

## ПЕРСПЕКТИВЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

[Работа проводилась в рамках гранта «Ведущие научные школы России», проект НШ 2236.2003.3 «Химия высокоорганизованных веществ», при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 04-03-32048) и программ Минобразования и науки РФ]

*Изучено влияние параметров исполнительного механизма (частоты и амплитуды колебаний), создающего колебательные воздействия, технологических режимов обработки (температуры и скорости газового потока), а также плотности, пористости и дисперсности порошков (на примере оксидов кремния и алюминия) на характер псевдооживления. Проведен сравнительный анализ данных по обработке материалов методом молекулярного наслаивания при резонансных колебаниях и в фильтрующем слое. Показано, что осуществление процесса модифицирования пористых дисперсных материалов в условиях псевдооживления позволяет существенно повысить интенсивность массообмена активного реагента из газового потока и сократить время завершения реакции в 1,8 раза.*

Парогазовое химическое модифицирование как один из способов создания функциональных наноструктур на поверхности твердофазных материалов находит применение для получения катализаторов, сорбентов, наполнителей, пигментов [1], [2]. Одним из современных методов реализации химического модифицирования поверхности, основанных на взаимодействии в неравновесных условиях низкомолекулярных газообразных реагентов с функциональными группами поверхности твердого тела, является метод молекулярного наслаивания (МН) [3]. Известны различные варианты аппаратного оформления нового процесса [4]–[6]. Для модифицирования поверхности дисперсных материалов наиболее эффективным представляется применение установок проточного типа [4]–[6].

Известно, что в системе газ—дисперсный материал перевод зернистого слоя в псевдооживленное состояние, осуществляемый при высоких линейных скоростях газового потока, позволяет интенсифицировать процессы химиче-

ской сборки поверхностных наноструктур [5], [7]–[9]. Однако при использовании подобных псевдооживленных слоев существуют ограничения, которые связаны с возникновением слоевой неоднородности [7], [9]. В результате этого часть газа, движущаяся в виде пузырей, уходит из слоя с неиспользованными компонентами, либо образует сквозные каналы, что также приводит к байпасированию газового потока без полного контакта с частицами, то есть значительная доля реагентов не используется в процессе синтеза. При высоких скоростях газового потока происходит также унос и истирание полидисперсных материалов. Кроме того, для обеспечения равномерного оживления слоя необходимо, чтобы обрабатываемый дисперсный материал обладал достаточно однородным гранулометрическим составом. Создание режима псевдооживления слоев вибрационными воздействиями при модифицировании полидисперсных систем позволяет решить проблемы уноса частиц, добиться повышения использования газового реагента за счет снижения скорости газа-носителя. Но при этом возникает необходимость применения генераторов колебаний с высокими мощностями, обеспечивающими колебание всего аппарата, что существенно усложняет аппаратное оформление процесса диспергирования твердофазных материалов [10].

Одним из перспективных решений возникших проблем является перевод материала в псевдооживленное состояние путем наложения резонансных пульсаций на слой через газ [11]–[13]. В основе метода заложены представления о сыпучем материале как о «псевдогомогенной» среде, обладающей пористостью, упругостью и, следовательно, способной передавать механические возмущения (звуковые волны). Воздействуя на такую среду с определенной частотой, можно добиться возникновения резонанса, при котором резко возрастает амплитуда колебаний слоя, придающая порошкообразному материалу свойства псевдожидкости. В ранее проведенных исследованиях [11]–[13] показана возможность псевдооживления при резонансных колебаниях гидроксида алюминия, практически независимо от отношения высоты слоя к диаметру аппарата и скорости подводимого газового потока вплоть до нулевого его значения. Преимущества такого подхода связаны со снижением на порядок и более энергозатрат на поддержание колебательного движения, с упрощением конструкции пульсаторов, а также с возможностью достижения в промышленных условиях сравнительно высоких частот, при которых наиболее эффективны процессы массо- и энергопереноса.

Вследствие многообразия дисперсных материалов, используемых в процессах химического модифицирования методом МН, представляло интерес определить общность подходов при оценке воздействия колебаний газовой среды на гидродинамические характеристики слоя частиц, различающихся как химической природой, так и структурными параметрами (пористостью, размером, плотностью).

