

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Александр Редько, Юрий Пивненко

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Адрес: Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40

E-mail: tgytver@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены проблемы применения древесных отходов в качестве топлива. Получены экспериментальные и теоретические результаты исследований гидравлических режимов кипящего слоя различных материалов.

Ключевые слова: Кипящий слой, первая критическая скорость, вторая критическая скорость, древесные отходы, псевдоожигание.

ВВЕДЕНИЕ

Применение альтернативных источников энергии, в частности, биотоплива в Украине является основным стратегическим направлением развития энергетики. Государство обладает большим потенциалом биоресурсов, таких как отходы лесоперерабатывающей и сельскохозяйственной промышленности.

По данным Государственного агентства земельных ресурсов Украины площадь, покрытая лесной растительностью страны составляет 9683,3 тыс. га.

Одним из важнейших аспектов устойчивого развития человечества является решение проблемы предотвращения глобального изменения климата.

Предотвращение глобального изменения климата базируется на сокращении использования ископаемых источников энергии – каменного и бурого угля, нефти и (в меньшей степени) газа. В то же время применение в качестве источника энергии воспроизводимого сырья – древесины не приводит к парниковому эффекту, так как количество углекислоты, которая выделяется при горении равна тому количеству, которое поглотило дерево в процессе фотосинтеза.

Древесина является одним из старейших источников топлива, известных человеку. Его использование переживает что-то вроде ренессанса, со все большим пониманием необходимости сокращения нашей зависимости от ископаемых видов топлива в пользу возобновляемых альтернатив, как важный элемент в борьбе с изменениями климата.

Древесные отходы подразделяются на первичные и вторичные отходы. Первичные отходы – это отходы, образующиеся при рубке деревьев, вторичные – отходы деревообработки [9].

Ниже приведен технический потенциал лесной биомассы Украины состоянием на 2008 г. (Табл. 1).

Наибольшее беспокойство с точки зрения воздействия на окружающую среду и здоровье человека вызывают твердые частицы, удаляемые с дымовыми газами. Для улавливания твердых частиц устанавливают систему газоочистки.

Таблица 1. Технический потенциал лесной биомассы в Украине [14]

Table 1. Technical potential of wood biomass in Ukraine

Тип биомассы	Технический потенциал	
	МДж·10 ⁻⁹	т·10 ⁻⁶
Стволовая древесина	49,95	2,79
Первичные древесные отходы	22,63	1,41
Вторичные древесные отходы	16,50	0,92
Суммарное количество	89,08	5,12

Деревья и другие зеленые растения способны производить новую биомассу в результате фотосинтеза. В этом процессе участвуют солнечный свет, вода, минеральные вещества почвы и углекислый газ (CO₂). Процесс горения с выделением углекислого газа является одним из элементов нормального природного круговорота. Пожары и естественное горение обширных лесных массивов являются одним из компонентов динамики лесных экосистем во всех регионах земного шара.

Образование ископаемого топлива происходило в ходе геологических процессов глубоко под землей в течение миллионов лет. Хотя ископаемое топливо также имеет растительное происхождение, его нельзя отнести к возобновляемым источникам энергии из-за медленного процесса образования такого топлива. Неизбежным является истощение запасов ископаемого топлива, в особенности запасов нефти [16].

Наиболее приспособленными для утилизации древесных отходов различного происхождения являются топки с кипящим слоем [3, 4, 5, 12, 13, 17].

Механизм работы аппаратов с кипящим слоем следующий: воздух или газ равномерно проходит через слой измельченных твердых частиц, на низких скоростях слой неподвижен. С повышением скорости частицы входят во взвешенное состояние,

принимают вид кипящего слоя. Далее, при дальнейшем повышении скорости наблюдается унос частиц.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Древесные отходы можно разделить по эффективности их использования на 5 групп (Табл. 2).

