

Автор ер.

Г 19

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант В.Г. ГАБУЧИЯ

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ
НЕОДНОРОДНОСТИ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ И
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭТОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ НА
КИНЕТИКУ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ
СЕРНИСТОГО ГАЗА

198 - Автоматизация производственных процессов

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса 1967

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Аспирант В.Г. ГАБУЧИЯ

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ
НЕОДНОРОДНОСТИ ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ И
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭТОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ НА
КИНЕТИКУ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ
СЕРНИСТОГО ГАЗА

198 - Автоматизация производственных процессов

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Переучет 1988

VO.0.1429



Одесса 1967

Работа выполнена на кафедре механизации и автоматизации производства Одесского технологического института имени М.В. Ломоносова и на кафедрах технологии катализаторов и химического машиностроения Ленинградского Ордена Трудового Красного Знамени технологического института имени Ленсовета.

Научные руководители:

доктор технических наук профессор Платонов П.Н.

доктор физико-математических наук профессор Тодес О.М.

Научный консультант:

доктор технических наук профессор Мухленов И.П.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук профессор Горбис З.Р.

доктор технических наук профессор Варламов М.Л.

кандидат технических наук доцент Митрофанов Ю.Н.

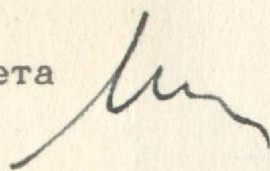
Ведущее предприятие -- Государственный научно-исследовательский институт полимеризационных пластмасс.

Автореферат разослан "15" ноября 1967 г.

Защита диссертации состоится "15" XII 1967 г.
на заседании Ученого Совета Одесского технологического института имени М.В. Ломоносова.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах присылать по адресу: г.Одесса-39, ул.Свердлова, 112, Технологический институт имени М.В. Ломоносова.

Ученый секретарь совета



Л.А. ЗАПОРОЖЕЦ

В В Е Д Е Н И Е

Автоматизация большой группы технологических процессов, проводимых в дисперсных системах типа газ - твердый сыпучий материал, немыслима без наличия методов автоматического измерения (контроля) качества этих процессов. Разработка таких методов для различных дисперсных систем широко поставлена П.Н.Платоновым в ОТИ им. М.В. Ломоносова.

Зернистое строение сыпучих, образующих твердую фазу неподвижных, псевдооживленных, сквозных (проточных) дисперсных систем и промежуточных форм, обуславливает возникновение неоднородности их структуры. Эта неоднородность проявляется в распределении локальной концентрации (плотности) твердых частиц. А в динамике, когда имеются направленные движения всей сыпучей среды в целом и внутренние движения, приводящие к перемешиванию твердой фазы и другим эффектам, - неоднородность структуры проявляется в различии скоростей движения групп частиц по величине и по направлению.

Такая неоднородность структуры оказывает существенное влияние на целый ряд свойств дисперсной системы: теплообмен, интенсивность смешения, гидравлические характеристики, массообмен и кинетические характеристики химических реакций в сыпучих средах и, следовательно, определяет эффективность многих процессов в разнообразных отраслях промышленности, где взаимодействует твердая фаза с протекающим через аппарат потоком газа.

Оптимизация процессов в промышленных аппаратах, использующих указанные системы, настоятельно требует разработки методов количественного определения степени неоднородности и в первую очередь для наиболее широко применяемого на практике псевдооживленного слоя.

Работа посвящена методам автоматического измерения неоднородности структуры псевдоожигенного слоя и исследованию возможности установления количественных закономерностей между качественными характеристиками процессов и этой неоднородностью с целью дальнейшей оптимизации указанных процессов. Полученные результаты могут быть распространены на аналогичные системы.

