

2. Шрайбер А.А., Гавин Л.Б., Наумов В.А., Яценко В.П. Турбулентные течения газозвеси. – К.: Наукова думка, 1987. – 240 с.

3. Рохман Б.Б. Модель расчета газодисперсных течений на стабилизированном участке трубы // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т. 27, № 5. – С. 41–49.

4. Рохман Б.Б. Об уравнениях переноса корреляционных моментов пульсаций скоростей дисперсной фазы на стабилизированном участке осесимметричного двухфазного потока. Часть I // Пром. теплотехника. – 2005. – Т. 27, № 3. – С. 9–16.

5. Симуни Л.М. Численное решение задачи о неизотермическом движении жидкости в плоской трубе // Инж.-физ. журнал. – 1966. – 10, №1. – С. 85–91.

6. Рохман Б.Б., Шрайбер А.А. Математическое моделирование аэродинамики и физико-химических процессов в надслоевом пространстве топки с циркулирующим кипящим слоем // Инж.-физ. журнал. – 1993. – 65, № 5. – С. 521–526; 1994. – 66, № 2. – С. 159–167.

Получено 26.02.2008 г.

УДК 66.063.6

ГРАБОВ Л.Н., МЕРЩИЙ В.И., ПОСУНЬКО Д.В.

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## ДИСПЕРГИРОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ

Створено дослідний стенд для відпрацювання технологій отримання рідких дисперсних систем та однорідних сумішей із різнорідних компонентів на основі методів дискретно-імпульсної багатofакторної обробки. Проведено дослідно-промислове відпрацювання технологій диспергування багатofазних систем у харчовій та фармацевтичній промисловості, та отримано промислові партії комплексних емульгуючих паст, пасти Теймурова та аерозолів.

Создан экспериментальный стенд для отработки технологий получения жидких дисперсных систем и однородных смесей из разнородных компонентов на основе метода дискретно-импульсной многофакторной обработки. Проведена опытно-промышленная отработка технологий диспергирования многофазных систем в пищевой и фармацевтической промышленности, и получены промышленные партии комплексных эмульгирующих паст, пасты Теймурова и аэрозолей.

Based on the method of discrete-pulse multiple-factor processing, we have manufactured an experimental facility for the development of technologies for the production of liquid disperse systems and homogeneous mixtures from heterogeneous components. The experimental-industrial development of the technologies of dispersion of multiphase systems in food and pharmaceutical industry has been carried out. Industrial batches of complex emulsifying pastes, Teymurov's paste and aerosols have been produced.

$t$  – температура;

$N$  – мощность;

$\tau$  – время;

ДИВЭ – дискретно-импульсный ввод энергии;

ГТП – гигротермические процессы;

ИБОНХ – Институт биоорганической химии и нефтехимии;

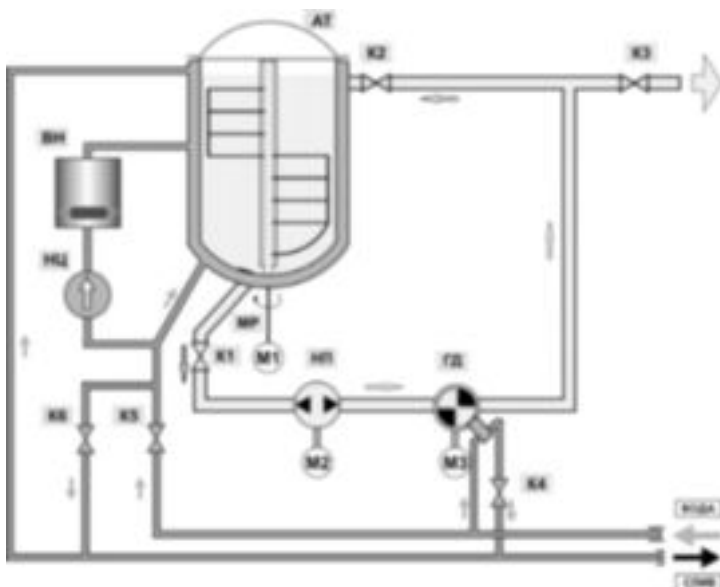
ИТТФ – Институт технической теплофизики;

НПО – научно-производственное объединение.

