



С.В. Мищенко, М.М. Мордасов,
А.В. Трофимов, А.А. Чуриков

ПРОБООТБОР В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •

УДК 681.518.52 (075)
ББК Л10-1с 109-51я 73-5
П781

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
Тамбовского государственного университета
им. Г.Р. Державина
А.А. Арзамасцев

Доктор технических наук, профессор
Тамбовского государственного технического университета
В.А. Ванин

**Мищенко С.В., Мордасов М.М.,
Трофимов А.В., Чуриков А.А.**

П781 Пробоотбор в системах контроля показателей качества продукции: Учеб. пособие. Там-
бов: Изд-во Тамб. гос. техн.
ун-та, 2003. 104 с.
ISBN 2-8562-0207-X

В учебном пособии рассмотрены общие вопросы пробоотбора жидких и газообразных веществ, предложена классификация пробоотборных устройств, используемых при проведении технических измерений состава и свойств веществ, показателей качества продукции. Разработана структурная схема обобщенного пробоотборного устройства, дан теоретический анализ работы. Приведены конструкции и принцип действия пробоотборных устройств применительно к различным параметрам и условиям измерения.

Учебное пособие полезно студентам специальности 210200 "Автоматизация технологических процессов и производств" при изучении дисциплины "Технические измерения и приборы", а также при выполнении курсовых и дипломных проектов.

УДК 681.518.52 (075)

ББК Л10-1с 109-51я 73-5

ISBN 2-8562-0207-X

© Тамбовский государственный
технический университет (ТГТУ), 2003

© Мищенко С.В., Мордасов М.М.,
Трофимов А.В., Чуриков А.А.,
2003

Министерство образования Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

С.В. Мищенко, М.М. Мордасов, А.В. Трофимов, А.А. Чуриков

**ПРОБООТБОР В СИСТЕМАХ
КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ**

Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ)
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов –
"Автоматизированные технологии и производства"
(специальность "Автоматизация технологических процессов и
производств (химико-технологическая отрасль)")

Тамбов
Издательство ТГТУ
2003

Учебное издание

МИЩЕНКО Сергей Владимирович
МОРДАСОВ Михаил Михайлович
ТРОФИМОВ Алексей Владимирович
ЧУРИКОВ Александр Алексеевич

**ПРОБООТБОР В СИСТЕМАХ
КОНТРОЛЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ**

Учебное пособие

Редактор Т. М. Федченко
Компьютерное макетирование М. А. Филатовой

Подписано в печать 06.06.2003
Формат 60 × 84 / 16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Объем: 6,04 усл. печ. л.; 5,95 уч.-изд. л.
Тираж 150 экз. С. 400

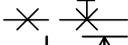
Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета,
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

Обозначения и аббревиатуры

C – концентрация;	$X_{в}$ – возмущение, наносимое на объект;
d – диаметр, м;	$X(t), Y(t)$ – входной и выходной параметры объекта;
f – площадь, м ² ;	Y_3 – заданное значение параметра;
G – массовый расход, кг/с;	α – проводимость дросселя, м·с;
h – уровень, м;	Δ – разность величин;
l – длина, м;	η – динамическая вязкость, Па·с;
p – давление, Па;	θ – КОЛИЧЕСТВО ГАЗА ИЛИ ЖИДКОСТИ, КГ;
Q – объемный расход, м ³ /с;	ρ – плотность, кг/м ³ ;
R – газовая постоянная, Дж/(кг·К)	τ – постоянная времени, с.
T – абсолютная температура, К;	
t – время, с;	
V – объем, м ³ ;	

АСК – автоматическая система контроля;
АСР – автоматическая система регулирования;
ВП – вторичный прибор;
Д – датчик;
ИМ – исполнительный механизм;
ИП – измерительный преобразователь;
КПП – камерный первичный преобразователь;
ПИП – первичный измерительный преобразователь;
ПУ – пробоотборное устройство;
Р – регулятор;
РО – регулирующий орган;
ТА – технологический аппарат;
ТП – технологический процесс;
ЧЭ – чувствительный элемент.

Графические обозначения

	– питание сжатым воздухом, $P_{пит} = 0,14 \pm 0,014$ МПа;
	– штуцер для подвода давления;
	– связь с атмосферой;
	– пневмоемкость;
	– постоянный и переменный дроссели;
	– преобразователи сопло – заслонка.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Порядок проведения анализа свойств и состава различных веществ регламентируется соответствующими государственными стандартами, которые, как правило, содержат рекомендации по отбору проб и их подготовке.

В учебном пособии рассматриваются пробоотборные устройства, используемые в системах автоматического контроля показателей качества продукции.

Материал пособия предназначен для студентов специальности 210200 «Автоматизация технологических процессов и производств» и может быть использован ими при изучении специальных дисциплин, а также при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Конкурентоспособность продукции, в первую очередь, определяется соответствием показателей ее качества требованиям государственных стандартов. При этом большое значение имеет контроль за отклонением показателей качества в ходе технологического процесса, который позволяет проводить целенаправленное корректирующее воздействие на производственные процессы, и в итоге – исключить или существенно уменьшить количество некачественной продукции. Эту задачу решает автоматическая система контроля, составной частью которой является пробоотборное устройство.

Создание надежно работающего пробоотборного устройства является сложной научно-технической задачей.

Следует отметить многозначность термина «проба». Под этим термином понимают как испытание и проверку механизмов и устройств, так и необходимую и достаточную часть материала или пищи, взятых для анализа. Также термином «проба» обозначают количество частей благородного металла, заключающегося в определенном количестве весовых долей сплава, а, соответственно, и клеймо, обозначающее это количество.

Без пробоотбора невозможен анализ веществ, производимый при исследованиях в различных областях науки и техники. В технологическом процессе производства продукции целью отбора пробы является контроль показателей качества вещества. Проба воды, взятая в реках, озерах, океанах позволяет определить вещества, присутствующие в ней. Для контроля загазованности воздуха производственных и жилых помещений производят его систематический отбор. При помощи мониторинга воздуха городов возможно выявление основных источников промышленного загрязнения воздушного бассейна, степень загрязнения его тем или иным компонентом. Анализ проб почвы позволяет определить объем удобрений, который целесообразно внести в почву для повышения ее плодородия. Геологи отбирают пробу минералов с целью нахождения месторождений полезных ископаемых. Проба биологического объекта служит для определения ДНК. В криминалистике проба крови на предмете дает возможность провести идентификацию человека.

Различные вопросы и проблемы пробоотбора освещены в многочисленных публикациях. В учебном пособии авторы с единых методических позиций обобщили материал и расположили его в определенной последовательности.

В первой главе рассмотрены основные вопросы пробоотбора. Приведена классификация пробоотборных устройств (ПУ), основным классифицирующим признаком в которой является метод подачи контролируемого вещества на чувствительный элемент (ЧЭ) датчика. На основании этого построена основная часть учебного пособия. Предложена обобщенная структура рассматриваемых пробоотборных устройств. Дано математическое описание физических процессов при пробоотборе и анализе контролируемых параметров.

Во второй главе описаны методы повышения эффективности пробоотбора, под которой понимается необходимая представительность пробы и требуемая точность пробоотбора.

В третьей главе рассмотрены конструктивные особенности пробоотборных устройств с непрерывной подачей вещества на чувствительный элемент датчика.

Четвертая глава посвящена изучению пробоотборных устройств с дискретной подачей вещества на чувствительный элемент датчика. Уделено большое внимание пробоотбору при контроле технологического параметра непосредственно внутри аппарата, а также пробоотбору из технологических аппаратов и трубопроводов.

В пятой главе рассматриваются конструкции пробоотборных устройств, осуществляющих непрерывно-дискретный пробоотбор.

1 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРОБООТБОРА

1.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Нормативные документы устанавливают термины и определения основных понятий, применяемых в науке, технике и производстве. Эти термины и определения обязательны для применения во всех ви-

дах документов, учебной, технической и справочной литературе. Каждому понятию и определению устанавливается один стандартизированный термин. Применение терминов-синонимов стандартизованного термина запрещается. При таком подходе тексты, составленные одним специалистом, будут однозначно поняты всеми другими специалистами.

Рассмотрим общие термины, относящиеся к выборочным методам [1], используемым при пробоотборе.

Выборочная единица – это одна из конкретных единиц генеральной совокупности или определенное количество продукции, материала или услуг, образующее единство и взятое из одного места, в одно время для формирования части выборки. Выборочная единица может содержать более одного изделия, допускающего испытание, например, пачка сигарет, но при этом получают один результат испытания или наблюдения. Единицей продукции может быть одно изделие, пара или набор изделий, или определенное количество материала, такое как отрезок латунного прутка определенной длины, определенный объем жидкой краски или заданная масса угля. Она необязательно должна быть такой же, как единица закупки, поставки, производства или отгрузки.

Выборка [проба] – одна или несколько выборочных единиц, взятых из генеральной совокупности и предназначенных для получения информации о ней. Выборка [проба] может служить основой для принятия решения о генеральной совокупности или о процессе, который ее формирует.

Объем выборки – число выборочных единиц в выборке.

Отбор выборки – процесс извлечения или составления выборки.

Процедура выборочного контроля – пооперационные требования и (или) инструкции, связанные с реализацией конкретного плана выборочного контроля, то есть запланированный метод отбора, извлечения и подготовки выборки (выборок) из партий для получения информации о признаке (признаках) выборочных единиц.

Выборка с возвращением – выборка, из которой каждую отобранную и наблюдаемую единицу возвращают в совокупность перед отбором следующей единицы. Одна и та же единица может многократно появляться в выборке.

Выборка без возвращения – выборка, в которую единицы отбирают из совокупности только один раз или последовательно и не возвращают в нее.

Случайная выборка – выборка n выборочных единиц, взятых из совокупности таким образом, что каждая возможная комбинация из n единиц имеет определенную вероятность быть отобранной.

Простая случайная выборка – выборка n выборочных единиц, взятых из совокупности таким образом, что все возможные комбинации из n единиц имеют одинаковую вероятность быть отобранными.

Подвыборка – выборка [проба], взятая из выборки [пробы] генеральной совокупности. Ее можно отбирать тем же методом, что и при отборе исходной выборки [пробы], но это необязательно. При отборе пробы из нештучной продукции подвыборки часто получают делением пробы.

Деление пробы – процесс отбора одной или нескольких проб из пробы нештучной продукции таким способом как нарезание, механическое деление или квартование.

Дублирующая выборка [проба] – одна из двух или более выборок [проб] или подвыборок [проб], полученных одновременно, одним методом ее отбора или делением выборки [пробы].

Расслоение – разделение совокупности на взаимоисключающие и исчерпывающие подсовокупности, называемые слоями, которые должны быть более однородными относительно исследуемых показателей, чем вся совокупность.

Расслоенная выборка [проба] – в совокупности, которую можно разделить на различные взаимно исключающие и исчерпывающие подсовокупности, называемые слоями, отбор, проводимый таким образом, что в выборку [пробу] отбирают определенные доли от разных слоев и каждый слой представляют хотя бы одной выборочной единицей.

Систематический отбор – отбор выборки каким-либо систематическим методом.

Периодический систематический отбор – отбор n выборочных единиц с порядковыми номерами

$$h, h + k, h + 2k, \dots, h + (n - 1)k,$$

где h и k – целые числа, удовлетворяющие соотношениям $nk \leq N < n(k + 1)$ и $h \leq k$, и h обычно выбирают случайно из k первых целых чисел, если N объектов совокупности расположены по определенной системе и если они пронумерованы от 1 до N . Периодический систематический отбор обычно применяют для получения выборки, которая случайна по отношению к некоторым признакам, о которых известно, что они не зависят от систематического смещения.

Период отбора (выборки) – интервал времени, в течение которого берут очередную выборочную единицу при периодическом систематическом отборе. Период отбора может быть постоянным или зависеть от выхода или от скорости процесса, то есть зависеть от количества материала, изготовленного в производственном процессе или загруженного в процессе погрузки.

Кластерный отбор или отбор методом группировки – способ отбора, при котором совокупность разделяют на взаимоисключающие и исчерпывающие группы или кластеры, в которых выборочные единицы объединены определенным образом, и выборку из этих кластеров берут случайно, причем все выборочные единицы включают в общую выборку.

Многостадийный отбор – отбор, при котором выборку берут в несколько стадий, выборочные единицы на каждой стадии отбирают из больших выборочных единиц, отобранных на предыдущей стадии.

Многостадийный кластерный отбор – кластерный отбор, проведенный в две или более стадии, при котором каждый отбор делают из кластеров, которые уже получены из деления предшествующей выборки.

Первичная выборка [проба] – выборка [проба], получаемая из совокупности на первой стадии многостадийного отбора.

Вторичная выборка [проба] – выборка [проба], получаемая из первичной выборки [пробы] на второй стадии многостадийного отбора. Это можно распространить на k -ю стадию при $k > 2$.

Конечная выборка – выборка, получаемая на последней стадии многостадийного отбора.

Выборочная доля – отношение объема выборки к общему числу выборочных единиц. Когда отбирают нештучную или непрерывно производимую продукцию, выборочную долю определяют отношением количества пробы к количеству совокупности или подсовкупности. Под количеством пробы или совокупности понимают массу, объем, площадь и т.д.

Мгновенная проба – количество нештучной продукции, взятое одновременно за один прием из большего объема этой же продукции.

Образец (для испытаний) – часть выборочной единицы, требуемая для целей испытания.

Отбор проб – отбор из партий нештучной продукции, где выборочные единицы изначально трудноразличимы. Примерами могут служить отбор проб из больших куч угля для анализа на содержание золы или теплоты сгорания, или табака на содержание влаги.

Суммарная проба – объединение мгновенных проб материала, когда отбирают нештучную продукцию.

Объединенная выборка [проба] – выборка [проба] из совокупности, получаемая объединением всех выборочных единиц, взятых из этой совокупности.

Подготовка пробы (для нештучной продукции) – система операций, таких как измельчение, смешивание, деление и т.д., необходимых для превращения отобранной пробы материала в лабораторную пробу или пробу для испытаний. Подготовка пробы не должна, насколько это возможно, изменять репрезентативность совокупности, из которой она изготовлена.

Лабораторная проба – проба, предназначенная для лабораторных исследований или испытаний.

Проба для анализа – проба, подготовленная для проведения испытаний или анализа, которую используют полностью и одновременно.

1.2 СРЕДСТВА ПРОБООТБОРА И ПРОБОПОДГОТОВКИ В СТРУКТУРЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Автоматизация технологических процессов позволяет стабильно получать продукцию требуемого качества. Стабилизация основных технологических параметров осуществляется автоматической системой регулирования.

В состав автоматической системы регулирования (АСР) (рис. 1.1) входят измерительный преобразователь (ИП), регулятор (Р), исполнительный механизм (ИМ), регулирующий орган (РО) и вторичный прибор (ВП). Назначением АСР является поддержание постоянным выходного параметра объекта $Y(t)$ на заданном уровне Y_3 .

Под объектом понимается технологический процесс и оборудование, в котором он протекает. В качестве выходного параметра объекта $Y(t)$ выбирается та физическая величина, которая наиболее полно характеризует качество протекания процесса в объекте. Изменение входного параметра $X(t)$ объекта должно приводить к изменению выходного параметра $Y(t)$, но не наоборот.

Под действием произвольного возмущения X_B выходной параметр объекта $Y(t)$ отклоняется от заданного значения Y_3 . Регулятор вырабатывает управляющее воздействие $U(t) = F(y(t) - y_3)$, которое поступает на ИМ, перемещающий затвор РО, изменяя тем самым значение $X(t)$. Поэтому текущее значение $y(t)$ стремится стать равным значению y_3 . Зависимость F называется законом регулирования, среди которых наиболее распространены пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) законы.

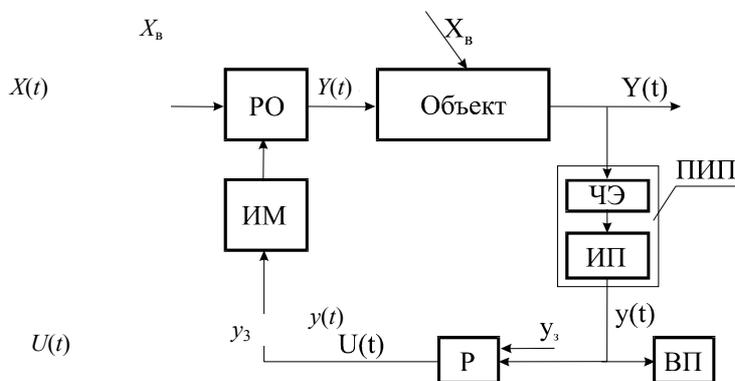


Рис. 1.1 Структурная схема АСР

Чувствительный элемент первичного измерительного преобразователя воспринимает выходной параметр $Y(t)$ и преобразует его в некоторую физическую величину $y(t)$, которая далее преобразуется к виду удобному для передачи на расстояние. Обычно это унифицированный электрический ($0 \dots 5$ мА или $0 \dots 10$ мВ, или $2 \dots 8$ кГц) или пневматический ($0,02 \dots 0,10$ МПа) сигналы.

В структуре АСР пробоотборные и пробоподготовительные устройства применяются в основном в тех случаях, когда согласно применяемому методу измерения нецелесообразно устанавливать ИП внутри аппарата.

