

# ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ ДИВЭ НА СТРУКТУРУ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КСЕРОГЕЛЕЙ

А. А. ДОЛИНСКИЙ, Л. Н. ГРАБОВ, Т. Л. ГРАБОВА, Е. А. ПЕРЕЯСЛАВЦЕВА

---

## Введение

Большой интерес к вопросам получения ксерогелей вызван широким спектром функциональных возможностей таких структур, в том числе наноструктурированных, и связан с потребностью в новых материалах и методах их получения (синтеза).

Изучено влияние ряда факторов на гелеобразование и формирование пористой структуры коагелей, что позволило создать физико-химические основы целенаправленного регулирования структуры нового класса наногетерогенных гидрогелей и ксерогелей (1—5).

## Модельные структуры

Группой украинских ученых под руководством Ю. Г. Шевченко создана промышленная технология направленного синтеза (золь-гель технология) гидрогеля метилкремниевой кислоты (ГГМКК). Биокорректирующий сорбент внедрен в медицинскую практику, способен связывать и быстро выводить из организма среднемoleкулярные токсичные вещества эндо- и экзогенной природы, патогенные микроорганизмы и вирусы, благодаря их высокой способности к адгезии с кремнийорганической матрицей. Адгезия на сорбенте сопровождается деструкцией бактерии, которая может быть усилена присутствием в составе сорбента ионов металлов [6,7].

В качестве модельной структуры взят ГГМКК, который представляет собой гранулы с наногетерогенной системой с трехмерной матрицей, состоящей из скрученных линейных структур в виде коллоидных частичек — глобул (рис. 1). На поверхности глобулы размещены органические радикалы  $-\text{CH}_3$ , за счет чего гидрогель является гидрофобным (~ на 75 %), а за счет несконденсированных гидроксильных групп  $-\text{OH}$  — гидрофильным (25%) [6, 8].

Кроме того, в качестве еще одной модельной наноструктурированной системы был взят гидрогель металлокмплексполиметилсилоксана (МКПМС), поверхность которого модифицирована комплексами ионов металлов. В представленной работе это ионы меди (1,4% от общей массы) и цинка (0,4 % мас.) (в дальнейшем сокращение  $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn}$ -ПМС) [6,9].

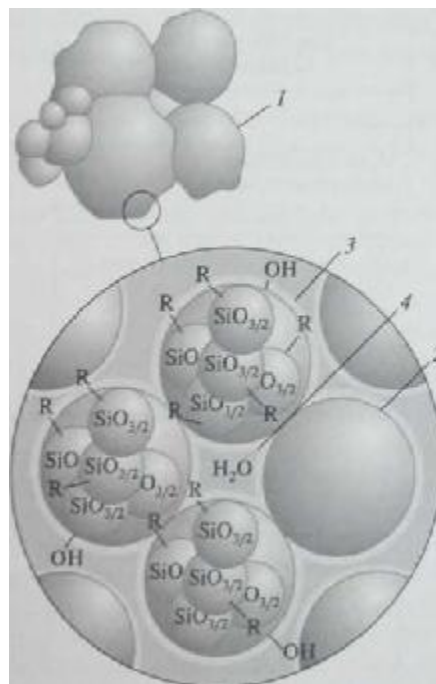
Начальная влажность таких модельных субстанций  $W_H$  — 86...92 %.

Следует заметить, что исследуемые системы относятся к фрактальным, что подразумевает особую упорядоченность, фрактальный элемент которой повторяется в разных масштабах, т.е. мы имеем дело с наногетерогенной структурой в микрогетерогенной системе.

ИТТФ НАНУ разработал технологии и оборудования получения ксерогелей таких адсорбентов.

Ксерогели представляют собой корпускулярную структуру, состоящую из аморфных сферических частичек, связанных между собой в пространственный каркас, размеры и плотность упаковки которых зависят от способа синтеза и обезвоживания [3, 5].

Рис. 1. Схематическое представление модельной структуры: 1 — гранула или макрочастица наногетерогенного гидрогеля (до 2 мм); 2 — глобула (7... 15 нм); 3 — гидратная оболочка; 4 — пора с иммобилизованной водой; R — органический радикал



