

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ**

Запропонована конструктивна схема удосконалення газорозподільних решітки, створено лабораторний стенд і проведені експериментальні дослідження в результаті яких отримані умови, які сприяють збільшенню відносної швидкості руху часток і середовища, створенню додаткової турбулентності потоку середовища, збільшенню кратності оновлення і формування міжфазної поверхні, що може привести до значного прискорення тепло- і масо переносу.

## **THE EXPERIMENTAL RESEARCHES OF INTENSIFICATION PROCESSES HEAT - AND MASS - TRANSFER IN POWER BOILERS**

The propose a design scheme to improve the gas distribution grid, established a laboratory bench and experimental studies have been obtained as a result of conditions that contribute to an increase in the relative velocity of the particles and the environment, creating more turbulence of flow, increasing the multiplicity of updating and the formation of the interphase surface, which can lead to a significant acceleration heat and mass transfer.

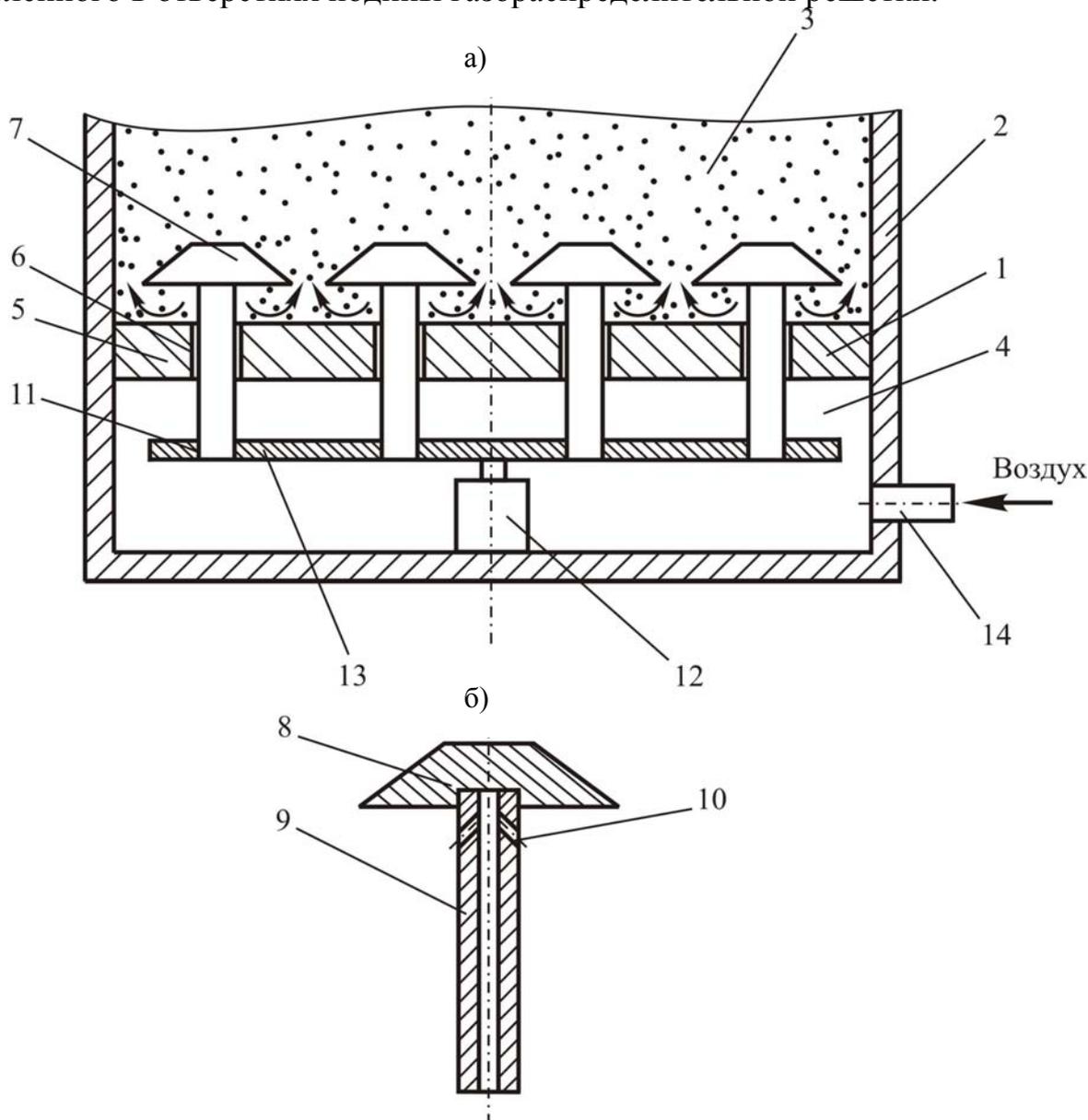
Использование вибрационного воздействия как фактора, позволяющего интенсифицировать механические, тепловые, диффузионные, химические и другие процессы, давно привлекает внимание ученых и специалистов.