В ряде случаев необходимо осуществлять контроль технологических параметров. Такая операция осуществляется автоматическими анализаторами состава и свойств веществ. Анализируемое вещество (АВ), отобранное из объекта с помощью пробоотборного устройства (ПУ) (рис. 1.2), пройдя пробоподготовительное устройство ПП, поступает в первичный измерительный преобразователь ПИП.

Чувствительный элемент (ЧЭ) (рис. 1.1) вследствие воздействия на него анализируемого вещества вырабатывает сигнал, который измеряется измерительным преобразователем ИП. Сигнал от ИП поступает на вторичный прибор ВП, который показывает и, при необходимости, регистрирует измеренную величину контролируемого параметра вещества, находящегося в объекте. Отбор пробы вещества производится для определения текущего реального состояния технологического процесса с целью управления его ходом, а также для составления материального баланса производства.

В первом случае производится анализ отобранной пробы и на основании полученных данных, при необходимости, изменяется расход некоторых компонентов сырья и подводимой (отводимой) энергии.

Во втором случае отбирают среднюю пробу сырья в течение определенного промежутка времени (смены, суток, месяца). По результатам анализа средних проб вычисляют средний состав сырья, израсходованного в течение данного времени.

Автоматизация производственных процессов в различных отраслях промышленности потребовала интенсивной разработки анализаторов, реализующих физические, химические и физико-химические методы анализа.

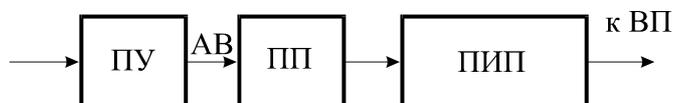


Рис. 1.2 Структурная схема измерительного преобразователя

Наибольшее число промышленных анализаторов для газообразных, жидких и твердых веществ применяются в химической, нефтехимической, металлургической, пищевой и горной промышленности, особенно в областях водоподготовки и контроля за качеством питьевой воды, а также контроля биологических процессов, загрязнения окружающей среды. Анализаторы используют для контроля основных показателей качества продукции.

Под термином «показатель качества» понимаются условные характеристики, единицы измерения которых воспроизводятся в строго детерминированных по конструкции средствах измерений и режимов их эксплуатации.

Существует большое количество показателей качества. Так, например, продукты нефтепереработки и нефтехимии оцениваются более чем пятьюдесятью видами показателей качества, различающихся по физической природе [43].

Для получения качественного продукта необходимо вести управление технологическим процессом производства. Информацию о характеристиках процесса получают с помощью анализаторов. Достоверность полученной информации в основном определяется правильностью отбора пробы вещества и точностью измерительного прибора. Если проба вещества не характеризует средний состав реакционной массы, то и анализ не может отразить действительный состав контролируемой среды.

Анализируемое вещество, отобранное из объекта, обычно содержит механические и химические примеси. В такой пробе протекают физические и химические процессы: конденсация влаги из газовых смесей, дегазация жидкостей, абсорбция химических компонентов, а также химические реакции, инициируемые изменением давления и температуры, изменяющие физико-химическое состояние анализируемого вещества. Указанные процессы резко изменяют достоверность информации об анализируемом параметре. Для проведения корректного анализа необходимо удалить из пробы примеси. Без проведения специально спроектированной пробоподготовки эксплуатация анализаторов невозможна. Подготовка пробы вещества в автоматизированной системе аналитического контроля включает такие операции как фильтрование пробы от механических примесей и от других компонентов, которые затрудняют проведение анализа, термостабилизация (нагревание или охлаждение), конденсация, кристаллизация, испарение, пофазное деление и др. Все эти операции проводят в устройствах, имеющих определенные специально рассчитанные геометрические размеры, в которых проба находится заданное время.

Работа анализаторов качества жидких и газообразных процессов в основном зависит от действия пробоотборных устройств. Наличие в пробе влаги, механических примесей, а также агрессивных веществ, среди которых наиболее часто встречаются сернистые соединения, существенно нарушают нормальную работу анализаторов.

Для продвижения пробы продукта от точки отбора до анализатора обычно используют давление анализируемой среды. В случае колебания этого давления в широком диапазоне для транспортирования пробы используют насосы небольшой производительности.

Элементы пробоотборного устройства отличаются малой пропускной способностью, небольшими размерами присоединительных штуцеров и малыми габаритами.

Основными элементами пробоотборных устройств являются следующие [10]:

- фильтры для тонкой и грубой очистки от механических примесей, воды, сернистых соединений;
- осушители газов;
- редукторы давления газов и жидкостей;

- регуляторы малых расходов газов и жидкостей;
- регулируемые и постоянные дроссели;
- измерители малых расходов (ротаметры);
- холодильники и нагреватели, термостаты;
- регуляторы температуры;
- дегазаторы;
- испарители;
- дозирующие насосы;
- предохранители и обратные клапаны;
- соленоидные двух- и трехходовые клапаны;
- блоки переключения разных проб к одному анализатору с программными задатчиками;
- вентили запорные и тонкой настройки.

Для уменьшения времени запаздывания датчики устанавливаются как можно ближе к точкам отбора пробы из технологических трубопроводов или аппаратов. Большинство датчиков анализаторов работает с применением электроэнергии. Поэтому при их монтаже требуется соблюдать ряд противопожарных мер, которые в основном определяются расстоянием от места их установки до точки отбора. В зависимости от того, является ли датчик взрывозащитным или нет, в каждом отдельном случае решается вопрос об установке его во взрывоопасном помещении или в отдельном помещении.

Место присоединения штуцера для отбора продукта (точка отбора) в технологическом трубопроводе или аппарате должно быть согласовано с технологом, знающим особенности технологического процесса и требования, предъявляемые к анализатору. Штуцер должен иметь внутренний диаметр не менее 16 мм. На свободный конец штуцера устанавливается запорный вентиль, после которого начинается пробоотборная петля, выполняемая из труб Ду 16. Применять трубки меньшего диаметра при большой протяженности пробоотборной петли не рекомендуется, так как при этом значительно увеличивается гидравлическое сопротивление потоку, замедляется циркуляция продукта и возрастает время запаздывания системы.

Место крепления штуцера для возврата продукта (точка возврата) из пробоотборной петли в технологический трубопровод или аппарат также должно быть согласовано с технологом. В точке возврата продукта устанавливается запорный вентиль Ду 16.

Диаметр штуцера, вентиля и трубок для подачи пробы из петли к анализатору должен быть приблизительно 6 мм.

В зимнее время при низких температурах трубки пробоотборной петли должны обогреваться для предотвращения замерзания содержащегося в продукте влаги, парафинов, а также конденсации тяжелых углеводородов [10].

1.3 КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОБООТБОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Классифицировать устройства – это значит распределить их по отдельным классам, в зависимости от их общих объединяющих признаков. Результат такого процесса позволяет выявить особенности конструкций устройств, относящихся к определенному классу, выявить направление развития таких устройств, возможность создания на базе известной конструкции новой, более эффективной. Используя один признак распределяют устройства в несколько непересекающихся классов. При последовательном использовании нескольких признаков получают некоторое количество классов, причем отдельное устройство может входить одновременно в несколько классов.

Важно уметь выбрать признаки, по которым целесообразно проводить классификацию. Использование большого количества признаков приводит к возникновению многочисленных классов, которые не позволяют выявить общие особенности конструкции устройств. Содержание признаков и их количество выбирают эксперты, т.е. специалисты в определенной области науки и техники. Отбирают именно те признаки, которые существенно влияют на конструкцию и функцию пробоотборного устройства.

Для классификации необходимо выявить классифицирующие признаки, что невозможно без изучения методов и устройств пробоотбора, описанных в различных источниках информации. Методы и конструкции ПУ, как правило, рассматриваются авторами многочисленных научных работ применительно к частным случаям анализа состава и свойств определенных веществ.

В различное время решением проблем пробоотбора занимались А.А. Искандарян [2], Р.Б. Гун, О.Л. Барыш-Тищенко, Э.Б. Кутасова [3], В.П. Тхоржевский [4, 5, 6], Я. Ваня [7], В.Ф. Полякова, З.С. Чекмарева [8, 9], Л.А. Буяновский [10], Э.Н. Иовенко [11], Т.П. Хвальковский [12], А.Я. Малкин, А.А. Аскадский и В.В. Коврига [13], П. Профос [14], В.А. Прохоров [15, 16], З.С. Волошина, Л.П. Макаренко и П.В. Яцковский [17], М.В. Соколов и А.Л. Гуревич [18], З.Н. Несмелова [19], Г.И. Задора [20], Н.Н. Хазнев и А.М. Герустович [21], Д.М. Лепский и Н.Н. Степанова [22], Ф.М. Сиразетдинов [23], Б.К. Зуев [24], D.C. Cornish, G. Jepson, M.J. Smurthwaite [25] и др.

В работе А.А. Искандаряна [2] рассматриваются характерные конструкции отечественных и зарубежных разработок пробоотборных устройств.

Обзор конструкций пробоотборных систем, работающих в комплекте с промышленными анализаторами состава и физико-химических свойств продуктов, приведен в работе [3].

Отбор и подготовка газа к анализу, методика выбора места отбора пробы газа, жидкости или газожидкостной смеси изложен в монографиях В.П. Тхоржевского [4, 5, 6]. В монографии Я. Вани [7] подробно описаны конструкции ряда пробоотборных устройств газа.

Обзоры пробоотборных систем и устройств для газообразных и жидких сред [8, 9] содержат данные из отечественных и зарубежных источников, в которых отражены требования к устройствам, их конструктивные особенности, технические характеристики и рекомендации по их применению. В работе Л.А. Буяновского [10] описаны пробоотборные системы, работающие в составе анализаторов качества нефтепродуктов.

В монографии Э.Н. Иовенко [11] имеется информация о средствах отбора пробы, средства ее очистки от механических примесей и влаги, средствах транспортировки пробы к первичному измерительному преобразователю.

В справочном пособии [12] изложены технические требования к материалам, правила отбора проб и методы анализа, наиболее приемлемые для применения в условиях сахарных заводов.

В монографии А.Я. Малкина, А.А. Аскадского и В.В. Ковриги [13] рассматривается выбор геометрии и размеров образцов для механических испытаний пластмасс.

Конструкции непрерывно работающих промышленных анализаторов, в состав которых входят пробоотборные устройства, разработанные зарубежными фирмами, описаны в справочнике [14].

В монографиях В.А. Прохорова [15, 16] подробно описан принцип действия систем автоматического пробоотбора газов и легкоконденсируемой технологической среды со стабилизацией давления и температуры. Уделено внимание вопросам транспортирования пробы к автоматическому анализатору.

В монографии З.С. Волошина, Л.П. Макаренко и П.В. Яцковского [17] описан пробоотбор сока для определения скорости отстаивания, которая является прямым показателем качества ведения процессов физико-химической очистки на дефектосатурации в производстве сахара.

В монографии М.В. Соколова и А.Л. Гуревича [18] описаны пробоотборные устройства аналитических приборов, построенные с использованием кранов, насосов, шприцев, гибких элементов и др.

Информацию об оригинальных технических разработках пробоотборных устройств можно получить в описаниях изобретений, к авторским свидетельствам и патентам, посвященных пробоотборным устройствам. Патенты на изобретения являются источниками сигнальной информации, т. е. источниками сведений, не содержащихся ни в книгах, ни в научных статьях в год опубликования самого патента. В патентах содержатся сведения об оригинальных методах и конструкциях устройств, имеющих мировую новизну. Для нахождения описаний к авторским свидетельствам и патентам на изобретение необходимо знать нужный подкласс согласно Международной патентной классификации.

Способы и устройства пробоотбора относятся к разделу G "Физика". Класс G01 – измерение. Класс G01 N – исследование или анализ материалов путем определения их химических или физических свойств.

Содержание подкласса G01 N1/00 (получение и изготовление образцов для исследования).

Устройства для взятия проб (1/02):

- в твердом состоянии, например путем вырезания (1/04);
- в виде тонких слоев, например микротомы (1/06);
- с помощью резцов, извлекающих пробу, например колонковых долот (1/08);
- в жидком или текучем состоянии (1/10);

– черпаками; землесосами (1/12).

Всасывающие устройства, например, насосы; устройства электронного типа (1/14).

Устройства, обеспечивающие возможность разделения проб на части (1/16):

– для текучих или сыпучих материалов (1/20);

– в газообразном состоянии (1/22);

– всасывающие устройства (1/24).

Устройства, обеспечивающие возможность взятия пробы из нескольких объектов (1/26);

Подготовка образцов для исследования (1/28);

Окрашивание, импрегнирование (1/30);

Полировка, травление (1/32);

Чистка, осветление (1/34).

Целью пробоотбора является отбор из объекта представительной пробы для выявления реального состояния технологического объекта. В системе автоматизации ТП применяются устройства, имеющие своей целью сформировать производственную среду заданного состава. Такие устройства называются дозирующими устройствами. Дозатором называется устройство, предназначенное для автоматического отмеривания и выдачи заданного количества вещества в виде порций или постоянного расхода с заданной погрешностью.

Проблемам дозирования посвящены известные монографии Ю.Д. Видинеева [26, 27, 28], Е.Б. Карпина [29], Г.А. Рогинского [30], А.Л. Гуревича и М.В. Соколова [31, 18], А.Г. Абилова и К.А. Лютфалиева [32], А. В. Каталымова и В. А. Любартовича [33], С. П. Орлова [34, 35, 36], Н.Я. Гросмана и Г.Д. Шнырева [37], С.П. Маликова [38], В.С. Нагорного [39], изданные в период с 1964 по 1990 гг.

Основной задачей в технологических процессах является подача веществ в определенном стехиометрическом соотношении. Эта подача осуществляется дозаторами. Крупными сериями дозирующая аппаратура не выпускается. Обычно потребители сами разрабатывают и изготавливают дозаторы небольшими партиями. Причиной такого подхода является тот факт, что для каждого конкретного случая задача дозирования не является универсальной и требует в каждом конкретном случае проведения исследовательских и экспериментальных работ, зачастую в условиях цеха предприятия, то есть в натуральных условиях эксплуатации. В зависимости от условий эксплуатации в некоторых случаях приходится изменять не только параметры устройства, но и принцип действия.

Некоторые узлы и элементы пробоотборных устройств и дозаторов совпадают. В целом конструкции ПУ и дозаторов существенно различаются. Качество работы ПУ оценивается по представительности пробы, а дозатора – точности подачи дозы. Точка взятия вещества из объекта для ПУ рассчитана и определена, а дозатор может подключаться к емкости с дозируемым веществом в любой технической удобной точке. Задача, решаемая дозирующим устройством, состоит в подаче в технологический аппарат заданного количества вещества, а пробоотборного устройства – в отборе из технологического аппарата заданного количества вещества.

Анализ существующих пробоотборных устройств позволил выявить четыре основных признака, по которым целесообразно классифицировать эти устройства: физическое состояние отбираемого вещества; вид подачи контролируемого вещества на чувствительный элемент датчика; вид контролируемой величины; особенность места отбора пробы.

Физическое состояние отбираемого вещества определяет конструкцию устройства пробоотбора. Для газов и жидкостей необходимо предусмотреть герметичность пробоотборной емкости. При отборе газожидкостной среды следует обеспечить равенство температуры и давления среды в ПУ соответствующим параметрам этой среды в технологическом объекте с целью предотвращения изменения соотношения газовой и жидкостной фаз. При конструировании ПУ для гетерогенных сред (паста, порошок и др.) предусматривают соответствующий блок, создающий движущую силу, под действием которой вещество переходит в пробоотборную емкость.

По виду подачи контролируемого вещества на чувствительный элемент ПУ могут быть непрерывные, дискретные и непрерывно-дискретные.

Непрерывный пробоотбор предполагает непрерывное перемещение анализируемого вещества к чувствительному элементу или непрерывное воздействие анализируемого вещества на чувствительный элемент первичного измерительного преобразователя погружного или проточного типа.

При дискретном пробоотборе вещество отбирается из объекта порциями и подается на чувствительный элемент. Далее проба удаляется (возвращается в технологический аппарат или подается в сборную емкость).

При непрерывно-дискретном отборе проб осуществляют непрерывный отбор и дискретный выброс вещества после анализа.

Вид контролируемого параметра существенно влияет на необходимый размер объема пробы, вид подачи контролируемого вещества, необходимый алгоритм подготовки пробы.

При отборе пробы вещества существенное влияние на осуществляемый процесс оказывают высокая температура, высокое давление, наличие примеси. Такие величины существенно усложняют конструкции пробоотборных устройств.

Таким образом, из всего множества признаков, по которым можно классифицировать пробоотборные устройства контроля показателей качества веществ в технологических процессах, выбраны признаки, существенно влияющие на конструкцию и принцип действия пробоотборного устройства. Выбран-



ные признаки положены в основу классификации пробоотборных устройств.

Рис. 1.3 Классификация ПУ в системах контроля показателей качества продукции

При конструировании ПУ в составе автоматической системы контроля свойств вещества, по мнению авторов, целесообразно под пробоотбором понимать специально организованный процесс подачи анализируемого вещества на чувствительный элемент первичного измерительного преобразователя. Именно такой подход позволяет с единых методических позиций рассмотреть все многообразие конструкций ПУ.

1.4 ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОТБОРА ЖИДКИХ СРЕД И ГАЗА

Анализ множества устройств для пробоотбора жидких и газообразных веществ, работающих в непрерывном, дискретном и непрерывно-дискретном режимах, позволил выделить некоторое обобщенное устройство, структурная схема которого представлена на рис. 1.4. Такое обобщение дает возможность решить вопрос математического описания процессов в различных устройствах с единых позиций анализировать конструктивные особенности этих устройств, а также измерять физические свойства жидкостей и газов.