В пищевой, химической, фармацевтической и других отраслях промышленности часто возникает задача создания жидких дисперсных систем и гомогенных смесей из взаимонерастворимых жидких компонентов (система “жидкость-жидкость”), жидких и твердых компонентов (система

“жидкость-твердое тело”) и газообразных, жидких и твердых компонентов (система “газ-жидкость-твердое тело”) [1–5].

В связи с тем, что такие системы могут состоять из десятков компонентов, получение дисперсных однородных гетерогенных систем пред-



**Рис. 1. Стенд для отработки технологий получения жидких дисперсных систем и однородных смесей из разнородных компонентов на основе метода дискретно-импульсной многофакторной обработки.**

ставляет собой довольно сложную задачу. Использование для этих целей традиционных перемешивающих устройств (разного вида мешалок, миксеров, турбулизаторов и др.) требует длительной обработки и не всегда приводит к нужному результату.

При диспергировании одного килограмма твердого тела до размеров 50 мкм образуется около 3 млрд частиц, а до размеров 10 мкм — около 400 млрд частиц. В связи с этим при степени дробления 3...4 расход энергии для этих целей колеблется от 0,4 до 1,0 кВт·ч/т, а при более тонком диспергировании расход энергии составляет до 30 кВт·ч/т.

В настоящее время для диспергирования многокомпонентных гетерогенных систем в пищевой, химической и фармацевтической промышленности Украины оборудование закупается в Германии, Италии, США и других странах.

Для решения задач создания жидких дисперсных систем и гомогенных смесей в пищевой, химической, фармацевтической и других отраслях промышленности широко используются роторно-пульсационные аппараты [6–9].

В Институте технической теплотехники НАН Украины разработан метод дискретно-импульс-

ной многофакторной обработки смесей для пищевой и фармацевтической промышленности. Импульсная энергетическая многофакторная обработка смеси осуществляется за счет макро- и микродинамических импульсов давления, скорости и развитой кавитации в обрабатываемой среде. При такой обработке смеси интенсифицируются реакции синтеза: за более короткое время проходят физико-химические процессы, что позволяет экономить значительные энергоресурсы.

В роторно-пульсационных аппаратах дисково-цилиндрического типа возникают высокочастотные пульсации давления, скорости и температуры, которые действуют на обрабатываемую смесь при перемещении ее через зону рабочих органов аппарата. Рабочие органы этих аппаратов выполнены в виде дисков с отверстиями, между которыми выдерживается оптимальный зазор, а также коаксиальных цилиндрических тел, имеющих щели и являющихся ротором и статором аппарата.

Для отработки технологий получения жидких дисперсных систем и однородных смесей из разнородных компонентов на основании этого метода, а также испытаний аппаратов для изготовления комплексных эмульгирующих паст был разработан и изготовлен стенд. Схема стенда представлена на рис. 1.

Стенд состоит из реактора АТ, оснащенного мешалкой МР и водяной рубашкой, продуктового насоса НП, испытуемого диспергатора-гомогенизатора дисково-цилиндрического типа ГД, запорной арматуры и трубопроводов. Стенд оснащен комплексом приборов, предназначенных для измерения температуры и давления.

Смесь из реактора через кран К1 насосом НП транспортируется в диспергатор-гомогенизатор ГД. В диспергаторе-гомогенизаторе ГД смесь поступает через всасывающий патрубок на дисковый динамический фильтр аппарата и попадает в его коаксиальную роторно-статорную зону.

При периодическом перекрытии рабочей поверхностью ротора щелей статоров в диспергаторе-гомогенизаторе образуются пульсации давления. Диспергирование и гомогенизация смеси осуществляется за счет механических и гидродинамических воздействий в пространстве между вращающимся ротором и неподвижным статором. Аппарат создает гидродинамические им-

пульсы с частотой  $1,2 \cdot 10^3 \dots 3,6 \cdot 10^3$  Гц, что позволяет осуществлять процессы диспергации системы твердых компонентов и жидкости. После прохождения через внешний статор продукт поступает в нагнетательный патрубок, выходит за пределы гомогенизатора-диспергатора и через кран К2 поступает обратно в реактор или через кран К3 происходит выгрузка готового продукта.