### Методы получения наноструктурированных пористых ксерогелей

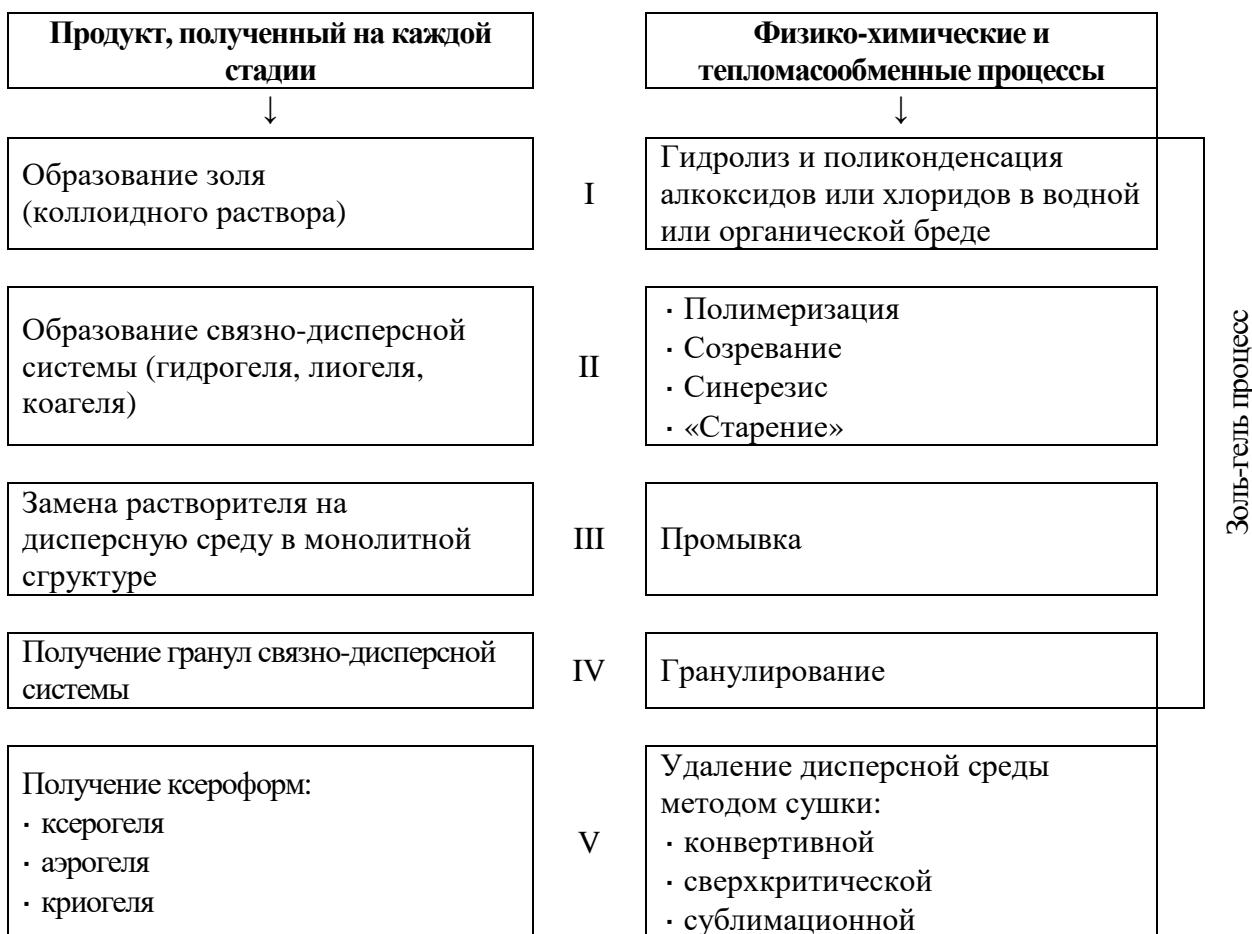
Как правило, получение ксерогелей проходит следующие стадии (рис. 2): получение золя, формирование глобулярной структуры и порового пространства — получение гидрогеля, созревание и синерезис, промывка методом декантации и обезвоживание гидрогеля [4, 5].

Большое влияние на адсорбцию и избирательные свойства адсорбентов оказывают размеры пор. Поэтому, выбирая функциональную направленность адсорбента, следует учитывать геометрическую структуру (степень дисперсности, величину удельной поверхности, размеры пор и величину объема сорбционного пространства) и природу поверхности.

На формирование пористой структуры оказывает влияние широкий диапазон факторов на каждом этапе.

Так на этапах I-IV (рис. 2) и как показано в работе [5] использование промывочной воды с различными водородными показателями, обработка гидрогелей кислотами, замена водной интермицеллярной жидкости на ПАВ, гидротермическое модифицирование, осаждение с различными кислотами не дало желаемых результатов. В водно-органических средах образуются ксерогели с более тонкими порами по сравнению с адсорбентом, осажденном в водной среде. Эффективный радиус пор уменьшается в 2 раза при сохранении достаточно высоко значения сорбционного объема пор. При осаждении гидрогеля в водно-органических средах вокруг мицелл формируются гидратные оболочки из гидроксилсодержащих органических соединений; которые препятствуют агрегации и рыхлоупакованного жесткого каркаса. Эластичный гидратированный скелет при высушивании под действием капиллярных сил сжимается сильнее, образуя тонкие поры, чем в случае осаждения гелей в водной среде.

Важную роль в формировании пористой структуры ксерогелей играют процессы, связанные с удалением дисперсионной среды методом сушки (этап V).