Таблица 2. Классификация древесных отходов
Table 2. Classification of wood waste

Группа	Тип древесных отходов
I группа.	Крупные древесные отходы. Использование в качестве топлива невозможно или весьма усложнено. Пни, кора, горбыль, рейка, торец, сучки и др.
II группа.	Древесные отходы повторного использования. Использование весьма сложное. Древесина сносимых зданий, строительная упаковочная.
III группа.	Материал прошел обработку, а именно дробление. Готов к использованию Отходы лесопильных производств (щепа)
IV группа.	Отходы деревообработки. Материал не требует дополнительной обработки перед его использованием. Стружка, опилки и др.
V группа.	Подготовленное древесное топливо. Гранулы (паллеты, брикеты).

Так, в первой группе можно отметить очень существенные сложности использования данных отходов: сложность транспортировки, низкая эффективность сжигания. Большинство топочных устройств не приспособлены к сжиганию крупных древесных отходов.

Главным недостатком второй группы древесных отходов является их не экологичность. Как правило сырье данной группы имеет пропитку, краску и другие включения (металл, стекло, пластик и др.).

Третья группа характеризуется тем, что крупные отходы проходят дробление, поэтому эффективность их сжигания будет значительно выше чем у второй группы.

Четвертая группа отходов – это мелкие отходы деревообрабатывающего производства (вторичные отходы), их можно подавать в топку без дополнительной обработки.

Пятая группа – это прессованные древесные отходы. Теплотворная способность такого топлива выше, чем у не обработанных отходов, но при этом цена также выше.

Подготовленное топливо (прессованные, сушеные гранулы - паллеты) имеет большую плотность, поэтому оно не требует инертного материала, что позволит повысить теплообмен в слое.

Для производства паллетов наиболее широко применяют цилиндрические матричные прессы (Рис. 1), много режущих – плоскоматричные (Рис. 2). В ходе прессования материал нагревается, лигнин размягчается и валками продавливается через конические отверстия матрицы. [16]



Рис. 1. Цилиндрический матричный пресс
Fig. 1. Cylindrical matrix press



Рис. 2. Плоскоматричный пресс
Fig. 2. Flat matrix press

Изготовление паллетов состоит из 4 этапов:

1. Сушка сырья. Влажность сырья для паллетов зависит от условий хранения. Поскольку обычно сырье хранится под открытым небом, то до прессования его необходимо высушить до требуемого уровня влажности (12–17%). Слишком сухой материал может

оплавиться, слишком влажный не позволит частицам склеиться.

2. Измельчение сырья. Сырье для производства паллетов (опилки и стружки) неоднородны по размеру. Перед прессованием сырье необходимо гомогенизировать и этого обычно применяют молотковые мельницы.
3. Прессование паллетов матричными прессами.
4. Охлаждение. Паллеты выходят из пресса горячими, и во избежание самовозгорания их следует до складирования охладить.

При использовании древесных отходов в качестве топлива приходится сталкиваться с некоторыми проблемами.

Основным недостатком древесного топлива является трудность в транспортировке. Как отмечено в [21] транспортирование неподготовленной биомассы экономически целесообразно на расстоянии не более 50-100 км. Очевидно, что строительство объекта по использованию древесного топлива должно располагаться в непосредственной близости от лесоперерабатывающего производства.

В обычных ТЭЦ, топливо подготавливается в соответствии с требованиями и характеристиками топок и котельных установок. Топки котлов разработаны с учетом характеристик и параметров поставляемого топлива. Поставка топлива происходит по договорам, таким образом гарантируется поставка топлива. В случае с биомассой таких соглашений не существует, так как рынок биомассы неорганизован.

Топливо из биомассы – не регулируемый товар, доступен на открытом рынке, что делает цену очень динамичной.

Другой проблемой применения древесных отходов в качестве топлива является трудность их сжигания. Процесс горения древесины намного сложнее чем горение ископаемого топлива. Влажность материала, большая зольность, неоднородный фракционный состав – главные характеристики, понижающие эффективность сжигания древесного топлива.

Насыпная плотность древесных отходов существенно зависит от влажности (Табл. 3).

