

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ВИХРЕВЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ И УСТАНОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ С ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫМИ СОВМЕЩЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Наведено результати комплексних досліджень тепломасообміну в криволінійних каналах змінного перерізу вихрових акустичних камер та тонкого диспергування матеріалу. Обґрунтовано принципово новий енерго-ресурсозберігаючий метод одержання дисперсних систем з інтенсифікацією процесів сумарною комбінованою дією відцентрових масових сил, турбулізацією вихрових потоків та акустичних різночастотних самозбуджених коливань під дією напружень розтягнення з раціональною трансформацією енергії. Наведено високоефективні вихрові енерго-ресурсозберігаючі технології та компактні установки з суміщеними процесами диспергування, сепарування, сушіння, фракціонування і змішування матеріалів та використанням теплоти газів енергоносію.

Представлены результаты комплексных исследований тепломассообмена в криволинейных каналах переменного сечения вихревых акустических камер с перфорированными преградами и многократным вдувом энергоносителя и тонкого диспергирования материала. Обоснован принципиально новый энерго-ресурсосберегающий метод получения дисперсных систем с интенсификацией процессов центробежными массовыми силами, турбулизацией вихревых потоков и акустических разночастотных самовозбуждающихся колебаний под действием напряжений растяжения с рациональной трансформацией энергии. Описаны высокоэффективные вихревые технологии и установки получения дисперсных систем с совмещенными процессами диспергирования, сепарирования, сушки, фракционирования и смешения материалов с использованием теплоты газов энергоносителя.

The result of complex research into the heat and mass exchange in curvilinear channels of the variable cross-section of the acoustic vortex chambers with the perforated obstacles and multiple injection of the energy carrier and thin are presented. The high – effective principally new and resource saving method of obtaining the systems with enhancement of processes by centrifugal mass forces, turbulization of vortex flows and acoustic self-excited oscillation of different frequency under the action of tensions with the rational power transformation is substantiated. Created high-effective vortex technologies and plants of obtaining the disperse systems with combined processes of dispersion, separation, drying, fractionation and mixing of materials with the use of heat of power carrier gases are given.

B_{cp} – средний размер частиц исходного материала;

d – размер частицы;

D_k – диаметр камеры;

d_{cp} – средний размер частиц диспергированного материала;

d_c – диаметр сепаратора;

v – объёмная доля частиц в камере;

i – степень измельчения;

t_2 – температура газового потока;

V_{ex} – скорость газового потока на входе;

W – влажность;

μ – массовая концентрация;

μ_v – объёмная концентрация.

Техника и технология получения дисперсных систем в настоящее время весьма энергоёмки. Только на получение порошкообразных материалов разными методами диспергирования по оценкам специалистов расходуется до 10 % мирового производства электроэнергии, а методом сушки – до 12 % добываемого топлива. Для со-

временной техники характерным является значительный рост применения тонкодисперсных материалов.

Для измельчения материалов и получения дисперсных систем до настоящего времени применялись мельницы разных конструкций, использующих принцип сжатия и ударного разру-

шения материалов. Существенным недостатком их являются высокие энергетические затраты, металлоемкость, большие габариты установок. Большое количество энергии деформации сжатия, которое требуется для разрушения, является в большей степени причиной явной механической неэффективности дробления и диспергирования. После разрушения избыток затраченной энергии освобождается в виде теплоты [1]. В опубликованных работах [2] количество энергии, необходимое для разрушения под действием сжимающей силы, в 1122 раза превышает расход энергии, необходимой для разрушения под действием растяжения, т.е. расход энергии, требуемый для разрушения при растяжении, равен $\approx 0,1\%$ количества требуемого для разрушения под действием сжатия. Остающиеся 99,9 % энергии преобразуются из механической в тепловые потери, которые неизбежны при разрушении материала сжатием. Решение проблемы трансформации энергии в дисперсных системах определяет уровень и темпы научно-технического прогресса при тонком и сверхтонком диспергировании.

В связи с отсутствием высокоэффективных энерго- и ресурсосберегающих современных технологий и оборудования для получения тонкодисперсных систем возникла необходимость фундаментальных исследований в разных областях науки.