Вибропсевдооживление это наиболее эффективный способ создания однородного слоя, который как известно, обладает такими недостатками как газовые пузыри, каналы, поршни, а также всплесками и выбросом материала из слоя. Движение частиц относительно друг друга в виброкипящем слое происходит весьма интенсивно, но имеет совсем другой характер, чем в обычном кипящем слое: оно носит локальный характер, не распространяется на весь объем слоя и поэтому отличается большей однородностью, кроме того вибрация уменьшает образование сквозных газовых каналов и снижает унос мелкой фракции [1].

Все аппараты с виброкипящим слоем можно подразделить на несколько классов: аппараты с вибрирующей камерой или вибрирующим дном камеры (газораспределительная решетка); горизонтальные аппараты с вибрирующим лотком; вертикальные аппараты со спиральным вибрирующим лотком; аппараты с введенными в слой вибропобудителями [2]. Однако, ряд данных аппаратов обладает такими недостатками как конструктивная сложность соединения вибрационной решетки и корпуса аппарата, а также большая мощность вибратора, обусловленная большой массой воздухораспределительной решетки.

Нами была поставлена задача усовершенствования газораспределительной решетки путем снабжения подрешеточной полости пластиной с отверстиями и колпачками, установленными в отверстиях [3]. Оснащение подрешеточной полости топки соединенной с вибратором пластиной, позволяет создать вертикальные колебания пластины с заданной амплитудой и частотой. Закрепление в сквозных отверстиях пластины нижних концов направляющих опор колпачков позволяет передать через шляпки колпачков эти вибрационные колебания в ки-

пящий слой, интенсифицируя процесс выгорания топлива в кипящем слое. Форма шляпок колпачков в виде усеченного конуса с вершиной обращенной в сторону кипящего слоя, позволяет более равномерно и полно осуществить перемешивание слоя, повысить его однородность и интенсифицировать процесс выгорания топлива. На рисунке 1а показан общий вид газораспределительной решетки топki кипящего слоя. На рисунке 1б показан разрез колпачка, установленного в отверстиях подины газораспределительной решетки.



1 - газораспределительная решетка; 2 - топка кипящего слоя; 3 - надрешеточная полость; 4 - подрешеточная полость; 5 - подина; 6 - отверстия; 7 - колпачки; 8 - шляпка колпачка; 9 - направляющая опора; 10 - канал для выхода воздуха; 11 - сквозные отверстия; 12 - вибратор; 13 - пластина; 14 - воздухоподводящий канал.

Рис. 1 - Общий вид газораспределительной решетки топki кипящего слоя (а), содержащей подину с отверстиями и колпачками (б)

Газораспределительная решетка топki кипящего слоя работает следующим образом. В надрешеточную полость 3 топki кипящего слоя 2 подается инерт-

ный материал (кварцевый песок) и включаются растопочные устройства, подающие в слой инертного материала горящую смесь газа или мазута с воздухом для разогрева инертного материала. Уже на этой стадии для интенсификации разогрева инертного материала включается вибратор 12 и пластина 13, соединенная с вибратором, начинает совершать вибрационные перемещения в вертикальной плоскости. Вибратор 12 размещен в подрешеточной полости топки (рис.1а). Колпачки 7, закрепленные нижними концами своих направляющих опор 9 в сквозных отверстиях 11 пластины 13, также совершают вибрационное перемещение в вертикальной плоскости в отверстиях 6 подины 5. При этом шляпки 8 колпачков 7, размещенные в надрешеточной полости 3 топки 2 и выполненные в виде усеченного конуса, создают колебания слоя инертного материала, как в вертикальной плоскости, так и под углом к шляпке колпачка. При этом наложения колебаний слоя от соседних колпачков в толще инертного материала друг на друга интенсифицируют его прогрев. После разогрева инертного материала до температуры воспламенения топлива, последнее засыпается в кипящий слой. Так как частицы угля крупнее и тяжелее частиц инерта, они опускаются в зону вибрационного воздействия колпачков и интенсивно сгорают. Воздух для горения при этом через воздухоподающий канал 14 подается в подрешеточную полость 4 топки 2, затем поступает в колпачки 7 через их направляющие опоры 9, нижние концы которых закреплены в пластине 13. Воздушные струи, выходя из каналов 10 в надрешеточной полости 3 под углом к подине 5 газораспределительной решетки 1, обеспечивают подъем частиц с подины 5 в зону вибрационного воздействия шляпок 8 колпачков 7, тем самым интенсифицируя их горение.