В задачу исследований входило изучение влияния параметров исполнительного механизма (частоты и амплитуды колебаний), создающего колебательные воздействия, технологических режимов обработки (температуры и скорости газового потока), а также плотности, пористости и дисперсности порошков (на примере оксидов кремния и алюминия) на характер псевдооживления, на получение и анализ сравнительных данных по обработке материалов

методом МН в условиях псевдооживления при резонансных колебаниях и в фильтрующем слое.

Экспериментальные исследования\* проводили на установке (рис. 1), в состав которой входил цилиндрический реактор (1), закрепленный неподвижно, изготовленный из термостойкого стекла «пирекс» (диаметр 0,037 м и высота 0,35 м). Реактор снабжен патрубками для загрузки (2) и выгрузки (3) дисперсной фазы, штуцерами для подвода в слой и вывода из реактора газового потока. В верхней части реактор соединен с упругим съемным элементом — сильфоном (4), подключенным к генератору колебаний (5). Частоту колебаний измеряли электронным цифровым тахометром 7 ТЭ (6) и варьировали в диапазоне от 0 до 50 Гц. Объемный расход изменяли с помощью вентилялей и контролировали расходомером типа РС-3А (7). Нагрев реактора осуществляли печью косвенного обогрева (8); температуру в реакторе контролировали хромель-алюмелевой термопарой, соединенной с потенциометром КСП1-03 (9).

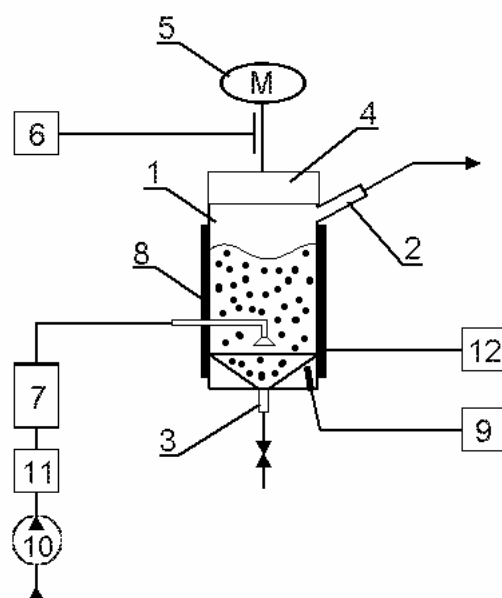


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 — реактор; 2 — патрубок для загрузки материала;  
 3 — патрубок для выгрузки материала; 4 — сильфон; 5 — генератор колебаний;  
 6 — тахометр ТЭ; 7 — расходомер РС-3А; 8 — печь косвенного нагрева;  
 9 — потенциометр КСП1-03; 10 — микрокомпрессор МК-Л2; 11 — блок осушки газа;  
 12 — лабораторный автотрансформатор

Основные характеристики исходных дисперсных материалов приведены в табл. 1. Как следует из представленных данных (см. табл. 1), образцы  $Al_2O_3$  (М-5, М10, М15) являются непористыми и отличаются лишь размером частиц. В качестве диоксида кремния использовали как непористые частицы (А-200), так и кремнеземы с разным объемом и размером пор (ШСКГ и С-120).

\* В проведении экспериментов принимал участие А. С. Липатов.