Поддержание заданной температуры продукта осуществляется при помощи системы нагрева/охлаждения, состоящей из нагревателя ВН, насоса теплоносителя НЦ, трубопроводов и запорной арматуры.

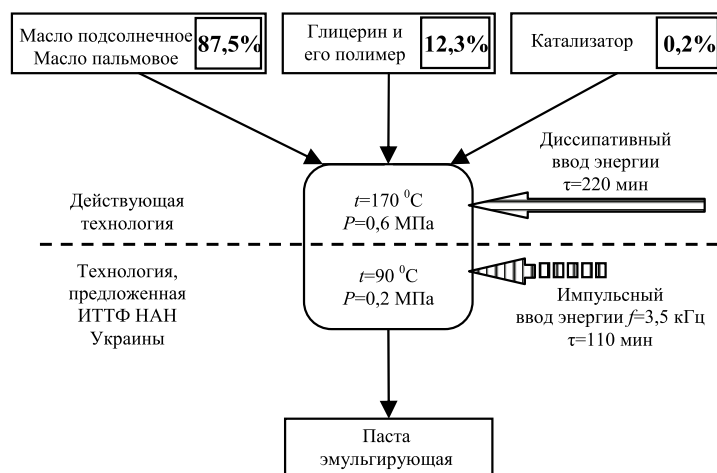
Испытания проводились на суспензионно-дисперсной смеси, состоящей из:

- растительных масел (подсолнечного и пальмового), гидрированных водородом;
- глицерина и его полимера после реакции гидролиза;
- катализатора на основе оксида кальция.

Компоненты взяты в соотношении 87,54:12,26:0,2 и массой 20:2,9:0,04 кг. Для обработки продукта использовался диспергатор-гомогенизатор дисково-цилиндрического типа, предназначенный для использования в технологической линии по производству поверхностно-активных веществ, которые применяют в пищевой промышленности.

Действующая технология получения эмульгирующих паст представлена на рис. 2. В технологическую емкость с рубашкой, оборудованную мешалкой, загружают исходные компоненты: смесь растительных масел, гидрированных водородом, а также глицерин и его полимер после реакции поликонденсации. Затем добавляют катализатор на основе оксида кальция. После этого мешалкой диссипативно вводят энергию на протяжении 220 мин при давлении в емкости 0,6 МПа и температуре продукта 170 °С. В течение этого времени проходит реакция синтеза, в результате которой получается эмульгирующая паста.

ИТТФ НАН Украины предложил новую технологию получения эмульгирующих паст (рис. 2). В реактор загружали все компоненты, проводили циркуляцию по контуру: реактор — продуктовый насос — диспергатор-гомогенизатор — реактор.



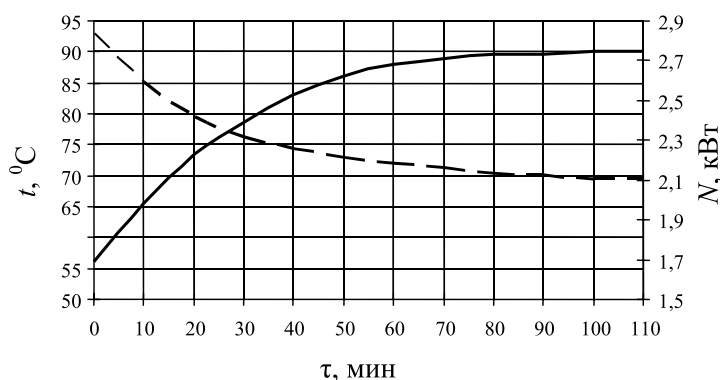
**Рис. 2. Технологии производства эмульгирующих паст.**

Энергия в исходную смесь вводилась импульсно при помощи диспергатора-гомогенизатора дисково-цилиндрического типа при давлении в контуре циркуляции 0,2 МПа. Процесс синтеза многокомпонентного эмульгатора осуществлялся при температуре 63...90 °С. Через 10 мин после начала обработки смеси наблюдалось изменение ее цвета. Исследование процесса проводили на протяжении 110 мин.