Ниже приведены значения зольности различных частей деревьев разных пород (Табл. 4):

Таблица 4. Распределение золы в частях дерева [11]
Table 4. Distribution of parts of wood ash

Часть дерева	Количество золы в абсолютно сухой массе древесины, %
Ствол	0,2-0,7
Кора	1,4-2,7
Ветви, сучки, корни	0,3-0,7

Значительные отличия в фракционном составе древесных отходов стали причиной создания разных топочных устройств для их утилизации.

Существуют три способа сжигания древесины: слоевой, факельный, вихревой.

Слоевые топки подразделяются на топки с плотным слоем и топки с кипящим слоем.

Самым перспективным методом сжигания древесного топлива является сжигание его в топках с кипящим слоем.

Таблица 3. Насыпной вес древесных отходов [11]
Table 3. Bulk density of wood waste

Наименование отходов	Характеристика отходов	Влажность, %	Насыпная плотность, кг/м ³
Щепа и дробленка	Влажная	50-60	200-350
	Сухая	18-20	130-180
Стружки мелкие	Сухие естественной насыпки	16-18	100-105
	Сухие утрамбованные	16-18	210
Опилки крупные	Влажные естественной насыпки	50-60	170
	Влажные утрамбованные	50-60	260
	Сухие естественной насыпки	8-10	100
	Сухие утрамбованные	8-10	150
Опилки мелкие	Влажные естественной насыпки	50-60	190
	Сухие естественной насыпки	8-10	115
	Сухие утрамбованные	8-10	160
Древесная пыль	Хвойных пород	15	150-200
	Твердых лиственных пород	15	460

Реконструкция существующих котлов работающих для сжигания низкосортных топлив показывает свою перспективность [1, 8, 18, 20].

В институте «УкрНИИинжпроект» имеется опыт сжигания углей в кипящем слое в реконструированных котлах типа НИИСТУ-5 тепловой мощностью 0,45-0,54 МВт.

Компания «Энергополис» (г. Днепропетровск) является представителем компании «Петрокотёл» на территории Украины и предлагает технологию, как для реконструкции действующих котлов, так и для нового строительства производственно-отопительных котельных на твёрдом топливе.

Существует Европейский опыт успешного внедрения биотоплива в энергетику [6]:

- котельная мощностью 6 МВт работающая на древесном топливе в г. Тюри, Эстония;
- котельная мощностью 6 МВт работающая на древесном топливе в г. Тарту, Эстония;
- котельная мощностью 7 МВт работающая на древесном топливе в г. Выру, Эстония;
- котельная мощностью 6 МВт работающая на древесном топливе в г. Вильянди, Эстония.

На установке комбинированного производства тепловой и электрической энергии в Нассио (Швеция), принадлежащей одной из крупнейших шведских энергетических компаний, в течение нескольких лет используется полный цикл производства энергии с применением древесного топлива – от погрузочно-разгрузочных работ и сжигания топлива до утилизации золы в лесу. Установка, которая производит как тепло, так и электричество, построенная в 1991 г. с целью использования местного топлива, является первой в стране установкой совместного производства тепловой и электрической энергии.

Сжигание топлива осуществляется в циркулирующем псевдоожиженном слое. С 1995 г. в качестве топлива используется только биотопливо, которое состоит из лесосечных отходов или побочных продуктов производства лесопильных предприятий, расположенных в районе Нассио.

Так как влажность используемого топлива составляет 50%, установка оборудована устройством конденсации отходящих газов, что позволяет использовать содержащееся во влажных отходящих газах тепло в сети централизованного теплоснабжения. Зола, образующаяся при сжигании биотоплива, утилизируется в лесу, что завершает цикл производства энергии [16].

Основные преимущества топок с кипящим слоем:

- более интенсивное сжигание подвижного слоя, чем стационарного;
- система подачи топлива у котлов с кипящим слоем проще, они менее требовательны к качеству топлива и лучше приспособлены к его ступенчатому сжиганию, необходимому для снижения выбросов оксидов азота;

- доля подовой золы в общем объеме золы, получаемой в установках для сжигания в псевдоожиженном слое, значительно ниже, чем в системах сжигания с неподвижным слоем, и составляет 20-30%. Остальные 70-80% полученной золы составляет зола уноса, которая выносятся с топочным газом [7].