Таблица 1

Характеристики используемых дисперсно-газовых систем

Материал	Диаметр частиц, м · 10 <sup>6</sup>	Плотность твердого тела, кг/м <sup>3</sup>	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Порозность слоя	Высота засыпки, м	Скорость звука в среде, м/с	Резонансная частота, расч., Гц	Резонансная частота, эсп., Гц	Отношение расч. и эсп. значений резонансных частот	Предельная высота псевдооживления газовым потоком, м
	<b>d</b>	<b>ρ<sub>т</sub></b>	<b>ρ<sub>н</sub></b>	<b>ε<sub>г</sub></b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>c</b>	<b>f<sub>р</sub></b>	<b>f<sub>э</sub></b>	<b>f<sub>р</sub>/f<sub>э</sub></b>	<b>H<sub>пр</sub></b>
Оксид кремния										
ШСКГ	400–2000	550	439	0,202	0,135	16,96	18	23	0,78	0,0290
ШСКГ	200–400	550	434	0,211	0,120	17,03	24	24	1,00	0,0191
ШСКГ	<200	550	424	0,229	0,115	17,18	26	30	0,87	0,0136
С-120	0,315–0,5	500	355	0,29	0,110	15,04	26	33	0,79	0,0025
А-200	0,02	2200	94	0,957	0,130	33,35	31	30	1,03	0,0007
Оксид алюминия										
М14	10–14	3970	1259	0,683	0,095	11,04	24	25	0,96	0,0100
М10	7–10	3970	1238	0,688	0,110	11,09	20	25	0,80	0,0090
М5	3–5	3970	1145	0,712	0,100	11,31	23	25	0,92	0,0070

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем: после заполнения реактора исследуемым материалом измеряли исходную высоту слоя **H<sub>0</sub>** в состоянии свободной засыпки. Затем, в зависимости от условий эксперимента, вход в реактор заглушали либо устанавливали заданный расход газа и включали генератор колебаний, постепенно увеличивая частоту. При этом постоянно замеряли высоту **H** слоя (максимальную высоту колебаний частиц) и оценивали визуально характер «кипения» слоя материала. Точность определения **H** составляла ±10%. О наступлении режима резонансных колебаний судили по переходу слоя неподвижных частиц в устойчивое псевдооживленное состояние, сопровождающееся увеличением высоты слоя до максимального значения. Экспериментально установленные значения резонансной частоты **f<sub>р</sub><sup>3</sup>** сравнивали с рассчитанными **f<sub>р</sub><sup>р</sup>** по уравнению [10], [11]:

$$\frac{\operatorname{tg}\left(f_p^p \cdot 2 \cdot \pi \cdot H_0 / C\right)}{\left(f_p^p \cdot 2 \cdot \pi \cdot H_0 / C\right)} = \frac{E \cdot F}{H_0 \cdot C_0}, \quad (1)$$

$$\text{где } C = \sqrt{\frac{P}{\left(\rho_t \cdot \varepsilon_t + \rho_r \cdot \varepsilon_r\right) \cdot \varepsilon_r}}, \quad (2)$$

причем **C** — скорость распространения акустических колебаний в среде, м/с;

**E** = **C**<sup>2</sup> · **ρ<sub>н</sub>** — модуль упругости слоя, Па;

**F** — площадь поперечного сечения слоя, м<sup>2</sup>;

**C<sub>0</sub>** = **γ** · **P** · **F** / **H<sub>г</sub>** — жесткость газовой полости, Н/м;

$\gamma$  — показатель политропы (для адиабатического деформирования газовой полости  $\gamma = 1,4$ );

$H_r$  — высота газовой полости, м;

$P$  — давление в газовой полости, принималось равным атмосферному,  $P = 101,3$  кПа;

$\rho_r$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_t$  — плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

$\varepsilon_r, \varepsilon_t$  — объемные доли соответственно газа и твердых частиц в слое, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Объемную долю газа в слое (порозность слоя) рассчитывали по известному выражению

$$\varepsilon_r = 1 - \frac{\rho_n}{\rho_{к(н)}}, \quad (3)$$

при этом для непористых материалов  $\rho_r = \rho_n$  — истинная плотность, для пористых  $\rho_r = \rho_k$  — кажущаяся плотность; насыпную плотность определяли в соответствии с требованиями ГОСТа 16190–70 (взвешиванием навески материала известного объема). По данным работы [11] величина  $f_p^p$ , рассчитанная по формуле (1), отличается от экспериментального значения  $f_p$  не более, чем на  $\pm 25\%$ .

Как следует из экспериментальных данных, представленных в табл. 1, на величины резонансных частот размер частиц оказывает незначительное влияние. Важно отметить, что полученные экспериментальные значения резонансных частот для материалов с различными структурными характеристиками хорошо согласуются с их расчетными значениями (погрешность не превышает 22%).