Газ и жидкость как объекты аналитического контроля предполагают использование некоторого емкостного элемента с дросселирующими устройствами $D_1 - D_4$, имеющими проводимости $\alpha_1 - \alpha_4$, соот-

ветственно. Давление P на входах соответствующих дросселей и расходы G веществ через эти дроссели могут быть как постоянными, так и переменными.

Процессы, происходящие в пневматической камере с жесткими стенками, когда ее объем V_k , площади сечений сопротивлений f_1, f_3 и давление воздуха на выходе из нее P_3 изменяются во времени, целесообразно рассматривать при соблюдении следующих условий и упрощений [40]:

- в переходном состоянии расход газа через пневмосопротивление в каждый фиксированный момент времени является таким же, каким он был при данном перепаде давления в установившемся режиме;
- течение газа через пневмосопротивление и пневматическую емкость изотермическое.

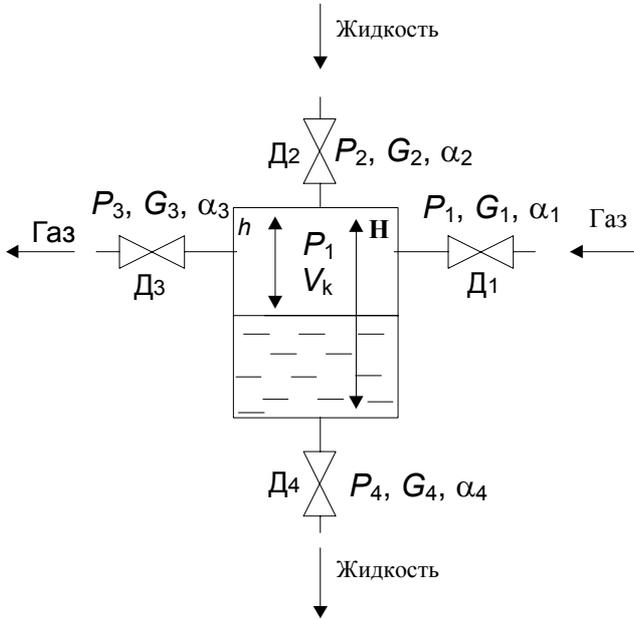


Рис. 1.4 Структурная схема обобщенного ПУ

Первое упрощение основывается на том, что обычно объем пневмоемкости во много раз превосходит объем пневмосопротивлений, а второе – на том, что разность во времени заполнения пневмоемкости в политропическом режиме, реально имеющем место в данном случае, и принятом изотермическом процессе при малых перепадах давлений очень мала.

Уравнение, описывающее динамику пневматической камеры с жесткими стенками, в общем случае имеет вид [40, 41]:

$$\tau(dP_k - P_{k0}) / dt + (P_k - P_{k0}) = \tau_v d(V_k - V_{k0}) / dt + K_1(P_1 - P_{10}) + K_2(P_3 - P_{30}) + K_3(f_1 - f_{10}) + K_4(f_3 - f_{30}), \quad (1.1)$$

где $\tau = -V_{k0} / RT(\partial\varphi/\partial P_k)$, $\tau_v = P_{k0} / RT(\partial\varphi/\partial P_k)$, $K_1 = -\partial\varphi/\partial P_1/\partial\varphi/\partial P_k$,

$$K_2 = -\partial\varphi/\partial P_3/\partial\varphi/\partial P_k, \quad K_3 = -\partial\varphi/\partial f_1/\partial\varphi/\partial P_k, \quad K_4 = -\partial\varphi/\partial f_3/\partial\varphi/\partial P_k,$$

где P_k – давление в емкости; V_{k0} – начальное значение объема камеры; t_0 – начальное время; P_{10}, P_{k0}, P_{30} – постоянные начальные значения давления на входе, в емкости и на выходе, соответственно; f_{10}, f_{30} – постоянные площади проходных сечений дросселей в начальный момент времени; $\varphi = G_1 - G_3$; R – газовая постоянная; T – температура.

Уравнение (1.1) может быть использовано для описания динамики пневмокамер с учетом их конструктивных особенностей и характера течения газа через пневмосопротивление.

В полученном уравнении для описания динамики пневматических камер используем пневмосопротивления с проводимостями α_1 и α_3 , для которых

$$\varphi = \Delta G = G_1 - G_3 = \alpha_1(P_1 - P_k) - \alpha_3(P_k - P_3). \quad (1.2)$$

Примем в рассматриваемом случае $V_k = \text{const}$, тогда (1.1) запишем в виде

$$\frac{\tau d(P_k - P_{k0})}{dt} + (P_k - P_{k0}) = K_1(P_1 - P_{10}) + K_2(P_3 - P_{30}). \quad (1.3)$$

Определим величины τ , K_1 и K_2 с учетом (1.2)

$$\tau = \frac{V}{RT(\alpha_1 + \alpha_3)}, \quad K_1 = \frac{\alpha_1}{(\alpha_1 + \alpha_3)}, \quad K_2 = \frac{\alpha_3}{(\alpha_1 + \alpha_3)}.$$

Подставляя полученные значения в (1.3), получим

$$\frac{V}{RT(\alpha_1 + \alpha_3)} \frac{d(P_k - P_{k0})}{dt} + (P_k - P_{k0}) = \frac{P_1 \alpha_1}{(\alpha_1 + \alpha_3)} + \frac{P_3 \alpha_3}{(\alpha_1 + \alpha_3)} - \frac{(\alpha_1 P_{10} + \alpha_3 P_{30})}{(\alpha_1 + \alpha_3)}. \quad (1.4)$$

Учитывая, что $\frac{(\alpha_1 P_{10} + \alpha_3 P_{30})}{(\alpha_1 + \alpha_3)} = P_{k0}$, а также принимая во внимание, что $\frac{d(P_k - P_{k0})}{dt} = \frac{dP_k}{dt}$, получим

$$\frac{V_k}{RT(\alpha_1 + \alpha_3)} \frac{dP_k}{dt} + P_k = \frac{P_1 \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_3} + \frac{P_3 \alpha_3}{(\alpha_1 + \alpha_3)}.$$

Откуда

$$\frac{V_k}{RT} \frac{dP_k}{dt} + P_k (\alpha_1 + \alpha_3) = \alpha_1 P_1 + \alpha_3 P_3. \quad (1.5)$$

При условии что $V_k = Sh = \text{var}$, где S – площадь сечения емкости; h – высота газового пространства камеры, из (1.1) с учетом (1.2), (1.3) и (1.4) получим

$$\frac{S}{RT} \left(\frac{hdP_k}{dt} + \frac{P_k dh}{dt} \right) = \alpha_1 P_1 + \alpha_3 P_3 - (\alpha_1 + \alpha_3) P_k. \quad (1.6)$$

Через емкость кроме газа проходит жидкость по дросселям D_2 и D_4 . Увеличение массового количества газа в емкости сопровождается уменьшением количества жидкости. Пусть дроссели D_2 и D_4 имеют постоянные во времени проводимости α_2 и α_4 .

Массовый расход жидкости на отрезке времени от t до $t + dt$ считаем постоянным и равным массовому расходу в момент времени t . Так как массовое количество жидкости $\theta_{ж} = \rho_{ж} V_{ж}$, где $V_{ж}$ – объем жидкости в емкости, $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, то $d\theta_{ж} = -\rho_{ж} S dh$.

В то же время изменение количества жидкости $d\theta_{ж}$ при течении ее через дроссели D_2 и D_4 с учетом гидростатического давления

$$P_{г} = \rho_{ж} g (l - h),$$

где l – длина емкости, для пробоотборных устройств выносного типа, определяется равенством

$$d\theta_{ж} = [(\alpha_2 P_2 + \alpha_4 P_4 - \alpha_4 \rho_{ж} g l) + \alpha_4 \rho_{ж} g h - (\alpha_2 + \alpha_4) P_k] dt.$$

Влияние вязкости жидкости на перемещение ее по емкости незначительно.

Таким образом,

$$-\rho_{ж} S dh = [(\alpha_2 P_2 + \alpha_4 P_4 - \alpha_4 \rho_{ж} g l) + \alpha_4 \rho_{ж} g h - (\alpha_2 + \alpha_4) P_k] dt. \quad (1.7)$$

Уравнения (1.6) и (1.7) образуют систему дифференциальных уравнений относительно h и P_k :

$$\begin{cases} -\rho_{ж} S dh/dt = [(\alpha_2 P_2 + \alpha_4 P_4 - \alpha_4 \rho_{ж} g l) + \alpha_4 \rho_{ж} g h - (\alpha_2 + \alpha_4) P_k], \\ (S/RT)(hdP_k/dt + P_k dh/dt) = \alpha_1 P_1 + \alpha_3 P_3 - (\alpha_1 + \alpha_3) P_k. \end{cases} \quad (1.8)$$

На основе фундаментальных законов сохранения массы, количества движения, энергии, а также уравнения газового состояния, после соответствующего преобразования и упрощения математическое описание пробоотборного устройства получено в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

Введем обозначения

$$A = -\alpha_4 g/S, B_1 = (\alpha_2 + \alpha_4)/\rho_{ж} S, \quad (1.9)$$

$$C_1(t) = (-\alpha_2 P_2 - \alpha_4 P_4 + \alpha_4 \rho_{ж} g h)/\rho_{ж} S, B_2 = -(\alpha_1 + \alpha_3)RT/S,$$

$C_2(t) = (\alpha_1 P_1 + \alpha_3 P_3)RT/S$, здесь $C_i = C_i(t)$, $i = 1, 2$, так как $P_i = P_i(t)$, $i = 1, 2, 3, 4$; A, B_1, B_2 – постоянные.

Запишем систему дифференциальных уравнений (1.8) с учетом принятых обозначений из (1.9) в форме

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = Ah + B_1 P_k + C_1(t), \\ h \frac{dP_k}{dt} + P_k \frac{dh}{dt} = B_2 P_k + C_2(t). \end{cases} \quad (1.10)$$

Таким образом, процесс, происходящий в обобщенном ПУ, описывается системой дифференциальных уравнений первого порядка.

Значения коэффициентов системы (1.10) для устройств погружного и выносного типов в зависимости от входных параметров приведены в табл. 1.1.

Сведем систему дифференциальных уравнений (1.10) к уравнению относительно P_k . Для этого воспользуемся известным фактом, что решением дифференциального уравнения

$$dx/dt = a(t)x + g(t)$$

является функция

$$x(t) = \left[x_0 + \int_{t_0}^t g(s) \exp\left(-\int_{t_0}^s a(\tau) d\tau\right) ds \right] \exp\left(\int_{t_0}^t a(\tau) d\tau\right), \quad (1.11)$$

где $x_0 = x(t_0)$. Из первого уравнения системы (1.10), считая, что

$$h_0 = h(t_0), a(t) = A, g(t) = B_1 P_k(t) + C_1(t),$$

получим

$$h(t) = h \exp[A(t-t_0)] + \int_{t_0}^t [B_1 P_k(s) + c_1(s)] \exp[-A(s-t)] ds. \quad (1.12)$$

Умножим первое уравнение системы (1.10) на P_k и вычтем из второго, тогда

$$hdP_k/dt + AhP_k = C_2(t) + [B_2 - C_1(t)] P_k - B_1 P_k^2.$$

Отсюда и из (1.12) следует уравнение относительно P_k

$$\begin{aligned} (dP_k/dt + AP_k) \left[h_0 \exp[A(t-t_0)] + \int_{t_0}^t [B_1 P_k(s) + C_1(s)] \exp[-A(s-t)] ds \right] = \\ = C_2(t) + [B_2 - C_1(t)] P_k - B_1 P_k^2. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Рассмотрим вопрос о сведении (1.10) к уравнению относительно h . Из первого уравнения системы выразим

$$P_k = 1/B_1 [dh/dt - Ah - C_1(t)], dP_k/dt = 1/B_1 [d^2h/dt^2 - Adh/dt - dC_1(t)/dt]. \quad (1.14)$$

Второе уравнение системы (1.10) запишем в виде

$$hdP_k/dt + P_k dh/dt = B_2 P_k + C_2(t). \quad (1.15)$$

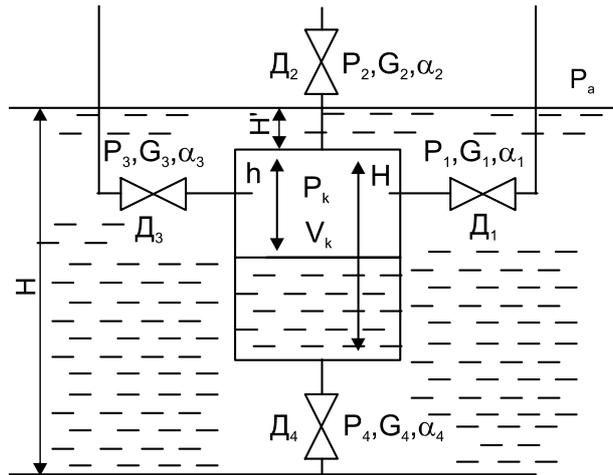


Рис. 1.5 Структурная схема обобщенного ПУ погружного типа

Подставляя (1.14) в (1.15) после преобразований получим

$$(hh)' - A(h^2)' - (C_1(t)h)' - B_2 h' + AB_2 h + B_2 C_1(t) - B_1 C_2(t) = 0. \quad (1.16)$$

Система дифференциальных уравнений (1.10), а следовательно уравнения (1.13) и (1.16) относительно $P_k(t)$ в емкости и высоты $h(t)$ газового пространства в ней, в общем виде не интегрируется в квадратурах. Для пробоотбора наибольший интерес представляют случаи, когда одно из значений α_1, α_3 или α_4 стремятся к бесконечности. Тогда в системе (1.10) функция $P_k(t)$ известна, то есть $P_k = P_1$ при $\alpha_1 = \infty$, $P_k = P_3$ при $\alpha_3 = \infty$, $P_k = P_4 - Pr$ при $\alpha_4 = \infty$. При этом в системе (1.10) остается одно уравнение. Если $\alpha_1 = \infty$ или $\alpha_3 = \infty$, то оно имеет вид $dh/dt = Ah + B_1 P_k + C_1(t)$, решение которого имеет вид (1.12).

При $\alpha_4 = \infty$ имеем уравнение (1.15), решением которого является

$$h(t) = 1/P_k(t) \left[h_0 P_0 + \int_{t_0}^t [B_2 P_k(s) + C_2(s)] ds \right].$$

Полученные результаты математического описания аэрогидродинамических процессов в газовой и жидкой фазах позволяют оценить влияние конструктивных параметров и свойств среды на динамику этих процессов, а также могут быть использованы при проектировании пробоотборных устройств.

1.1 Значения коэффициентов системы (1.10) в зависимости от входных параметров для устройств выносного и погружного типов

Тип	Входные параметры			
	$P_1(t),$ $P_2(t)$	$G_1(t),$ $P_2(t)$	$G_1(t),$ $G_2(t)$	$P_1(t),$ $G_2(t)$
А выносной	$\alpha_4 a / S$			
А погружной	$-\alpha_4 a / S$			
B_1	$(\alpha_2 + \alpha_4) / \rho_{ж} S$		$\alpha_4 / \rho_{ж} S$	
C_1 выносной	$(\alpha_4 \rho_{ж} a_1 - \alpha_2 P_2 + \alpha_4 P_4) / \rho_{ж} S$		$(\alpha_4 \rho_{ж} g l - G_2 + \alpha_4 P_4) / \rho_{ж} S$	
C_1 погружной	$-\alpha_2 P_2 + \alpha_4 P a - \alpha_4 \rho_{ж} a (H - H') / \rho_{ж} S$		$-G_2 + \alpha_4 P a - \alpha_4 \rho_{ж} g (H - H') / \rho_{ж} S$	
B_2	$-(\alpha_1 + \alpha_3) RT / S$	$-\alpha_3 RT / S$	$-(\alpha_1 + \alpha_3) RT / S$	
C_2	$(\alpha_1 P_1 + \alpha_3 P_3) RT / S$	$(G_1 + \alpha_3 P_3) RT / S$	$(\alpha_1 P_1 + \alpha_3 P_3) RT / S$	

Контрольные вопросы

- 1 Дайте определения терминам "проба", "пробоотбор", "пробник".
- 2 В каких случаях отбирается объединенная проба?
- 3 Какова процедура вычисления периода отбора проб?
- 4 Какова процедура определения мест отбора точечных проб?
- 5 Какова процедура взятия пробы из объекта представляющего собой студенческую группу?
- 6 Перечислите возможные состояния продукции. Приведите примеры.
- 7 В чем состоят различия штучной и нештучной продукции?
- 8 Какова цель отбора пробы вещества?
- 9 В чем отличия пробоотборных устройств от дозирующих устройств?
- 10 Какова процедура определения подкласса изобретения по Международной патентной классификации?
- 11 Как выбираются признаки, согласно которым целесообразно проводить классификацию объектов?
- 12 С какой целью проводится классификация устройств?
- 13 Из каких соображений выбирается число признаков, согласно которым проводят классификацию объектов?
- 14 В чем состоят отличия принципов конструирования пробоотборных и дозирующих устройств?
- 15 Почему при составлении математического описания используются некоторые допущения?
- 16 Каково назначение пробоподготовки? Приведите примеры.
- 17 Какие основные операции пробоподготовки используются в промышленности?
- 18 Какие функции выполняют ПУ в структуре АСР?
- 19 Почему при классификации ПУ необходимо учитывать агрегатное состояние вещества, вид подачи вещества на ЧЭ, вид контролируемой величины, особенности места отбора пробы?

