

6
А-11

СК

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ

На правах рукописи

В. В. ХАРАКОЗ

ИССЛЕДОВАНИЕ В ОБЛАСТИ
ГАЗОМЕХАНИЧЕСКОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ
МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Москва — 1965 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКОГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ

На правах рукописи

В. В. ХАРАКОЗ

ИССЛЕДОВАНИЕ В ОБЛАСТИ
ГАЗОМЕХАНИЧЕСКОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ
МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
А. М. Ластовцев

Москва — 1965 г.

Технологические процессы и процессы смешения с применением псевдооживленного слоя твердых частиц получили за последнее время значительное распространение не только в химической, но и в других отраслях промышленности.

Однако, применение прогрессивного метода ведения гетерогенных процессов в псевдооживленном слое ограничено зернистыми или гранулированными материалами. В то же время, применение псевдооживленного слоя из мелкодисперсных материалов в ряде случаев является весьма целесообразным.

С уменьшением размера частиц внутреннее диффузионное сопротивление уменьшается, а поверхность частиц возрастает. Поэтому увеличивается скорость химических и массо-теплообменных процессов. В смесительных аппаратах частицы малого размера быстрее и лучше смешиваются. Ограниченность применения псевдооживленного слоя из мелкодисперсных материалов объясняется их склонностью к значительному каналообразованию, а в некоторых случаях невозможностью получения стабильного псевдооживленного слоя.

Существуют различные способы предотвращения каналообразования.

Как показали опыты, наиболее простым и эффективным средством предотвращения каналообразования оказалось введение в слой вращающейся механической мешалки.

Аппараты с псевдооживленным слоем, перемешиваемым механическими мешалками, условно можно разделить на три основные группы по целям введения мешалок и их скорости вращения. К первой группе относятся аппараты с тихоходными мешалками, окружная скорость на краю лопастей которых менее 1,5 м/сек. Мешалки-ворошители в этих аппаратах вводятся с целью предотвращения каналообразования, и вся энергия, необходимая для псевдооживления, подводится газовым потоком. На этом принципе в ЛТИ им. Ленсовета разработан и исследован смеситель для смешения мелкодисперсных материалов. Ко второй группе относятся аппараты с быстро-

ходными мешалками, с окружной скоростью на краю лопасти более 4,5 м/сек. Исследованиями, выполненными в МИХМе, было показано, что при достижении скорости на краю лопасти мешалки 4,5 м/сек практически все мелкодисперсные материалы переходят в псевдооживленное состояние.

Аппараты с этим принципом псевдооживления, называемым механическим, были разработаны и исследованы в МИХМе проф. А. М. Ластовцевым с сотрудниками.

Третья группа аппаратов — аппараты с газомеханическим псевдооживлением, скорость вращения мешалки которых лежит в пределах от 1,5 до 4,5 м/сек на краю лопасти.

Одна из особенностей газомеханического псевдооживления заключается в том, что энергия, подводимая газовым потоком к слою сыпучего материала, недостаточна для достижения начала псевдооживления и компенсируется энергией, подводимой вращающейся мешалкой. Это позволяет проводить многие процессы с малыми количествами реакционных газов и практически исключает унос материала с поверхности псевдооживленного слоя.

Другая особенность газомеханического псевдооживления в том, что критическая скорость псевдооживления не является только функцией скорости газового потока и физических свойств материала, а зависит также от скорости вращения мешалки и ее геометрических размеров. Благодаря этому представляется возможным регулировать скорость некоторых технологических процессов, варьируя либо скорость продувки газа, либо скорость вращения мешалки.

Опытами было установлено, что при скорости вращения мешалки более 4,5 м/сек, соответствующей режиму механического псевдооживления, гидродинамическая обстановка в аппарате не зависит от скорости продувки газа. Поэтому все опыты, выполненные по исследованию процесса газомеханического псевдооживления, проводили при окружной скорости вращения на краю лопасти мешалки от 1,5 до 4,5 м/сек.

Данная работа является продолжением исследований, проведенных в МИХМе на кафедре «Машины и аппараты органических производств».