Изучение зависимости изменения высоты псевдооживленного слоя (без подачи газа в систему) от частоты колебаний исполнительного механизма в диапазоне от нулевого до резонансного значений и выше выявило аналогичный ход кривых для всех использованных в работе порошков. Типичный вид такой кривой представлен на рис. 2 на примере материала ШСКГ с частицами < 0,2 мм (см. табл. 1).

Анализируя приведенную на рис. 2 зависимость, можно выделить области, достаточно четко различающиеся по высоте слоя:

I — низкочастотные колебания (до 5–10 Гц). В рассматриваемом интервале изменения частот наблюдается поршневой характер движения частиц материала в такт движения сильфона. При этом перемешивания частиц в слое практически, не происходит, материал попеременно то разрыхляется, то уплотняется. По мере увеличения частоты отмечается возрастание максимального значения высоты слоя материала.

II — с повышением частоты (до 15 Гц и более) высота слоя не возрастает, что обусловлено коллективными микроколебаниями частиц и расширением верхней части слоя и уплотнением нижней части слоя материала.

III — область резонансных колебаний, где при дальнейшем увеличении частоты отмечается рост высоты слоя до максимального значения, соответствующего резонансным условиям (около 30 Гц). При этом наблюдается устойчивое псевдооживление, сопровождающееся восходящим винтообразным движением частиц материала снизу вверх и спиралевидным — от стенок реактора к центру.

IV — послерезонансная область — характеризуется снижением высоты ожижаемого слоя. Колебательное воздействие на частицы в нижней части слоя заметно ослаблено. В верхней же части отмечаются выбросы отдельных частиц из слоя, что свидетельствует о неравномерном характере ожижения материала и об отсутствии в системе резонансных условий процесса.

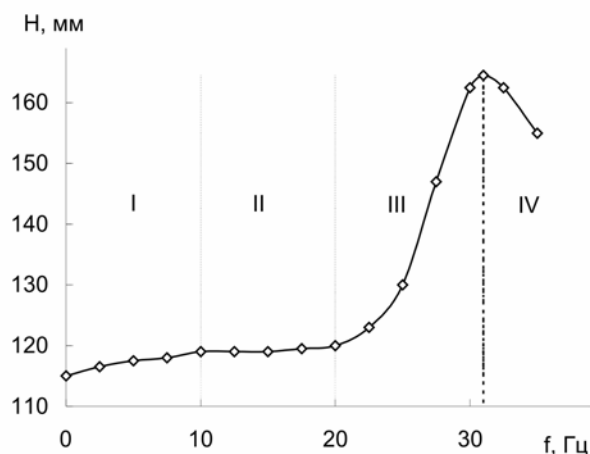


Рис. 2. Зависимость высоты псевдоожиженного слоя от частоты колебаний исполнительного механизма при амплитуде  $2 \cdot 10^{-3}$  м; без подачи газа в систему. Материал: силикагель ШСКГ, размер частиц  $< 2 \cdot 10^{-4}$  м. I — поршневой режим; II — область коллективных микроколебаний частиц в слое; III — область резонансных колебаний; IV — послерезонансная область

На характер изменения высоты слоя дисперсного материала при резонансных условиях оказывает влияние также и величина амплитуды колебаний исполнительного механизма. При увеличении амплитуды (A) от  $0$  до  $9 \cdot 10^{-3}$  м наблюдается возрастание высоты псевдоожиженного слоя. Однако устойчивое равномерное псевдоожижение материала, когда четко видна верхняя граница слоя, наблюдается в интервале значений A от  $2 \cdot 10^{-3}$  до  $4 \cdot 10^{-3}$  м. Повышение амплитуды вынужденных колебаний до  $(6-9) \cdot 10^{-3}$  м приводит к интенсивному фонтанированию отдельных частиц и к значительным колебаниям давления в слое.

На рис. 3 приведены результаты исследований по влиянию на высоту псевдоожиженного слоя линейной скорости воздуха ( $w$ ), продуваемого через слой дисперсного материала ( $Al_2O_3$  M15, табл. 1) в заданном интервале частот. Полученные данные свидетельствуют о существенном увеличении высоты псевдоожиженного слоя при подаче газового потока в реактор. При  $w = 13,5 \cdot 10^{-4}$  м/с наблюдается унос дисперсной фазы из реактора. Следует отметить, что в отсутствие пульсационных воздействий во всем интервале исследованных значений  $w$   $[(4,4-13,5) \cdot 10^{-4}$  м/с] слой твердой фазы оставался неподвижным. Аналогичные зависимости наблюдали и для других материалов.