На рис. 3 приведен график изменения температуры смеси в процессе получения эмульгирующих паст. Как видно, при обработке составляющих эмульгирующих паст на протяжении 50...60 мин происходит значительный рост температуры смеси со скоростью 0,4...0,6 °С/мин. Далее рост температуры замедляется, а после 60 мин практически останавливается, что свидетельствует о завершении экзотермической реакции синтеза.

Кроме того, были проведены исследования по отработке энергосберегающей технологии синтеза многокомпонентного эмульгатора, а именно модельного продукта эмульгирующей пасты «Памела», которая должна отвечать требованиям ТУ В 24.5-31718927.001-2002.

Целью исследования было изучение возможности интенсификации тепломассообменных процессов методом ДИВЭ при производстве комплексных эмульгирующих паст. Были исследованы температурные, гидродинамические и другие параметры процессов диспергации, гомогенизации, растворения, этерификации, плавления.



**Рис. 3. Зависимость изменения температуры обрабатываемой смеси и мощности, потребляемой диспергатором-гомогенизатором, от времени обработки продукта.**

Исследование ДИВЭ-технологии синтеза многокомпонентного эмульгатора на указанном лабораторном оборудовании и изучение ее особенностей осуществлялось совместно со специалистами НПО ООО «Химтех», г. Луганск.

Исходные субстанции были взяты в соотношении:

- 1,2 — пропиленгликоль, вязущая жидкость 11,4 %;
- сорбит, дисперсные кристаллы 17,9 %;
- эмульгатор «М-1» «Химтех», пластичные хлопья 35,9 %;
- вода подготовленная 29,6 %;
- щелочь NaOH, крупнодисперсные кристаллы 5,4 %.

Исходные субстанции постепенно загружали в реактор с циркуляцией по контуру: реактор — продуктовый насос — генератор — реактор. Общая масса смеси составляла 61,6 кг. Процесс синтеза многокомпонентного эмульгатора осуществлялся при температуре 35...94 °С на протяжении 155 мин. Реакция этерификации

прошла за 8 мин. По действующей технологии такая реакция продолжается 1 ч 10 мин.

Для предотвращения перегрева продукта в реакторе, который препятствует синтезу эмульгатора и вызывает деструкцию компонентов, осуществлялось охлаждение реактора по проточной схеме. Рабочие значения температуры охлаждающей жидкости (воды) не превышали 30 °С на выходе из рубашки реактора.

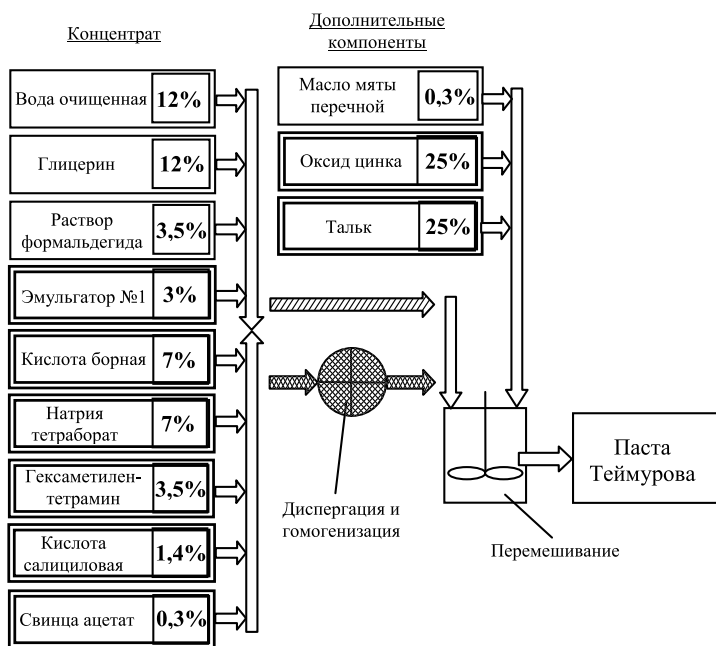
Было проведено тестирование полученной пасты «Памела» и сравнение ее с пастой, полученной по действующей технологии. Результаты тестирования готового продукта, проведенного в лаборатории НПО ООО «Химтех», г. Луганск, приведены в таблице.