**Рис.1.** Поэтапная схема получения ксерогелей

В представленной работе обезвоживание гидрогелей проводилось двумя методами конвективной сушки: в слое и методом распыления в потоке теплоносителя.

Процессу сушки предшествовал этап предварительной гидродинамической обработки до получения однородной суспензии с размером частиц модельной субстанции до 300 мкм. Этот этап проводился в реакторных аппаратах роторно-пульсационного типа, в которых реализуется метод дискретно-импульсного ввода энергии в гетерогенные среды (ДИВЭ) [10—12]. В аппарате генерируются гидродинамические импульсы с частотой  $1,2 \cdot 10^3 \dots 3,6 \cdot 10^3$  Гц.

Степень дисперсности и гранулометрический состав ксерогелей оценивали морфометрическим методом по максимальному линейному размеру частиц и ситовым методом.

Морфология поверхностей ксерогелей изучалась на сканирующем электронном микроскопе JSM-9490LV с предварительным покрытием ионами серебра на установке JCF-1600 (фирмы JEOL Ltd).

Структурно-сорбционные характеристики ксерогелей определялись путем неспецифической адсорбции-десорбции н-гексана и азота на образцах (комплекс NovaWin2, Quantochrome Instrument Corp.): величина удельной поверхности

определялась методом Brunauer-Emmett-Teller (BET) и удельного объема пор — методом Barrett- Joyner- Halenda (BJH), базирующимся на теории капиллярной конденсации [13].

## Результаты

Совместно со специалистами Экологоохранной фирмы "Креома-Фарм" (г. Киев) проведен комплекс исследований влияния предварительной гидродинамической обработки и режимных параметров сушки на адсорбционноструктурные свойства пористых наносистем.

Первая серия экспериментов проводилась с ГГМКК (соотношение компонентов 7 : 3) при варьировании продолжительностью обработки. Под ступенью диспергирования подразумевается роторно-статорная пара аппарата через которую проходит обрабатываемая система. В работе использовали аппарат с двумя парами.

Обезвоживание проводили путем продувки слоя ГГМКК воздухом при  $T = 120... 150$  °С до конечной влажности ксерогеля  $W_K = 1,5...2$  %.

Результаты экспериментальных исследований (табл.1) показали, что при гидродинамической обработке происходит перераспределение порового пространства.

Самые высокие значения удельной поверхности  $S_{уд}$  имеют ксерогели, полученные из исходного ГГМКК. Однако гранулы ксерогеля имеют значительный полидисперсный состав и при незначительной механической нагрузке происходит их разрушение, а соответственно и нестабильные адсорбционные показатели.

Высокие показатели сорбционного объема пор получены у образцов ксерогелей систем, прошедших гидродинамическую ДИВЭ-обработку. Это объясняется тем, что в таких системах происходит процесс структурирования, что приводит к образованию, так называемых, вторичных пор. Варьирование параметрами ДИВЭ-обработки и продолжительностью воздействия позволяет регулировать размеры пор и соответственно их сорбционный объем  $V_s$ . Так при гидродинамической обработке в аппарате с 2 ступенями диспергирования получена структура (образец № 1, табл. 1) с полимодальным разбросом пор (от микро- до макропор) с большим эффективным радиусом пор  $r_{эф}$  и наивысшим значением  $V_s$ . Нужно отметить, что макропоры не влияют на адсорбционные процессы, они играют роль лишь транспортных пор, обеспечивающих диффузию адсорбирующих веществ к поверхности тонких пор, при этом уменьшается адсорбционная активность структуры.

Мономезопористый ксерогель (образец № 2) с преобладающим размером  $r_{эф} = 4,6$  нм и высоким значением  $V_s$  получен при одном цикле обработки в аппарате с двумя ступенями диспергирования.

Как показывают экспериментальные исследования, процесс структурирования (процесс перехода системы из свободно-дисперсного состояния в связно-дисперсное) происходит уже после одного цикла обработки в аппарате. При увеличении продолжительности обработки далее идет процесс уплотнения структуры (образец № 3) с вытекающими отсюда изменениями структурно-сорбционных свойств.

Вторая серия экспериментов проводилась с гидрогелем  $Cu^{2+}/Zn$ -ПМС при разном соотношении компонентов системы (результаты представлены в табл. 2). Образцы проходили ДИВЭ-обработку в аппарате с двумя ступенями диспергирования и последующим обезвоживанием методом распыления [10].