В работе также учтены исследования, проведенные на кафедре «Процессы и аппараты химической технологии» МИХМа по разработке способа хлорирования пушонки в аппаратах с газомеханическим псевдооживленным слоем.

Цель данной работы заключалась в экспериментальном исследовании процесса газомеханического псевдооживления в аппаратах с плоской неподвижной газораспределительной решеткой.

При исследовании ставились следующие задачи: выяснение физической картины взаимодействия псевдооживленного слоя с вращающейся механической мешалкой; выявление вида вращающегося потока псевдооживленных частиц; качественное определение формы статического вихря; определение необходимой мощности мешалки в зависимости от ее типа и геометрических размеров, скорости вращения, физических свойств и уровня засыпки материалов; определение мощности в первой стадии псевдооживления; определение критической скорости псевдооживления в зависимости от скорости вращения мешалки, ее геометрических размеров, физических свойств материала; определение максимального уровня засыпки материала в аппарате.

ОПЫТНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыты проводили на установке, состоящей из аппарата с четырьмя сменными цилиндрическими обечайками диаметром от 220 до 320 мм, в нижней части которых устанавливали газораспределительную перфорированную решетку с долей живого сечения 1,5%. Отверстия в решетке имели диаметр 1 мм. По оси аппарата помещен приводной вал, на нижней конец которого устанавливали исследуемые мешалки. Нижняя мешалка во всех опытах располагалась так, что между решеткой и нижней кромкой лопасти зазор не превышал 5—10 мм, а зазор между краем лопасти и внутренней поверхностью стенки обечайки изменяли от 10 до 60 мм. Электропривод установки состоит из электродвигателя постоянного тока типа П-11, мощностью 300 ватт с независимым возбуждением, выпрямителей марки ВСУ 111 и стабилизаторов, от которых переменный ток подавался к выпрямителям.

Полезную мощность на валу мешалки измеряли по ГОСТ 183-41. Принятая схема питания электродвигателя и метод измерения мощности позволяли плавно регулировать скорость вращения мешалки и измерять мощность при разных режимах работы установки.

Перед каждым опытом отдельно определяли мощность холостого хода и потери электродвигателя при заданной скорости вращения, которые затем вычитали из мощности, необходимой при той же скорости вращения мешалки, но под нагрузкой.

Скорость вращения приводного вала измеряли по показаниям тахогенератора, статор которого питали также стабилизированным постоянным током.

С целью повышения точности измерения мощности перед каждой серией опытов устанавливали постоянный тепловой режим электродвигателя. Все электроизмерения проводили приборами класса точности 0,2. Проверка полученных данных по измерению мощности осуществлялась системой мотор-весы. Расхождения результатов не превышали 15%.

Под газораспределительную решетку подавался осушенный воздух комнатной температуры. В качестве твердой фазы использовали мелкодисперсные материалы, свойства которых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материал	Насыпной вес, г/см ³	Удельный вес, г/см ³	Пористость	Влажность, %	Пределы дисперсности, мк
Пушонка	0,51	—	—	0,30	0—50
Тальк	0,85	2,2	0,62	0,11	0—50
Цемент	1,17	3,0	0,61	0,60	0—50
Хромит	1,39	4,5	0,70	0,62	0—50
Смесь цинковой и оборотной пыли	1,71	6,1	0,72	0,61	0—50

Исследовали только радиально-лопастные мешалки без наклона к горизонтальной плоскости. Выбор конструкции мешалок этого типа объясняется тем, что работы, выполненные в МИХМе, по смещению сыпучих сред показали, что обычной радиально-лопастной мешалкой можно достичь высокой степени однородности смеси. Нашими опытами это было также подтверждено, при сравнении с работой рамной мешалки, что приблизительно одинаковое качество смеси достигается через равный промежуток времени работы этих мешалок, при условии одинаковой подводимой к ним мощности.