Весьма актуальным является комплексное (теоретическое и экспериментальное) исследование тепломассопереноса и сопутствующих гидродинамических процессов в криволинейных каналах переменного сечения акустических вихревых камер с перфорированными преградами и многократным вдувом энергоносителя, влияния параметров диспергирования, сепарирования, фракционирования и смешения в их взаимодействии с характеристиками камер и свойствами материалов с использованием уникальных свойств высокотурбулентных закрученных газовых потоков с наложением самовозбуждающегося акустического поля, создание на этой основе высокоэффективных принципиально новых вихревых ресурсосберегающих технологий и установок получения тонкодисперсных систем.

Исследования тепломассопереноса двухфазных потоков различной плотности в криволинейных каналах являются приоритетным направлением в развитии современных энерго- и ресурсосберегающих технологий, в частности, для создания вихревых технологий и установок с высокоинтенсивными процессами тепломассообмена [3–5].

Отсутствие достаточной информации, в частности, об особенностях и закономерностях разрушения твердых частиц в криволинейных каналах вихревых камер, о степени влияния внутренних процессов на интенсивность и их длительность, влиянии определяющих факторов, температурно-влажностных параметров воздуха не позволяют создать принципиально новые энергоресурсосберегающие технологии и установки получения тонко и сверхтонкодисперсных систем в необходимом гранулометрическом диапазоне. Для этого необходимы были исследования и разработка методов интенсификации тепломассообмена и теплотехнологических процессов.

Создание вихревых технологий получения дисперсных систем на основе разработки теории вихревых акустических устройств, использующих энергию закрученного потока и акустических колебаний для тонкого диспергирования твердых материалов, позволяет осуществить сверхтонкое разрушение материалов под действием периодических растягивающих напряжений (рис. 1) со значительной экономией энергоресурсов [4,5]. Для этого разработаны вихревые установки с аэродинамическими профилированными элементами, генерирующими интенсивные колебание акустических, вихревых и пульсационных возмущений параметров вихревого потока, которые приводят к тонкому разрушению материалов. Теплота газов энергоносителя используется для осуществления одновременных процессов диспергирования и сушки [6].

Комплексное исследование и анализ взаимодействия параметров диспергирования, сепарирования и фракционирования различных твердых и жидких материалов в зависимости от теплотехнологических свойств материала и возмущающих факторов вихревого потока нагретого

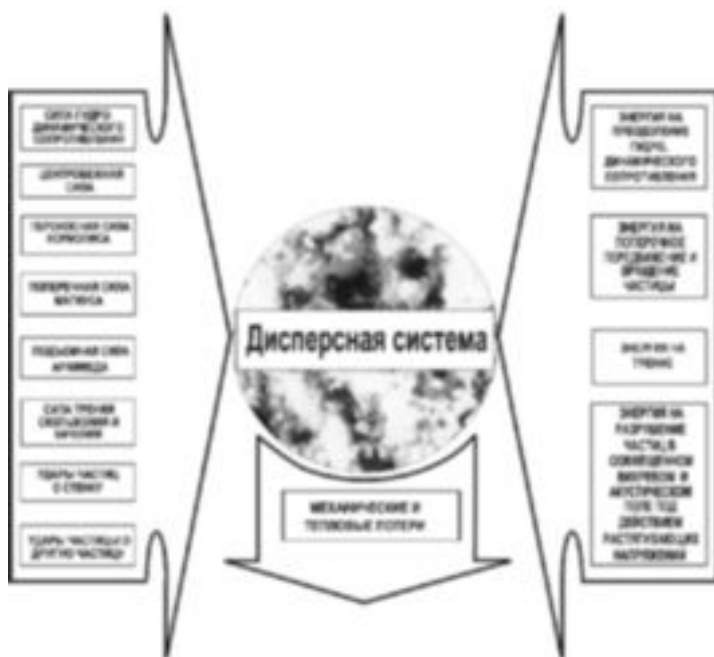


Рис. 1. Трансформация энергии в теплотехнологических процессах получения дисперсных систем.