Псевдоожижение позволяет обойти ряд трудностей, связанных с использованием гранулированных материалов, и способствует интенсификации теплообмена в слое. Важным преимуществом кипящего слоя с точки зрения теплопереноса является большой коэффициент теплопередачи от слоя к погруженным в него теплообменным поверхностям. Его значения могут лежать в интервале 300–800 Вт/(м²·К) в зависимости от таких факторов, как размеры частиц топлива и расход воздуха.

Характерной особенностью «кипящего слоя» является развитая поверхность частиц, в результате чего достигается высокая степень выгорания углерода. Одновременно при сжигании твердого топлива в топках котлов в кипящем слое снижаются выбросы диоксида серы и оксидов азота в продуктах сгорания [8].

Первым этапом разработки топки с кипящим слоем является определение оптимальных параметров ожижаемого воздуха, пределов аэродинамического существования кипящего слоя.

Древесные отходы – материал с низкой плотностью, вследствие чего невозможно достичь стабильного состояния псевдоожижения без применения инертного материала. В качестве инертного материала чаще всего используют песок или известь.

Важным определяющим критерием эффективности сжигания мелкофракционного топлива является величина уноса. В технологии кипящего слоя минимизировать унос можно определив пределы существования кипящего слоя, который заключается в определении первой и второй критических скоростей. Первая критическая скорость характеризует начало псевдоожижения, вторая – унос материала.

При расчетах аппаратов кипящего слоя используют, как правило, следующие формулы [2, 10, 15]:

Для определения первой критической скорости рассчитывают критерий Архимеда и критерий Рейнольдса:

$$Ar = \frac{gd^3}{\nu^2} \frac{\rho_m - \rho_c}{\rho_c},$$

где: g – ускорение свободного падения, м/с²,

d – эквивалентный диаметр частицы, м,

ρ_m – плотность материала, кг/м³,

ρ_c – плотность ожижающего агента кг/м³,

ν – кинематическая вязкость м²/с.

Далее рассчитывают критерий Рейнольдса по формуле Годеса:

$$Re = \frac{Ar}{150 \frac{1 - \varepsilon_{кр}}{\varepsilon_{кр}^3} + \left(\frac{1,75}{\varepsilon_{кр}^3} Ar \right)^{1/2}},$$

где: $\varepsilon_{кр}$ – критическая порозность слоя.

Исходя из того, что:

$$Re = \frac{wd}{\nu},$$

первая критическая скорость будет равна:

$$w' = \frac{Re \cdot \nu}{d}.$$

Перепад давления в псевдоожиженном слое равняется:

$$\Delta P = H\rho_0,$$

H – высота слоя, м;

ρ_0 – насыпная плотность материала, кг/м³.

Вторую критическую скорость определяют по следующей зависимости:

$$Re = 1,74\sqrt{Ar}.$$

Вторая критическая скорость:

$$w'' = \frac{Re \cdot \nu}{d}.$$

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стабильное состояние псевдоожижения и определение пределов существования кипящего слоя позволит обеспечить эффективное сжигание топлива в топке. Вследствие полидисперсности частиц критические скорости для каждой фракции материала разнятся. Поэтому невозможно полностью исключить унос, однако его можно снизить до минимума.

Применение инертного материала снижает эффективность теплообмена, недостаточное его количество приводит к уносу.

Известь может использоваться в качестве инертного материала, ее преимуществом является то, что известь вступает в реакцию с двуокисью серы, образуя сульфит кальция. В этом случае количество выбросов двуокиси серы снижается приблизительно на 80-90% [6].

Основными целями исследования являются определение пределов существования кипящего слоя для каждого из материалов, оптимального соотношения инертного и ожижаемого материалов, а также возможность использования топливных гранул в кипящем слое без применения инертного материала.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Для определения пределов существования псевдоожиженного слоя проводился эксперимент на установке (Рис. 3), состоящей из следующих основных элементов: корпус (1) цилиндрической формы диаметром 200 мм. На корпусе установлены штуцеры (2) с U-образной трубкой для измерения перепада давления. На установке имеется смотровое стекло (3), для наблюдения процесса псевдо-

ожижения, крепление и сетка с круглыми отверстиями (4), гибкая вставка (5). Воздух в установку подается вентилятором ВВД-5.