Опыты проводили следующим образом. В аппарат насыпали исследуемый мелкодисперсный материал, под газораспределительную решетку подавали воздух и одновременно включали привод мешалки. При заданной скорости вращения, одновременно измеряли полезную мощность на валу мешалки и потери напора в слое. По этим данным строились кривые псевдооживления в виде зависимостей $\Delta p = f(W)$ и $N = f(W)$.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ГАЗОМЕХАНИЧЕСКОГО ПСЕВДООЖИЖЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В первоначальных опытах по исследованию закономерностей процесса газомеханического псевдооживления сравнивали переход в псевдооживленное состояние зернистых сыпучих материалов и мелкодисперсных материалов при выключенной мешалке.

Рассмотрение кривых псевдооживления в виде зависимостей $\Delta p = f(W)$ показало, что кривые для мелкодисперсных материалов резко отличаются от кривых псевдооживления зернистого материала. В частности, на кривых псевдооживления мелкодисперсных материалов отсутствует характерная точка перегиба и стабилизации потерь напора в слое; кроме того эти кривые не воспроизводятся в повторных опытах.

При достижении режима газомеханического псевдооживления кривые псевдооживления мелкодисперсных материалов в виде зависимостей $\Delta p = f(W)$ воспроизводятся при тех же условиях опыта, и характер их поведения приблизительно совпадает с поведением кривых псевдооживления зернистых материалов.

На рис. приведены типичные графики кривых газомеханического псевдооживления в виде зависимостей $\Delta p = f(W)$ и $N = f(W)$.

Характерно приблизительное совпадение перегиба кривых Δp и N , что позволяет судить о начале псевдооживления по любой из кривых.

Вследствие более четкой границы перехода в режим псевдооживления на нижних графиках, в дальнейшем при получении расчетных зависимостей использовали только графики $N = f(W)$.

Как видно из графиков точка (условная) начала псевдооживления сдвигается к оси ординат с увеличением скорости вращения мешалки. Кроме того, увеличение ширины мешалки также влияет на критическую скорость псевдооживления, сдвигая ее влево при тех же условиях опыта. Это позволяет, как говорилось выше, регулировать процесс псевдооживления, изменяя либо скорость продувки газа, либо скорость вращения мешалки. Характерно резкое падение мощности на валу мешалки в первой стадии псевдооживления с последующей стабилизацией ее в режиме псевдооживления.

В связи с тем, что в литературе встречаются сообщения об определенной аналогии между псевдооживленным слоем и капельной жидкостью (ньютоновской), нами были проведены