20 Как доказываемость правомерность допущений, используемых при составлении математического описания обобщенной структуры ПУ? Для чего вводятся эти допущения?

21 При выводе каких уравнений математического описания обобщенного ПУ использованы законы сохранения массы и энергии, а также уравнение газового состояния?

22 Какова цель составления математического описания обобщенного ПУ?

23 Каково значение термина "пробоотбор"?

24 Почему не разрешается применять в технических текстах термины – синонимы стандартизированного термина?

25 В каких случаях в составе АСР используют пробоотборное устройство?

26 В чем состоят отличия пробоотбора, применяемого в системе управления ТП, от пробоотбора, используемого для составления материального баланса?

2 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПРОБООТБОРА

Эффективность пробоотбора определяется представительностью пробы, точностью пробоотбора и надежностью работы ПУ.

Представительная проба – это проба, которая в достаточной степени отражает свойства данной совокупности в целом. Другими словами, для представительной пробы заданная характеристика вещества в пробе такая же как средняя характеристика вещества в технологическом аппарате. Рассмотрим пример. Из технологического аппарата объемом 10 м^3 отбираем пробу жидкости объемом $50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

Определяем вязкость жидкости в технологическом аппарате. Представительной пробой будет именно такая проба, величина вязкости жидкости в которой равна средней вязкости жидкости во всем аппарате.

Для ряда методов аналитического контроля, например, капиллярного метода измерения вязкости жидкости, метода титрования при измерении кислотного числа необходимо знать точный объем пробы вещества. В этом случае под эффективностью пробоотбора следует понимать точность отбора заданного объема пробы.

Под надежностью работы пробоотборного устройства понимается стабильное получение представительных проб с заданной точностью в течение гарантированного срока службы.

2.1 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОБООТБОРА

Метрологические характеристики пробоотбора рассмотрим на примере непрерывного пробоотбора. Выражение для объемного расхода Q жидкости получим из уравнения Бернулли [18]

$$Q = \alpha_p F \sqrt{2gH} = F \left(\frac{2\Delta P}{\rho(\alpha_k + \sum_{i=1}^n \xi_{TPi} + \sum_{j=1}^m \xi_{mj})} \right)^{\frac{1}{2}},$$

где α_p – коэффициент расхода; F – площадь поперечного сечения потока, м^2 ; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; H – гидростатический напор, м ; ΔP – перепад давления, Па ; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

α_k – кориолисово ускорение; ξ_{TPi} , ξ_{mj} – приведенные коэффициенты трения и местного сопротивления.

Известна зависимость между приведенными коэффициентами трения ξ_{TPi} и местного сопротивления ξ_{mj} и коэффициентами трения и местного сопротивления:

$$\xi_{TPi} = \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \left(\frac{d}{d_i} \right)^4, \quad \xi_{mj} = \xi_j \left(\frac{d}{d_j} \right)^4,$$

где λ_i , l_i , d_i – коэффициент трения, длина и диаметр i -го участка трубопровода; ξ_j , d_j – коэффициент местного сопротивления и диаметр j -го местного сопротивления; d – диаметр основного трубопровода.

Постоянство объемного расхода обеспечивается неизменностью во времени параметров среды (ρ , ΔP , H , g) и параметров устройства (F , α_p , $\xi_{тр}$, α_k , ξ_m).

Основная часть отклонения расхода $Q(t)$ может быть определена как полный дифференциал

$$DQ = (\partial Q/\partial S_0)dS_0 + (\partial Q/\partial v_0)dv_0 + (\partial Q/\partial \rho)d\rho + (\partial Q/\partial C)dC,$$

где S_0 – поперечное сечение потока; v_0 – скорость потока; ρ – плотность; C – концентрация i – го компонента в потоке. В свою очередь дифференциалы dS_0 , dv_0 , $d\rho$, dC могут быть определены из уравнений

$$S_0 = f_1(d, T, P, \dots),$$

$$v_0 = f_2(\Delta P, T, \xi, l, d, \dots),$$

$$\rho = f_3(\rho, T, \beta, \dots),$$

$$C = f_4(C_i, G, \dots),$$

где d , l , ξ – диаметр, длина и приведенные сопротивления трубопровода, соответственно; P , ΔP – давление и перепад давления в системе; T – температура среды; β – коэффициент сжимаемости среды; C_i – содержание i – го компонента в смеси; G – массовый расход.

Отклонения расхода во времени от установившегося значения можно разделить на детерминированные и случайные. Детерминированная составляющая может быть связана с неточностями изготовления конструктивных элементов системы пробоотбора, неточностью задания расхода. При контроле или проверке системы пробоотбора она может быть скорректирована.

Отклонения расхода, связанные с отклонением температуры окружающей среды, также заранее известны и могут быть устранены введением в систему специальных компенсаторов.

Случайные отклонения параметров зависят от многих причин и не могут быть описаны детерминированными уравнениями. Эти отклонения могут быть охарактеризованы статистическими параметрами: моментами, функциями распределения, корреляционными функциями или спектральными плотностями.

Если свойства среды характеризуются распределением $F(P_i)$, то при известной зависимости $Q(t) = \psi[P_i(t)]$ получим обратную функцию $P_i(t) = \psi^{-1}[Q(t)]$, откуда распределение расхода $f_i(Q) = F\{\psi^{-1}[Q(t)]\}$ и плотности вероятности от влияния $P_i(t)$

$$f_i(Q) = f\{\psi^{-1}[Q(t)]\} |d\{\psi^{-1}[Q(t)]\} / dQ.$$

В результате можно установить частные законы распределения и плотности вероятности расхода от действия отдельных случайных факторов.

Считая действующие факторы независимыми можно получить полную плотность вероятности

$$f(Q) = 1/n \sum_{i=1}^n f_i(Q),$$

где n – число учитываемых факторов.

На основании закона распределения могут быть получены моменты, которые определяются как математические ожидания

$$\mu_M = \int_{-\infty}^{\infty} Q^M f(Q) dQ.$$

Переходя к отклонениям расхода можно получить центральные моменты

$$M_M = \int_{-\infty}^{\infty} \Delta Q^M f(\Delta Q) d\Delta Q.$$

В результате совместного влияния детерминированной и случайной составляющих возникают отклонения расхода

$$\Delta Q(t) = \Delta Q_d(t_n, t) + \Delta Q_c(t) + \Delta Q_n,$$

где $\Delta Q_d(t_n, t)$ – детерминированная периодическая функция времени; $\Delta Q_c(t) = \sum_{i=1}^n a_i e^{-j\omega t}$ – случайная функция времени; ΔQ_n – постоянная составляющая отклонений расхода.

Влияние всех составляющих на расход жидкости может быть весьма существенным.

2.2 ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ПРОБЫ

Одной из главных задач пробоотбора является получение представительной пробы вещества. Представительность пробы можно понимать как степень приближения состава и свойств вещества в ото-

бранной пробе к составу и свойствам идеальной пробы, т.е. такой пробы по составу и свойствам которой можно с вероятностью равной единице судить о составе и свойствах всего производимого, хранящегося или транспортируемого вещества. При таком подходе представительность пробы может быть оценена по теории вероятности.

На стадии отбора пробы на анализ важен выбор места установки ПУ, обеспечение постоянства его пропускной способности и соответствия состава отбираемой пробы тому продукту, который составляет основную массу контролируемой технологической среды. Погрешности результатов анализов уменьшаются при: более точном определении места и условия отбора пробы на анализ; стабильно функционирующих узлах подготовки контролируемой среды к анализу; минимальном отличии вещества пробы по составу и физико-химическим свойствам от того вещества или смеси веществ, для анализа которых разработан анализатор.

В автоматизированной системе аналитического контроля должно быть обеспечено заданное соотношение между составом продуктов, находящихся в технологическом аппарате и отбираемых из него на анализ (состав пробы), и теми продуктами, которые входят в автоматический анализатор. Это означает, что при работе системы должно оставаться постоянным соотношение [15] $C_k = K_a C_a$, где C_k , C_a – концентрации определяемого компонента А соответственно в технологическом аппарате и в пробе; K_a – коэффициент пропорциональности.

Коэффициент пропорциональности K_a определяется конструктивными параметрами устройства пробоподготовки.

Повышение представительности пробы часто достигается путем необходимого количества циклов прокачки жидкости через измерительный преобразователь. Осуществляют забор исследуемой жидкости из контролируемого объема под действием разряжения с последующей многократной прокачкой жидкости через емкость – пробоприемник и с возвратом ее в контролируемый объем по заборному трубопроводу при создании в пробоприемнике чередующихся импульсов разряжения и избыточного давления.

В результате в емкости ПУ формируется проба, представительность которой находится в прямой зависимости от числа циклов прокачки, отводимых на анализ при сообщении пробоприемника с атмосферой [43].

Практика конструирования и эксплуатации пробоотборных устройств [14] позволила выявить рациональные способы отбора проб в зависимости от физического состояния отбираемого вещества (табл. 2.1).

2.1 Рекомендуемые способы отбора проб

Состояние пробы	Рекомендуемый способ отбора проб	Дополнительная информация
Газ низкого давления	Периодически с помощью поршневого насоса с принудительным управлением клапанами	Важно длительное поддержание герметичности, исключение диспропорций (непредставительности)
Газ высокого давления	Непрерывно с помощью трубки; при необходимости добиваться однородности с помощью вспомогатель-	Иногда неизбежно изменение состава смеси газов, так как растворимость сжатых газов может быть неожиданно высокой и специфичной

ного газа

Продолжение табл. 2.1

Состояние пробы	Рекомендуемый способ отбора проб	Дополнительная информация
Газ высокого давления с высокой температурой	Непрерывный отбор с помощью трубки	Непредставительность пробы следует преодолеть с помощью вспомогательного газа
Газ содержащий жидкость	Необходима система разделения фаз: охлаждение, разделение, фильтрация, осушка; разделение в температурных градиентах и/или в электрических полях	Если интересует состав жидкости, то следует отбирать пробу с обогащением
Газ содержащий твердое вещество	Если анализируют твердое вещество, то необходим изокINETический отбор пробы; если газовую фазу – охлаждение, фильтрация, осушка	Определяющим является место отбора пробы; метод разделения зависит от распределения размеров частиц
Жидкость или многофазная проба	Периодический (предпочтительно автоматический) отбор пробы. Разделение фаз выдержкой во времени и отстаиванием пробы. Фильтрация и ударная обратная продувка фильтра. Сифонообразная	Необходим постоянный самоконтроль системы при помощи обегашего контроля. Желателен контроль правильности отобранной пробы

	заборная система с широкими трубами без сужения	
--	---	--

Продолжение табл. 2.1

Состояние пробы	Рекомендуемый способ отбора проб	Дополнительная информация
Пробы для определения микроконцентраций	Предпочтительен периодический отбор пробы с обогащением, так как лишь таким образом можно повысить концентрации измеряемых веществ выше порога чувствительности прибора	Решающее значение имеет вид измеряемого вещества. Необходимы большие затраты на стабилизацию расхода и всех величин, влияющих на концентрацию, таких как температура, давление и др.
Пробы твердых веществ	Автоматизация отбора проб возможна только в исключительных случаях; предпочтителен ручной отбор	Почти всегда проба неоднородна

Применение рекомендуемых способов отбора проб позволяет получить представительную пробу. При конструировании пробоотборных устройств, отбирающих представительные пробы, следует использовать принципы самонастройки устройств и методы обнаружения систематических ошибок отбора проб [14].

При конструировании ПУ для анализатора концентрации продукта необходимо учитывать динамические характеристики пробоотборной линии. В ламинарном потоке продукта в пробоотборном устройстве можно пренебречь продольной диффузией по сравнению с конвекцией как для газов, так и для жидкостей. В этом случае передаточную функцию линии отбора можно описать одним параметром – временем чистого запаздывания. При скачкообразном изменении концентрации на входе в ПУ временное изменение концентрации на выходе зависит только от радиуса трубки [14].

Для получения представительной пробы в некоторых случаях целесообразно использовать принцип обогащения пробы. Рассмотрим реализацию этого принципа с помощью градиентной трубки.

Газообразная проба проступает в градиентную трубку M в точке P (рис. 2.1).

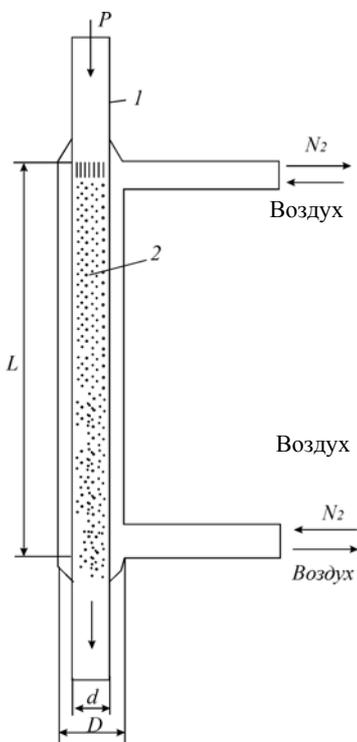


Рис. 2.1 Реализация принципа обогащения пробы с помощью градиентной трубки:
1 – трубка; 2 – сорбент

клапан 3 подает его в

2.3 ТОЧНОСТЬ

Обеспечение точности для решения которой общепринятая точности пробоотбора отсут-

Общая погрешность контроля включает в себя погрешности метода измерения, преобразования и пробоотбора.

При транспортировании и подготовке к анализу отобранной пробы продукт может претерпевать такие физико-химические изменения, как пофазное деление на составные части в результате изменения температуры и других физико-химических параметров. Состав пробы может также изменяться вследствие сорбции или хемосорбции на внутренних поверхностях транспортных коммуникаций, продолжающихся химических превращений и других процессов. Погрешность результатов анализа, обусловленная протеканием таких процессов, может оказаться значительной и многократно превосходить погрешность анализа, нормированную для самого анализатора.

Указанные источники погрешности анализа могут быть отнесены к источникам систематической погрешности только в том случае, если все изменения технологической среды при ее транспортировании к анализатору контролируются.

Согласно ГОСТ 8.009–84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» систематическая погрешность представляет собой определенную функцию влияющих факторов, состав которых зависит от физических, конструктивных и технологических особенностей средств измерений, условий их применения.

Кроме неизбежных случайных ошибок, при отборе проб возможны систематические ошибки, приводящие к невозможности получения представительной пробы вещества. Причиной таких ошибок является непостоянство во времени и пространстве состава контролируемой среды, нерациональный выбор способа, места и времени отбора пробы.

Например, при аналитическом контроле продуктов катализа в газовой фазе в некоторые момен-

Материал для стен трубки 1 и вид сорбента 2 выбираются в зависимости от исследуемого вещества. Например, тефлон, активированный уголь или смоченные сорбентом стеклянные шарики. При обогащении пробы в рубашку трубки подают охлажденный газообразный азот. Для подачи к анализатору обогащенной пробы в рубашку подают горячий воздух.

Работу градиентной трубки возможно легко автоматизировать (рис. 2.2).

Проба 1 через трехходовой клапан 2 поступает в градиентную трубку 3. Движущую силу создает насос 4 с регулируемой производительностью.

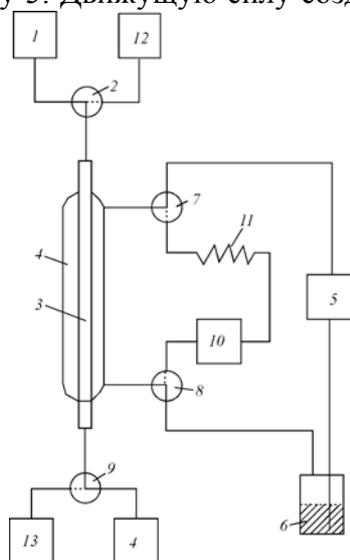


Рис. 2.2 Схема автоматизации работы градиентной трубки:

1 – проба; 2 – трехходовой клапан; 3 – градиентная трубка; 4 – рубашка; 5 – устройство подачи газа; 6 – охладитель; 7, 8, 9 – трехходовые клапаны; 10 – подача воздуха; 11 – нагреватель; 12 – источник

Холодный газ подается устройством 5 через охладитель 6 в рубашку трубки 3 таким образом, что температура сорбционной камеры изменяется по линейному закону. Поэтому контролируемое вещество надежно сорбируется.

После окончания процесса сорбирования трехходовые клапаны 2, 7, 8, 9, управляемые по программе, переключаются. Устройство 10 подает воздух через нагреватель 11 в рубашку 4 трубки 3. Газ – носитель из источника 12 вымывает из трубки 3 контролируемое вещество и через анализатор 13 [14].

ПРОБООТБОРА

пробоотбора является актуальной задачей, применяют различные методы. классификация методов повышения ствует.

ты времени возникают существенные изменения концентрации вследствие экзотермических реакций. Для контроля усредненных во времени характеристик процесса с целью управления процессом по параметрам аналитического контроля, способ отбора проб будет существенно отличаться от отбора проб при изучении указанных изменений параметра. Характеристики мгновенных изменений параметра представляют интерес в тех случаях, когда необходимо оптимизировать состав продукта реакции.