В главе 1 - "Измерение неоднородности структуры псевдоожигенного слоя" - анализируются различные количественные характеристики с точки зрения их пригодности для оценки степени неоднородности. Так как характер изменения структурных параметров псевдоожигенного слоя близок к стационарному случайному процессу, рассмотрены такие характеристики, как корреляционная функция, предложенные рядом авторов абсолютный коэффициент вариации и так называемый "индекс однородности", представляющий собой отношение характеристики относительной флуктуации структурного параметра к его частоте.

Немаловажным требованием является простота аппаратного решения вопроса измерения неоднородности, поэтому обосновывается целесообразность ограничиться менее полной, чем корреляционная функция, характеристикой, но зато получаемой более быстро и с меньшими затратами. За оценку степени неоднородности принята характеристика относительного рассеивания пульсаций локальной плотности псевдоожигенного слоя, равная процентному отношению оценки абсолютного центрального момента первого порядка к оценке математического ожидания

$$\delta = \frac{\int_0^T |\rho(t) - \bar{\rho}| dt}{\int_0^T \rho(t) dt} 100\% = \frac{|\Delta \bar{\rho}|}{\bar{\rho}} 100\% \quad (1)$$

Поэтому подробно рассматриваются методы и системы измерения плотности и некоторых других первичных структурных параметров, которые могут быть использованы для измерения неоднородности: абсорбционные методы, использующие

явление поглощения рентгеновских, γ -, β - и световых лучей, а также звуковых волн; методы, измеряющие гидростатическое сопротивление слоя; методы, основанные на использовании электрофизических свойств материалов в постоянном электрическом поле (кондуктометрические методы) и переменном электрическом поле повышенной частоты (диэлектрические методы); способ измерения кажущейся или эффективной вязкости слоя; пьезоэлектрические методы. Дана также классификация методов по размерам области измерения, из которой следует нецелесообразность применения интегральных методов измерения, дающих заниженное значение степени неоднородности по сравнению с локальными.

Поскольку реализации первичного структурного параметра подвергаются статистической обработке согласно принятому алгоритму определения степени неоднородности, критически оцениваются применявшиеся методы обработки по точкам, планиметрированием и с помощью вычислительных устройств как по точности, так и степени трудоемкости обработки.

На основании проведенного анализа показывается отсутствие простого и надежного способа измерения плотности (концентрации) сыпучего материала в статическом и динамическом режимах, обеспечивающего необходимую точность, и отсутствие способа автоматического определения степени неоднородности. Отмечается также, что в основу создания метода автоматического измерения неоднородности может быть положен наиболее совершенный метод, разработанный под руководством О.М. Тодеса в 1962 году, который позволил сократить время определения одного значения характеристики δ до 3-х минут.

Показаны пути решения поставленной проблемы и намечены следующие задачи исследования:

разработать методику автоматического измерения степени неоднородности псевдооживленного слоя, свободную от недостатков известных методов;

разработать систему автоматического измерения степени неоднородности, пригодную для применения в реальных условиях высокотемпературных процессов и в агрессивных средах;

произвести экспериментальное исследование влияния степени неоднородности структуры на качественные характеристики процесса на примере каталитического окисления сернистого газа во взвешенном слое;

с целью исследования возможности автоматического регулирования неоднородности структуры и масштабного переноса данных кинетических опытов изучить влияние различных факторов – гидродинамического режима и параметров системы – на степень неоднородности псевдоожижения.

В главе II – „Разработка методов и систем автоматического измерения неоднородности структуры псевдоожиженного слоя“ приводится разработанная блок-схема системы измерения, содержащая электронный автоматический измеритель локальной плотности, электронное автоматическое вычислительное устройство, производящее расчет степени неоднородности и прибор для измерения величины δ в процентах.

Исходя из свойств системы и условий работы, обоснована выбранная стержневая конструкция первичного прибора-датчика, как минимально искажающая структуру слоя в зоне измерения. Материал датчика выбран с учетом агрессивности среды и высокой температуры (свыше 500°C), размеры датчика – из условия достаточного усреднения зернистости слоя.