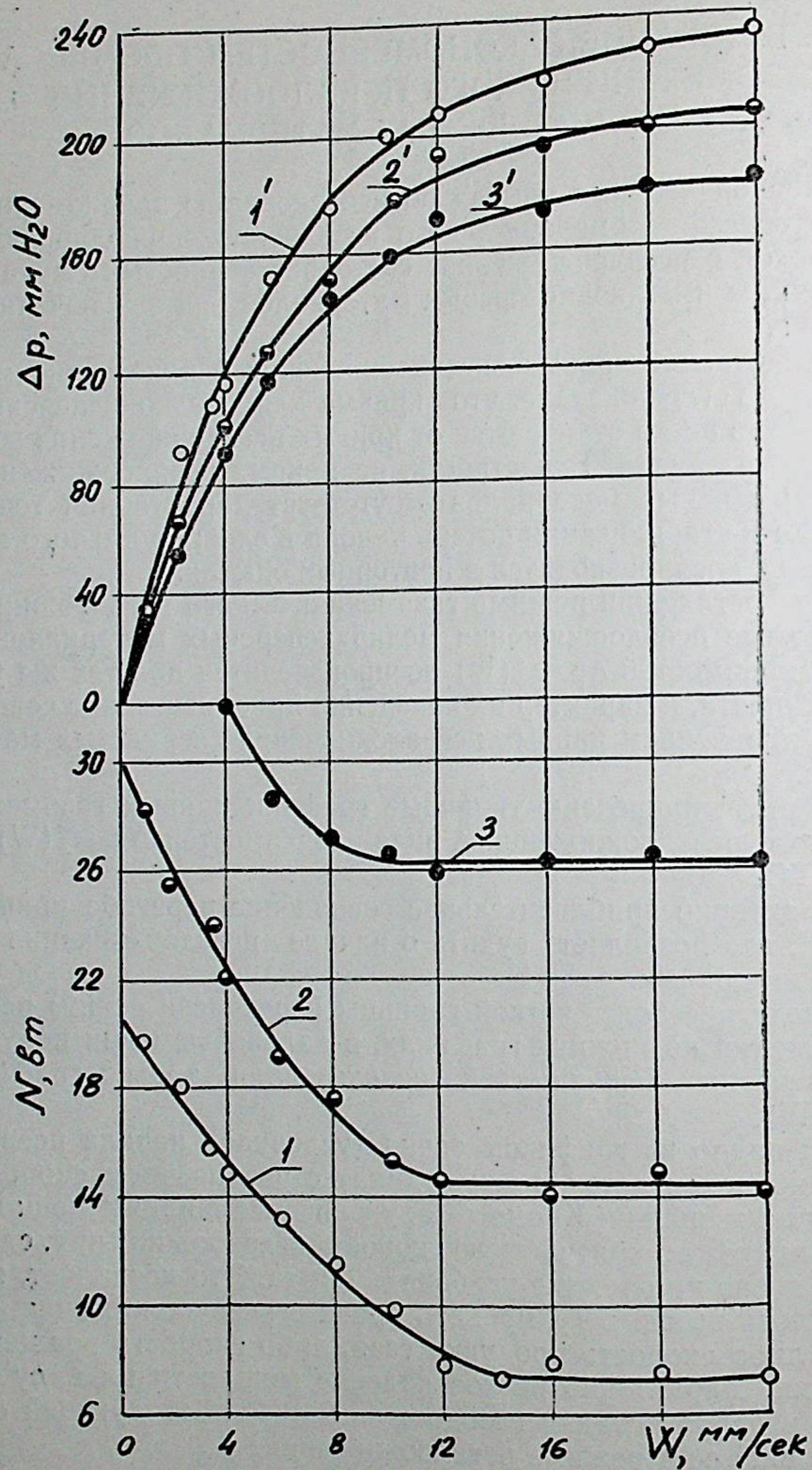


Рис. Типичные кривые газомеханического псевдооживления.
1— $\omega = 15$ сек⁻¹; 2— $\omega = 20$ сек⁻¹; 3— $\omega = 25$ сек⁻¹.

опыты, имеющие цель выявить характер движения псевдооживленных частиц в аппаратах с мешалками. Это достигалось качественным сравнением некоторых кинематических и динамических показателей псевдооживленного слоя и ньютоновской жидкости, перемешиваемых радиально-лопастными мешалками в цилиндрическом сосуде.

Опыты проводили по трем направлениям: измерение деформации поверхности псевдооживленного слоя в меридиональном сечении (профиль воронки), измерение окружных скоростей и выявление характера линий токов циркуляции на поверхности псевдооживленного слоя при перемешивании слоя радиально-лопастными мешалками.

В первой стадии псевдооживления поверхность слоя весьма своеобразна и имеет некоторую выпуклость у вала. Подобная же картина наблюдается в переходной области и при механическом псевдооживлении без продувки газа. Аналогичная форма поверхности характерна при перемешивании некоторых неньютоновских жидкостей.

В режиме псевдооживления выпуклость исчезает и образуется воронка, которая характерна для ньютоновской жидкости. Эти особенности поведения сыпучего материала, а также факт резкого падения мощности на валу мешалки с последующей ее стабилизацией можно формально рассматривать как реологическое изменение свойств сыпучей среды в процессе псевдооживления, соответствующее реологической гипотезе, предложенной И. Г. Мартюшиным.

Исследование эпюры окружных скоростей и сопоставление большого числа фотографий поверхности псевдооживленного слоя позволило установить, что в центральной части аппарата (около оси вращения), частицы вращаются с постоянной угловой скоростью. В гидромеханике эта зона называется статической или вихревой; в остальной части аппарата имеет место невихревая или динамическая зона вращения.