Значительно меньшее влияние на высоту псевдоожиженного слоя оказывает температура в реакционном объеме (см. рис. 4). При возрастании T от  $20$  до  $400$  °C увеличение высоты не превышает 10%. Однако визуально отмечено

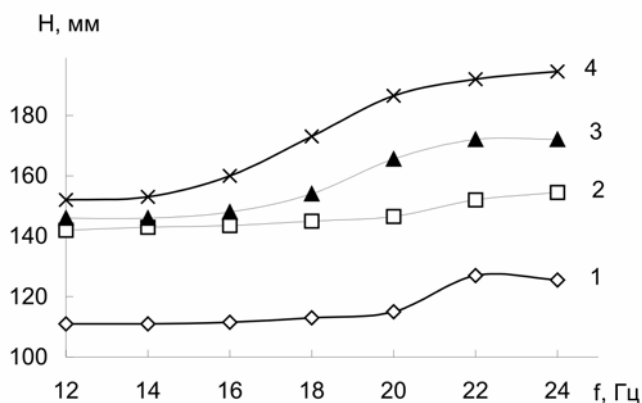


Рис. 3. Зависимость высоты псевдооживленного слоя от частоты колебаний исполнительного механизма при амплитуде  $2 \cdot 10^{-3}$  м и различных скоростях газового потока. Материал: оксид алюминия марки М-15. Скорости газового потока,  $10^{-4}$  м/с: 1 — 0,0; 2 — 4,4; 3 — 8,4; 4 — 13,5

более интенсивное перемешивание частиц в слое при нагревании. Отмечаемое явление, по-видимому, может быть обусловлено увеличением вязкости газа при возрастании температуры и соответственно коэффициента внутреннего трения, вызывающего уменьшение интенсивности прохождения газа сквозь слой частиц.

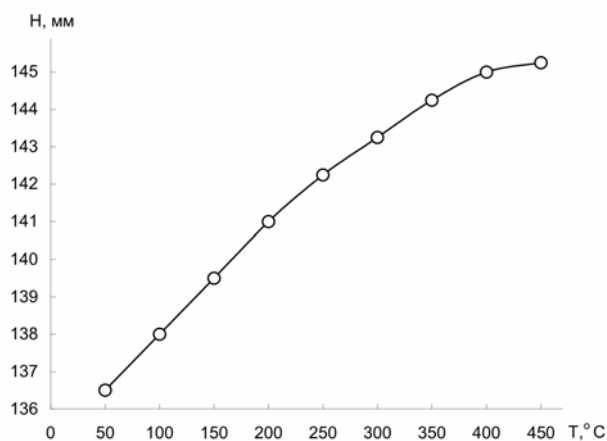


Рис. 4. Зависимость высоты псевдооживленного слоя от температуры в реакторе при резонансной частоте, амплитуде  $2 \cdot 10^{-3}$  мм и начальной высоте слоя 0,110 м

Ранее проведенные исследования [13] и данные, полученные в настоящей работе, свидетельствуют об отсутствии жестких ограничений на высоту слоя

загруженного в реактор сыпучего материала при его псевдооживлении предлагаемым методом в отличие от других способов создания «кипящего» слоя. В табл. 1 для сравнения приведены исходные предельные высоты неподвижных слоев  $H_{пр}$  при псевдооживлении за счет высокой линейной скорости газового потока при заданных диаметре реактора ( $D$ ) и размерах частиц ( $d_{ср}$ ), рассчитанные по формуле (4) [9]:

$$H_{пр} = 0,95 D (\rho_n d_{ср})^{0,3} . \quad (4)$$

Полученные результаты показывают, что единичная загрузка реактора при псевдооживлении слоя резонансными колебательными воздействиями газовой среды значительно превышает аналогичную величину для аппаратов традиционного кипящего слоя, свидетельствуя о существенно большей производительности первого.