На основе рассмотрения схемы замещения системы катализатор – газ показано, что полное электрическое сопротивление датчика с катализатором является во всех случаях комплексной величиной, преобразуемой во вторичном приборе выбранной генераторной резонансной схемой с частотным дискриминатором в пропорциональный электрический сигнал.

Исследования по усовершенствованию метода статистической обработки реализаций измерителя плотности псевдоожиженного слоя позволили разработать методику и систему автоматического дискретного (периодического) измерения степени неоднородности с использованием электронного делительного устройства по методу неявных функций. Благодаря разработанному нами устройству управления результат измерения неоднородности был свободен от влияния переходных процессов в

математической модели фильтра верхних частот (ФВЧ), а сама характеристика δ определялась непосредственно в процентах практически мгновенно после истечения времени переходного процесса и принятого интервала усреднения.

Наличие относительно сложного делительного устройства (пять усилителей постоянного тока и один блок перемножения) потребовали разработки упрощенного дискретного метода измерения, в основу которого было положено упрощение алгоритма определения степени неоднородности без изменения его свойств. Этот автоматический метод измерения, разработанный совместно с Ф.А. Федоровым, отличался от метода, использующего делительное устройство тем, что критерий δ в процентном выражении определялся ограничением времени усреднения составляющих δ до величины, при которой среднее значение машинной переменной - напряжение \bar{U} , пропорциональное среднему арифметическому значению плотности, достигало установленного предела по максимуму (100 в), а величина степени неоднородности определялась по напряжению на выходе интегрирующего блока, дававшего накопление среднего абсолютного отклонения напряжения $|\bar{U}_m|$.

Опытные образцы систем описанных двух дискретных методов были изготовлены в ОТИ им. М.В. Ломоносова на базе ЭММНД типа МН-7, длительно эксплуатировались в исследовательских целях и показали надежную работу.

Так как считывание результатов измерения в описанных системах происходит в конце времени опыта, разработанные методы и устройства пригодны на практике для разовых определений оценок степени неоднородности.

Непрерывный характер процессов с псевдооживленным слоем и наличие перед каждым опытом переходного процесса в ФВЧ, удлиняющего время измерений, стимулировали разработку непрерывного метода измерения так называемых "текущих средних" пульсаций структурных параметров с использованием математической модели фильтра нижних частот (ФНЧ). В этом случае переходный процесс в фильтре имел место только один раз ввиду отсутствия периодичности измерения.

При использовании серийно выпускаемых электронных аналоговых машин последние могут работать в режиме однократной развертки и без устройства автоматической выдержки времени переходного процесса, что упрощает систему измерения.

Выбор параметров ФНЧ производился из условия удовлетворения заданной погрешности измерения $\Delta \delta$, вызванной конечностью статистического интервала.

Благодаря свойству модели ФНЧ выдавать средние значения обоих знаков, представлялось возможным использование упрощенной схемы делительного устройства по методу неявных функций и, следовательно, автоматическое и непрерывное определение оценки степени неоднородности структуры.

На пути дальнейшего упрощения вычислительного устройства модель ФВЧ была заменена детектором на диодных ячейках. В итоге устройство автоматически усредняло выходное напряжение плотномера $u(t) \sim p(t)$, вычитало из него полученное среднее значение $\bar{u} \sim \bar{p}$, усредняло абсолютное отклонение $|u_{\sim}(t)| \sim |\Delta p(t)|$ и делило, непрерывно автоматически выдавая значение характеристики $\delta = \frac{|u_{\sim}|}{\bar{u}} 100$ в процентном выражении. Возможность использования стандартных УПТ делает этот метод удобным при исследовании процессов в псевдооживленном слое с помощью серийно выпускаемых ЭММНД, что было подтверждено при экспериментах, изложенных в IY, Y главах настоящей работы, в которых устройство для расчета степени неоднородности набиралась на ЭММ типа МН-7 по данной методике.