Органолептические показатели пасты, полученной по предложенной технологии, получили высшие оценки по пятибалльной шкале. Полученная при применении энергоэффективной технологии пастообразная смесь отвечает требованиям ТУ В 24.5-31718927.001-2002 на эмульгирующую пасту «Памела». Это подтверждает, что реализация ДИВЭ-технологии синтеза многокомпонентного эмульгатора на предложенном аппарате позволяет интенсифицировать такие тепломассообменные и гидродинамические процессы: диспергацию, гомотенизацию, растворение, этерификацию, плавление, что приводит к снижению энергозатрат и повышению качества получаемого продукта.

На основании проведенных исследований тепломассообменных процессов обработки многокомпонентных смесей на стендовом оборудовании лаборатории ГТП ИТТФ НАН Украины была отработана технология получения эмульгирующей пасты на роторно-пульсационном аппарате дисково-цилиндрического типа в промышленной технологической линии по производству поверхностно-активных веществ на НПО ООО «Химтех», г. Луганск.

Таблица. Результаты тестирования пасты, полученной по действующей технологии и с использованием ДИВЭ — генератора

Образцы для сравнения	Показатели, которые тестировались		
	Микроскопия	Цвет	Запах
По действующей технологии	3	4	3
По технологии с применением ДИВЭ-генератора	5	5	5



**Рис. 4. Технологическая схема производства пасты Теймурова, действующая и предложенная Институтом технической теплофизики НАН Украины:**

- — жидкие компоненты, □ — твердые компоненты,  
 ▨ — действующая технология,  
 ▩ — предложенная технология.

Контрольно-аналитические показатели технологического процесса получения комплексных эмульгирующих паст с использованием предложенного аппарата в условиях промышленной эксплуатации свидетельствуют о том, что процесс получения паст сократился со 120 до 60 мин. Образцы эмульгирующих паст массой 5000 кг прошли испытание на предприятиях при производстве кондитерских изделий. Полученная продукция рекомендована к промышленному использованию.

С целью применения роторно-пульсационных аппаратов дисково-цилиндрического типа в фармацевтической промышленности были проведены исследования по отработке технологии производства многокомпонентной системы «жидкость-твердое тело».

Были исследованы температурные, гидродинамические и другие параметры процессов диспергации и гомогенизации, растворения, плавления.

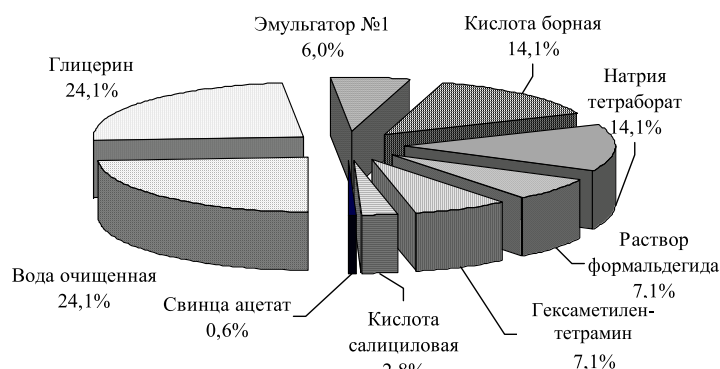
Исследовалась и определялась скорость нагрева дисперсной смеси при осуществлении этих процессов.

В качестве модельного тела была выбрана паста Теймурова, так как она состоит из большого количества разнородных компонентов.

По существующей в настоящее время в фармацевтическом производстве технологии получения пасты Теймурова компоненты постепенно и в определенном порядке вводятся в реактор и тщательно перемешиваются. Производственный процесс занимает 4...5 часов и требует предварительной подготовки твердых компонентов по дисперсности. При этом получаемый продукт не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к нему по однородности.

В ИТТФ НАН Украины предложена технология производства пасты Теймурова (рис. 4), которая отличается от действующей тем, что предварительно готовится концентрат, состоящий из компонентов, к дисперсности которых предъявляются повышенные требования. Для обработки концентрата (рис. 5), используемого в дальнейшем для получения пасты Теймурова, применялся диспергатор-гомогенизатор дисково-цилиндрического типа.