Изучение линий токов псевдооживленного слоя показало, что траектории плоского движения частиц представляют собой семейство спиралей, приблизительно соответствующих архимедовым. В то же время для ньютоновских жидкостей, перемешиваемых радиально-лопастными мешалками, характерны логарифмические спирали. Анализ произвольно выбранной спирали, в случае перемешивания мешалкой псевдооживленного слоя показывает, что угол γ , образованный радиусом-вектором и касательной в любой точке спирали уменьшается по мере удаления от центра оси вращения. Для ньютоновских жидкостей угол γ величина постоянная, причем с увеличением вязкости жидкости угол уменьшается. Факт уменьшения угла γ в нашем случае указывает на то, что псевдооживленный слой,

перемешиваемый механической мешалкой, имеет переменную «вязкость», возрастающую к периферии.

Измерения деформации поверхности псевдооживленного слоя показали, что профиль воронки в вихревой зоне соответствует параболе, переходящей в гиперболу на границе вихревой и невихревой зон.

Аналогичная конфигурация меридионального сечения характерна и для ньютоновских жидкостей. Однако, для псевдооживленного слоя в меридиональном сечении отсутствуют две характерные точки, симметрично расположенные относительно оси вращения и лежащие на линии статического уровня. Расстояние этих точек от оси вращения ньютоновской жидкости есть радиус воронки R_v , который не зависит от скорости вращения мешалки. Для псевдооживленного слоя R_v увеличивается с увеличением скорости вращения мешалки, что свидетельствует также о сжимаемости псевдооживленной системы твердое тело — газ.

В общем, наряду с определенной аналогией в характере движения псевдооживленного слоя и капельной жидкости имеется и существенная разница между ними, определяющая разные методы расчета мощности на перемешивание.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА АППАРАТОВ С ГАЗОМЕХАНИЧЕСКИМ ПСЕВДООЖИЖЕНИЕМ

Существенным вопросом при разработке аппаратов с газомеханическим псевдооживлением является расчет мощности мешалки.

В общем виде зависимость мощности мешалки от влияющих на нее факторов может быть представлена уравнением

$$N = f(C, \omega, L, b, H, S, Z, \gamma_n) \quad (1)$$

Ввиду сложной картины взаимодействия лопасти с псевдооживленной средой вывести аналитическую формулу для расчета мощности мешалки на данном этапе исследования не представляется возможным.

Поэтому нами составлялась экспериментальная формула, учитывающая влияние на мощность каждого фактора в отдельности.

Исследование влияния различных факторов на мощность проводили при установившемся режиме псевдооживления, путем изучения кривых псевдооживления, полученных в виде зависимостей $N = f(W)$.

Основные опыты по влиянию угловой скорости ω на мощность проводили в аппарате с внутренним диаметром 320 мм, с последующей проверкой в остальных аппаратах. Использо-

вали мешалки с размахом лопастей $L = (D - 20)$ мм и шириной b от 30 до 70 мм.

Уровень засыпки мелкодисперсных материалов изменяли от 120 до 300 мм.

Полученные экспериментальные данные следуют зависимости:

$$N_1 = A_1 \omega^{2.5} \quad (2)$$

где $N_1—N_7$ — (здесь и ниже) полезная мощность на валу мешалки,

$A_1—A_7$ — коэффициенты, суммирующие влияние всех остальных факторов.

Для определения влияния геометрических размеров лопастей мешалок были исследованы 10 двухлопастных мешалок с размерами: $L = 200, 250, 280, 300$ мм; $b = 30, 40, 50, 60, 70$ мм. Опытные данные хорошо описываются уравнениями:

$$N_2 = A_2 \cdot L^{3.1} \quad (3)$$

$$N_3 = A_3 \cdot b^{0.7} \quad (4)$$

Величина зазора S между краем лопасти мешалки и внутренней поверхностью обечайки в аппаратах с газомеханическим псевдооживлением не должна превышать 60 мм, так как большие зазоры способствуют образованию застойных зон (это было установлено экспериментально). При исследовании влияния зазора S на мощность применяли мешалку с размерами: $L = 200$ мм, $b = 40$ мм, которую устанавливали в обечайках с диаметром от 220 до 320 мм.