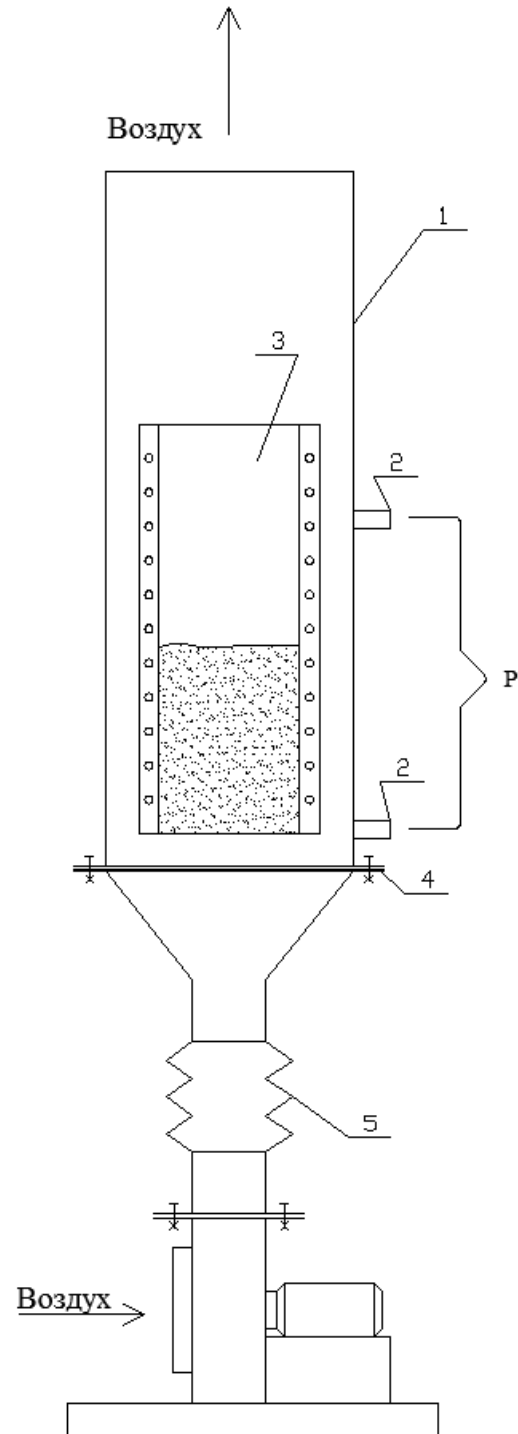


Рис. 3. Схема опытной установки
Fig. 3. Scheme of a pilot installation

Эксперимент проводился при разных скоростях воздуха.

Изменение скорости воздуха производилась с помощью шибера.

Скорость воздуха на выходе из установки измерялась крыльчатым анемометром.

В качестве материалов для псевдооживления использовались подготовленное топливо - древесные гранулы (паллеты) и опилки.

Плотность древесных гранул 1200 кг/м^3 , насыпная плотность 640 кг/м^3 , насыпная плотность опилок 150 кг/м^3 . Паллеты имеют цилиндрическую форму одного диаметра (5мм) разной длины (от 5 до 30 мм).

Такие показатели усложняют определения пределов аэродинамического существования псевдооживленного слоя. Размеры опилок от 2 до 20 мм.

Малая плотность опилок не позволяет создать стабильный псевдооживленный слой. Без приращения инертного материала происходит поршневой и каналообразование, наблюдается существенный унос материала. Эксперимент показал, что оптимальным соотношением инертного и оживаемого материала является 1:1. Насыпная плотность такой смеси 850 кг/м^3 .