При выборе способа аналитического контроля некоторого параметра следует учитывать как изменения расположения областей неомогенности в газопроводах большого сечения, так и неомогенности в дистилляционных колоннах с недостаточно точно установленными тарелками, а также в емкостях, содержимое которых не может быть полностью откачено.

Изменения состояния и концентрации при переходе пробы из объекта в устройства пробоотбора или пробоподготовки могут привести к существенным систематическим ошибкам. Химически нестабильные вещества или вещества, которые в результате пробоподготовки становятся химически активными, являются источниками таких изменений.

Многообразие источников ошибок требует разработки различных методов повышения точности пробоотбора. Одним из таких методов обнаружения ошибки является балансный тест, позволяющий выявить ошибку при отборе пробы вследствие нарушения пропорций продукта на месте отбора пробы. Это характерно при анализе микропримесей [42].

При дистилляции поток А на входе аппарата разделяется на жидкую Ж и газообразную Г части. Рассматривается случай, когда вещество химически стабильно, т.е. не происходит изменения состава пробы в результате химической реакции. При правильном отборе пробы должно выполняться равенство

$$G_A C_A = G_G C_G + G_J C_J,$$

где G_A – расход вещества на входе аппарата; C_A – концентрация анализируемого компонента на входе; G_G, G_J – расходы вещества на выходах Г и Ж; C_G, C_J – концентрации анализируемого компонента на выходах Г и Ж.

Повышение точности пробоотбора

Методы повышения точности пробоотбора можно построить по аналогии с методами повышения точности измерительных средств.

Общие правила при решении задачи по повышению точности измерений состоят в следующем. Повышение точности пробоотбора целесообразно проводить только после того, как выявлены и оценены отдельные составляющие погрешности пробоотбора и определено какие составляющие погрешности доминируют. В первую очередь целесообразно ликвидировать именно эти доминирующие погрешности. Тогда суммарная погрешность, определенная по формуле квадратичного суммирования, значительно уменьшается.

Задача повышения точности пробоотбора неразрывно связана с задачей повышения точности пробоотборных устройств.

Известны четыре метода повышения точности средств измерений: многократных наблюдений, многоканальных измерений, структурной и параметрической стабилизации [43 – 48].

Выбор метода повышения точности производят по различным признакам, среди которых можно выделить такие как сложность реализации, требуемая точность, заданная надежность, возможность дистанционного управления и другие.

Приведем пример анализа методов повышения точности при условии, что большая часть зависимости абсолютной погрешности измерения от величин отклонения влияющих величин от своего номинального значения выражается в виде простых арифметических выражений и величины этих факторов легко измерить. В примере рассматривается измерение параметров газоделиний в условиях потенциально опасного производства. В этом случае целесообразно выбрать метод повышения точности, который может быть легко реализован на элементах пневмо- и гидравматики.

На основании указанного признака проведен анализ известных методов повышения точности. Результаты анализа представлены в табл. 2.2.

Сравнение известных методов повышения точности средств измерений по выбранному критерию однозначно позволило выделить среди них структурные методы.

2.2 Структурные методы повышения точности средств измерений

Структурные методы		
Содержание	Достоинства	Недостатки
Вводят в средство измерения дополнительные блоки, которые измеряют дополнительную информацию. Повышают точность за счет этой информации	Уменьшают систематические составляющие погрешностей. Простая реализация на элементах пневмоавтоматики	Конструкция блоков зависит от конкретных возмущающих факторов. Поэтому блоки можно применить только для конкретного измерения

Структурные методы повышения точности средств измерений подразделяют на методы, обеспечивающие стабилизацию статической характеристики средства измерений, и методы, основанные на коррекции этой характеристики.

Структурные методы стабилизации статической характеристики средства измерений включают в себя методы: отрицательной обратной связи, инвариантности, модуляции и прямого хода. Реализация первых трех методов требует наличия специальных преобразователей, создание которых является сложной технической задачей. Метод прямого хода исключает погрешность от вариации, что не является характерным для разрабатываемого устройства.

Структурные методы коррекции статической характеристики включают в себя следующие четыре метода: обратного преобразования; образцовых сигналов (образцовых мер); тестовый и вспомогательных измерений. Первые три метода для своей реализации требуют применения сложных устройств (прямого и обратного преобразователей, образцовых мер и т.п.). Метод вспомогательных измерений целесообразно применять в том случае, когда можно легко измерить возмущающие факторы и легко вычислить в реальном времени величины влияния этих факторов на результат измерения.

Метод вспомогательных измерений заключается в автоматизации процесса учета дополнительной погрешности средства измерений по известным функциям влияния ряда величин. Для этого осуществляется измерение этих величин с помощью вычислительного устройства, построенного с учетом названных функций влияния, автоматически корректируется выходной сигнал средства измерений.

На основании вышеизложенного в нашем случае целесообразно использовать метод вспомогательных измерений.

Таким образом, на основании критерия, учитывающего особенности условий эксплуатации и простоту реализации, выбран структурный метод повышения точности средств измерений.

2.4 ОСОБЕННОСТИ ПРОБООТБОРА НЕОДНОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

В промышленности широко используются неоднородные жидкости. Представителями такого класса жидкостей являются нефти и нефтепродукты. Неоднородности обычно обусловлены градиентом температуры или различной плотностью при изотермических условиях. Для получения представительной пробы следует учитывать неоднородность исследуемой жидкости.

Температурная неоднородность жидкости в резервуаре обусловлена изменением температуры окружающей среды, искусственным подогревом или охлаждением горячих продуктов после окончания технологических операций переработки.

Средняя температура хорошо перемешанной жидкости, хранящейся в горизонтальных цилиндрических емкостях при подогреве снизу, охлаждении или нагревании до температуры окружающей среды, определяется путем измерения ее в любой точке объема. При подогреве сверху или через всю поверхность температура жидкости по высоте емкости распределяется по характерной кривой. Средняя температура жидкости при подогреве определяется на высоте двух третей диаметра, а при охлаждении – на высоте одной третьей диаметра от низа емкости. Проба жидкости отбирается именно с того уровня, температура которого равна средней температуре по объему емкости [21].

Неоднородность по составу. Нефти и нефтепродукты, хранимые в резервуарах, обычно бывают неоднородными по составу (плотности) при изотермических условиях. Распределение неоднородности по высоте резервуара зависит от количества посторонних примесей, длительности хранения, температуры жидкости, вязкости и других факторов. Средняя плотность содержимого резервуара определяется путем отбора послонных проб через небольшие расстояния по высоте резервуара.

Рассмотрим изменения неоднородности по составу при тепловых воздействиях, обусловленных суточным изменением температуры окружающей среды или искусственным подогревом. Тепловые воздействия в случае хранения однородного нефтепродукта приводят к температурной неоднородности, а при наличии исходной неоднородности продукта по составу – к перераспределению неоднородности.

При боковом подогреве нефтепродукта в резервуаре конвективное движение в неоднородной жидкости происходит с образованием горизонтальных слоев. При наличии начального вертикального градиента плотности и перпендикулярного к нему градиента температуры в слое жидкости образуются горизонтальные слои – ячейки. Высота h слоя – ячейки приблизительно определяется формулой

$$h = (\rho\beta\theta)/\Delta\rho,$$

ГДЕ ρ – СРЕДНЯЯ ПЛОТНОСТЬ ЖИДКОСТИ; β – КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛООВОГО РАСШИРЕНИЯ ЖИДКОСТИ; θ – ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАПОР; $\Delta\rho$ – ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ГРАДИЕНТ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ.

Образование слоев – ячеек по высоте столба жидкости приводит к скачкообразному (от слоя к слою) изменению плотности и температуры жидкости (рис. 2.3).

Некоторые свойства жидкости связаны с ее плотностью. Поэтому эти свойства будут меняться по закону распределения плотности в жидкости.

Методы отбора средней пробы нефти и нефтепродуктов из резервуаров. Для получения однородности

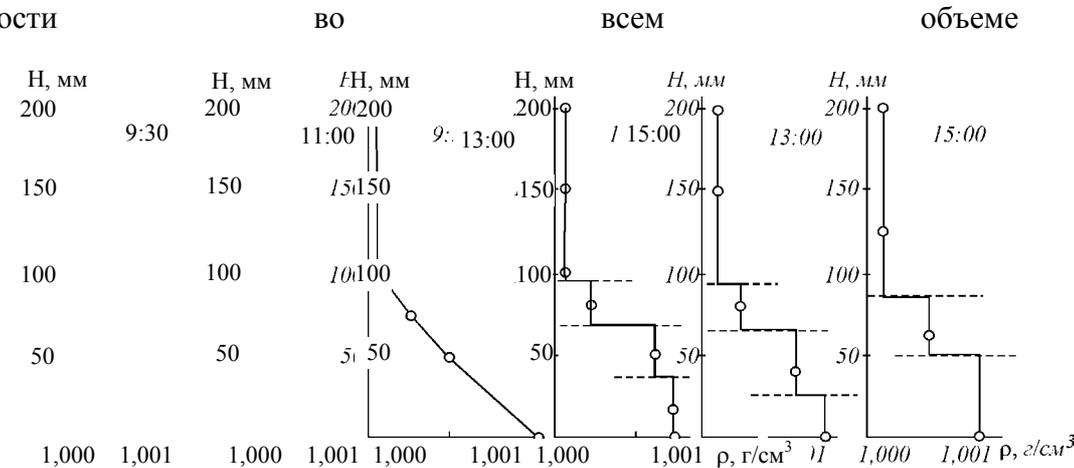


Рис. 2.3 Распределение плотности по высоте неоднородного раствора при боковом подогреве

ИСПОЛЬЗУЮТ ЦИРКУЛЯЦИЮ ПУТЕМ ПЕРЕКАЧКИ ЖИДКОСТИ НАСОСОМ. ПРОВОДЯТ КОНТРОЛЬ НЕОДНОРОДНОСТИ ПРОДУКТА В ОБЪЕМЕ РЕЗЕРВУАРА ПУТЕМ АНАЛИЗА ПРОБ, ОТОБРАННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТОЧЕК ОБЪЕМА ЖИДКОСТИ. СРАВНИВАЮТ ПОКАЗАТЕЛИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРОБ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ СРЕДНЕЙ ПРОБЫ, СОСТАВЛЕННОЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АНАЛИЗА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРОБ. ЕСЛИ РАЗНИЦА ЭТИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕ ПРЕВОСХОДИТ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ТО СЧИТАЕТСЯ, ЧТО НЕФТЕПРОДУКТ ОДНОРОДЕН ВО ВСЕМ ОБЪЕМЕ.

В тех случаях когда неоднородность продукта наблюдается только по высоте резервуара, отсекают столб жидкости, заданного сечения. Далее такую пробу перемешивают и определяют искомые показатели.

При отстаивании нефти в резервуаре перемешивание не допустимо. Средние показатели нефтепродуктов определяются усреднением показателей проб, взятых в различных точках объема. Наилучшим способом является определение показателей по всей высоте столба жидкости. В производственных условиях нет возможности определить неоднородность по всей высоте столба жидкости, поэтому отбирают пробы с нескольких уровней. Далее возможны два варианта. Согласно первому определяют показатели нефтепродуктов в каждой пробе и полученные показатели усредняют. По второму варианту смешивают индивидуальные пробы в соответствующей пропорции и анализируют среднюю пробу.

Методы отбора проб нефти и нефтепродуктов стандартизированы. Например, пробы нефтепродуктов из вертикальных цилиндрических или прямоугольных резервуаров отбирают с трех уровней:

- верхний – 200 мм ниже поверхности жидкости;
- средний – середина столба жидкости;
- нижний – 250 мм от дна резервуара.

Для получения средней пробы нефтепродуктов пробы верхнего, среднего и нижнего уровней смешивают в соотношении 1:3:1.

При хранении неоднородных нефтепродуктов показатели средней пробы значительно зависят от уровней отбора индивидуальных проб и от соотношения их в средней пробе.

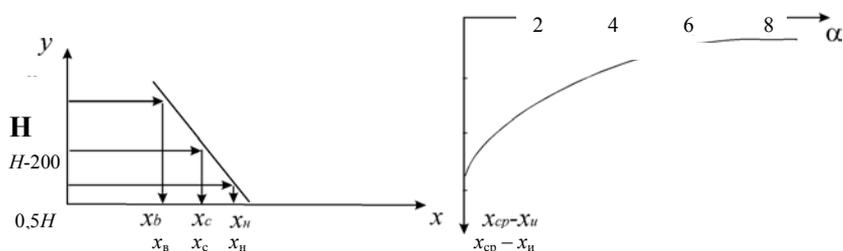


Рис. 2.4 Отклонение показателей средней пробы по стандарту от среднеинтегрального значения

Оценено влияние соотношения индивидуальных проб в средней пробе на представительность средней пробы. Пробы отбираются из трех уровней, указанных выше. Определяется среднее арифметическое значение показателей x_{cp} . Далее формируется средняя проба в соотношении 1: α :1. Доля α пробы среднего уровня переменна и определяется показателем x_n , сформированной средней пробы (рис. 2.4).

Контрольные вопросы

- 1 Чем определяется эффективность пробоотбора?
- 2 В чем заключается представительность пробы?
- 3 С какой целью добиваются повышения представительности пробы?
- 4 Какие условия определяют точность пробоотбора?
- 5 В чем заключается процедура балансного теста выявления ошибки при пробоотборе?
- 6 Исходя из каких параметров осуществляется выбор места отбора пробы?
- 7 Чем характеризуется систематическая составляющая погрешности средств измерения?
- 8 При каком условии составляющая погрешности относится к случайной?
- 9 Что подразумевается под термином «метрологические характеристики»?
- 10 Совпадают ли размерности левой и правой частей выражения для объемного расхода, приведенного в п. 2.1?
- 11 Каков один из возможных путей учета изменения расхода вследствие изменения температуры среды?
- 12 Из каких составляющих складываются отклонения расхода?
- 13 Что понимается под надежностью пробоотборного устройства?
- 14 Какие применяются методы повышения представительности пробы?
- 15 В каких случаях и с какой целью используется пробоподготовка отобранной пробы?

- 16 На каком законе основывается балансный тест для обнаружения систематической погрешности отбора пробы?
- 17 Каковы особенности реализации структурных методов повышения точности?
- 18 Какие существуют пути повышения эффективности методов пробоотбора?
- 19 В каких случаях необходимо знать объем пробы?
- 20 Каковы принципы появления детерминированной составляющей отклонения расхода жидкости во времени?
- 21 Чем описываются случайные отклонения расхода жидкости во времени?
- 22 Каково правило нахождения полного дифференциала функции?
- 23 Каковы причины появления случайной составляющей отклонения расхода жидкости во времени?
- 24 Как можно повысить представительность пробы?
- 25 Какие используются методы повышения точности средств измерения?
- 26 Согласно каким критериям проводят выбор метода повышения точности средств измерений?
- 27 Какие методы включают структурные методы стабилизации статической характеристики?
- 28 Какие методы включают структурные методы коррекции статических характеристик средств измерений?
- 29 Каковы достоинства и недостатки структурных методов повышения точности средств измерений?

3 ПРОБООТБОР С НЕПРЕРЫВНОЙ ПОДАЧЕЙ ВЕЩЕСТВА

При непрерывном пробоотборе осуществляют непрерывную подачу анализируемого вещества на чувствительный элемент первичного измерительного преобразователя. Такой процесс позволяет организовать управляемое обновление количества анализируемого вещества на чувствительном элементе.

3.1 ОРГАНИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОБООТБОРА

Непрерывный пробоотбор проводят с возвратом анализируемого вещества в технологический аппарат (замкнутый отбор) и без возврата (разомкнутый отбор). Замкнутый отбор (рис. 3.1) имеет две разновидности в зависимости от соотношения давлений P_1 и P_2 на входе и выходе технологического аппарата соответственно.

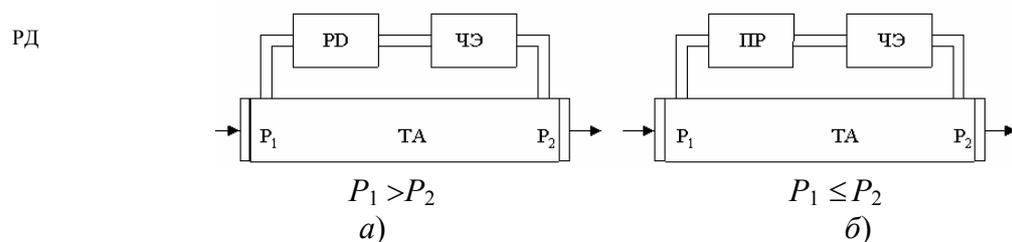


Рис. 3.1 Схемы непрерывного пробоотбора при замкнутом отборе:

РД – регулятор давления; ЧЭ – чувствительный элемент;
ТА – технологический аппарат; ПР – побудитель расхода

Если давление P_1 анализируемой среды на входе в технологический аппарат больше, чем на давление P_2 на выходе, то она продавливается через обводной канал за счет перепада давления ΔP , причем $\Delta P = P_1 - P_2$ (рис. 3.1, а) Такой вариант не требует дополнительного оборудования для транспортировки среды.

Регулятор давления (РД) поддерживает заданный перепад давления, чем обеспечивается требуемая скорость обтекания чувствительного элемента (ЧЭ) анализируемой средой.

Во втором случае (рис. 3.1, б) побудитель расхода (ПР) прокачивает анализируемую среду через обводной канал.