Полученные данные удовлетворительно описываются уравнением:

$$N_4 = A_4 \cdot S^{0.1} \quad (5)$$

Для определения влияния на мощность высоты слоя (уровня засыпки) использовали мешалку с размерами: $L = 300$ мм, $b = 60$ мм, установленную в обечайке с $D = 320$ мм. Высоту уровня засыпки изменяли от 150 до 350 мм. Опытные данные хорошо следуют зависимости:

$$N_5 = A_5 \cdot H^{0.26} \quad (6)$$

При определении влияния числа лопастей мешалок в горизонтальной плоскости использовали двух-, трех-, четырех- и шестилопастные мешалки одинаковой длины и ширины ($L = 300$ мм, $b = 30$ мм). Обработка опытных данных привела к зависимости вида:

$$N_6 = A_6 \cdot Z^{0.2} \quad (7)$$

Влияние насыпного веса материала на мощность проводили в аппарате с $D = 320$ мм, мешалкой $L = 300$ мм, $b = 60$ мм.

Уровень засыпки при псевдооживлении различных материалов (см. табл. 1) был постоянным для каждой серии опытов. Полученные данные хорошо следуют зависимости:

$$N_7 = A_7 \cdot \gamma_n \quad (8)$$

С учетом зависимостей (2) — (8) уравнение (1) для расчета мощности мешалки получает вид:

$$N = C \cdot \omega^{2.5} \cdot L^{3.1} \cdot b^{0.7} \cdot S^{0.1} \cdot H_y^{0.26} \cdot Z^{0.2} \cdot \gamma_n, \text{ кВт} \quad (9)$$

где C — коэффициент сопротивления, значения которого для исследованной группы материалов лежат в пределах $(8,8-9,1) \cdot 10^{-6}$;

ω — угловая скорость мешалки, сек⁻¹;

b, L — высота и размах лопастей мешалки, м;

S — величина зазора между краем лопасти и стенкой аппарата, м;

H_y — статический уровень засыпки, м;

Z — число лопастей в горизонтальной плоскости;

γ_n — насыпной вес, кг/м³.

Другим важным вопросом при разработке аппаратов с газомеханическим псевдооживлением является расчет критической скорости псевдооживления. Опыты по исследованию закономерностей перехода мелкодисперсного материала в газомеханическое псевдооживленное состояние показали, что на $W_{кр}$ влияют, кроме физических свойств материала, геометрические размеры и скорость вращения мешалки.

Поэтому при составлении экспериментальной зависимости учитывалось влияние каждого фактора в отдельности путем изучения кривых псевдооживления $N = f(W)$.

Для определения влияния окружной скорости вращения мешалки использовали обечайку с внутренним диаметром 320 мм и мешалку с размерами: $L = 300$ мм, $b = 50$ мм. Окружную скорость на краю лопасти изменяли от 1,5 до 4,5 м/сек. Для каждой серии опытов уровень засыпки был постоянным. Обработка полученных данных привела к зависимости:

$$W_{кр} = \frac{m_1}{V^{0.64}} \quad (10)$$

$m_1 - m_3$ — (здесь и ниже) коэффициенты, суммирующие влияние остальных факторов.

Для установления влияния на W физических свойств материала использовали мелкодисперсные материалы (см. табл. 1) с разным насыпным весом, но приблизительно одинаковой дисперсности.

Опыты проводили при одинаковой скорости вращения мешалки для данной серии и постоянном уровне засыпки. Полу-

ченные экспериментальные данные хорошо следуют зависимости:

$$W_{кр} = m_2 \cdot \gamma_n^{0.44} \quad (11)$$

Как было установлено, на критическую скорость псевдооживления влияет также ширина лопасти мешалки. Увеличение ширины лопасти сдвигает точку начала псевдооживления к оси ординат. Для выяснения этой закономерности были проведены опыты при псевдооживлении талька и пушонки в аппарате с обечайкой диаметром 320 мм. Уровень засыпки и скорость вращения мешалок были постоянными, изменяли только ширину лопастей мешалок (от 30 до 70 мм). Экспериментальные данные определяются зависимостью:

$$W_{кр} = \frac{m_3}{b^{0.21}} \quad (12)$$

С учетом (10) — (12) формула имеет вид:

$$W_{кр} = \frac{m \cdot \gamma_n^{0.44}}{b^{0.21} \cdot V^{0.64}}, \text{ м/сек.} \quad (13)$$