С целью оценки эффективности организации процесса модифицирования по предложенному варианту были поставлены специальные эксперименты по получению ванадийсодержащего силикагеля.

Модифицирование методом МН дисперсной подложки осуществляли на примере силохрома С-120, который обрабатывали трихлоридом ванадила при псевдооживлении (резонансные условия) или в фильтрующем слое. Начальная высота слоя в реакторе диаметром 0,037 м составляла 0,123 м при высоте реакционной зоны 0,20 м. Исходный материал загружали в реактор, высушивали в токе (линейная скорость  $8,4 \cdot 10^{-4}$  м/с) сухого воздуха (подачу воздуха осуществляли с помощью микрокомпрессора МК-Л2) при температуре 180–200 °С в течение 6 часов с целью удаления физически сорбированной воды [14]. По завершении стадии высушивания исходного образца силохрома С-120 исполнительным механизмом выставляли резонансную частоту колебаний, подавали в реактор пары трихлорида ванадила и фиксировали продолжительность обработки до появления на выходе из реактора паров  $VOCl_3$  (время начала проскока). (При модифицировании в фильтрующем слое генератор колебаний не включали). После появления паров  $VOCl_3$  на выходе из реактора (время начала проскока) прекращали подачу модифицирующего реагента, удаляя потоком газа-носителя избыток  $VOCl_3$  и образовавшийся в результате реакции  $HCl$  из реакционной зоны.

По окончании эксперимента реактор охлаждали до комнатной температуры, образец выгружали, взвешивали и определяли количество ванадия в образце. Анализ проводили фотоколориметрированием раствора, полученного после кипячения известной навески модифицированного продукта в  $2nH_2SO_4$ , на длине волны 440 нм [15].

Данные экспериментов, представленные в табл. 2, показывают что в условиях псевдооживления при одинаковой навеске образца и концентрации  $VOCl_3$  в газовом потоке наблюдается уменьшение времени завершения реакции (время до начала проскока) по сравнению с неподвижным слоем со 110 до 60 мин соответственно. Такое увеличение скорости реакции в условиях псевдооживленного слоя по сравнению с фильтрующим обеспечивает в 1,8 раза увеличение степени использования оксохлорида ванадия (отношение содержания ванадия в образце к количеству ванадия, поданного в реактор в виде  $VOCl_3$  за время хемосорбции).



Таблица 2

Сравнительный анализ результатов взаимодействия  $\text{VOCl}_3$  с силохромом С-120 в условиях фильтрующего и псевдооживленного слоя

Вид слоя	Частота колебаний, Гц	Время до начала проскока, мин	Количество $[\text{VOCl}_3]$ , поданного в реактор, моль	Содержание ванадия $[\text{V}]$ в образце, моль/кг	$\frac{[\text{V}] \cdot m}{[\text{VOCl}_3]}$ моль/моль
Фильтрующий	0	110	0,042	0,34±0,02	2,63
Псевдооживленный	26	60	0,023	0,34±0,02	1,43

Масса образца ( $m$ ) — 0,0468 кг; высота засыпки — 0,123 м; линейная скорость воздуха —  $0,84 \cdot 10^{-3}$  м/с; концентрация  $\text{VOCl}_3$  в газе — 7,1 моль/м<sup>3</sup>; диаметр реактора — 0,037 м.

Таким образом, осуществление процесса модифицирования пористых дисперсных материалов в условиях псевдооживления позволяет существенно повысить интенсивность массообмена активного реагента из газового потока как к внешней, так и к внутренней поверхности твердофазного объекта.

\* \* \*

1. Проведенные эксперименты показали, что макет установки с реактором, создающим псевдооживленный слой дисперсного материала путем колебательных воздействий на дисперсный материал через газовую фазу, обеспечивает в широком диапазоне частот устойчивое псевдооживление порошкообразных материалов различной плотности (от 94 до 3970 кг/м<sup>3</sup>) и пористости в широком интервале изменения дисперсности (от  $3 \cdot 10^{-6}$  до  $2 \cdot 10^{-3}$  м) при скоростях газового потока на порядок меньших, чем в традиционных «кипящих» слоях, создаваемых газовыми потоками.

