

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНО-ИМПУЛЬСНОГО ВВОДА ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ СПИРТСОДЕРЖАЩИХ СИСТЕМ

Грабова Т.Л.

Институт технической теплофизики НАН Украины

Исследовано влияние эффектов ДИВЭ, реализуемых в дисково-цилиндрических аппаратах, на процессы структурообразования в системах спиртсодержащая смесь – карбомер. Предложенная ДИВЭ-технология позволила интенсифицировать тепломассообменные процессы получения спиртовых гелей в 2 раза.

С – концентрация;

t – температура;

pH – водородный показатель;

– скорость сдвига;

τ – время;

μ – коэффициент динамической вязкости;

ГЗМП – Государственный экспериментальный завод медицинских препаратов;

ДИВЭ – дискретно-импульсный ввод энергии;

ИБОНХ – Институт биоорганической химии и нефтехимии.

Исследование процессов структурообразования в дисперсных системах имеет важное теоретическое и прикладное значение в виду многообразия таких систем, участвующих, как в природных явлениях, так и при проведении различных технологических операций [1].

В частности, процессы структурообразования, в т.ч. при получении наноструктурированных систем, являются основными в технологиях получения широкого спектра фармацевтической и косметической продукции (гели, мази, кремы и т.п.). Характер протекания таких процессов и функциональные свойства готового продукта зависит от ряда факторов, в частности, физико-химической природы субстанций, водородного показателя системы, концентрации структурообразователя, температуры процесса, а также от методов обработки и получения связно-дисперсных систем [2, 3].

В представленной работе рассмотрены процессы структурообразования (гелеобразования) в спиртсодержащей смеси (этанол, эфиры кислот, ароматические масла, вода), где в качестве структурообразователя применяется карбомер.

Процесс гелеобразования в таких системах проходит в 3 стадии (рис. 1).

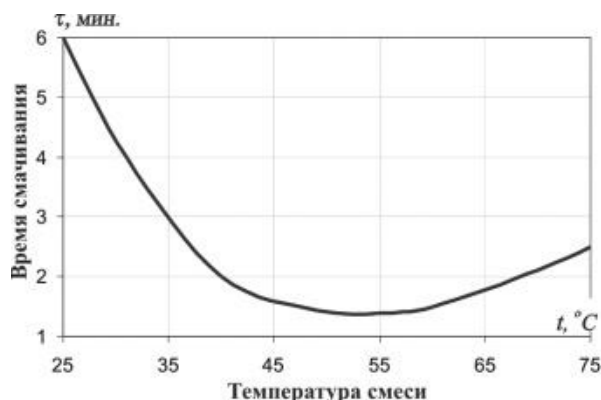


**Рис. 1. Схема механизма гелеобразования в спиртсодержащих системах.**

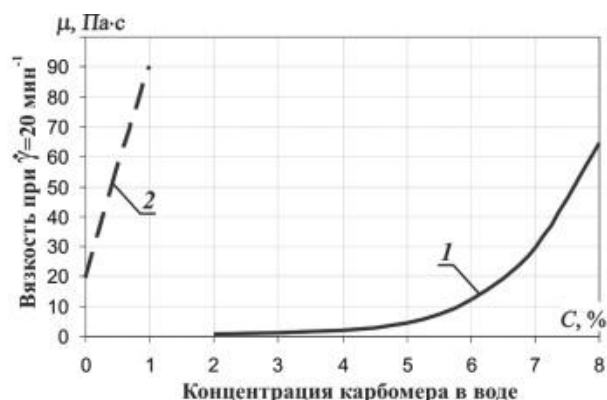
Первая стадия заключается в получении дисперсии структурообразователя (карбомера) в спиртовой смеси. Карбомер является высокодисперсным порошком (размер частиц 2...25 мкм). Каждая частица представляет собой трехмерную сетчатую структуру и в силу гидрофильных свойств характеризуется высокими значениями поверхностной энергии на межфазной границе. Сила взаимодействия в контактах между частицами возрастает при его погружении в

дисперсионную среду (спиртовую смесь), что приводит к образованию больших коагуляционных структур неравномерно распределенных по объему смеси и затрудняет процессы гелеобразования во всем объеме.