воздуха позволяют найти подходы к научно обоснованному выбору рациональных схем организации процессов диспергирования под действием сил растяжения и соответствующих принципиальных конструктивных решений устройств, установок и линий диспергирования, совмещенных с сепарированием, фракционированием, сушкой и смешением диспергированных материалов.

Предложены следующие методы интенсификации теплообмена в полях центробежных массовых сил, трансформации энергии со значительным ее сокращением в теплотехнологических процессах: использование закрученных скоростных газовых потоков в полях центробежных массовых сил при диспергировании; комбинированных способов и совмещенных процессов диспергирования, сепарирования, фракционирования, сушки и смешения газозвесей с жидкостными системами; использование совмещенных вихревых, акустических, турбулентных пульсаций вихревых потоков как возмущающих факторов; применение в качестве теплоносителя вторичных тепловых ресурсов – уходящих газов. За счет



Рис. 2. Вихревые акустические установки с многократным вдувом энергоносителя.

максимальных акустических разночастотных колебаний и растяжений в пучностях получение материалов со сверхтонкой дисперсностью и развитой активированной удельной поверхностью, с новыми физико-химическими и технологическими свойствами, которые невозможно получить в установках других типов. Технологии и установки не имеют мировых аналогов [4,5,7].

Разработанная теория для пищевых технологий позволяет осуществить процессы шелушения, обдирки, сепарирования, фракционирования и (или) смешения материалов с получением биологически активных продуктов и экономией энергоресурсов. На специально созданных экспериментальном стенде и разнотипных установках (рис.2) реализуются теплотехнологические процессы в вихревом потоке с их интенсификацией разночастотным самовозбуждающимся акустическим полем.

Как показали расчетные исследования распределения избыточного давления и скорости газового потока, наибольшее давление наблюдалось возле внутренней поверхности цилиндрической вихревой камеры, образующей с перфорированной преградой – сепаратором криволинейный канал переменного сечения [7]. Давление по сечению криволинейного ка-