Другой способ автоматического измерения, разработанный нами, использует компенсационно-стабилизирующее вычислительное устройство. Достоинством этого метода по сравнению с предыдущим является отсутствие сложно осуществляемой операции деления.

В главе III - "Исследование точности измерения степени неоднородности" - наибольшее внимание уделено погрешностям при измерении плотности псевдооживленного слоя от различных влияющих факторов и погрешностям, вызванным конечностью статистической выборки. Аппаратурные погрешности рассматриваются относительно кратко, так как они в значительной мере определяются узлами схем, широко применяемыми в радиоэлектронных и вычислительных устройствах.

Отмечено, что к измерению плотности псевдооживленного слоя, необходимого для расчета характеристики относительно рассеяния δ , предъявляются несколько иные требования, по сравнению с требованиями к измерению плотности неодвижного.

Исследование частотного диапазона электронного плотномера показало, что данный прибор в динамическом режиме не зависит от частоты измеряемого процесса в пределах от нуля до 10 кгц. Это позволило считать плотномер безынерционным элементом и калибровка прибора в статических условиях остается справедливой при измерениях в динамическом режиме.

Выбор рабочей частоты ($f_0 = 3,3$ мгц) и параметров генератора, "жесткий" монтаж плотномера и другие меры по стабилизации дрейфа нуля его выходного напряжения позволили получить линейную амплитудную характеристику плотномера в статическом режиме.

Проведенные исследования с учетом того, что величина δ представляет отношение двух величин, выделяемых из одного и того же сигнала, позволили пренебречь влиянием на точность расчета этой характеристики всех факторов, изменяющих чувствительность преобразования плотномера (угол наклона его амплитудной характеристики), и считать его динамическую функцию преобразования неизменной величиной.

Аналитически определена зависимость между погрешностью $\Delta\delta$ измерения степени неоднородности $\delta_{ист.}$ структуры исследуемого процесса и интервалом статистического усреднения

$$\Delta\delta \geq 2,5\delta_{ист.} \left(\frac{1}{\sqrt{2T\Delta\omega}} + \frac{\delta_{ист.}}{\sqrt{\pi T\omega_1}} \right), \quad (2)$$

где $\Delta \omega$ - спектр частот,

ω_1 - нижняя граничная частота процесса.

Предложена формула для расчета параметров усреднителя по заданной погрешности определения характеристики δ .

В главе 1У - "Исследование влияния неоднородности на кинетику окисления сернистого газа в псевдоожигенном слое катализатора" - в качестве объекта использован наиболее изученный типичный контактно-каталитический гетерогенный процесс. Отмечены известные в литературе объяснения повышенной неполноты химического превращения двухфазной моделью неоднородного псевдоожигения. Отмечено также, что попытки математизировать двухфазную модель с целью моделирования неоднородной структуры приводили к необходимости оперирования несколькими переменными, значительно усложняющими эту задачу.

Предпринятое О.М. Годесом построение однопараметрической модели учета влияния неоднородности псевдоожигенного слоя на степень химического превращения впервые аналитически показало наличие количественной связи между этими параметрами. Полученные нами соотношения показывают, что любая неоднородность распределения активности катализатора в реакторе повышает выходную концентрацию исходных веществ, т.е. как бы укорачивает время контакта реагентов по сравнению с однородным слоем, для которого $\delta = 0$ как в случае идеального вытеснения, так и в случае идеального смешения газовой фазы. Ценность полученного вывода состоит еще и в том, что неоднородность структуры представлена в полученном уравнении одной обобщенной оценкой, представляющей собой квадрат интегральной относительной пульсации активности катализатора, пропорциональной его плотности в неизменном объеме.

Экспериментальное подтверждение этого факта открывает большие возможности для установления количественных закономерностей между качественными показателями химических процессов в псевдоожигенном слое зернистого катализатора и неоднородностью его структуры и значительно облегчает моделирование процессов с неоднородной структурой. Это позволяет

в перспективе значительно повысить производительность процессов в псевдооживленных средах как во внедренных, так и в проектируемых.