При необходимости осуществить замкнутый отбор из трубопровода для создания необходимого перепада давления, используемого в качестве движущей силы, устанавливают сужающее устройство (рис. 3.2), например, диафрагму.

На сужающем устройстве происходит некоторый перепад давлений среды, под действием которого среда проходит в обводной канал.

Приборы, работающие с замкнутым отбором, меньше зависят от условий окружающей среды. При таком отборе легче сохранить физико-химические свойства анализируемой среды, а, следовательно, и представительность пробы. Замкнутый отбор рекомендуется при контроле радиоактивных, дорогостоящих продуктов, токсичных и взрывоопасных веществ.

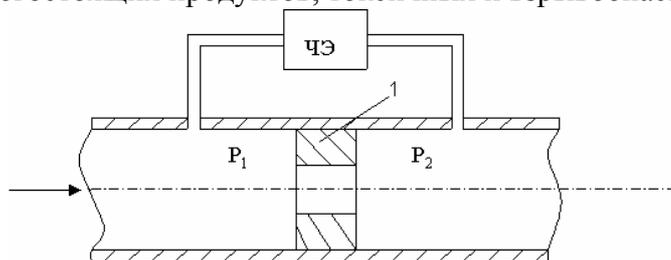


Рис. 3.2 Схема непрерывного пробоотбора при замкнутом отборе из трубопровода: 1 – диафрагма

Существует два варианта разомкнутого отбора (рис. 3.3.), которые отличаются соотношением давления P_a в технологическом аппарате и давления P_0 в той среде, в которую отводится содержимое пробы.

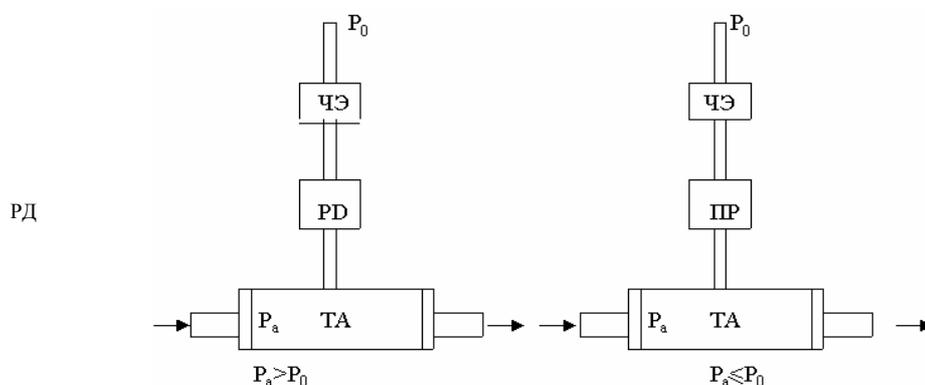


Рис. 3.3 Схемы непрерывного пробоотбора при разомкнутом отборе

В случае $P_a > P_0$ редуктором давления РД настраивается необходимая величина перепада давления для создания требуемого расхода анализируемого вещества на чувствительный элемент.

При $P_a < P_0$ с помощью побудителя расхода ПР создается расход анализируемого вещества на чувствительный элемент.

Разомкнутый отбор применяется для анализа топочных газов, воздуха в помещениях, сточных и оборотных вод и т.д.

Наиболее простой и наиболее желательный способ непрерывного пробоотбора тот, когда чувствительный элемент погружается в технологический аппарат (рис. 3.4). При прочих равных условиях такому варианту пробоотбора целесообразно отдавать предпочтение, вследствие отсутствия вспомогательных устройств для подготовки пробы к анализу.

При внешнем контакте, например, через систему технологического аппарата, чувствительный элемент не имеет контакта с анализируемым веществом непосредственно. Внешний контакт чаще всего характерен для радиоактивных и ультразвуковых способов контроля.

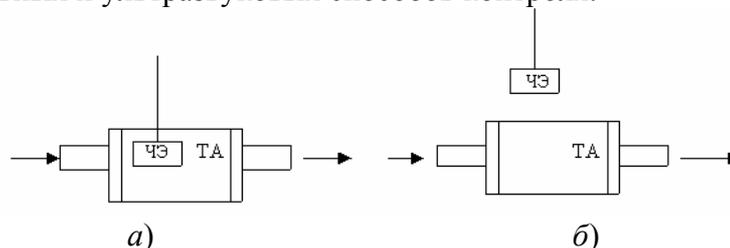


Рис. 3.4 Варианты контакта чувствительного элемента с анализируемым

веществом:

a – внутренний; b – внешний

Непрерывный пробоотбор целесообразно использовать тогда, когда при измерении контролируемой величины применяются методы, для реализации которых не нужна фиксация объема. Скорость прокачки жидкости выбирают с учетом необходимого времени измерения.

Непрерывный пробоотбор предполагает непрерывный обмен анализируемого вещества в объеме измерительного элемента. Идеальный пробоотбор предполагает, что объем пробы, участвующий в измерении, равен объему вещества в аппарате. Меры, которые следует предпринять, с целью приближения реального пробоотбора к идеальному пробоотбору:

- осуществить интегрирование измеряемого параметра по объему аппарата;
- увеличить скорость подачи вещества на чувствительный элемент.

Разместив несколько датчиков в технологическом аппарате с учетом элементарного объема анализируемого вещества, взаимодействующего с одним датчиком, можно получить большее количество информации об измеряемом параметре, т.е. как бы проинтегрировать (суммировать) информацию об измеряемом параметре. Чем больше скорость подачи на чувствительный элемент, тем меньше интервал времени, за который весь объем технологического аппарата пройдет через датчик.

3.2 УСТРОЙСТВА ПРОБООТБОРА С ВОЗВРАТОМ АНАЛИЗИРУЕМОГО ВЕЩЕСТВА

Для каждого конкретного случая реализация непрерывного пробоотбора, учитывающего особенности технологического параметра и среды, необходимо создание соответствующего устройства. Этим определяется их большое количество. Рассмотрим устройства отбора жидких сред из аппарата, трубопровода, а также устройство для отбора пылегазовой среды из газохода, а также пробоотборную систему автоматического вискозиметра.

Устройство для отбора проб полимера при полимеризации мономера [49] используется в системе контроля концентрации остаточных углеводородов в производстве синтетических каучуков типа СКИ, СКД БК и СКЭП. Важным показателем процесса полимеризации дивинила является концентрация остаточных углеводородов, которая характеризует качество каучука, определяет конверсию дивинила (производительность установки). Непосредственно концентрацию углеводородов замерить сложно. По экспериментальным данным установлена зависимость между давлением P газовой смеси при испарении дивинила, температурой смеси T и концентрацией C дивинила. Эта зависимость в рабочем диапазоне является линейной и имеет вид $C = B_0 + B_1P + B_2T$, где B_0, B_1, B_2 – константы, определяемые экспериментально. Устройство определяет концентрацию остаточных углеводородов.

Раствор полимера с концентрацией полидивинила 10 ... 15 вес. % в толуоле и концентрации остаточных углеводородов (дивинила) до

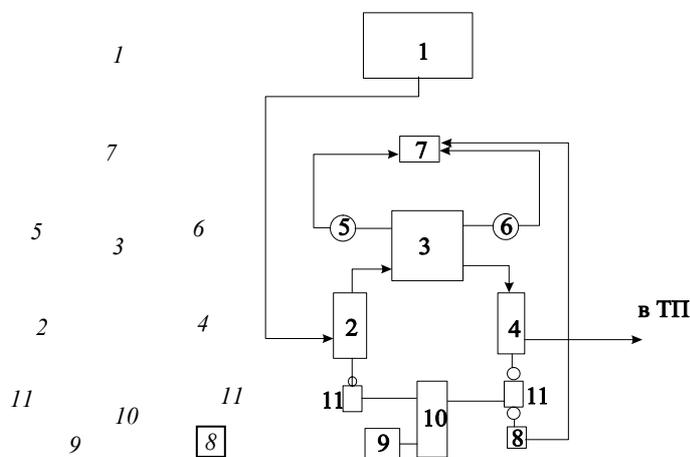


Рис. 3.5 Устройство для отбора проб полимера при полимеризации

мономера:

1 – реактор; 2 – насос подачи пробы; 3 – расширительная емкость; 4 – насос отбора пробы; 5 – датчик температуры; 6 – датчик давления; 7 – вычислительный блок; 8 – переключатель сигнала; 9 – электродвигатель; 10 – редуктор;
11 – эксцентрик

2,5 вес. % из реактора 1 (рис. 3.5) насосом 2 подают в расширительную емкость 3, откуда насосом 4 откачивают на последующие стадии процесса.

Насос 4 имеет производительность в 2 – 3 раза выше, чем у насоса 2, что создает в системе измерения вакуум, за счет которого происходит испарение остаточного дивинила. Сигналы от датчиков 5 и 6 поступают в вычислительный блок 7, который по формуле рассчитывает искомую концентрацию дивинила в реакторе 1.

Эксцентрик 11 с кулачковым механизмом управляет работой насосов 2 и 4, преобразуя вращательное движение редуктора 10 и двигателя 11 в возвратно-поступательное движение поршней насосов 2 и 4. Переключатель 8 выдает сигнал в вычислительный блок 7 в момент, когда поршень насоса 4 находится в нижнем положении, что соответствует максимуму производительности насоса 4 и определенному давлению, которое регистрируется вычислительным блоком 7. Создавая вакуум, добиваются максимального испарения углеводородов. Затем по давлению и температуре определяют искомую концентрацию. Это позволяет в итоге судить о конверсии мономера и других механико-экономических показателях.

Устройство для отбора проб текучих сред из трубопровода [50] служит для отбора проб жидкостей, пульп и суспензий из трубопроводов технологических процессов.

Жидкая среда, протекая из подводящего патрубка 1 (рис. 3.6) вдоль стержней 2, разделяется на два потока.

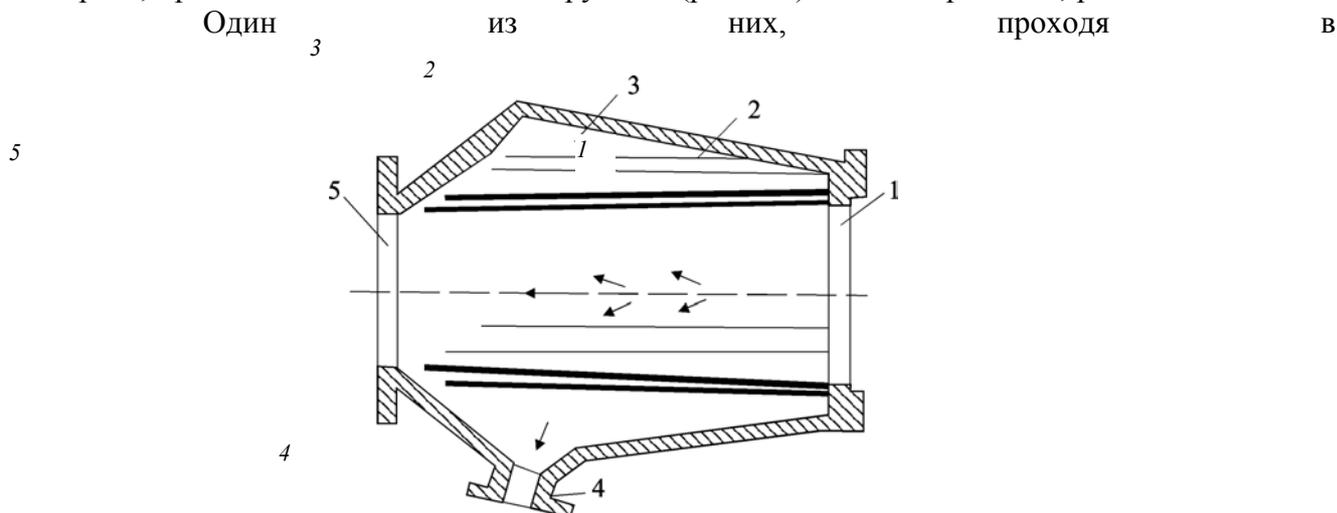


Рис. 3.6 Устройство для отбора проб текучих сред из трубопровода:

1 – подводящий патрубок; 2 – стержни; 3 – кольцевая смесительная камера;

4 – отводящий канал; 5 – отводящий патрубок

ЩЕЛИ МЕЖДУ СТЕРЖНЯМИ 2 И ОЧИЩАЯСЬ ОТ ПОСТОРОННИХ ПРИМЕСЕЙ, ПОСТУПАЕТ В СМЕСИТЕЛЬНУЮ КАМЕРУ 3 И ОТВОДИТСЯ ЧЕРЕЗ КАНАЛ 4 НА АНАЛИЗ. ВТОРОЙ, ОСНОВНОЙ ПОТОК, ЗАХВАТЫВАЯ ПОСТУПАЮЩИЕ С ЖИДКОСТЬЮ КРУПНЫЕ ТВЕРДЫЕ ЧАСТИЦЫ, УХОДИТ ЧЕРЕЗ ОТВОДЯЩИЙ ПАТРУБОК В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТОК. ПРОНИКНОВЕНИЕ ПОСТОРОННИХ ПРИМЕСЕЙ В ПРОБООТВОДЯЩИЙ КАНАЛ 4 ИСКЛЮЧАЕТСЯ И ЗА ПРЕДЕЛАМИ СВОБОДНЫХ КОНЦОВ СТЕРЖНЕЙ 2, ТАК КАК ЭТИ КОНЦЫ НАХОДЯТСЯ В ПОТОКЕ, НАПРАВЛЕННОМ В СТОРОНУ ВЫХОДА ИЗ ОТВОДЯЩЕГО ПАТРУБКА, И ПОТОМУ, ЧТО РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ КОНЦАМИ СТЕРЖНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ОТВОДЯЩЕГО ПАТРУБКА 5 НЕ ПРЕВЫШАЕТ МАКСИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА ЩЕЛИ МЕЖДУ СТЕРЖНЯМИ 2, КОТОРЫЕ РАЗМЕЩЕНЫ ПЕРИОДИЧЕСКИ НА РАЗНЫХ РАССТОЯНИЯХ ОТ ОСИ ПО ИЗВИЛИСТОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЛИНИИ, ДЛИНА КОТОРОЙ БОЛЬШЕ ДЛИНЫ ОКРУЖНОСТИ, СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ СРЕДНЕМУ ДИАМЕТРУ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ.

Установка для отбора пылегазовых проб [51] используется для проведения пылегазовых замеров при пусконаладочных работах пылегазоочистных сооружений.

Через пробоотборную трубку 1 (рис. 3.7) осуществляется отбор запыленного газа, который проходит по шлангам 2 через фильтровальный патрон 3 с фильтром или поглотителем, термометр 4 и попадает в выходное устройство аспиратора 5 откуда по магистрали 6 через штуцер 7 и открытый конец кожуха 8 выбрасывается в полость исследуемого газохода.

Газовый поток разгоняется в конфузорной части диффузора 9 и эжектирует газ из магистрали 6, соединенной со штуцером 10 выхода аспиратора 5. Это дополнительное разрежение позволяет компенсировать часть гидродинамического сопротивления средств измерений, включенных в схему установки, и снизить нагрузку на аспиратор 5.

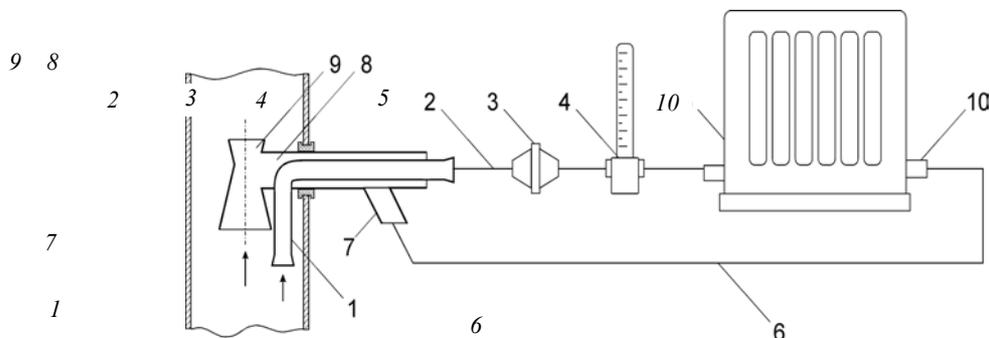


Рис. 3.7 Установка для отбора пылегазовых проб:

1 – пробоотборная трубка; 2 – шланг; 3 – фильтр; 4 – термометр; 5 – аспиратор; 6 – магистраль; 7 – штуцер; 8 – кожух; 9 – конфузор – диффузор; 10 – штуцер

Таким образом, установка позволяет производить отбор пылегазовых проб из газоходов с любой степенью разрежения при минимальном разрежении, создаваемом аспиратором и определяемом только гидродинамическим сопротивлением средств измерений, включенных в схему установки.

В установке полностью исключена возможность выброса газа в месте производства измерительных работ, что улучшает условия труда при отборе проб токсичных газов.

Пробоотборная система автоматического вискозиметра [10]. По технологическому трубопроводу 1 с установленной диафрагмой прокачивается исследуемая жидкость (рис. 3.8). Проба жидкости из трубопровода 1, через фильтр – отстойник 2, жидкостный редуктор 3, снижающий давление пробы до 0,1 ... 1,0 МПа, и холодильник 4 поступает на прием насоса 5.