На второй стадии молекула карбомера гидратируется и начинает набухать. Интенсивность такого массообменного процесса существенно зависит от температуры системы (рис. 2). Однако повышение температуры приводит к возникновению коагуляционных структур (слипанию набухающих частиц). А нагрев смеси свыше 70...75 оС приводит к деструкции (пластификации) карбомера и, соответственно, к прекращению процесса гелеобразования.



**Рис. 2. Зависимость изменения времени смачивания (набухания частиц) карбомера от температуры системы.**



**Рис. 3. Вязкость водной дисперсии в зависимости от концентрации карбомера: 1 – для системы с рН = 2,8...3,3; 2 – с рН = 7,5.**

На 3-й стадии существенно изменяются основные структурно-механические свойства – система теряет текучесть из-за образования структурной сетки. Увеличение вязкости системы в зависимости от содержания карбомера в водной дисперсии изменяется по экспоненциальной зависимости (поз. 1, рис. 3), а для дисперсии со значением рН системы большим в 2,5 раза – по линейной зависимости (поз. 2). Кроме того, понижение водородного показателя системы дает возможность осуществлять процессы гелеобразования в системах с концентрацией карбомера менее 1% [3].

ИТТФ НАНУ совместно со специалистами ГЗМП ИБОНХ НАНУ создали установку и ведут работы по отработке теплотехнологии получения спиртовых гелей.

Принципиальная схема получения таких гелей (рис. 4) включает реактор 1 объемом 200 л с перемешивающим устройством 2, сито 5 для загрузки структурообразователя с дезинтеграцией, для выгрузки готового продукта используют погружной насос 6 и мобильный насосно-диспергационный агрегат типа «Фарматрон-3000», разработанный и изготовленный ИТТФ НАНУ [4]. Одним из составных элементов агрегата является дисково-цилиндрический аппарат роторно-пульсационного типа (рис. 5).

Применение эффектов дискретно-импульсного ввода энергии (ДИВЭ) в гетерогенные системы [5,6], реализуемые в таких аппаратах за счет многофакторного динамического и энергетического воздействия на обрабатываемую систему [7,8], позволяет решить ряд проблем в процессах гелеобразования.

