

Современная цивилизация опирается на активное потребление энергии ископаемых сырьевых ресурсов во всех сферах жизнедеятельности. Каждый продукт на рынке имеет в своей стоимости существенную долю затрат на энергию. Энергоёмкость является ключевой проблемой для российской экономики в течение всего периода экономических реформ. В настоящее время экономика России потребляет более 500 г нефтяного эквивалента на каждый доллар ВВП, оценённого по паритету покупательной способности (или свыше 1,5 кг нефтяного эквивалента на каждый реальный доллар ВВП). Для сравнения: в большинстве развитых и развивающихся экономик этот показатель находится в пределах 0,1-0,2 кг н. э./долл. по шкале реального ВВП. Разница является фактически десятикратной [1]. Кроме того в РФ около 70 % территории с населением более 10 млн. человек относится к зоне децентрализованного энергоснабжения, где генерация электрической энергии осуществляется преимущественно с использованием электростанций на базе ДВС сжиганием завозного жидкого топлива. При этом на транспортировку топлива затрачивается в некоторых случаях до 50 % энергии топлива. Согласно данным энергетической стратегии РФ до 2030 г, износ основных фондов топливно-энергетического комплекса в электроэнергетике и газовой промышленности составляет почти 60 % [2]. В сочетании с низкой активностью инвесторов и недостающих более чем на половину инвестиций в топливно-энергетический комплекс РФ энергетическая безопасность страны ставится под угрозу. В связи с этим, при значительно более низкой, чем в странах ЕС, стоимости энергоносителей для российских тепловых станций (на 34,7% ниже европейской) стоимость электроэнергии для средних промышленных потребителей у нас выше на 25%. С 2011 года цены на электроэнергию для предприятий в России обогнали цены в США на 17 % [1]. В связи с вышеизложенным для России все более актуальной становится проблема вовлечения местных видов топлива в энергетический баланс с одновременным развитием технологий малой генерации тепловой и электрической энергии [3]. К местным видам топлива можно отнести ресурсы биомассы, торфа, отходов сельскохозяйственных и лесопромышленных предприятий, часть отходов предприятий коммунального хозяйства, бурые угли. Одним из наиболее специфичных для РФ и мира в целом возобновляемым ресурсом является биомасса растений. Потенциал биомассы, как химического аккумулятора солнечной энергии с минимальными капитальными вложениями колоссален (см. рис 1). Квалифицированное устойчивое использование ресурсов биомассы позволит полностью перекрыть текущее мировое энергопотребление. Однако, несмотря на значительный потенциал, техническое использование биомассы в области генерации энергии весьма затруднительно по ряду причин. Во-первых, биомасса имеет низкую энергетическую плотность и рассредоточена по территории, что сопряжено с дополнительными затратами по ее сбору и

транспортировке. Во вторых, нестабильный гранулометрический состав и физические свойства приводят к неустойчивости топочных процессов, в особенности, при промышленных масштабах генерации. В-третьих, гидрофильность и биологическая активность биомассы накладывает специальные требования для хранения. При отрицательных температурах, характерных для России, происходит смерзание топлива. Все эти причины сдерживают активное использование биомассы в энергетике [4].

Рис. 1 - Мировой энергетический баланс биомассы растений

На практике существует ряд термохимических процессов, которые позволяют более эффективно использовать древесные отходы. Наряду с пиролизом и газификацией можно выделить и торрефикацию. Торрефикация это процесс термической обработки древесины, обычно при температуре 300-375 0C, в нейтральной либо восстановительной среде, в результате которой происходит изменение надмолекулярной структуры лигноцеллюлозного комплекса с улучшением топливных свойств. В процессе торрефикации происходит отщепление боковых цепей полисахаридов и частичное разложение пентозанов. В результате этого, увеличивается теплота сгорания, а, следовательно, и энергетическая ценность древесины, снижается ее равновесная влажность, а также приобретает гидрофобность за счет структурных изменений. Также у торрефицированной древесины выше биологическая стойкость и способность к измельчению (см. табл. 1).