Производительность насоса можно изменять в диапазоне 2 ... 12,6 л/ч. В теплообменнике 6 проба нагревается до заданной температуры и поступает в анализатор вязкости 7, в котором измеряется текущее значение вязкости жидкости.

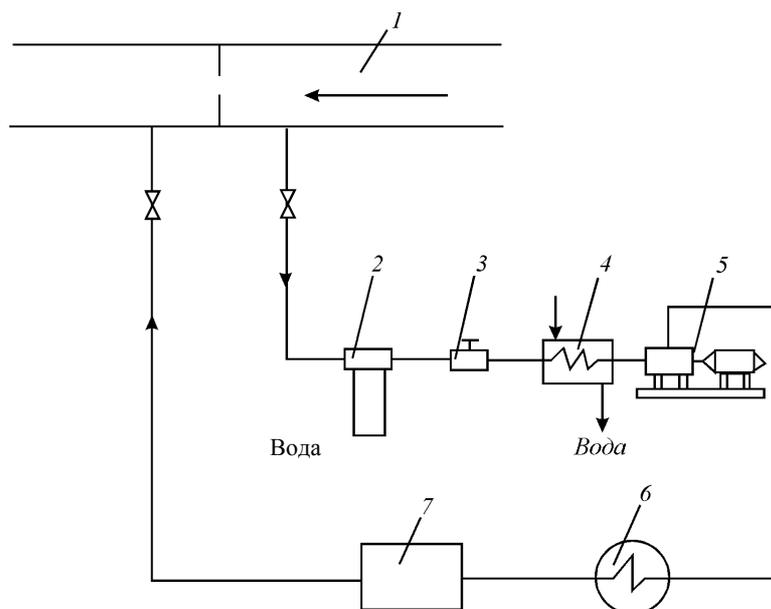


Рис. 3.8 Схема пробоотборной системы автоматического вискозиметра:

1 – трубопровод с диафрагмой, 2 – фильтр – отстойник; 3 – жидкостной редуктор; 4 – холодильник; 5 – насос; 6 – теплообменник; 7 – анализатор

Отработанная проба возвращается из анализатора 7 в технологический трубопровод 1.

3.3 УСТРОЙСТВА ПРОБООТБОРА БЕЗ ВОЗВРАТА АНАЛИЗИРУЕМОГО ВЕЩЕСТВА

Рассмотрим устройства отбора газовой среды для определения концентрации полициклических ароматических углеводородов, высокотемпературных пылегазовых проб, контроля состава рабочей среды, анализа на хроматографе, а также анализа жидких нефтепродуктов.

Устройство для отбора проб полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) [52] осуществляет отбор ПАУ из газовых и пылегазовых сред.

Включают электродвигатель, вращающий ротор 1 (рис. 3.9) со скоростью 20 ... 30 об/мин в направлении противоположном направлению потока газа, а также включают побудитель расхода 2. Исследуемый газ засасывается в газозаборную трубку 3 и по газовой линии 4, поступает в холодильную емкость 5, в которой происходит резкое его охлаждение до 5 ... 7 °С и отделение избыточной влаги. Далее поток газа нагревается в нагревателе 6 до 80 ... 90 °С. Осушенный таким образом поток поступает в поглотитель 7.

При столкновении газового потока с лопастями 8 происходит турбулизация потока, способствующая более полному контакту газовой среды с адсорбентом 9. В результате многостороннего контакта газовой среды с адсорбентом 9 происходит практически полное улавливание ПАУ, присутствующих в газовой среде.

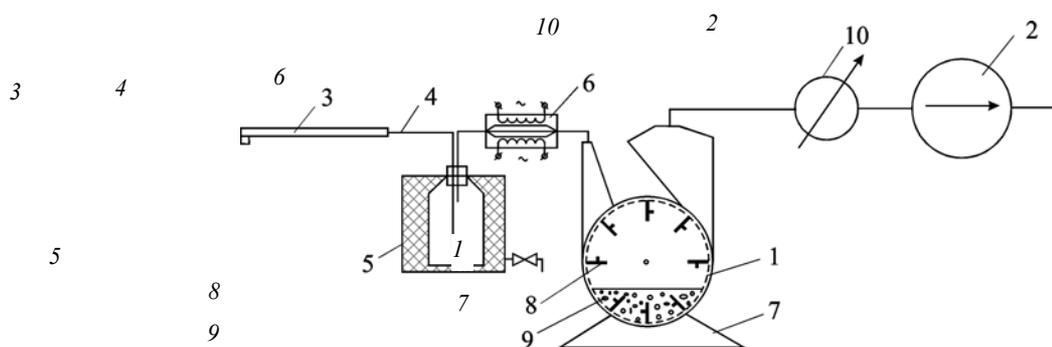


Рис. 3.9 Устройство для отбора проб ПАУ:

1 – цилиндрический ротор; 2 – побудитель расхода; 3 – газозаборная трубка;
4 – газовая линия; 5 – холодильная емкость; 6 – нагреватель; 7 – поглотитель;
8 – радиальные лопасти; 9 – адсорбент; 10 – регистратор расхода

В зависимости от ожидаемой концентрации ПАУ устанавливают время отбора газов, регистрируют при этом их расход с помощью расходомера 10 и вычисляют объем отобранных газов.

Устройство для отбора и подготовки высокотемпературных пылегазовых проб [53] используется на цементных заводах и в металлургическом производстве.

Исследуемые газы, содержащие пары воды и твердые частицы величиной до 100 мкм, имеющие температуру выше 150 °С, поступают в трубку 1 (рис. 3.10). Скорость потока снижается до 0,04 ... 0,05 м/с и за счет гравитационных сил крупные (свыше 100 мкм) частицы осаждаются и возвращаются в газовый поток. Газ проходит фильтрующую ткань 2, где отделяются частицы размером свыше 10 мкм. При прохождении газа из отверстий цилиндра 3 через набивку 4 в отверстия цилиндра 5 от газа отделяются частицы размером свыше 5 мкм. В химическом фильтре 6, заполненном стружкой нелегированной стали, происходит химическое взаимодействие сернистых соединений с железом в результате чего газ очищается от агрессивных веществ, образующихся при сгорании топлива.

Окончательная очистка газа от механических примесей и химических соединений происходит в диффузиофоретической камере 7, где в результате охлаждения ее стенок в холодильнике 8 происходит конденсация водяных паров и диффузиофоретическое осаждение твердых частиц до 5 мкм и растворимых сернистых соединений в пленке воды, так как в неоднородном поле температур и концентраций

водяных паров происходит перемещение газа в направлении, перпендикулярном направлению движения потока. Сконденсировавшиеся пары собираются в конденсатоотводчике 9.

Очищенный и охлажденный газ, выходящий из камеры 7, имеет невысокую абсолютную влажность до 50 г/м^3 , но высокую относительную влажность около 100 %. Чтобы избежать искажения показаний газоанализатора за счет конденсации влаги на его чувствительных элементах, газовый поток перед входом в газоанализатор подогревается в нагревателе 10. Таким образом, относительная влажность его снижается и состояние газа смещается от состояния насыщения до относительной влажности 70 ... 80 %.

Степень очистки газа от твердых частиц в устройстве не зависит от пульсации скорости и давления в пылегазовом потоке и побудителе расхода пробы.

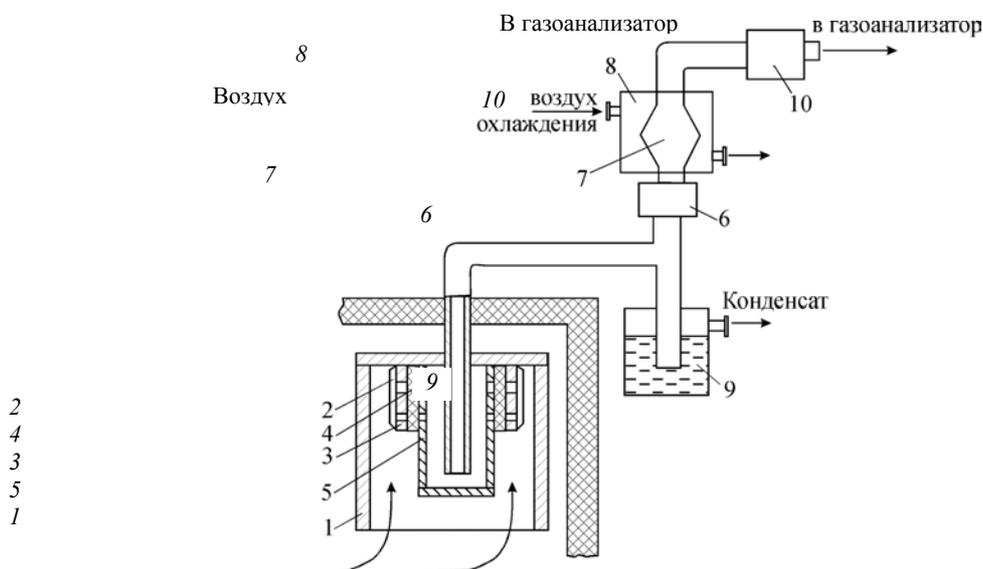


Рис. 3.10 Устройство для отбора и подготовки высокотемпературных пылегазовых проб:

1 – газозаборная трубка; 2 – фильтрующая ткань; 3 – внешний перфорированный цилиндр; 4 – фильтрующая набивка; 5 – внутренний перфорированный цилиндр; 6 – химический фильтр; 7 – диффузиофоретическая камера; 8 – воздушный холодильник; 9 – конденсатоотводчик; 10 – нагреватель

Устройство контроля состава рабочей среды [54] используется в составе АСР технологических процессов в черной металлургии и химической промышленности.

Для контроля состава рабочей среды технологического процесса устройство монтируется внутри корпуса аппарата. Пробоотборник 1 (рис. 3.11) устанавливается в заданной зоне отбора пробы. Включается напорный насос 2 и текучая среда, используемая в качестве носителя пробы, из емкости 3 под давлением поступает в направляющий канал 4 и выходит через сопло 5 эжектора 6 в виде непрерывной струи, которая направляется во входное отверстие патрубка 7 забора пробы. В процессе движения носителя от сопла 5 до входного отверстия патрубка 7 струя перемещается свободно в зоне отбора пробы контролируемого технологического процесса и захватывает рабочую среду из зоны контроля, причем отбор пробы осуществляется путем непрерывной подачи текучей среды через зону отбора.

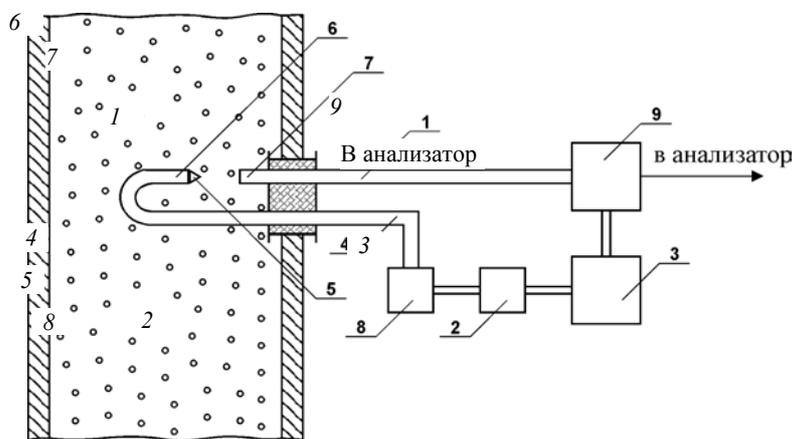


Рис. 3.11 Устройство контроля состава рабочей среды:

1 – пробоотборник; 2 – напорный насос; 3 – емкость для носителя;
4 – направляющий канал; 5 – сопло; 6 – эжектор; 7 – патрубок забора пробы;
8 – узел магнитной обработки; 9 – сепаратор

Поскольку носитель подается в виде непрерывной струи через зону забора пробы, то и отбор пробы ведется непрерывно. Захваченная проба в процессе ее растворения в носителе очищается и транспортируется в зону контроля через сепаратор 9, где происходит отделение рабочей среды от носителя. Выделяемая из носителя рабочая среда направляется в анализатор.

Очищенный от рабочей среды носитель сливается в емкость 3 для последующей подачи в направляющий канал 4. Перед подачей в зону отбора текучую среду подвергают магнитной обработке в узле 8.

В качестве носителя целесообразно использовать газообразные вещества, если ведется контроль состава жидкой среды. При работе устройства в низкотемпературной запыленной газовой среде, в качестве носителя целесообразно использовать незамерзающую жидкость. Скорость движения струи носителя для захвата рабочей среды определяется видом используемого носителя, а также параметрами контролируемого технологического процесса.

Пробоотборная система промышленного хроматографа для анализа жидких нефтепродуктов [10]. Пробоотборная петля 1 монтируется из стальных труб (рис. 3.12), подключенных к точкам технологического трубопровода с разными давлениями.

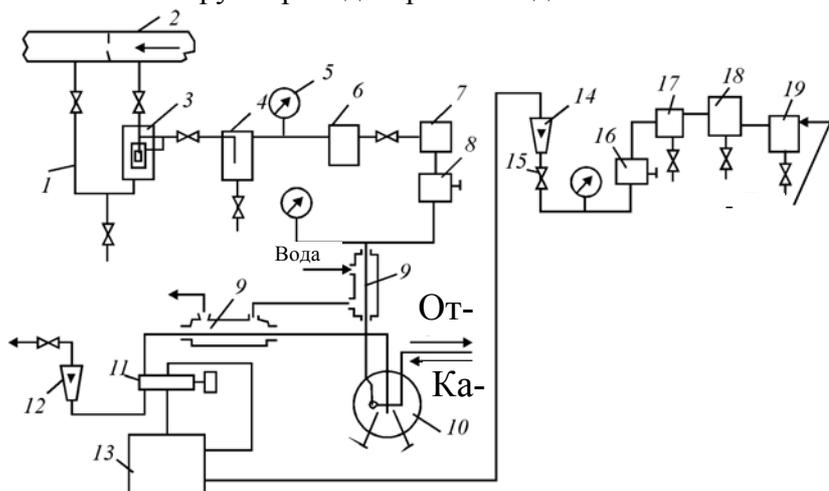


Рис. 3.12 Схема пробоотборной системы промышленного хроматографа для анализа жидких нефтепродуктов:

1 – пробоотборная петля; 2 – технологический трубопровод; 3 – фильтр;
4 – отстойник; 5 – манометр; 6, 7 – фильтры; 8 – редуктор; 9 – холодильник;
10 – трехходовой вентиль; 11 – дозирующий кран; 12 – ротаметр; 13 – датчик; 14 – ротаметр; 15 – дроссель; 16 – редуктор; 17 – фильтр; 18 – осушитель;

Продукт непрерывно циркулирует по пробоотборной петле 1 под действием перепада давления, создаваемого сужающим устройством, установленным в технологическом трубопроводе 2.

Для отделения механических примесей пробу пропускают через сетчатый фильтр 3, отстойник 4 и фильтры 6 и 7. Редуктор 8 снижает давление пробы до 0,2 ... 0,3 МПа. Давление пробы контролируется манометром 5. Проба охлаждается в холодильнике 9 и через трехходовой вентиль 10 поступает в дозирующий кран 11, который пропускает анализируемую жидкость в линию датчика 13 или через ротаметр 12 в линию сброса жидкости в дренаж.

Газ-носитель проходит фильтры 19 и 17 и осушитель 18. Фильтр 19 устраняет механические примеси, а фильтр 17 очищает газ-носитель от влаги и следов масла. Осушитель 18, заполненный силикагелем, дополнительно очищает газ-носитель от жидких углеводородов. Редуктором давления 16 настраивается требуемый расход газа-носителя. Контроль расхода осуществляется ротаметром 14. Регулируемым дросселем 15 подстраивается расход газа-носителя до требуемой величины.

Пробоотборная система хроматографа для анализа газов, содержащих конденсат [10]. Анализируемый газ, содержащий конденсат, протекает по технологическому трубопроводу при давлении до 4 МПа и температуре до 35 °С. Для уменьшения запаздывания пробоотборную петлю не используют (рис. 3.13). Газ непрерывно протекает по трубопроводу и сбрасывается в атмосферу через ротаметр 6. К датчику хроматографа 7 подается часть газа из подводящего трубопровода.

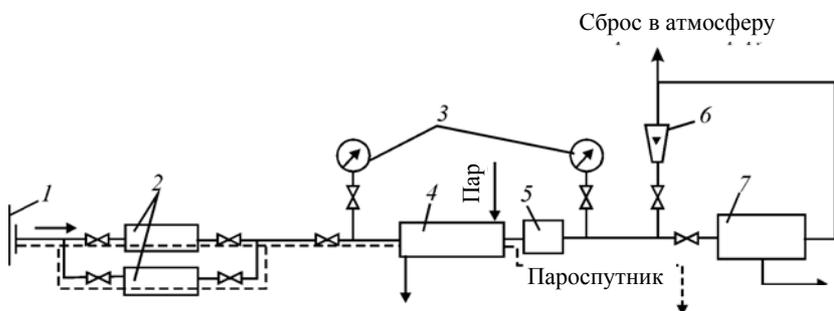


Рис. 3.13 Схема пробоотборной системы хроматографа для анализа газов содержащих конденсат:

1 – точка отбора пробы; 2 – фильтр; 3 – манометр; 4 – испаритель; 5 – редуктор давления; 6 – ротаметр; 7 – датчик хроматографа

Газ из точки отбора пробы 1 проходит через один из двух параллельно включенных фильтров 2. В испарителе 4 газ нагревается, и весь конденсат переходит в газовую фазу. В двухступенчатом редукторе 5 давление газа снижается до 0,05 МПа. Фильтры 2, манометры 3, испаритель 4, редуктор 5 следует устанавливать поблизости от точки отбора пробы 1. Ротаметр 6 монтируется вблизи датчика хроматографа 7. При наружном монтаже вдоль трубопровода с газом прокладываются пароспутники.