По результатам расчетов первая критическая скорость для паллет составляет $1,68 \text{ м/с}$, скорость уноса $11,15 \text{ м/с}$. Перепад давления в псевдооживленном слое составляет $108,8 \text{ мм вод. ст.}$ Ниже приведен график (Рис.4), где показаны экспериментальные (кривая 1) и расчетные данные (кривая 2).

В реальных условиях перепад давления в псевдооживленном состоянии меньше, чем показал расчет (77 мм против $108,8$). Обычно реальная величина на 10-15% меньше теоретической [10]. В данном случае реальная величина меньше теоретической на 29%.

В диапазоне скоростей от $1,53$ до $4,6 \text{ м/с}$ наблюдается зависимость $\Delta P \sim w^{1,4}$. Такой характер начала псевдооживления наблюдается в случаях с полидисперсными системами, и объясняется тем, что для разных фракций псевдооживление начинается при разных скоростях [2].

Полидисперсность данного материала, также объясняет большую разницу между реальным и теоретическим перепадом давлений.

Характер движения зерен такой, что мелкие частицы уже находятся во взвешенном состоянии, когда гранулы крупного размера не приняли свойства псевдооживленного слоя.

При этом вследствие крупности частиц материала наблюдается минимальный унос, что таким образом позволяет сжигать данное топливо без применения инертного материала.

Для слоя древесных опилок с инертным материалом результаты расчетов и экспериментальные данные менее разнятся, что доказывает перспективность применения инертного материала. Так, первая критическая скорость по расчету составляет $0,4 \text{ м/с}$, эксперимент показал – $0,45 \text{ м/с}$. Перепад давления в кипящем слое не превышает 15%. Теоретический перепад давления составляет $144,5 \text{ мм вод. ст.}$, эксперимент показал 130 мм вод. ст.

Ниже приведен сравнительный график (Рис. 5), аналогично предыдущему – кривая 1 показывает экспериментальные данные, кривая 2 – теоретические.

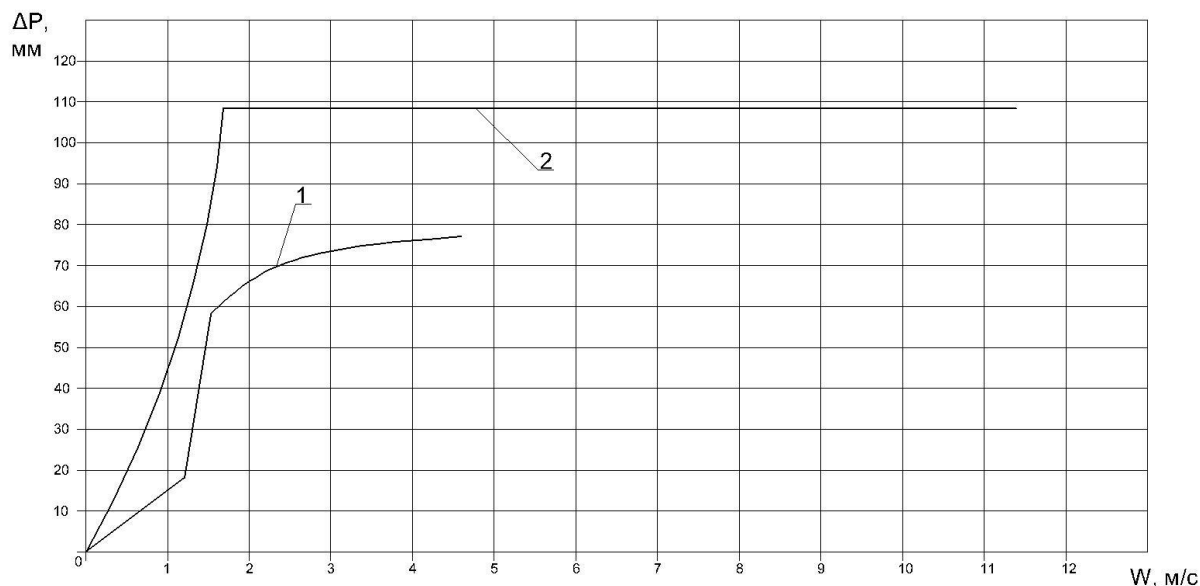


Рис. 4. Зависимость перепада давления слоя паллет от скорости
Fig. 4. Dependence of the pressure drop of pallets layer on the speed