Таблица 1

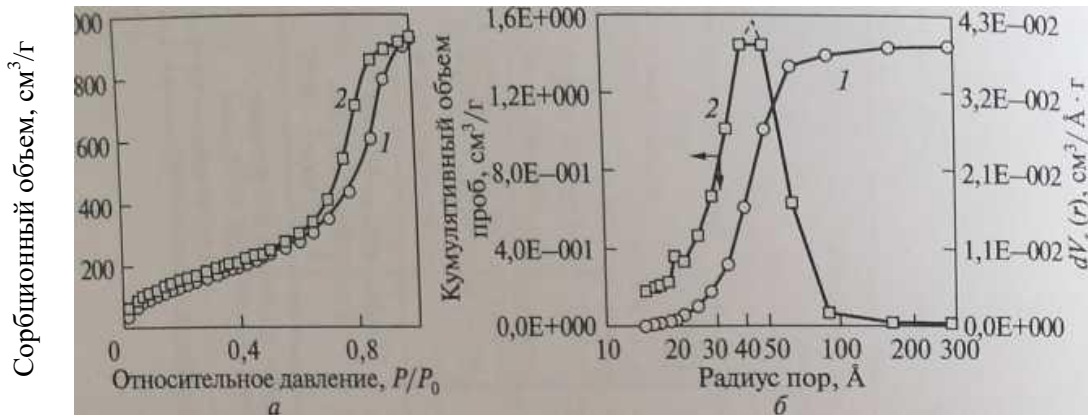
Результаты экспериментальных исследований получения ксерогелей методом конвективной сушки в слое

Параметры процесса ДИВЭ-обработки						Структурно-сорбционные (по н-гексану) и структурно-механические показатели ксерогелей				
№ образца	Кол-во ступеней диспергирования	Количество циклов	Температура, °С	Размер дисперсных частиц $\delta$ , мкм	Влажность $W_{нач}$ , %	Удельная поверхность $S_{уд}$ , $m^2/g$	Предельно-сорбционный объем пор $V_{smax}$ , $cm^3/g$	Эффективный радиус пор $r_{эф}$ НМ	Модальность размеров пор, $d_{эф}$ НМ	Размеры гранул, мкм
Исходный ГГМКК	-			До $2 \cdot 10^4$	86	310	0,89	4,56	Незначительное кол-во микропор; мезопоры 3,0...28	Хрупкие рыхлоупакованные гранулы >1 мкм...2 мм
					89	280	1,09	4,7		
1	2	3	20...33	40...160	91	137,8	1,88	15	Имеются микро- и макропоры; преобладание мезопор 3,6...28	Прочные гранулы 300 мкм...5 мм
2	2	1	19...20	60...290	91	210	1,62	4,61	Микро- и мезопоры 3,0...28	Гранулы 100 мкм...2 мм
3	2	10	19...28	30...170	92	81	1,08	7,1	Макро- и мезопоры 2...40	Плотноупакованные гранулы >300-83% 100...300 —8,8 %

Таблица 2

**Результаты экспериментальных исследований получения ксерогелей  
методом 2-х стадийного диспергирования и сушки распылением**

№ образца	Исходные параметры и параметры процесса ДИВЭ-обработки				Параметры процесса обезвоживания и свойства ксерогелей						
	Соотношение компонентов системы	Время, с/кг	T <sub>нач</sub> , °C	δ <sub>к</sub> , мкм	W <sub>н</sub> , %	Температура тепл., °C		W <sub>к</sub> , %	Нас. р, г/см <sup>3</sup>	V <sub>гоп</sub> откоса, °	Гранулометрический состав, размер частиц
						T <sub>вх</sub>	T <sub>вых</sub>				
1	ГГМКК-вода 7:3	1,8	12	60...250	93,4	200...210	85...90	0,49	0,12...0,13	35	<50 мкм — 11,6 % 50... 100 мкм — 66 %
2	Гидрогель Cu <sup>2+</sup> /Zn-ПМС-вода 2: 1	12,6	19	65...260	95,3	205...215	85...90	3,04	0,27	32	<50 мкм — 42,2 % 50... 100 мкм — 57 % >100 мкм — 0,8 %
3	Cu <sup>2+</sup> /Zn-ПМС - вода 1: 1	20	18...20	30...130	96,3	205...215	80...85	0,51	0,23	32-34	max — 80 мкм min — <5 мкм; 4...50 мкм — 90 %
4	Cu <sup>2+</sup> / Zn-ПМС- вода 3,3:1	1,7	14	30...130	95	205...207	85...90	1,2	0,35...0,36	22	max — 80 мкм; min — <5 мкм 15...30 мкм — 80 %