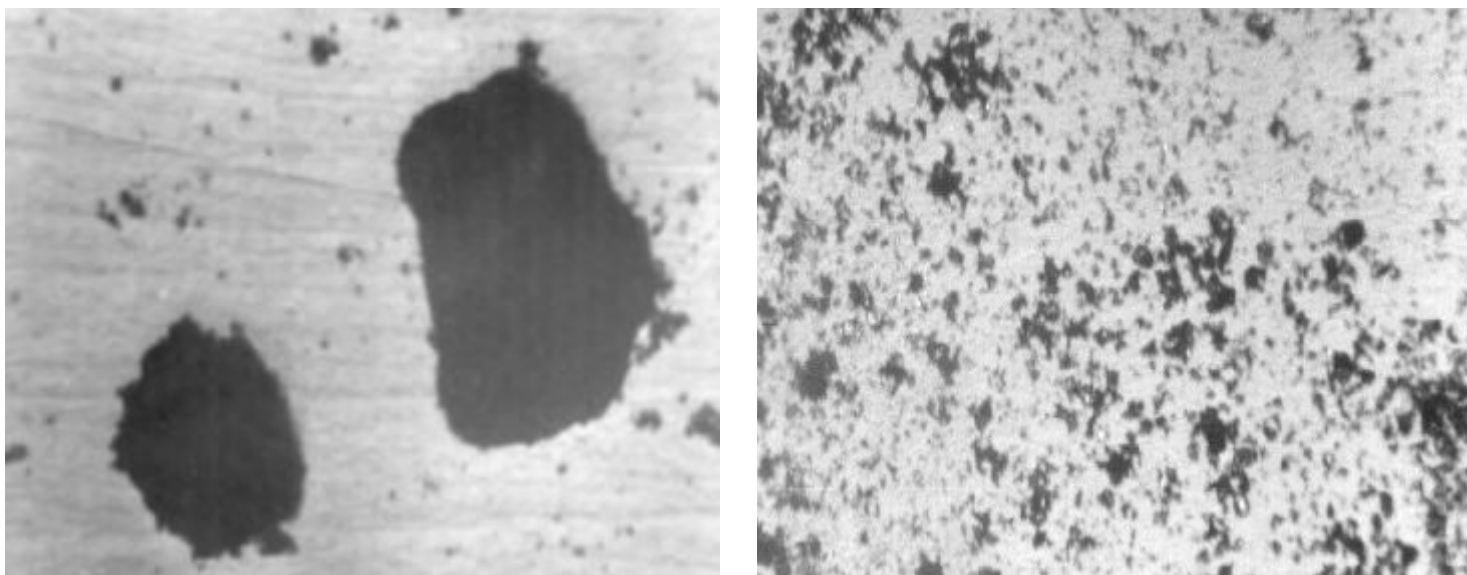


Рис. 3. Пигмент лакокрасочного производства до и после диспергирования при увеличении в 98 раз.

нала вихревой камеры уменьшается по мере приближения к преграде. После прохождения щелей оно уменьшается в 68 раз, а в месте отвода газового потока наблюдается область отрицательного давления. Аналогично происходит изменение скорости потока воздуха с наименьшим ее значением в центре камеры и в зоне ввода материала.

Исследования на модели, модифицированной установке, вихревой камере с многократным вдувом воздуха и цилиндрической перфорированной преградой (рис. 2) и оценка сил, которые действуют на частицы разных размеров в турбулентном газовом потоке с наложением акустического поля разной частоты, позволяют заключить, что основными силами, которые действуют на частицу в вихревом акустическом поле (рис. 1), является сила сопротивления воздуха. Она изменяется с частотой акустических колебаний, при ее достаточной интенсивности возникают значительные ускорения частиц, а система акустических резонаторов усиливает акустические колебания на выбранных частотах. В предложенных устройствах резонаторы имеют различные геометрические размеры, что позволяет усиливать определенный интервал частот. Результаты диспергирования мела, охры, умбры, мупии, пород зеленой и торфяной, приведенные в таблице, и пигмента лакокрасочного производства (рис. 3)

показали возможность получения дисперсных систем в тонкой и сверхтонкой областях. Диапазон гранулометрического состава зависит от режимных параметров и физико-химических и технологических свойств материалов. Разработанная технология получения дисперсных систем является энергосберегающей, в особенности в тонкодисперсной области.

Для исследования тепломассообмена в вихревом газодисперсном потоке создана экспериментальная установка с использованием теплоты продуктов сжигания природного баллонного газа или очищенных дымовых газов (рис. 4). Исследовали особенности тепломассообмена закрученного газового потока газозвеси с совмещенными процессами диспергирования и сушки. Экспериментальная установка содержит: бункер исходного материала 1; дозирующее устройство 2 с приводом; вихревую камеру 3 с теплоизолирующим кожухом 4; коллектор подачи воздуха и газа 5 с патрубком 6; сепарирующую вставку – турбулизатор 7; патрубок отвода газозвеси 8 в уловитель 9; горелку 10; блок управления с регулированием соотношения “расход газа – расход воздуха” 11; расходомер 12; баллон газа 13; зонд и контрольно-измерительные приборы 14 для измерения давления и температуры; турбогазоводушка 15. В установке обеспечивается подача под давлени-

Таблица. Обобщенные результаты получения тонкодисперсных систем

№ п/п	Материал	B_{cp} – средний размер частиц исходного материала, мм	d_{cp} – средний размер частиц диспергированного материала, мкм	i – степень измельчения	
1	Охра глинистая порода	0,186	13,5	13,8	
2	Умбра глинистая порода	0,51	16,7	30,5	
3	Мупия торфяной породы, мелкая фракция	0,29	24,4	11,7	
4	Мупия торфяной породы, крупная фракция	1,09	24,4	44,6	
5	Порода зеленая	0,37	18,2	20,2	
6	Порода торфяная	0,21	17,5	12,0	
7	Песок речной	0,33	92,0	3,6	
8	Чешуя базальтовая необоженная	0,535	40,0	13,4	
9	Чешуя базальтовая обожженная	1,33	49,0	27,1	
10	Трепел	1,135	6,8	52,0	
11	Мел разных месторождений	Образец № 1, диаметр сепаратора $d_c = 105$ мм	1,078	3,03	356,4
		Образец № 1, диаметр сепаратора $d_c = 82$ мм	1,078	2,38	452,94
		Образец № 2, диаметр сепаратора $d_c = 105$ мм	1,078	2,535	425,3
12	Мраморная крошка	0,7	2,98	234,9	