Таблица 1 - Свойства торрефицированной древесины

Торрефицированная древесина	Древесина	Внешний вид	Теплота сгорания, МДж/кг	Влажность, %	Затраты на измельчение, кВт*ч/т (200 мкм)	Биостойкость	Устойчива	Неустойчива	Влагостойкость	
Гидрофобная (не впитывает влагу)	Гидрофильная (впитывает влагу)	Плотность топливных гранул	0,55-0,75	0,75-0,85	Основной целью процесса торрефикации является обеспечение наибольшего содержания энергии в твердой фазе - торрефикате, что осуществляется путем нагрева исходного сырья до температуры не выше 375 0C, температуры активного разложения целлюлозы. Тем не менее, осуществление процесса при температуре нагреваемой среды ниже данной температуры, торрефикация происходит в течение сравнительно длительного времени (более 1 часа). В данном аспекте интересной видится идея торрефикации древесины при незначительных по продолжительности воздействиях, возможно чередующихся, с более высокой температурой процесса с последующей релаксацией температурного поля, и, как следствие, интенсификацией процесса. Понятно, что в данном случае характеристики получаемого торрефиката будут неравномерно распределены по толщине частицы, но, тем не менее, интенсификация процесса играет важное практическое значение. С целью определения технологических параметров процесса термического разложения древесины в режиме торрефикации при более высоких температурах, характерных для процесса пиролиза (5500C), были	300	1600	Устойчива	Неустойчива	Влагостойкость

проведены исследования процесса на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 2. Рис. 2 - Схема установки по исследованию процесса торрефикации Установка включает в себя систему герметичной загрузки сырья 1, состоящую из накопительного бункера и системы заслонок; цилиндрического реактора шнекового типа 2; сборника торрефиката 3 и системы отвода парогазовой смеси. Эксперимент осуществлялся следующим образом. Древесное сырье загружалось в бункер 1, затем порциями подавалось в нагретый до температуры 550 0C реактор, где выдерживалось заданное время, после чего выгружалось в герметичный сборник продуктов 3. Причем продолжительность пребывания сырья в реакторе регулировалась частотой вращения ротора и составляла от 2 до 300 с. Образующаяся ПГС отводилась из зоны реакции и утилизировалась. Задача исследований состояла в определении требуемой продолжительности пребывания исходного сырья в реакторе для обеспечения торрефикации и удержании в твердой фазе максимальной энергетической ценности продуктов, в сочетании с возможностью брикетирования без связующего. В качестве исходного сырья использовались опилки, полученные из древесины сосны, влажностью 8% (абс.) с эквивалентным диаметром 1,5-2 мм. Продолжительность пребывания регулировалась путем изменения частоты вращения вала и рассчитывалась с помощью зависимости, представленной на рис.3, которая показывает, что с увеличением частоты вращения, продолжительность пребывания сырья в реакторе снижается. В таблице 2 и на рис. 4 представлены результаты проведенных исследований. Как видно из рис. 4 при увеличении продолжительности пребывания сырья в реакторе увеличивается содержание нелетучего углерода, а содержание воды и летучих веществ уменьшается. Также необходимо отметить, что при продолжительности выдержки сырья в реакторе более 90-100 с содержание нелетучего углерода составляет более 68%. Такой продукт, согласно ГОСТ 7657-84 [5], является древесным углем. Содержание нелетучего углерода в торрефикате при обеспечении брикетирования без связующего должно составлять не более 43%, что соответствует продолжительности пребывания сырья в данном реакторе 30 сек. Также следует отметить, что в данном диапазоне торрефикации зольность существенно не меняется Рис. 3 - Зависимости продолжительности пребывания сырья в реакторе от частоты вращения ротора Таблица 2 - Результаты исследований

Продолжительность выдержки, с	Содержание воды, %	Содержание летучих веществ	Содержание нелетучего углерода	Удельная Тепл. сгор., МДж/кг
0	8,73	0,27	18,626	30
1	0,55	0,43	24,309	60
0,9	0,44	0,55	31,617	120
0,8	0,25	0,74	31,709	180
0,8	0,19	0,80	31,781	240
0,7	0,18	0,82	31,790	300
0,5	0,13	0,86	31,791	

Рис. 4 - Зависимость содержания воды, нелетучего углерода и летучих веществ в твердых продуктах от продолжительности выдержки в реакторе Таким образом, в результате проведенных исследований была доказана возможность получения торрефиката

в горизонтальном шнековом реакторе в интенсивных режимах.