В количественном отношении концентрат составляет 50 % от массы готового продукта, что позволяет уменьшить обрабатываемый объем смеси и, применяя диспергатор-гомогенизатор, интенсифицировать и сократить по времени процесс обработки компонентов. Кроме того, эффект одновременного диспергирования и перемешивания компонентов, входящих в концентрат для производства пасты Теймурова, в пред-



**Рис. 5. Состав концентрата для производства пасты Теймурова.**

ложенном аппарате позволяет снизить требования к дисперсности исходных компонентов.

Применение предложенной технологии в производстве пасты Теймурова на фармацевтических предприятиях таких, как Государственный экспериментальный завод медпрепаратов ИБОНХ НАН Украины (партия UA/22.10/01/01) и ОАО “Тернофарм”, позволило сократить время процесса в 1,5 раза и существенно улучшить дисперсность и однородность полученной пасты.

Обобщение результатов проведенных исследований позволило реализовать метод ДИВЭ в технологической линии по производству аэрозольных препаратов (система “газ-жидкость-твердое тело”) на ОАО “Стома”, г. Харьков. Технология диспергирования многокомпонентных гетерогенных систем была применена для получения аэрозоля “ОЛАЗОЛЬ”, в состав которого входят:

- масло облепиховое	9 %;
- левомицитин	2,7 %;
- анестезин	2,7 %;
- кислота борная	0,45 %;
- триэтаноламин	2,7 %;
- ланолин безводный	0,45 %;
- кислота стеариновая	3,6 %;
- глицерин дистиллированный	9 %;
- вода подготовленная	59,4 %;
- хладон 12	10 %.

Особенностью получения данного продукта является то, что в нем содержится большое количество сухих веществ. Это приводит к значительному нагреву обрабатываемой смеси. Поскольку допустимая максимальная температура для некоторых компонентов составляет 40 °С, необходимо обеспечить интенсивное охлаждение обрабатываемой смеси. Была получена партия аэрозоля “ОЛАЗОЛЬ”, отвечающего требованиям, предъявляемым к данному препарату.

### Выводы

Благодаря разработкам ИТТФ НАН Украины в области диспергации и гомогенизации многокомпонентных гетерогенных систем, предложены

энергосберегающие технологии и оборудование, которые успешно внедрены на отечественных предприятиях пищевой и фармацевтической промышленности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Долінський А.А.* Принцип ДІВЕ та його використання у технологічних процесах. — К.: Наукова думка, 2001. — 346 с.
2. *Долінский А. А., Павленко А. М., Басок Б. И.* Теплофизические процессы в эмульсиях. — К.: Наукова думка, 2005. — 264с.
3. *Долінский А.А., Шаркова Н.А., Телецкая Я.Т. и др.* Получение липосомных наносистем с использованием эффекта ДИВЭ // Промышленная теплотехника. — 2006. — Т. 28, № 5. — С. 37–40.
4. *Грабов Л.Н., Мерщій В.И. и др.* Проблема трансформации энергии в системе “твердое тело-жидкость” при тонком и супертонком диспергировании// Промышленная теплотехника. — 2001. — Т.23, № 4. — С.74–79.
5. *Промышленная технология лекарств: В 2 т. / под ред. Чуешова.* — Х.: МТК-Книга; Из-во НФАУ, 2002. — Т.1. — 560 с.
6. *Басок Б.И., Давыденко Б.В., Кравченко Ю.С., Кремнев В.О., Пироженко И.А.* Особенности гидродинамики роторно-пульсационных аппаратов дискового типа // Промышленная теплотехника. — 2003. — Т. 25, № 3. — С. 21–25.
7. *Промтов М.А.* Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. — М.: Машиностроение-1, 2001. — 260 с.
8. *Грабов Л.Н., Мерщій В.И., Грабова Т.Л.* Инновационные технологии и теплообменное оборудование для фармацевтических производств // Промышленная теплотехника. — 2003. — Т. 25, (приложение к № 4). — С. 113–115.
9. *Патент України № 44631.* Тепломасообмінний пристрій для виготовлення багатоконпонентних рідких середовищ./ Грабов Л.М., Мерщій В.І., Грабова Т.Л.

Получено 17.01.2008 г.