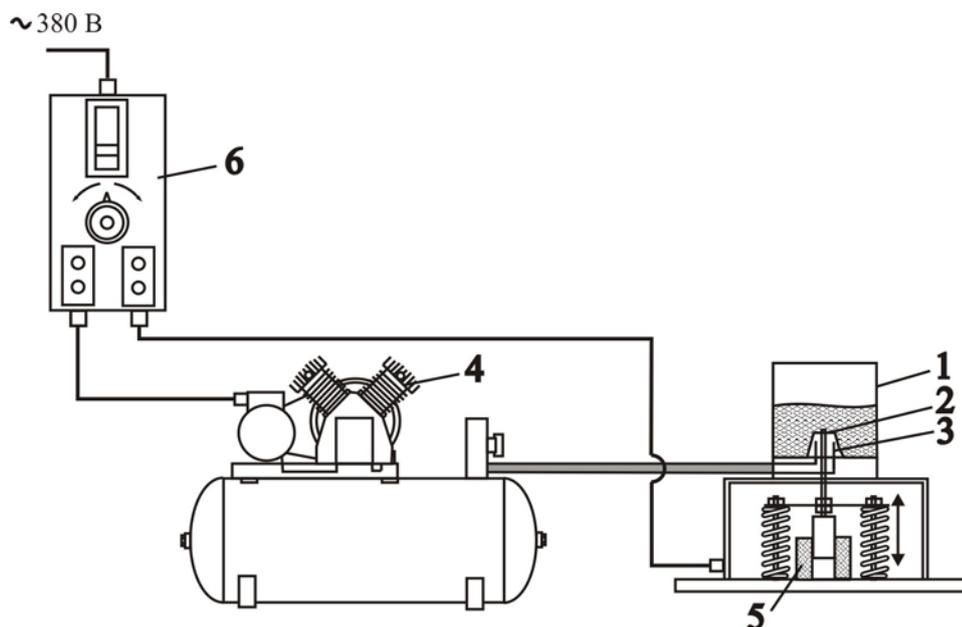
Для реализации теоретических предпосылок был исследован процесс виброкипящего слоя на лабораторном стенде. Схема стенда представлена на рис. 2. Она состоит из колонны 1 прямоугольного сечения  $100 \times 100$  мм и высотой 135 мм, изготовленной из органического стекла и снабженной колпачком 2 и металлической трубкой (втулкой) 3 диаметром 11 мм для подвода воздуха, находящейся внутри колпачка. Воздух, подаваемый компрессором 4, поступает под колпачок 2 и в слой. Колпачок 2 приводится в колебательное движение электромагнитным вибратором 5 с заданными частотой и амплитудой. Управление компрессором 4 и электромагнитным вибратором 5 осуществляется с пульта 6.

Для наблюдения за результатами воздействия вибрационного режима с дополнительной продувкой воздухом кипящего слоя сегмент колпачка 2 и металлической трубки 3 был вырезан и этим разрезом максимально близко размещен к передней стеклянной стенке колонны 1.

При проведении эксперимента использовались следующие параметры:

- начальная высота слоя (засыпки) -  $H_0 = 55$  мм;
- диаметр частиц основного монодисперсного слоя -  $d = 1$  мм;
- диаметр наблюдаемой частицы -  $d_1 = 6$  мм;
- материал частиц - стекло;
- частота вибраций -  $f = 50$  Гц;

- амплитуда вибраций  $A = 4$  мм.



1 – колонна из оргстекла; 2 – колпачок; 3 – металлическая трубка (штулка) для подачи воздуха; 4 – компрессор; 5 – электромагнитный вибратор; 6 - пульт

Рис. 2– Схема установки экспериментального стенда для исследования виброкипящего слоя

Для оценки влияния вибрации на свойства кипящего слоя использовалась цифровая фотокамера. Результаты режима вибрации при взаимодействии слоя с вибрирующим колпачком и продувкой воздухом слоя показаны на рис. 3 и 4.