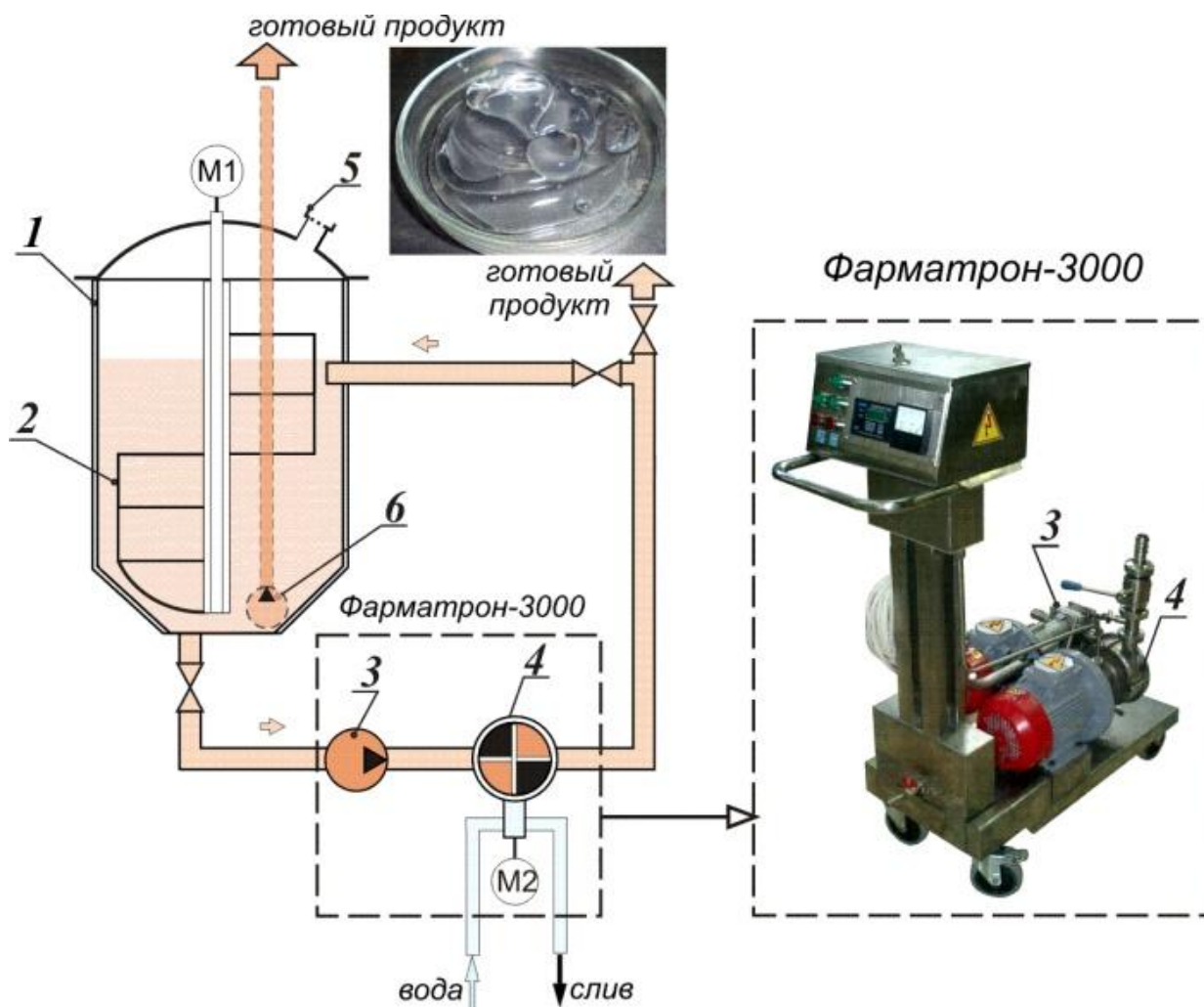


Рис. 4. Принципиальная схема получения спиртовых гелей:

1 – реактор; 2 – мешалка; 3 – роторный насос; 4 – дисково-цилиндрический аппарат; 5 – сито; 6 – погружной насос.

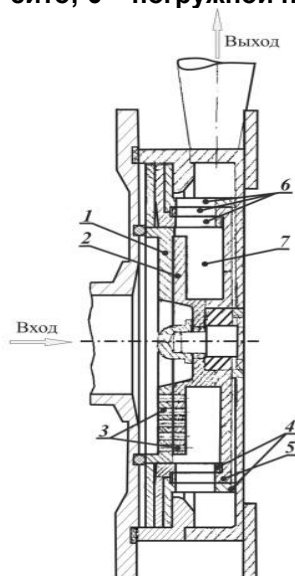


Рис. 5. Схема конструкции дисково-цилиндрического аппарата:

1,4 – статоры, 2,5 – роторы, 3 – каналы; 6 – прорези; 7 – камера.

Следует отметить: опытно-промышленные испытания показали, что получение спиртосодержащего геля невозможно без применения методов ДИВЭ. Однако действующая технология имела ряд недостатков (см. табл. 1): неравномерное распределение субстанций по объему обрабатываемой

системы, завоздушивание готового продукта, продолжительность операций. Технологическая цепочка рассчитана на 165 кг готового продукта, где массовая доля структурообразователя составляет менее 0,006 %.