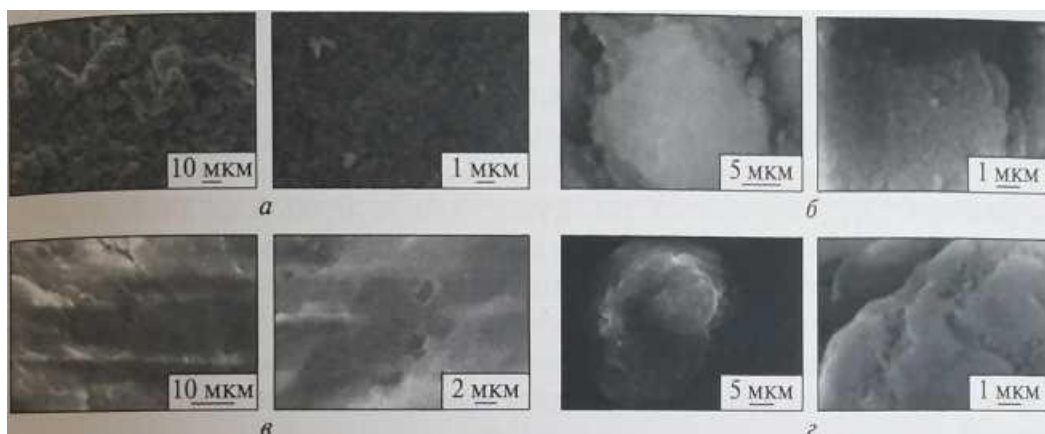


**Рис. 3.** Изотермы адсорбции азота на ксерогеле  $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn-PMCS}$  (а); кривые распределения сорбционного объема пор по значениям радиусов пор на ксерогеле  $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn-PMCS}$  (б): 1- интегральная кривая; 2—дифференциальная кривая

Наилучшие структурно-сорбционные показатели для ксерогелей полученных таким методом имеют, образцы  $\text{Cu}^{2+}/\text{Zn-PMCS}$  № 4 (табл. 2 и рис. 3). Как видно на изотерме адсорбции (рис. 3, а) начальный участок выпуклый, что говорит о наличии небольшого количества микропор. Максимум на кривой 2 (рис. 3, б) говорит о преобладании мезопор с  $r_{\text{эф}} = 4,65$  нм.

Адсорбционная способность тем больше, чем больше развита  $S_{\text{уд}}$ . Целая поверхность обусловлена размерами глобул и дисперсностью гранул, а  $V_S$  и  $r_{\text{эф}}$  — плотностью упаковки глобул и гранул.

Для полученных образцов ксерогелей (табл. 1, 2) характерен IV тип изотерм с наличием гистерезисных петель [13]. Это свидетельствует о том, что полученные ксерогели имеют мезопористую структуру. По классификации М.М. Дубинина, и принятой Международным союзом по теоретической и прикладной химии (IUPAC), к таким структурам относятся сорбенты с размером пор 2...50 нм [14].



**Рис. 4.** Микрофото морфологии поверхностей ксерогелей с различным увеличением: а — исходного гидрогеля; б — системы, прошедшей 1 цикл ДИВЭ-обработки; в — системы, прошедшей 10 циклов ДИВЭ-обработки; г — системы с гидрогелем  $\text{Si}^{2+}/\text{Zn-PMCS}$  после 2-х стадийного диспергирования и конвективной сушки; б—в сушка в слое, г - сушка распылением

Результаты морфологических исследований дали возможность прояснить некоторые аспекты. Казалось бы, что в процессе гидродинамической обработки и распылительной сушки мы развиваем удельные поверхности гранул, но значения  $S_{уд}$  по методу ВЕТ говорят об ее уменьшении.

Объяснение этому может быть следующим.

Как видно на рис. 4, а, гранулы ксерогеля исходного образца имеют шероховатую поверхность.

В процессе гидродинамического диспергирования, пока система является свободно-дисперсной, происходит дробление частиц без нарушения шероховатости (рис. 4, б). При увеличении продолжительности обработки наступает процесс структурирования, что приводит к большим сдвиговым напряжениям в обрабатываемой системе и, как результат, происходит сглаживание шероховатости поверхности, уплотнение гранул и глобул (рис. 4, в).

Получение ксерогелей методом двухстадийного диспергирования и распылительной сушки (рис. 4, г) показал, что по сравнению с сушкой в слое — гранулы ксерогеля являются более моно- и мелкодисперсными, и имеют обтекаемую форму. Однако, доступ адсорбата к внутренней развитой поверхности ограничен — только через разломы внешней поверхности гранул. Полученный ксерогель имеет более низкие адсорбционные показатели, но вместе с тем проявляет другие специфические свойства, например, теплоизоляционные, что предопределяет область дальнейшего применения таких структур.

### **Практическое приложение результатов работы**

1. Результаты экспериментальных исследований позволили определить оптимальные режимы получения ксероформы сорбентов, что является основой для создания технологии получения аппликационных адсорбентов с бактерицидными свойствами.

2. Институт технической теплофизики НАНУ вместе с ЗАО "Креома- Фарм" (г. Киев) разработал установку для изготовления суспензионных форм на основе гидрогелей метилкремниевой кислоты, которые широко используются в медицинской практике Украины.

Предложенная технологическая схема и исходные теплотехнологические параметры ДИВЭ-технологии для осуществления процессов диспергирования и структурирования кремнийорганических сорбентов прошла опытно-промышленные испытания и эксплуатируется на предприятии.