Здесь m — коэффициент для исследованной группы материалов находится в пределах $(6,6-7,0) \cdot 10^{-4}$;

γ_n — насыпной вес, кг/м³;

b — ширина лопасти мешалки, м;

V — окружная скорость края лопасти, м/сек.

Полученные формулы (8) и (13) позволяют графоаналитическим методом рассчитывать мощность на валу мешалки в первой стадии псевдооживления. Для этого рассчитывается мощность на валу мешалки без подачи воздуха по формуле, предложенной А. М. Ластовцевым и А. М. Хвальновым. (Труды МИХМа, т. 19, с. 126). Это значение мощности откладывается по оси ординат.

Из полученной точки проводится прямая в логарифмических координатах в точку, координаты которой вычисляются по (8) и (13) и получаем зависимость $N = f(W)$ в первой стадии псевдооживления для мешалки заданных геометрических размеров при данной скорости вращения. (Пример графического расчета дан в диссертации в гл. IV).

Следующим вопросом, который необходимо учитывать при проектировании аппаратов с газомеханическим псевдооживлением, является правильный выбор уровня засыпки материала.

При исследовании особенностей поведения псевдооживленного слоя в аппаратах с газомеханическим псевдооживлением было установлено, что радиус статического вихря уменьшается по мере увеличения уровня засыпки. То предельное значение уровня засыпки (толщина слоя), при котором на поверх-

ности псевдооживленного слоя исчезает воронка, в дальнейшем будем называть предельной высотой зоны активного перемешивания $H_{пр}$. Выше $H_{пр}$ образуется застойная зона. Эта особенность поведения псевдооживленного слоя в аппаратах с газомеханическим псевдооживлением может быть использована для секционирования по твердой фазе аппаратов с газомеханическим псевдооживленным слоем путем размещения мешалок по высоте реакционной камеры с чередованием застойных зон с зонами активного перемешивания.

Опыты проводились следующим образом. В аппарате устанавливался режим псевдооживления при постоянной скорости воздуха и постоянной окружной скорости вращения мешалки. Затем в аппарат постепенно досыпался материал до высоты, при которой исчезала воронка. После стабилизации поверхности одновременно выключалась подача воздуха и привод мешалки. Слой оседал, после чего измерялась его высота (считая от нижней кромки лопасти). Таким образом, $H_{пр}$ относится к свободно насыпанному, а не псевдооживленному слою.

Обработка опытных данных влияния окружной скорости и ширины лопасти на $H_{пр}$, привела к расчетной формуле:

$$H_{пр} = 0,8V^{0,5} \cdot b^{0,6}, \text{ м} \quad (14)$$

Здесь V — окружная скорость на краю лопасти, м/сек;
 b — ширина лопасти мешалки, м.

Обобщенные формулы (8), (12) и (14) справедливы при $1,5 \leq V \leq 4,5$ м/сек; $0,01 \leq S \leq 0,06$ м; $N_y < N_{пр}$ и проверены для системы воздух — твердое тело для мелкодисперсных материалов.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что при комбинированном воздействии на слой сыпучего материала вращающейся мешалки и оживляющей среды удается получить стабильный псевдооживленный слой для мелкодисперсных материалов, не достижимый в результате только продувки газа.

2. Предложен метод исследования и оценки псевдооживленного слоя, получаемого газомеханическим способом, заключающийся в изучении кривых псевдооживления, полученных в виде зависимостей $N = f(W)$.

3. Установлено, что при проведении аналогии между псевдооживленным слоем и капельной жидкостью имеется существенная разница между ними, определяющая разные методы подхода к расчету мощности мешалки.