Проведенные нами эксперименты по окислению сернистого газа в псевдооживленном слое катализатора неизменной высоты в реакторе диаметром $D_a = 80$ мм на фракциях катализатора со средним диаметром $\bar{d} = 0,38; 0,75; 1,5; 2,5$ мм при скоростях газового потока от $W = 0,3$ до $W = 1,1$ м/сек с одновременным измерением как степени химического превращения, так и степени неоднородности, показали, что скорость процесса окисления сернистого газа с увеличением неоднородности для каждой фракции снижается.

Это снижение несколько различно для крупных и мелких фракций катализатора. При одинаковой скорости потока и времени контакта неоднородность псевдооживления тем больше, чем ниже средний диаметр зерна фракции. Однако для крупных зерен вступают в силу иные кинетические факторы и каталитическая активность этих фракций снижается, несмотря на меньшую неоднородность по сравнению с мелкими. В результате проведенных опытов выявлен оптимум размеров зерна катализатора окисления SO_2 , который в условиях эксперимента составляет около 1,1 мм. В условиях производства изменение параметров технологического режима может несколько сдвинуть положение этого оптимума.

В главе У - "Исследование факторов, определяющих величину неоднородности псевдооживленного слоя катализатора в реакторах различного масштаба" - показано, что задача управления эффективностью протекания химической реакции сводится в значительной мере к регулированию величины δ , что, в свою очередь, требует изучения влияния на степень неоднородности различных факторов, определяющих гидродинамическую обстановку и свойства системы. В связи с конкретными задачами разработки промышленных каталитических процессов особенно важное значение приобретает проблема воспроизведения заданной степени превращения в реакторах различных размеров, что требует изучения возможности масштабного переноса величины δ . Поэтому в настоящей главе излагаются результаты

исследования влияния на δ для износоустойчивого ванадиевого катализатора окисления SO_2 различных факторов в реакторах различных размеров. Исследованы неоднородности структур катализатора со средним диаметром $\bar{d} = 0,38; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5$ мм в реакторах диаметром $D_a = 80, 300, 900$ мм при различных начальных высотах слоя $H_0 = 100, 150, 200, 400$ мм на различных расстояниях от газораспределительного устройства $h = 25, 50, 80, 120, 180, 380$ мм.

Проведенные эксперименты позволили сделать следующие выводы:

повышение скорости газа и уменьшение размера зерен катализатора вызывает монотонное увеличение критерия неоднородности δ ;

с удалением от газораспределительного устройства степень неоднородности увеличивается для всех режимов;

при линейной скорости потока выше определенного числа псевдооживления степень неоднородности уменьшается с увеличением диаметра аппарата;

экспериментально подтверждено высказывавшееся ранее предположение, что для возможности масштабного моделирования структуры псевдооживленного слоя необходимо соблюдение подобия порядка критерия $\frac{H_0}{D_a}$.

Применительно к исследованному в главе 1У каталитическому процессу рассмотрена принципиальная схема системы автоматического регулирования отдельной подачи газа в контактные аппараты большого диаметра, управляемой измерителями неоднородности, помещенными в разных участках над газораспределительной решеткой.

ВЫВОДЫ

В диссертации рассмотрены вопросы разработки метода и системы автоматического непрерывного измерения степени неоднородности структуры процессов в динамических дисперсных

системах типа газ-твердые частицы (на примере химической реакции окисления сернистого газа в псевдоожигенном слое катализатора) и экспериментального исследования возможности установления количественных закономерностей между качественными характеристиками процессов и неоднородностью их структуры с целью дальнейшей оптимизации указанных процессов.

В результате выполненного исследования получены следующие основные результаты работы.

