены экспериментальные данные по влиянию конструкции аппаратов на характеристики процесса активации углей различного происхождения.

Как видно из табл. 2, печи со вставкой имеют значительно меньший удельный расход пара при сходном качестве продукта.

На основе исследований разработан проект получения активных углей марок БАУ и ОУ до 1000 т/год. Проведенные технико-экономические расчеты показали высокую эффективность новой технологии.

Yu.L. Yurjev, V.P. Orlov, S.P. Panyuta, T.B. Shteba

Problems of Hardware Registration of Milled Wood Processing into Activated Carbon

The technology for milled wood processing into activated carbon is offered, which comprises the combined kiln, retort with external heating and activation furnace with z-insert. The characteristics of the equipment for charcoal activation are given.