ем теплоносителя через коллектор 5 с шестью тангенциальными щелевыми соплами, а дисперсного материала через бункер 1 и дозирующее устройство 2 в закрученный вихревой поток с образованием пылегазовой смеси и ее отвод из центральной зоны камеры 3 через патрубков 8, которая характеризуется снижением компонент радиальной, окружной скоростей и градиента давления.

Исследования теплообмена газозвеси в криволинейном канале проводились в цилиндрической вихревой камере диаметром $D_k = 200$ мм со специальной сепарирующей вставкой – турбулизатором при отводе газозвеси из центральной зоны со сниженным давлением. В качестве вставки – турбулизатора использована цилиндрическая перфорированная преграда диаметром $d_c = 140$ мм с орebrением в виде радиально направленных лопаток длиной 5 мм, образующей кольцевой канал с внутренней

стенкой вихревой камеры шириной 25 мм. В качестве теплоносителя в исследованиях использовались в установках [6] продукты сжигания природного технического пропан – бутанового газа или очищенные дымовые газы. В качестве дисперсного материала использованы мел фракцией от 0,315 мм до 0,1 мм, песок речной фракцией от 0,25 до 0,1 мм и природный минерал глина фракцией от 2,0 до 0,5 мм. Температура газового потока при вводе его в вихревую камеру определялась с помощью термоэлемента, а расход газа – расходомером, измерение полей давлений – измерительным комплексом со специальными датчиками [8].

Расход материала регулировался тарированным дозирующим устройством с приводом. Массовая концентрация μ для песка речного составляла 0,36 кг/кг, мела 0,37 кг/кг, глины 0,36 кг/кг, что соответствовало объемной концентрации частиц в потоке $0,227 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$,

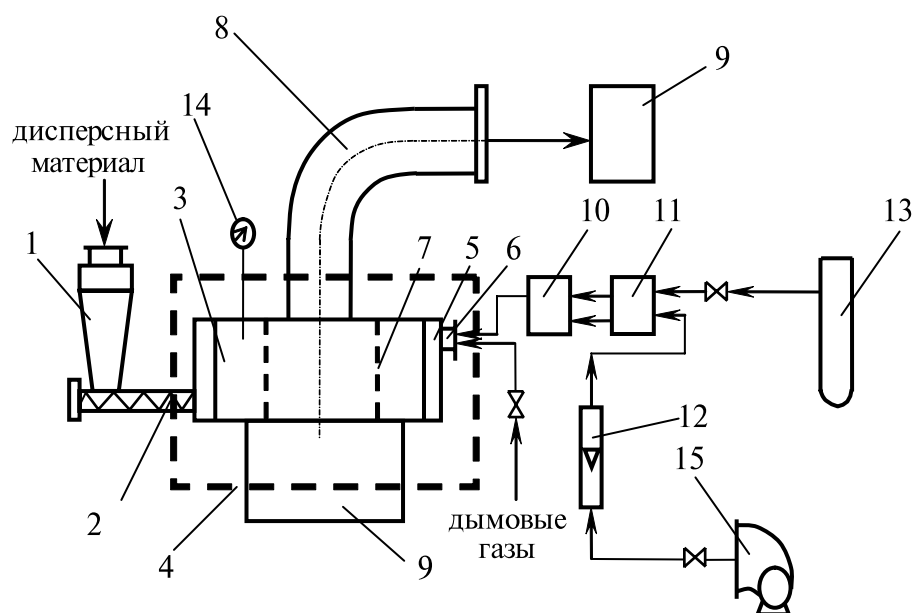


Рис. 4. Схема экспериментальной установки для исследования тепломассообмена в вихревом газодисперсном потоке.

мела — $0,238 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$, глины — $0,244 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$. Так как условия стесненности при объемной концентрации (μ_v) менее $0,35 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$ на теплообмен по данным [9] практического влияния не оказывают, полученные результаты используются для потоков с меньшим значением μ_v .