4. Экспериментально установлено наличие двух видов движения при перемешивании псевдооживленного слоя радиально-лопастными мешалками: вихревого и невихревого.

5. Показано, что вихревая зона не является цилиндрической, а конусообразной, причем сечение конуса резко сужается по мере удаления от оси мешалки.

6. Установлено, что при работе мешалок профиль образующей воронки приблизительно характеризует гидродинамическое состояние вращающегося потока псевдооживленных частиц.

7. Проведено исследование влияния на переход в псевдооживленное состояние и мощность мешалки в режиме газомеханического псевдооживления следующих факторов: угловой скорости, геометрических размеров мешалки, величины зазора между краем лопастей и цилиндрической стенкой аппарата, числа лопастей в горизонтальной плоскости, уровня засыпки материала и его насыпного веса.

8. Получена экспериментальная формула для расчета мощности мешалки в режиме газомеханического псевдооживления.

9. Дана экспериментальная формула для расчета критической скорости псевдооживления.

10. Предложена формула для расчета предельной высоты зоны активного перемешивания псевдооживленного слоя одной мешалкой.

11. Разработан графоаналитический метод расчета мощности мешалки в первой стадии псевдооживления.

12. Даны практические рекомендации для разработки аппаратов с газомеханическим псевдооживленным слоем.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ СООБЩЕНИЯХ

1. В. В. Харакоз, А. М. Ластовцев. Выбор оптимальной конструкции мешалки и расчет критической скорости псевдооживления в смесителях с газомеханическим псевдооживленным слоем. «Химическое», нефтеперерабатывающее и целлюлозно-бумажное машиностроение». сб. № 6, 1965. ЦИНТИ-ХИМНЕФТЕМАШ.

2. А. М. Ластовцев, В. В. Харакоз, И. Г. Мартюшин, М. Г. Газанчянц. Новое в технике псевдооживления мелкодисперсных материалов. «Химическое, нефтеперерабатывающее и целлюлозно-бумажное машиностроение», сб. № 2, 1965.

3. М. Г. Газанчянц, А. М. Ластовцев, И. Г. Мартюшин, А. Н. Плановский, В. В. Харакоз, Е. Е. Шнайдер. Аппарат для обработки мелкодисперсных растительных материалов. «Гидролизная и лесохимическая промышленность», № 6, 1965.

4. Ю. И. Макаров, Б. М. Ломакин, В. В. Харакоз. Отечественное и зарубежное оборудование для смешения сыпучих материалов. Брошюра. Издательство ЦИНТИАМ, Москва, 1964.

5. В. В. Харакоз, И. Г. Мартюшин, А. М. Ластовцев. О процессе псевдооживления в аппаратах с мешалками и реологические превращения в слое сыпучего материала. Тезисы докладов на Ленинградской конференции. «Применение кипящего слоя в химической промышленности». Ленинград, 1965.

6. И. Г. Мартюшин, М. Г. Газанчянц, В. В. Харакоз. Реакционный аппарат. Авторское свидетельство № 167202. «Бюллетень изобретений и товарных знаков», № 1, 1965.

7. И. Г. Мартюшин, М. Г. Газанчянц, В. В. Харакоз. Реакционный аппарат для обработки мелкодисперсных сыпучих материалов. Авторское свидетельство № 167829. «Бюллетень изобретений и товарных знаков», № 3, 1965.

8. В. В. Харакоз, А. М. Ластовцев. Расчет высоты зоны активного перемешивания механическими мешалками в контактных аппаратах с псевдооживленным слоем. «Нефть и газ. Известия Высших учебных заведений СССР», № 1, 1966.

9. В. В. Харакоз, И. Г. Мартюшин, А. М. Ластовцев. Особенности движения частиц в аппаратах с газомеханическим псевдооживленным слоем. «Химическая промышленность», 1965 (в печати).

Л 53983 29/ХІІ 1965 г.

Заказ 4420

Тираж 200 экз.

Типография Хоз. Упр. Сов. Мин. РСФСР

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА 266127
Академии наук Киргизской ССР