2. Полученные сравнительные данные по химическому модифицированию силохрома С-120 парами  $\text{VOCl}_3$  при осуществлении модифицирования в псевдооживленном слое показали, что по сравнению с фильтрующим слоем отмечается сокращение времени завершения реакции поверхностных функционалов дисперсного материала с парами  $\text{VOCl}_3$  и повышение в 1,8 раза степени использования оксохлорида ванадия при получении модифицированного продукта одного и того же состава.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Трифонов С. А., Малков А. А., Малыгин А. А. Влияние химического состава поверхности наполнителей на свойства полимерных композиционных материалов // ЖПХ. 2000. Т. 73. № 4. С. 659–668.

2. Беляков А. В., Жариков Е. В., Малыгин А. А. Химические методы в нанотехнологии // Химические технологии / Под научн. ред. академика РАН П. Д. Саркисова: НТП «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники». М., 2003. С. 551–620.

3. Алесковский В. Б. Химия надмолекулярных соединений: Учеб. пособие. СПб., 1996.

4. Малыгин А. А., Ежовский Ю. К. Оборудование процесса химической сборки материалов: Учеб. пособие. Л., 1987.
5. Дергачев В. Ф., Малыгин А. А., Кольцов С. И. Исследование макрокинетики реакции оксихлорида ванадия с силикагелем // ЖПХ. 1981. Т. 54. № 9. С. 1972–1975.
6. Малыгин А. А., Малков А. А. Комплект оборудования для прецизионного химико-термического воздействия на пористые материалы // Индустрия образования. М., 2002. № 2. С. 48–60.
7. Айнштейн В. Г., Баскаков А. П., Берг Б. В. и др. Псевдооживление. (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии). М., 1991.
8. Малыгин А. А., Кучеров С. В., Юлинец Ю. П. и др. Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение. 1983. № 6. С. 2575–2578.
9. Шахова Н. А. Конструирование и расчет аппаратов в псевдооживленном слое. М., 1971.
10. Вибрация в технике: Справочник / Под ред. В. В. Болотина. М., 1971. Т. 1.
11. Островский Г. М., Аксенова. Е. Г. Псевдооживление порошкообразных материалов при колебательном изменении давления газа // ТОХТ. 1997. Т. 31. № 1. С. 5–10.
12. Патент № 2080170. Российская Федерация, МКИ В 01 J 8/40. Способ термохимической парогазовой обработки дисперсных материалов / А. А. Малков, А. А. Малыгин, Г. М. Островский, Е. Г. Аксенова. № 93040780; Заявл. 10.08.93; Опубл. 27.05.97. Бюл. № 15.
13. Аксенова Е. Г. Перспективы применения пульсационных резонансных воздействий в технологических процессах с порошкообразными средами // Химическая промышленность. 2004. № 8. С. 381–393.
14. Соснов Е. А., Малков А. А., Малыгин А. А. Влияние химико-технологических факторов на состав продуктов взаимодействия  $TiCl_4$  с поверхностью кремнезема // ЖПХ. 2000. Т. 73. Вып. 7. С. 1074–1080.
15. Физико-химические методы анализа: Практическое руководство: Учебное пособие для вузов / В. Б. Алесковский, В. В. Бардин, М. И. Булатов и др. / Под ред. В. Б. Алесковского. Л., 1988.

*A. Malkov, A. Malygin*

**PERSPECTIVES OF MODIFICATION OF DISPERSED MATERIALS  
BY THE MOLECULAR LAYERING METHOD WITH USING  
OF OSCILLATION CHANGE OF GAS PRESSURE**

*Influence of parameters of the actuating mechanism (frequencies and amplitudes of oscillation) creating oscillatory effects, technological regimes of treatment (temperature and speed of a gas stream), and also influence of density, porosity and dispersity of powders (on silicon oxides and aluminium) on the character of fluidization are investigated. An analysis of comparative data on treating materials by the molecular layering method at cavity oscillations and in the filter bed is presented. It is shown that the process of inoculation of porous disperse materials in the conditions of fluidization allows essential increasing the intensity of mass transfer of active reagent from a gas stream and reducing the time of termination of reaction by 1.8 times.*