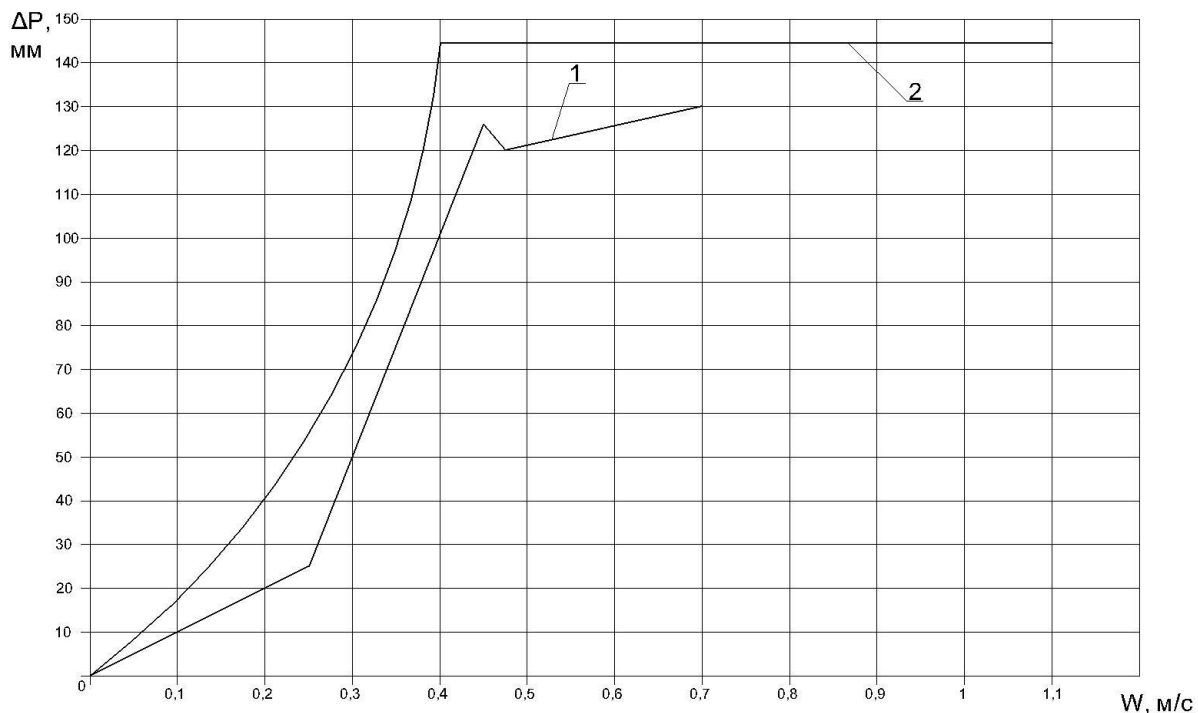


Рис. 5. Зависимость перепада давления слоя опилок и песка от скорости
 Fig. 5. Dependence of the pressure drop layer of sawdust and sand on the speed

ВЫВОДЫ

Эксперимент показал возможность применения древесных гранул в кипящем слое без инертного материала, однако расчеты имеют большую погрешность вследствие полидисперсности. Для определения пределов существования кипящего слоя для таких полидисперсных систем требуется проведение эксперимента.

Псевдооживление слоя древесных опилок с инертным материалом проходит более стабильно, результаты расчета и эксперимента разнятся не более чем на 15%.