Сравнение рис.3 и рис.4, еще раз подтверждает о том, что вибропсевдоожигение – наиболее эффективный способ создания однородного слоя.

В процессе проведения эксперимента наблюдались два случая взаимодействия частиц с виброкипящим слоем:

1) непосредственно рядом с колпачком (слева и справа): взаимодействие слоя с днищем газораспределительной решетки и фильтрации газа из-под колпачка;

2) над площадкой колпачка, где фильтрация газа практически не ощутима, а на слой воздействует только механическая вибрация от колпачка.

Рассмотрим первый случай. При наблюдении за слоем видно, что непосредственно после отрыва слоя от решетки он движется вверх относительно нее, испытывая сопротивление газа, фильтрующегося в увеличивающийся зазор между нижней границей слоя и решеткой. Сила гидравлического взаимодействия частицы внутри слоя с потоком газа зависит от локальных значений порозности и относительной скорости фильтрации газа.



Рис. 3– Неоднородный кипящий слой



Рис. 4– Виброкипящий слой

Гидравлические силы, действующие на частицы, выпадающие по случайным причинам с верхней и нижней поверхностей слоя, отличаются от силы лобового сопротивления и могут быть значительно меньше ее, так что баланс гравитационной, инерционной и гидравлической сил для таких частиц нарушается: их сумма становится отличной от нуля. При этом видно, что на начальной стадии фазы полета (когда зазор между слоем и решеткой увеличивается) суммарная сила, действующая на частицу у нижней поверхности слоя, стремится снова вернуть частицу в слой, т.е. эта поверхность устойчива в том же смысле, что и свободная поверхность псевдооживленного слоя. Напротив, сила, действующая на частицу у верхней поверхности, способствует дальнейшему удалению этой частицы от слоя, навстречу набегающему потоку газа, т.е. верхняя

поверхность неустойчива в том смысле, что частицы, покидающие ее, движутся быстрее центра тяжести слоя. Множество таких частиц, непосредственно граничащих с набегающим потоком, можно отождествить с эффективной верхней границей расширяющегося слоя. При этом относительное движение этой границы приводит к увеличению порозности верхней части слоя. В результате генерируется волна повышенной порозности, распространяющаяся вниз по слою и аналогичная волнам, появляющимся в обычном псевдооживленном слое при изменении расхода оживающей среды.

На конечной стадии полета (когда зазор между слоем и решеткой уменьшается) роль граничных поверхностей меняется: поток газа набегаёт уже на нижнюю поверхность, которая «падает» на решетку быстрее центра тяжести слоя, верхняя поверхность становится устойчивой, а волна повышенной порозности распространяется по слою в направлении снизу вверх. Слой, очевидно, продолжает расширяться.

Наконец, когда нижняя поверхность приходит в соприкосновение с решеткой и расширение слоя прекращается. Упавшая часть слоя переходит в плотноупакованное состояние и толщина плотной части слоя возрастает очень быстро. Если момент полного перехода слоя в плотноупакованное состояние, т.е. фактически момент падения верхней поверхности слоя, меньше момента нового отрыва слоя от решетки, то описанная ситуация повторяется. В противном случае отрывающаяся от решетки нижняя плотноупакованная часть слоя сталкивается с продолжающими оседать и находящимися в оживленном состоянии частицами, захватывая их, что средняя порозность слоя в течение некоторой части фазы полета может быть даже ниже, чем непосредственно в момент отрыва. Обнаружено, что под виброкипящим слоем периодически (из-за расхождения колебаний колпачка и частиц) образуется статическое разрежение, при этом воздух подсасывается снизу и вытесняется кверху, т.е. виброкипящий слой обладает насосным действием.

Во втором случае при воздействии на слой только механической вибрации поведение слоя можно рассматривать следующим образом.

В первый период слой при синусоидальном вертикально-колебательном движении вверх с ускорением, большим ускорения свободного падения, уплотняется.

Во второй период, уплотненный слой продолжает двигаться по инерции вверх, тогда как колпачок движется вниз. В этот момент под слоем образуется разрежение.