Учитывая опыт теоретических и прикладных работ в области ДИВЭ в гетерогенные системы, а также проведенные институтом экспериментальные исследования [9-11], предложена технология, в которой эффекты ДИВЭ целесообразно использовать на каждой стадии процесса гелеобразования (см. табл. 2). Такой подход обоснован следующим. При прохождении системы через аппарат развиваются большие скорости сдвига, приводящие к диссипации энергии, что сопровождается выделением теплоты. Т.е. при обработке системы повышается ее температурный потенциал, что приводит к интенсификации тепломассообменных процессов (смачивания, набухания, гидратации, нейтрализации). При этом кратковременный нагрев в локальных зонах не приводит к деструкции геля.

За счет динамического и пульсирующего режимов течения, турбулентных и вихревых потоков, особенно их влияние существенно на первых стадиях процесса – пока система является свободно-дисперсной, происходит равномерное распределение порошка структурообразователя в смеси, а соответственно, позволяет получить равномерную по плотности во всем объеме трехмерную структуру.

Динамика процесса гелеобразования и качество готового продукта определяют по значениям вязкости и оптической плотности [1, 12].

Полученный спиртсодержащий гель является вязкопластичной структурой с выраженными псевдопластичными реологическими свойствами, что свидетельствует о получении структурированной системы. При низких напряжениях сдвига гель не обладает текучестью, при высоких сдвиговых напряжениях (до 2...2,5 МПа), которые развиваются в аппарате в процессе гидродинамической обработки, он становится текучим. Кратковременное воздействие таких напряжений не приводит к необратимым разрушениям его пространственной структуры, обработанная система обладает свойствами тиксотропии.

Вязкость полученного спиртового геля достигает  $6,5 \pm 1,5$  Па·с, а оптическая плотность –  $1,366 \pm 0,003$ , что соответствует аналитическо-нормативной документации на готовый продукт по ТУ У 24-2-32665379-010:2007.

На ГЗМП ИБОНХ НАНУ по предложенной технологии выпущена промышленная партия №021109 геля АХД-2000, который обладает антибактериальными свойствами – за 30 сек. снижает количество микрофлоры кожи в 100 тыс. раз.

Выводы:

1. Применение эффектов ДИВЭ, реализуемых в дисково-цилиндрических аппаратах роторно-пульсационного типа, позволило осуществить и интенсифицировать ряд тепломассообменных и физико-химических процессов получения гелеобразных фармацевтических систем, что привело к сокращению продолжительности производственного процесса в 2 раза и ряда трудоемких технологических операций без привлечения дополнительного оборудования, кроме того, позволило улучшить качество готового продукта.

2. Следует отметить, что полученные в работе данные могут быть использованы для разработки новых технологий получения гелеобразных спиртсодержащих топлив.

Табл. 1. Карта получения спиртосодержащего геля по действующей технологии

	Технологическая операция	Субстанция	Технологич. оборудование						Продолжительность операции, мин.	Недостатки
			Реактор	Мешалка	Сито	Роторный насос	Дисково-цилиндровый аппарат	Погружной насос		
1	Загрузка	жидкая смесь								
2	Загрузка	порошок карбомера							60	продолжительная, трудоемкая операция
3	Перемешивание смеси								120-150	неравномерное распределение карбомера по объему смеси, возникновение коагуляционных структур
4	Загрузка (метод непрямого добавления)	жидкий нейтрализатор								
5	Перемешивание смеси								30	неравномерное распределение субстанции по объему смеси, помутнение смеси
6	Гомогенизация								45-60	происходит распределение частиц структурированного продукта в объеме неструктурированного, т.е. не возникает пространственной сетки во всем объеме
7	Выгрузка	готовый продукт:гель								привлечение дополнительного оборудования
									4-4,5 часа	

Табл. 2. Карта получения спиртсодержащего геля по предложенной ИТТФ НАНУ технологии