3. Выявленный эффект при получении ксерогелей методом двухстадийного диспергирования и распылительной сушки может быть положен в основу разработки наполнителей для теплоизоляционных лакокрасочных материалов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Долинский А.А. Теплофізичні методи створення наноструктурованих матеріалів з покращеними властивостями / А.А. Долинский, Л.Н. Грабов, Т.Л. Грабова // Промышленная теплотехника. — 2007. — т. 29, № 6. — С. 28—32.
2. Грабов Л.М. Влияние параметров процесса гидродинамической обработки наноструктурированных систем на свойства сорбентов / Л.Н. Грабов, В.И. Мерший, Т.Л. Грабова // Промышленная теплотехника. — 2010. — т. 35, № 6. — С. 5—14.
3. Айлер Р. Химия кремнезема. Ч. 1. / Р. Айлер, пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 1129 с.
4. Адсорбция и пористость. Труды четвертой всесоюзной конференции по теоретическим вопросам адсорбции / под ред. М. М. Дубинина — М.: "Наука" 1976, — 360 с.
5. Слиякова И.Б. Кремнийорганические адсорбенты: Получение, свойства, применение / И.Б. Слиякова, Т.И. Денисова — К.: Наук, думка, 1988. — 192 с. — ISBN 5-12- 000224-2.
6. Перша науково-практична конференція "Біосорбційні методи і препарати в профілактичній та лікувальній практиці" (13—14 лютого 1997 р., Київ), збірка наукових праць. — К.: Видавництво "Логос", 1997 — 216 с.
7. *Advanced research workshop "Sol-gel approaches to materials for pollution control, water purification and soil remediation"* (25-27 October 2007, Pusha-Voditsa. Ukraine).
8. Патент України № 7472. С08G77/02 Гідрогелі метил-кремнієвої кислоти "Ентеросгель-супер", як адсорбент середньо-молекулярних метаболітів та спосіб їх одержання / Шевченко Ю.М. та інші.
9. Патент України № 18977. С08G77/58. Металокомплексополіорганосилоксани, що містять триядерні комплекси іонів Zd-металів / Шевченко Ю.М. та інші.
10. Долинский А.А. Технология и обрудование двухстадийной диспергации и сушки гетерогенных материалов/А.А. Долинский, Л.Н. Грабов, В.И. Мерший и др. / Труды 2 Международной конференции конференции "Сушка и тепловые процессы СЭТТ-2005". т. 2 — М.: Издательство ВИМ, 2005 — 363 с.
11. Долінський А.А. Принцип ДІВЭ та його використання у технологічних процесах. — К.: Наукова думка. 2001 — 346 с.
12. Патент України № 20698. Реакторний гомогенізатор / Грабов Л.М., Мерцій В.І., Жилеев В.Т.
13. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. / Грег С., Синг К. — М.: Мир, 1984.-306 с.
14. IUPAC. Compendium of Chemical Terminology. 2nd ed. (the "Gold Book") / Compiled by A.D. McNaught, A Wilkinson. — Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1997. — gold-book.iupac.org

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ**

**МИКРО-  
И НАНО-  
УРОВНЕВЫЕ  
ПРОЦЕССЫ  
В ТЕХНОЛОГИЯХ  
ДИВЭ**

**Тематический сборник статей**

**Под общей редакцией академика НАН Украины  
А.А. Долинского**

УДК 536.24  
ББК 30.13  
М59

**Рецензенты:**

академик НАН Украины А.В. КИРИЛЕНКО, директор Института электродинамики НАН Украины;  
член-корреспондент НАН Украины Ю.Ф. СНЕЖКИН, заместитель директора ИТТФ НАН Украины

*Утверждено к печати Ученым советом Института технической теплофизики  
НАН Украины (протокол № 11 от 10.06.2014)*

Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ : М 59 Тематический сборник статей / под общей ред. А.А. Долинско-го ; Институт технической теплофизики НАН Украины. — К. : Академперіодика, 2015. — 464 с, 24 с. ил.

ISBN 978-966-360-291-2

В сборнике научных статей представлены работы ученых Института технической теплофизики НАН Украины и их коллег, посвященные фундаментальным и прикладным исследованиям метода дискретно-импульсного ввода энергии в жидкие гетерогенные среды и его механизмов для интенсификации процессов тепломассообмена с целью разработки энергосберегающих технологий для различных отраслей промышленности. Представляет интерес для ученых, аспирантов, инженеров, специализирующихся в области тепломассообмена, гидродинамики, разработке технологий смешивания, гомогенизации, получения наноструктур, экстракции, ферментации, аэрации, дегазации, эмульгирования, измельчения, концентрирования и гранулирования, а также аппаратов для их осуществления.