В третий период, потеряв кинетическую энергию, слой материала начинает опускаться, а давление под слоем снова начинает увеличиваться. Однако материал падает уже не плотным слоем. Нижние частицы, передав кинетическую энергию верхним, начинают падать раньше, в то время как верхние еще продолжают двигаться плотным «поршнем», транспортируя находящийся над ним воздух вверх. «Поршень» частиц быстро перемещается вверх по аппарату, распадается снизу и уплотняет набегающий на него сверху слой.

В четвертый период поверхность площадки колпачка вновь встречается с

потоком слоя, уплотняя его. При этом слой уплотняется сначала в нижних слоях и, постепенно наступая на верхние, вытесняет воздух снизу слоя вверх.

Достигнув максимального амплитудного значения перемещения, колпачок начинает перемещаться вниз, в то же время материал продолжает двигаться относительно колпачка вверх. При этом между плотным слоем материала и поверхностью вновь образуется разрежение. Опускаясь на площадку колпачка нижние частицы, снова создают плотный слой, который вытесняет новую порцию воздуха.

Рассмотренная конструктивная схема и проведенные исследования на экспериментальном стенде показывают, что с помощью заданных параметров частоты и амплитуды вибраций можно создать однородный слой с достаточной устойчивой неподвижной верхней границей и интенсивным движением частиц относительно друг друга внутри слоя, т.е. противоток частиц с ожиженной средой, что просто невозможно получить в установках с обычным кипящим слоем. Полученные условия способствуют увеличению относительной скорости движения частиц и среды, созданию дополнительной турбулентности потока среды, увеличению кратности обновления и формирования межфазной поверхности, что может привести к значительному ускорению тепло- и массопереноса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забродский, С.С. Высокотемпературные установки с псевдооживленным слоем (общие вопросы разработки и исходные закономерности) / С.С. Забродский. – М.: Энергия, 1971 – 328 с.
2. Членов, В.А. Виброкипящий слой / В.А. Членов, Н.В. Михайлов.- М.: Наука, 1972.- 144 с.
3. Пат. 46159 Україна, МПК(2009) F27B 15/00. Газорозподільна решітка / Булат А.Ф., Чемерис І.Ф., Дякун І.Л.; власник ІГТМ ім. М.С. Полякова НАНУ. - № u 2009 06292 ; заявл. 17.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл.. № 23. - 4 с.

Д-р техн. наук В.Н. Беляков  
(ИГТМ НАН Украины,  
ДРЦИР Госинвестиций Украины),  
инж. М.Н. Шаровская, В.Н. Хавер  
(ДРЦИР Госинвестиций Украины)

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ИННОВАЦИОННОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ.**

Сформульовано визначення інноваційного проекту та інноваційної пропозиції, обґрунтовано форми реалізації інноваційних пропозицій, розглянуто зв'язок між формами реалізації інноваційних пропозицій та категоріями інноваційних проектів, розроблено рекомендації по формуванню інноваційних пропозицій різних форм реалізації.

## **DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS TO CREATE THE INNOVATIVE PROPOSITION**

Definitions of the innovative project and innovative proposition are formulated; forms of implementation of innovative propositions are justified; the link between forms of implementation of innovative propositions and the categories of innovative projects is examined, the recommendations to create innovative propositions of various forms of implementation are developed.

В условиях рыночных хозяйственных отношений часто возникает ситуация, когда полученные учеными замечательные результаты проведенных научных исследований в области создания технологий, техники, новых материалов для совершенствования материального производства не находят адекватного спроса и не используются в практике производства. Причиной существования такого положения вещей является недостаточное или методически неверное представление полученных результатов их потенциальным потребителям на рынке инновационных предложений. В этой связи весьма важным является разработка методических рекомендаций по формированию инновационного предложения.

### **1. Обоснование методических подходов**

Региональными программами инновационного развития Днепропетровской и Запорожской областей предусмотрено формирование баз данных по составным частям инновационных проектов, которые представляют собой: инновационное предложение; исполнитель проекта; источник финансирования проекта. Указанные составные части инновационных проектов, за редкими исключениями, существуют в достаточно большом количестве отдельно друг от друга, то работа по поиску и подбору партнеров для формирования и последующей реализации инновационных проектов является весьма важной и совершенно необходимой для инновационного развития региона. Создание таких баз данных и последующая работа с их материалами, направленная на формирование инновационных проектов, позволит активизировать имеющийся инновационный потенциал.

В практике инновационной деятельности часто приходится встречаться с тем, что «инновационное предложение (инновационную разработку)» называют «инновационным проектом», что вносит путаницу в понятия, а также уводит участников обсуждения от правильного понимания состава работ по инноваци-