Технологическая операция	Субстанция	Технологич. оборудование						Продолжительность операции, мин.	Тепломасообменные и физико-химические процессы
		Реактор	Мешалка	Сито	Роторный насос	Дисковый цилиндр. аппарат	Погружной насос		
1	Загрузка и гомогенизация	жидкая смесь						25-30	равномерное распределение карбомера в объеме смеси, начало процесса смачивания карбомера
		порошок карбомера							
		жидкая смесь							
2	Перемешивание						30	процесс смачивания и частичное разворачивание молекулы карбомера	
3	Загрузка (метод непрямого добавления) и гомогенизация	жидкий нейтрализатор						5-10	равномерное распределение субстанции в объеме
4	Перемешивание смеси							30	процесс нейтрализации: полностью разворачивается молекула карбомера, образуя пространственную сетку во всем объеме смеси

5	Выгрузка	готовый продукт:гель				15-20	сдвиговые напряжения, развиваемые в аппарате, разжижают систему и позволяют ее транспортировать
						2-2,5 часа	

## ЛИТЕРАТУРА

1. Урьев Н. Б. Структурированные дисперсные системы / Н. Б. Урьев // Сорровский образовательный журнал. – 1998. – №6. – С. 42–47.
2. Грабова Т. Л. Дискретно-імпульсне введення енергії в наноструктуровані гетерогенні системи : тези Всеукраїнської конференції «Сучасне матеріалознавство: матеріали та технології» (Київ, 12-14.11.08 ) / Т. Л. Грабова, А. В. Бучма / Національна академія наук України. – К.: НАНУ, 2008. – С. 161
3. Carbopol Ultrez 10 Polymer for Personal Care Applications : TECHNICAL DATA SHEET [Электронный ресурс] / Copyright 2007 : The Lubrizol Corporation. – 2007. – 4 p. – Режим доступа: <http://www.lubrizol.com/Pharmaceutical/DispersionTechniques.html>
4. Грабов Л. Н. Инновационные технологии и теплообменное оборудование для фармацевтических производств / Л. Н. Грабов, В. И. Мерший, Т. Л. Грабова // Промышленная теплотехника. – 2003. – т. 25, прил. к № 4. – С. 113–115.
5. Долинский А. А. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях / А. А. Долинский, Б. И. Басок, С. И. Гулый, А. И. Накорчевский, Ю. А. Шурчкова. – К.: Наукова думка, 2001. – 348 с.
6. Долинский А. А. Принципы оптимизации массообменных технологий на основе метода дискретно-импульсного ввода энергии/ А. А. Долинский, А. И. Накорчевский // Промышленная теплотехника. – 1997. – т. 19, № 6. – С. 5–9.
7. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М. А. Промтов. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 260 с.
8. Грабова Т. Л. Диспергування гетерогенних систем у роторно-пульсаційних апаратах дисково-циліндричного типу: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06 / Т. Л. Грабова. – К., 2007. – 23, [1] с.
9. Грабов Л. Н. Диспергирование многокомпонентных гетерогенных систем / Л. Н. Грабов, В. И. Мерший, Д. В. Посуныко // Промышленная теплотехника. – 2008. – т. 30, № 2. – С. 27–32.
10. Накорчевский А. И. Гидродинамика и теломассоперенос в гетерогенных системах и пульсирующих потоках / А. И. Накорчевский, Б. И. Басок. – К.: Наукова думка, 2001. – 346 с.
11. Грабова Т. Л. Воздействие ДИВЭ на свойства кремнийорганических сорбентов / Т. Л. Грабова // . – 2004. – т. 26, № 6. – С. 9–15.
12. Нужный А. Ю. Определение скорости гелеобразования в системе SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>–H<sub>2</sub>O методом турбидиметрии / А. Ю. Нужный, О. Н. Калугин // Вісник Харківського національного університету. – 2007. – № 770, вип. 15 (38). – С. 251–262.