Таким образом, в данной работе определено, что в топках кипящего слоя при сжигании легких материалов требуется применение инертного материала для повышения стабильности псевдооживления и уменьшения уноса. Для слоя древесных гранул инертный материал не требуется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов П., Скрыбин А., Королев С., 2004. Испытания котла КВ-ТС-20 при сжигании низкосортных углей в кипящем слое//Ползуновский вестник. – №1. -141-146.
2. Баскаков А., 1986. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник – Л.: Химия.– 352.
3. Безносик Ю., Логвин В., Коринчук К., Киржкер Д., 2014. Сжигание твердого топлива в низкотемпературном кипящем слое с определением

- выбросов токсичных веществ//Технологический аудит и резервы производства. – №2/1(16). – 15-21.
4. Боднар Л., Ткаченко С., Дахновская О., 2012. Проблемы сжигания низкосортного топлива в котлах малой мощности//Наукові праці ВНТУ – В.: ВНТУ – №4. –1-7.
5. Бородуля В., Виноградов Л., 1980. Сжигание твердого топлива в псевдооживленном слое. – М.: Наука и техника. – 192.
6. Варес В., Касък Ю., Муйсте П., Пиху Г., Соосар С., 2005. Справочник потребителя биотоплива – Т.: Издательство Таллиннского технического университета. – 183.
7. Вильдбахер Н., 2007. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе – М., – 29.
8. Власюк А., Зембицкий П., Кучин Г., Скрипко В., Ефимов Г., Павленко П., Менайлов А., 2001. Опыт сжигания низкосортного твердого топлива в топках кипящего слоя отопительных котлов мощностью до 1 МВт//Новости теплоснабжения – №10(14). –15-16.
9. Гелетуца Г., Железная Т., Олейник Е., 2013. Перспективы производства тепловой энергии из биомассы в Украине//Промышленная теплотехника. – т.35, №5. –48-57.
10. Гельперин Н., Айнштейн В., Кваша В., 1967. Основы техники псевдооживления – М.: Химия. – 664.
11. Загорье А., Зах Р., 1970. Вторичные ресурсы лесоперерабатывающей промышленности – М.: Лесная промышленность – 184.

12. Кундас С., Позняк С., Родькин О., Санникович В., Ленгфельдер Э., 2008. Использование древесной биомассы в энергетических целях – М.:МГЭУ им. А. Сахарова. – 85.
13. Кучин Г., Скрипко В., Сигал А., Быкорез Е., 2009. Перспективы сжигания низкосортного твердого топлива в топках отопительных котлов мощностью до 1 МВт//Промышленная техника. - №4 –51-55.
14. Лакида П., Васишлин Р., Зібцев С., Лакида І., Гелетуха Г., Железна Т., Бьотчер Х., 2011. Енергетичний потенціал біомаси в Україні. – К.: Видавничий центр НУБіП України. – 28.
15. Радованович М., 1990. Сжигание топлива в псевдооживленном слое – М.: Энергоатомиздат – 248.
16. Саволайнен В., Берггрен Х., 2000. Древесное топливо. Базовый пакет информации – М.: Учебно-выставочный издательский центр при УП «Белэнергосбережение» - 188.
17. Сахаров Е., 2002. Специфика работы и конструктивные особенности слоевых топок с кипящим слоем//Новости теплоснабжения - № 6,(22). -16.
18. Чепурний М., Ткаченко С., Пішеніна Н., Бужинський М., 2009. Реконструкція парових котлів для спалювання низькосортних твердих палив//Вісник Вінницького політехнічного інституту. – ВНТУ - №6.– 54-57.
19. Чередник А., Редько А., 2014. Эффективность инфракрасных водяных отопительных панелей//MOTROL – Vol. 16 №6 – 69-76.
20. Шемякин В., Карапетов А., 2009. Внедрение технологии сжигания в кипящем слое как один из путей решения внедрения местных низкосортных топлив в энергетику страны//Новости теплоснабжения – №9(85). - 20-23.
21. Эпик А, Чаплыгин С., Олейник Е., 2011. Экономические и технологические аспекты биоэнергетических проектов в Украине //Казантип-Эко-2011. Сборник трудов. – Х.: <НТМТ>. -147-154.

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCHES OF HYDRODYNAMICS OF THE FLUIDIZED BED OF WOOD WASTE

Summary. Considered the problems of the application of wood waste as fuel. Presented experimental and theoretical results of the research of hydraulic fluid bed modes of different materials.

Key words: The fluidized bed, the first critical speed, the second critical speed, wood waste, fluidization.