ISBN 978-966-360-291-2

© Институт технической теплофизики

НАН Украины, 2015 © Академперіодика. оформление, 2015

Содержание

ПОСТАНОВЛЕН ИЕ ПРЕЗИДИУМА АН УССР от 01.12.1982 № 499 "Метод дискретно-импульсного ввода энергии в дисперсные среды и перспективы его использования в народном хозяйстве".....	3
<i>Долінський А.А.</i> Принцип дискретно-імпульсного вводу енергії та його використання у технологічних процесах.....	5
<i>Долинский А.А., Накорчевский А. И.</i> Системный анализ эволюции технических решений при реализации ДИВЭ.....	15
<i>Иваницкий Г.К.</i> Наномасштабные эффекты в процессах кавитации. I. Паровая кавитация .....	22
<i>Иваницкий Г. К.</i> Наномасштабные эффекты в процессах кавитации. II. Критерий разрушения кавитационных пузырьков .....	29
<i>Иваницкий Г. К., Корчинский А.А., Матюшкин М.В.</i> Математическое моделирование процессов в пульсационном диспергаторе ударного типа.....	38
<i>Басок Б.И., Чайка А.И., Новицкая М.П.</i> Гидродинамика и теплообмен в пульсирующей дисперсной среде.....	48
<i>Шаркова Н.Ю., Жукотський Е.К., Грищенко Г.В.</i> Особливості технології виробництва соєвих продуктів.....	56
<i>Долінський А.А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю., П'янкова О.В., Надточій Н.І.</i> Сучасна технологія виробництва функціональних напоїв на основі сої .....	60
<i>Басок Б.И., Давыденко Б.В.</i> Особенности гидродинамики, теплопереноса и процессов диспергирования в рабочих объемах цилиндрических роторно-пульсационных аппаратов.....	62
<i>Долинский А.А., Шаркова Н.А., Терлецкая Я. Т., Авдеева Л.Ю., Жукотский Э.К., Грищенко А.В., Горчев В.Ф.</i> Получение липосомных наносистем с использованием эффекта дискретно-импульсного ввода энергии.....	85
<i>Басок Б.И., Давыденко Б.В., Ободович А.Н., Пироженко И.А.</i> Диссипация энергии в активной зоне роторно-пульсационного аппарата.....	90
<i>Басок Б.И., Давыденко Б.В., Ободович А.Н.</i> Численное моделирование процесса перемешивания взаимнорастворимых жидкостей в роторно-пульсационном аппарате.....	98
<i>Долінський А.А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю., П'янкова О.В., Надточій Н.І., Зайцева Н. Є.</i> Розробка та впровадження нових технологій виробництва вітчизняних функціональних продуктів на соєвій основі .....	105
<i>Долінський А. А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю., Лопатін О.О., П'янкова О. В.</i> Особливості технології виробництва нового вітчизняного функціонального продукту харчування.....	111
<i>Долинский А.А., Шаркова Н.А., Авдеева Л.Ю.</i> Анализ и прогнозирование адаптивности липосомной системы при дискретно-импульсном вводе энергии.....	115
<i>Долинский А.А., Иваницкий Г. К., Ободович А.Н.</i> Использование механизмов ДИВЭ при роторно-пульсационной обработке гетерогенных сред.....	120

<i>Иваницкий Г.К.</i> Численное моделирование динамики кавитационного пузырька в акустическом поле.....	131
<i>Долинский А.А., Шурчкова Ю.Л., Иваницкий Г.К., Цель Б.Я.</i> Оптимизация теплообменных и гидродинамических процессов в технологии термовакуумной обработки молока.....	136
<i>Авдеева Л.Ю.</i> Оптимізація теплообмінних режимів. Одержання наноструктур.....	148
<i>Авдеева Л.Ю.</i> Метод інтенсифікації процесу отримання ліпосомних наноструктур при дискретно-імпульсному введенні енергії.....	153
<i>Авдеева Л.Ю., Иваницкий Г.К.</i> Применение гидродинамической кавитации в технологическом процессе получения фосфолипидных наноструктур.....	158
<i>Долинский А.А., Грабова Т.Л.</i> Применение метода дискретно-импульсного ввода энергии для получения структурированных спиртсодержащих систем.....	167
<i>Долинский А.А., Грабов Л.Н., Грабова Т.Л., Переяславцева Е.А.</i> Влияние гидродинамической обработки методом ДИВЭ на структуру и сорбционные свойства ксерогелей.....	174
<i>Иваницкий Г.К., Шурчкова Ю.Л., Радченко Н.Л.</i> Моделирование процесса экструзии в предматричной зоне и в матрице при обработке растительного сырья.....	183
<i>Долинский А.А., Шурчкова Ю.Л., Недбайло А.Е.</i> Влияние теплообменных и гидродинамических процессов на состояние молочных белков.....	192
<i>Шаркова Н.А., Авдеева Л.Ю., Жукотский Э.К., Козак Н.Н.</i> Повышение эффективности экстракции биологически активных веществ из коллагенсодержащего сырья.....	195
<i>Турчина Т.Я.</i> Теоретичний аналіз теплопереносу при сушінні крапель структурованих рослинних систем.....	200
<i>Авдеева Л.Ю.</i> Енергоефективна технологія отримання фосфоліпідних наноструктур.....	205
<i>Долинський А.А., Шаркова Н.О., Авдеева Л.Ю., Чуніхін О.Ю.</i> Дослідження властивостей фосфоліпідних наноструктур, отриманих з використанням ефекту дискретно-імпульсного введення енергії.....	210
<i>Иваницкий Г.К., Недбайло А.Е.</i> Аналитическое исследование кавитации в рабочем колесе центробежных насосов.....	215
<i>Долинский А.А., Грабов Л.Н., Грабова Т.Л.</i> Реализация метода ДИВЭ в теплотехнологиях и оборудовании фармацевтической промышленности.....	225
<i>Dolinsky A.A., Grabov L.N., Moskalenko A.A., Grabova T.L.</i> DPIE System to Improve Cooling Capacity of a Canola Oil to be Used as a Quenchant.....	241
<i>Иваницкий Г.К., Шурчкова Ю.А., Недбайло А.Е.</i> Использование гидродинамической кавитации для разрушения бактериальных клеток в технологии обработки молока.....	247
<i>Авдеева Л.Ю., Кравченко С.О.</i> Дослідження властивостей везикулярних фосфоліпідних наноструктур з біологічно активними речовинами.....	257
<i>Шаркова Н.А., Жукотский Э.К., Авдеева Л.Ю., Козак Н.Н.</i> Оптимизация условий проведения термовлажностной обработки коллагенсодержащего сырья за счет дискретно-импульсного ввода энергии.....	261