При изучении теплообмена изменялись следующие параметры: температура и скорость газового потока, расход, влажность, плотность, теплоемкость, размер частиц. В качестве основного применялись режимы для песка речного при $V_{ex} = 18,2 \text{ м/с}$, $t_2 = 280 \text{ °С}$, $W = 6,0 \%$, $\mu = 0,39 \text{ кг/кг}$, $d = 0,25 \text{ мм}$; для мела режим при $V_{ex} = 18,2 \text{ м/с}$, $t_2 = 280 \text{ °С}$, $W = 2,6 \%$, $\mu = 0,37 \text{ кг/кг}$, $d = 0,315 \text{ мм}$; для глины режим при $V_{ex} = 18,2 \text{ м/с}$, $t_2 = 280 \text{ °С}$, $W = 8,3 \%$, $\mu = 0,36 \text{ кг/кг}$, $d = 1,25 \text{ мм}$.

Выполненные измерения позволили установить межкомпонентный коэффициент теплоотдачи α в различных точках объема вихревой камеры экспериментальной установки при указанных факторах, которые характеризуют интенсивность межкомпонентного теплообмена при совмещенных процессах диспергирования и сушки. Исследования позволили установить характер изменения межкомпонентных коэффициентов теплоотдачи α

в разных точках вихревой акустической камеры, которые уменьшаются от пристенной области камеры к центру до минимальной величины, что обусловлено совместным влиянием возмущающих факторов: градиента давления, скорости потока, кривизны поверхности, пограничного слоя, угла и многократности подачи газа, обуславливающие отрыв потока от стенок камер, и его температуры. Для частиц речного песка $\alpha_{max} = 7,5 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ и для частиц глины $\alpha_{max} = 8,2103 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, что подтверждает высокую интенсивность тепломассообмена в вихревой акустической камере экспериментальной установки.

На специально созданных установках [10] проведены исследования принципиальной возможности диспергирования, дозирования жидких компонентов, смешения полученной в вихревом акустическом потоке газозвеси и отработаны режимные параметры получения аэрозолей, устойчивых паст краткосрочного и длительного хранения. Принципиально новый способ получения стойкого аэрозоля [11] осуществляется в кавитационном смесителе пылегазовых и жидкостных потоков и совмещенных вихревом и акустическом полях вихревой установки. При этом обеспечивается получение факела тонкодисперсного стойкого аэрозоля

необходимой длины с ингредиентами твердых частиц материала и значительно меньшими энергетическими затратами. Для получения аэрозолей тонкодисперсных твердых веществ, например, лекарственных растений, препаратов и различных компонентов, используется вихревое устройство в сочетании с кавитационным смесителем и обтекателем для смешения с жидкими компонентами.

Созданы современные технологии и установки, которые позволяют выделить и использовать наиболее ценную часть зерна – его зародыш со сбалансированным витаминным, минеральным и микроэлементным составом. Поэтому научная концепция и разработанная технология и техника получения нераздавленного обеспыленного и микробиологически мало обсемененного зародыша является приоритетным направлением современной науки и техники [12,13]. Результаты исследований на модели, экспериментальной и опытно-промышленной установках при различных диаметрах сепаратора и давлениях воздуха, позволили определить оптимальные тепловые, режимные и технологические параметры и выявить преимущества новой технологии и установки получения нераздавленного пшеничного зародыша в вихревых акустических камерах при небольших энергозатратах с предварительной кратковременной (до 120 сек) обработкой зерна паром с температурой до 110 °С, обдиркой на шероховатых поверхностях вихревых камер и измельчением зерна. Зародыш получают на различных стадиях обработки разной величины, нераздавленный по структуре в отличие от традиционных технологий, где используется вальцовое оборудование, с получением обогащенного зерна, очищенного от пыли, микроорганизмов и оболочек крупок и тонкодисперсных оболочек [14,15].

Созданы и реализованы принципиально новые вихревые энергоресурсосберегающие технологии и установки получения тонкодисперсных систем с совмещенными процессами и новыми физико-химическими и технологическими свойствами материалов.