1. Проведен критический анализ и оценка существующих методов измерения абсолютных значений и относительных флуктуаций плотности псевдоожигенных систем газ-твердые частицы, показаны существенные недостатки этих методов как по точности, так и степени трудоемкости обработки результатов.
2. Разработаны две новые методики автоматического дискретного (периодического) измерения степени неоднородности (относительной пульсации) псевдоожигенных слоев; использовано электронное делительное устройство, основанное на методе неявных функций, и предложен упрощенный алгоритм расчета характеристики неоднородности, а также реализующее его устройство.
3. Разработан ряд методов автоматического непрерывного измерения неоднородности псевдоожигенного слоя на основе использования математической модели фильтров нижних и верхних частот и компенсационно-стабилизирующего вычислительного устройства и дано обоснование технических условий на изготовление специализированного вычислительного устройства для измерения степени неоднородностей структуры.
4. Произведена оценка точности измерения по разработанным схемам с использованием статистических методов; определены параметры устройств и режима работы, обеспечивающие получение измеряемой величины с заданной погрешностью.
5. Исследована зависимость кинетики химической реакции, проводимой в псевдоожигенном слое, от степени неоднородности измеряемой разработанным методом (на примере реакции окисления сернистого газа).

6. Выявлен оптимальный размер зерна катализатора, обеспечивающий наиболее эффективное использование основных достоинств псевдооживленного слоя при проведении процесса окисления сернистого газа.

7. Изучено влияние различных факторов - гидродинамического режима и параметров системы - на степень неоднородности псевдооживления в аппаратах различного диаметра с целью установления возможностей масштабного переноса данных кинетических опытов.

8. Разработанные методики исследования и проведенные эксперименты по гидродинамике и кинетике процессов в псевдооживленных слоях позволяют упростить и повысить точность исследования модельных систем и испытания опытных и промышленных установок.

9. Проведенные исследования показывают возможность и пути разработки систем автоматического регулирования неоднородности структуры и оптимизации процессов в псевдооживленном слое.

Основное содержание диссертации опубликовано
в следующих работах.

1. Наремский Н.К., Федоров Ф.А., Габучия В.Г. „Применение электронной вычислительной техники для контроля и управления некоторыми процессами в пищевой промышленности“. Экономика и организация производства (серия). ЦИНТИ Госкомзага, М., 1965. Вып. 2. Сб. "Применение математических методов", стр. 68 - 76.
2. Габучия В.Г., Федоров Ф.А. "Исследование статики и динамики работы отдельных элементов вычислительных машин для контроля качества псевдооживления". Тезисы докладов ХУШ НТК ОТИ им.М.В.Ломоносова. Изд. ОТИЛ, Одесса, 1966.

3. Габучия В.Г., Федоров Ф.А. „Усовершенствование метода и разработка автоматического устройства для количественной оценки неоднородности псевдоожигения“. Всесоюзная конференция по высокотемпературным эндотермическим процессам в кипящем слое. Доклады. Изд. "Металлургия", К., 1967.
4. Габучия В.Г., Годес О.М., Мухленов И.П., Михалев М.Ф. „Методика измерения неоднородности кипящего слоя катализатора“. Тезисы докладов НТК ЛТИ им. Ленсовета. Изд. „Химия“, Л., 1967.
5. Годес О.М., Мухленов И.П., Михалев М.Ф., Габучия В.Г. „Исследование влияния неоднородности структуры катализатора на степень химического превращения“. Материалы Всесоюзной научной конференции по процессам в дисперсных потоках. Изд. ОТИЛ, Одесса, 1967.
6. Габучия В.Г., Федоров Ф.А. „Установка для автоматического контроля качества псевдоожигения“. Сб. ЦИНТИ Химнефтемаш, М., № 9, 1967.

По материалам диссертации сделаны доклады:

1. На Украинской межвузовской школе по технической кибернетике. Одесса, сентябрь, 1966.
2. На XIX НТК ОТИ им.М.В. Ломоносова, Одесса, апрель, 1967.
3. На семинаре научного совета АН УССР по кибернетике и автоматическому управлению, Одесса, июнь, 1967.

✓ 001429