<i>Шаркова Н.О., Жукотський Е.К., Авдеева Л.Ю., Козак М.М., Костянець Л.О.</i> Оптимізація умов отримання водорозчинного екстракту із колагенвмісної сировини.....	264
<i>Долинский А.А., Грабов Л.Н., Москаленко А.А., Грабова Т.Л.</i> Применение метода ДИВЭ для получения новых мезо- и наножидкостей.....	270
<i>Dolinsky A.A., Grabov L.N., Moskalenko A.A., Grabova T.L.</i> The Research of Cooling Intensity of Micro- and Nanofluids Obtained by DPIE Method to be Used as a Quenchant for Hardening of Steel Parts and Tools.....	276
<i>Долинский А.А., Грабов Л.Н., Посунько Д.В., Шматок А.И.</i> Получение жидких биотопливных смесей методом дискретно-импульсного энергетического воздействия.....	284
<i>Долинский А.А., Шурчкова Ю.А.</i> Вода в условиях обработки ДИВЭ.....	292
<i>Чайка О.І., Гоженко Л.П., Іваницький Г.К., Корінчук Д.М.</i> Інтенсифікація процесу диспергування низинного торфу із застосуванням пульсаційного диспергатора.....	300
<i>Долінський А.А., Авраменко А.О., Іваницький Г.К.</i> Фізичні основи, математичні підходи та технологічні аспекти використання методу ДІВЕ для керування кінетикою протікання нанорівневих процесів в дисперсних та супрамолекулярних системах.....	308
<i>Ободович А.Н., Лымарь А.Ю.</i> Дискретно-импульсный ввод энергии (ДИВЭ) — интенсифицирующий метод гидролиза высокомолекулярных соединений.....	324
<i>Ободович А.Н., Сидоренко В.В., Лымарь А.Ю., Миронец И.Н.</i> Использование дискретноимпульсного метода ввода энергии (ДИВЭ) для интенсификации приготовления жидких кормов для сельскохозяйственных животных на основе барды.....	333
<i>Авдеева Л.Ю.</i> Дослідження масообмінних процесів при кавітаційній обробці рідких гетерогенних середовищ.....	339
<i>Долінський А.А., Шурикова Ю.О., Цельнь Б.Я.</i> Безреагентна нейтралізація кислого конденсату продуктів згорання природного газу та обладнання для її реалізації.....	343
<i>Долінський А.А., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К.</i> Сучасні методи впливу на структуруючі властивості складних матеріалів як об'єктів розпилювального сушіння.....	351
<i>Долинский А.А., Авраменко А.А., Тыринов А.И., Грабова Т.Л.</i> Динамика структурообразования коллоидных агрегаций.....	358
<i>Ободович А.Н., Лымарь А.Ю.</i> Исследование гидравлических характеристик роторно-пульсационного аппарата при обработке водозерновой смеси.....	366
<i>Басок Б.И., Гоцуленко В.В., Авраменко А.А.</i> Применение ДИВЭ для управления неустойчивостью вскипающего потока и эффектов кавитации.....	371
<i>Басок Б. И., Давыденко Б.В.</i> Применение технологии ДИВЭ при производстве моногранулированных продуктов.....	404
<i>Долинский А.А., Басок Б.И.</i> Наномасштабные эффекты при дискретно импульсной трансформации энергии.....	422
<i>Басок Б.И., Рыжков С.С.</i> Применение эффектов дискретно-импульсного ввода энергии для улавливания жидких частиц потока аэрозоля.....	438
СПИСОК АВТОРОВ.....	459