Выводы

1. Рассмотренные особенности создания вихревых энергоресурсосберегающих технологий и

установок получения дисперсных систем с высокоинтенсивными совмещенными процессами раскрывают новые возможности интенсификации тепломассообмена при получения дисперсных систем конкретного назначения методом совмещения влияния центробежных вихревых и акустических составляющих сил.

2. Разработанные установки и устройства позволили создать высокоэффективные технологии межотраслевого значения для получения дисперсных систем с учетом свойств обрабатываемых материалов, новыми физико-химическими и теплотехнологическими качествами, отвечающими требованиям современных высоких технологий различных отраслей.

3. Разработана концепция, технология и установки получения тонкодисперсных систем: “газ – твердая частица”, “газ – жидкость” в виде аэрозолей, капель воды размером менее 100 мкм, монодисперсных твердых частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Труды* Европейского совещания по измельчению. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1966. – 611 с.
2. *Rudolph G. Wuerker. Annotated Tables of Strength and Elastic Properties of Rocks.* – University of Illinois, Published by Petroleum Branch, ALME December, 1956. – P. 56–59.
3. *Халатов А.А.* Теория и практика закрученных потоков: в 4 – х томах. – К.: –Наукова думка, 1989. – 2000.
4. *Костенко Н.В., Макарец Н.В.* Массообменные процессы и устройства с интенсификацией диспергирования материалов в вихревом потоке с генерацией акустического поля // *Промышленная теплотехника.* – 2000. – Т. 22, № 5 – 6. – С. 108–113.
5. *Костенко Н.В.* Ресурсосберегающая экологически чистая технология и оборудование для получения тонкодисперсных систем // *Промышленная теплотехника.* – 2003. – Т. 25, № 2. – С. 47–51.
6. А.с. № 1765641 СССР. Установка утилизации теплоты уходящих газов. Н.В. Костенко, А.А. Халатов, В.А. Сафонов, С.Л. Кобзар – Заявл. 20.04.89; Опубл. 30.09.92, Бюл. № 36 – 3 с.

7. Халатов А.А., Костенко Н.В., Шихабутінова О.В. Особенности течения вихревых потоков в криволинейных каналах переменных параметров с многократным вдувом // Промышленная теплотехника. – 2004. – 26, № 4 – С. 13–18.

8. Костенко Н.В., Шихабутінова О.В. Дослідження впливу різних факторів на газовий потік на вигнутій поверхні вихрової камери / ІТТФ НАНУ. – Київ, 2002. – 30с. – Укр. – Деп. в ДНТБ України 22.07.02, № 115 – Ук2002. – Реф. в: РЖ „Депоновані наукові роботи”. – 2002. – № 1–2.

9. Горбис З.Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков. – М.: Энергия, 1970. – 424 с.

10. Пат. № 20071А UA. Лінія одержання паст. Н.В. Костенко, А.А. Халатов, С.Л. Кобзар – Заявл. 15.11.95; Опубл. 25.12.97, Бюл. № 6 – 3 с.

11. Пат. № 72391А UA. Спосіб і пристрій одержання факелу стійкого аерозолі. Н.В. Кос-

тенко – Заявл. 05.12.2003; Опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2. – 4 с.

12. Пат. № 22382А UA. Спосіб і установка одержання пшеничного зародка. Н.В. Костенко, Ю.Л. Забулонов, О.В. Шихабутінова – Заявл. 14.05.97; Опубл. 03.03.98, Бюл. № 3 – 7 с.

13. Пат. UA на промисловий зразок № 6743. Установка одержання пшеничного зародку. Н.В. Костенко, О.В. Шихабутінова, В.Ф. Стрихар – Заявл. 29.05.2002; Опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12. – 3 с.: іл.2.

14. Костенко Н.В. Зародки із зернових продуктів // Харчова і переробна промисловість. – 1999. – № 1–2. – С. 22–23.

15. Костенко Н.В., Шихабутінова О.В. Энергосберегающая технология и установка получения зародышей из зерновых продуктов //Промышленная теплотехника.– 2003.– 25, № 4 – С. 73–75.

Получено 19.04.2006 г.