Контрольные вопросы

- 1 Чем характеризуется пробоотбор с непрерывной подачей вещества на чувствительный элемент ПИП?
- 2 Чем отличается непрерывный пробоотбор с возвратом анализируемого вещества от пробоотбора без возврата вещества?
- 3 Каково назначение регулятора давления и побудителя расхода при непрерывном пробоотборе?
- 4 С какой целью устанавливают сужающее устройство в трубопроводе при непрерывном пробоотборе?
- 5 Каковы особенности устройств, реализующих непрерывный пробоотбор с возвратом вещества?
- 6 Для отбора каких веществ целесообразно применять непрерывный пробоотбор без возврата вещества?
- 7 В каком случае целесообразно применять непрерывный пробоотбор?
- 8 Какие меры следует предпринять для приближения реального непрерывного пробоотбора к идеальному?

9 Чем обусловлена многочисленность конструкций пробоотборных устройств?

10 С какой целью в устройстве для отбора проб полимера при полимеризации мономера (рис. 3.5) производительность одного насоса выше производительности другого насоса? С какой целью используются датчики температуры и давления в устройстве? Какова размерность коэффициентов B_0 , B_1 и B_2 ? Какова процедура определения значений этих коэффициентов?

11 Какие особенности конструкции устройства для отбора проб текучих сред из трубопровода (рис. 3.6) не позволяют примеси проникать в пробоотводящий канал? Симметрична ли конструкция устройства относительно направления движения основного потока?

12 Каково назначение конфузур-диффузора в установке для отбора пылегазовых проб (рис. 3.7)? В чем состоит эффект эжекции газового потока? Каково назначение в устройстве аспиратора?

13 Какова цель последовательного охлаждения и нагревания газового потока в устройстве для отбора проб (рис. 3.9)? Каково назначение побудителя расхода? Какие основные требования к побудителю расхода? Каково назначение радиальных лопастей в поглотителе?

14 Каково назначение химического фильтра в устройстве для отбора и подготовки высокотемпературных пылегазовых проб (рис. 3.10)? С какой целью газовую пробу сначала охлаждают, а затем нагревают? Какова движущая сила, в соответствии с которой происходит отбор пробы газа? Какие элементы конструкции устройства обеспечивают независимость степени очистки газа от твердых частиц от пульсации скорости и давления в пылегазовом потоке?

15 С какой целью проводится магнитная обработка носителя в устройстве контроля состава рабочей среды (рис. 3.11)? Какой элемент устройства формирует движущую силу, под действием которой отбирается проба рабочей среды? Исходя из каких соображений выбирается вид носителя?

4 ПРОБООТБОР С ДИСКРЕТНОЙ ПОДАЧЕЙ ВЕЩЕСТВА

4.1 ОРГАНИЗАЦИЯ ДИСКРЕТНОГО ПРОБООТБОРА

Дискретный (дозированный) пробоотбор характеризуется импульсной подачей контролируемого вещества на чувствительный элемент измерительного прибора.

Весь цикл работы измерительного прибора можно разбить на четыре повторяющихся характерных участка разной длительности, в которых последовательно производится отбор и подготовка пробы, измерение, сброс (удаление) пробы и пауза.

В периодических технологических процессах обычно по прошествии некоторого интервала времени с начала загрузки сырья начинают измерять параметры, определяющие качество протекания процесса. Например, в процессе синтеза алкидных и полиэфирных смол с помощью пробоотборной и измерительной системы Алкид-39, начиная с некоторого момента после загрузки масла, многоатомного спирта и фталевого ангидрида, производят отбор пробы реакционной массы каждые 15 мин. Измеряется вязкость и кислотное число.

Время измерения технологического параметра должно быть существенно (примерно на порядок) больше постоянной времени чувствительного элемента ПИП. При контроле некоторых параметров возможно совместить интервалы отбора и измерения за счет специально сформированного процесса измерения. Такой пробоотбор назовем совмещенным пробоотбором. Этот подход позволяет создать компактную измерительную систему, проводить измерения непосредственно внутри технологического аппарата.

4.2 ОТБОР ПРОБЫ ПРИ КОНТРОЛЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ АППАРАТЕ

В ряде производств лаков и красок длительность процесса синтеза определяется моментом достижения технологического параметра заданной величины.

Рассмотрим устройство, определяющее вязкость реакционной жидкости непосредственно внутри технологического аппарата. В основу метода измерения положен закон Пуазейля. Согласно методу проводят следующие активные действия:

- стабилизируют температуру исследуемой жидкости;
- формируют ламинарный поток жидкости;

- создают постоянный расход жидкости через капилляр;
- измеряют перепад давления на капилляре, по которому судят о величине вязкости.

Таким образом, величину в искомой вязкости η определяют по формуле, вытекающей из закона Пуазейля

$$\eta = k \frac{\pi d^4}{Ql} \Delta P,$$

где k – коэффициент; d, l – диаметр и длина капилляра, м; Q – объемный расход жидкости, м³/с; ΔP – перепад давлений на капилляре, Па.

Обычно постоянный расход жидкости через капилляр создают с помощью насоса со стабильной производительностью. Внутри технологического аппарата технически трудно разместить такой насос. В этом случае значительно легче создать постоянный перепад давления на капилляре, чем измерять расход жидкости, прошедший через капилляр при постоянном перепаде давления. Зная объем жидкости V , набранной в измерительный сосуд, можно утверждать, что интервал времени Δt истечения известного объема жидкости V при постоянном перепаде давления пропорционален искомой вязкости, тогда

$$\eta = k \frac{\pi d^4 \Delta P}{Vl} \Delta t.$$

Согласно полученной формулы проводят следующие активные действия:

- стабилизируют температуру исследуемой жидкости;
- отбирают пробу жидкости заданного объема;
- формируют ламинарный поток жидкости через капилляр;
- поддерживают постоянным перепадом давления на капилляре;
- измеряют время истечения пробы через капилляр, по которому определяют вязкость жидкости.

По мере увеличения вязкости жидкости увеличивается время истечения. Изучим устройство [55] контроля вязкости жидкости (рис. 4.1), которое содержит измерительный сосуд 1 с капилляром 2, соединенный газоподводящей трубкой 3 с преобразователем силы 4 в давление. Выход преобразователя 4 соединен с входом двухпозиционного регулятора 5, построенного на двух задатчиках 6 и 7, двух элементах сравнения 8 и 9, триггере с отдельными входами 10. Выход регулятора 5 соединен с входом управления трехходового клапана 11 и с входом вторичного прибора (на схеме не показан). Рассматриваемое устройство можно выполнить на электрических, электронных или пневматических элементах. Для взрыво- и пожароопасного производства целесообразнее выполнить устройство на пневматических элементах. Поэтому будем рассматривать пневматическое устройство. Полученные результаты также достаточно просто реализовать на элементах, запитываемых электрическим напряжением.

Задатчики 6 и 7 вырабатывают постоянные давления P_{\min} и P_{\max} , поступающие на элементы сравнения 8 и 9, которые обрабатывают следующие сигналы P_8 и P_9 (рис. 4.1 и 4.2)

$$P_8 = \begin{cases} 1, & \text{если } P_{\min} > P_4, \\ 0, & \text{если } P_{\min} < P_4, \end{cases}$$

$$P_9 = \begin{cases} 1, & \text{если } P_4 > P_{\max}, \\ 0, & \text{если } P_4 < P_{\max}. \end{cases}$$

В пневматике за давление равное "единице" принято принимать давление, равное давлению питания ($P_{\text{пит}} = 140$ кПа). Под давлением равным математическому символу "ноль" понимается атмосферное давление, которое принимается за начало отсчета. Таким образом, в пневматической схеме все давления отсчитываются от атмосферного давления, т.е. работают с избыточным давлением.

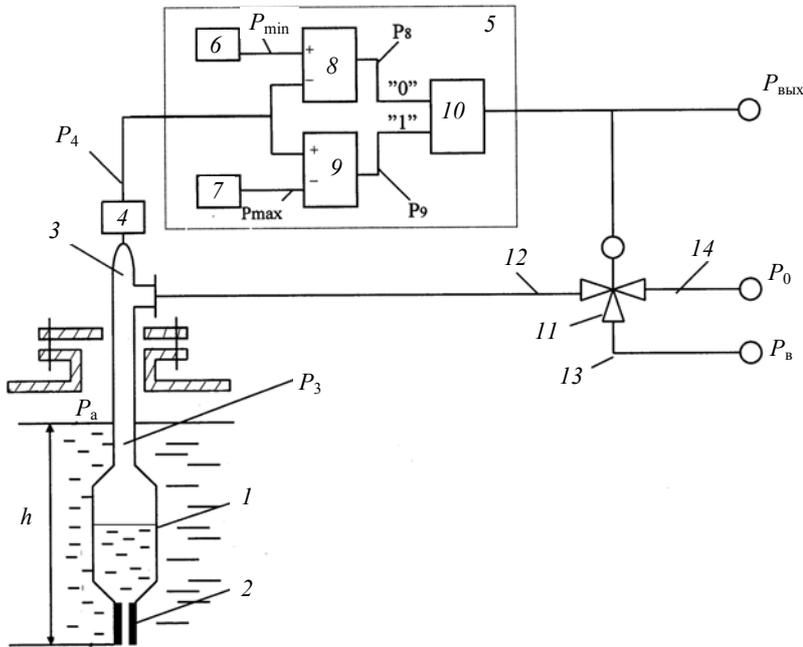


Рис. 4.1 Устройство контроля вязкости жидкости в технологическом аппарате с дискретным пробоотбором:

1 – измерительный сосуд; 2 – капилляр; 3 – газоподводящая трубка; 4 – преобразователь силы в давление; 5 – двухпозиционный регулятор; 6, 7 – задатчики; 8, 9 – элементы сравнения; 10 – триггер с отдельными входами; 11 – трехходовой клапан; 12, 13, 14 – каналы

Триггером называется устройство, имеющее два устойчивых положения. Выходной сигнал триггера может иметь только два значения, одно из которых условно принято за "ноль", а второе за "единицу". При поступлении на один из входов единичного сигнала выходной сигнал триггера становится равным нулю. Такой вход называется входом установки нуля и на схеме обозначается знаком "0". Единица, поступающая на второй вход, переводит триггер в единичное состояние, т.е. на его выходе формируется единичный сигнал. Такой вход называется входом установки единицы и на схеме обозначается знаком "1".

Давление P_4 на выходе преобразователя 4 пропорционально силе, действующей на его входе.

Сила F , действующая на преобразователь 4 равна $F = G - F_a$, где G – вес сосуда 1, капилляра 2 и трубки 3; F_a – сила Архимеда (выталкивающая сила).

В начальный момент времени в сосуде 1 жидкость отсутствует. Вес G принимает минимальное значение. Поэтому давление на выходе преобразователя 4 минимальное и меньше, чем P_{\min} . Поэтому на выходе элемента сравнения 8 давление $P_8 = 1$.

Давление $P_8 = 1$ (рис. 4.2) переводит триггер в нулевое состояние. Давление $P_{\text{вых}} = 0$ позволяет пружине трехходового клапана 11 соединить канал 12 с каналом 13. Поэтому в сосуде 1 давление становится равным P_v (вакууму). Под действием разности давления ΔP_k на капилляре начинает заполняться сосуд 1

$$\Delta P_k = (P_a + P_r) + P_v, \quad (4.1)$$

где P_a – давление в аппарате; P_r – гидростатическое давление, обусловленное глубиной погружения сосуда 1 и капилляра 2; P_v – давление вакуума (разряжение), поступающего от внешнего источника.

По мере заполнения сосуда 1 возрастает сила, действующая на преобразователь 4. Давление P_4 становится больше, чем P_{\min} и поэтому давление на выходе элемента 8 становится равным нулю. В некоторый момент времени давление P_4 становится больше, чем P_{\max} , поэтому на выходе элемента 9 появится давление равное единице. Сигнал $P_9 = 1$ переведет триггер 10 в единичное состояние и давление на выходе устройства станет равным единице $P_{\text{вых}} = 1$.

Под действием давления $P_{\text{вых}} = 1$ клапан 11 соединяет каналы 14 и 12. Постоянное давление P_0 поступает в трубку 3 и сосуд 1 и начинается истечение жидкости через капилляр 2 под действием перепада давления ΔP_k

$$\Delta P_k = P_0 - (P_a + P_r), \quad (4.2)$$

где P_0 – постоянное давление от внешнего источника; P_a – давление в аппарате; P_r – гидростатическое давление, действующее на срезе капилляра.

Таким образом, на выходе устройства формируются пневматические импульсы, длительность которых пропорциональна искомой вязкости жидкости. На временной диаграмме $\eta - t$ (рис. 4.2) изображен тот случай, когда вязкость жидкости растёт и пропорционально этому увеличивается интервалы истечения ($\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$). На диаграмме отмечены три измеренных значения вязкости жидкости η_1, η_2, η_3 .

Таким образом, применяемый метод измерения и пробоотбора позволяет измерять значения искомого параметра только в некоторые моменты времени.

Выявим источники погрешности измерения вязкости, т.е. найдем те величины, которые влияют на точность измерения вязкости жидкости изучаемым устройством. Заполнение сосуда I происходит под действием перепада давления, определяемого по формуле (4.1). Довольно сложно стабилизировать в такой схеме давление вакуума P_v , поэтому заполнение происходит при изменяющемся перепаде.

Требуемая доза жидкости θ_3 отбирается точно, так как скорость заполнения сосуда I не влияет на точность набора. Это обусловлено тем, что величина дозы определяется разностью давлений P_{max} и P_{min} , выставяемых задатчиками 6 и 7 .

Истечение жидкости из капилляра происходит под действием перепада давления, определяемого по формуле (4.2). Изменения давления P_a в аппарате и уровня заполнения аппарата уменьшают точность измерения вязкости. Следует ввести коррекцию в процессе истечения жидкости через капилляр в том случае, когда давления P_a и P_r изменяются в процессе измерения.

Устройство контроля вязкости жидкости [56] с дискретным пробоотбором и блоком автоматической коррекции (рис. 4.3) содержит измерительный сосуд I с капилляром 2 , соединенный газоподводящей трубкой 3 с преобразователем силы в давление 4 , выход которого соединен с входом двухпозиционного регулятора 5 . Трехходовой клапан 6 , соединяющий канал 7 или с каналом 8 , или с каналом 9 в зависимости от значения выходного давления $P_{вых}$ регулятора 5 . Выход гидростатического уровнемера 10 соединен с плюсовым входом сумматора 11 , второй плюсовой вход которого, соединен с выходом задатчика 12 . Работа основной части устройства описана выше.

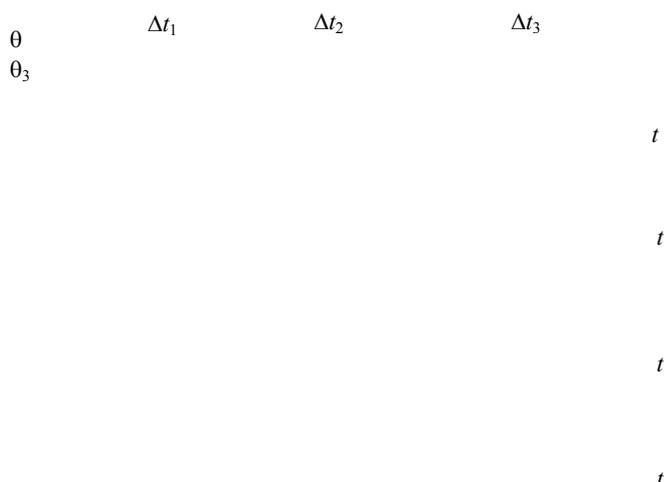
Рассмотрим как функционирует блок автоматической коррекции, выполненный на гидростатическом уровнемере 10 , сумматоре 11 и задатчике давления 12 .

При нормальном давлении над поверхностью жидкости ($P_a(t) = P_{a0}$) и номинальном уровне жидкости в технологическом аппарате ($h(t) = h_0, P_{11} = P_0 + P_{a0} + \rho gh_0$). Истечение жидкости через капилляр 2 происходит под действием перепада давления ΔP_k : $\Delta P_k = P_{11} - P_{a0} - \rho gh_0 = P_0$.

В случае повышения давления над поверхностью жидкости ($P_a(t) = P_{a0} + \Delta P$) и уровня жидкости в аппарате ($h(t) = h_0 + \Delta h$) истечение жидкости через капилляр 2 происходит под действием перепада давления ΔP_k .

$$\begin{aligned} \Delta P_k &= P_{11} - P_a(t) - \rho gh(t) = \\ &= P_{a0} + \Delta P + \rho g(h_0 + \Delta h) + P_0 - (P_{a0} + \Delta P) - \rho g(h_0 + \Delta h) = P_0. \end{aligned}$$

Таким образом, не смотря на колебания давления и уровня жидкости в технологическом аппарате, истечение жидкости через капилляр 2 происходит при заданном перепаде давления $\Delta P_k = P_0$. Величина давления P_0 выставяется задатчиком 12 .



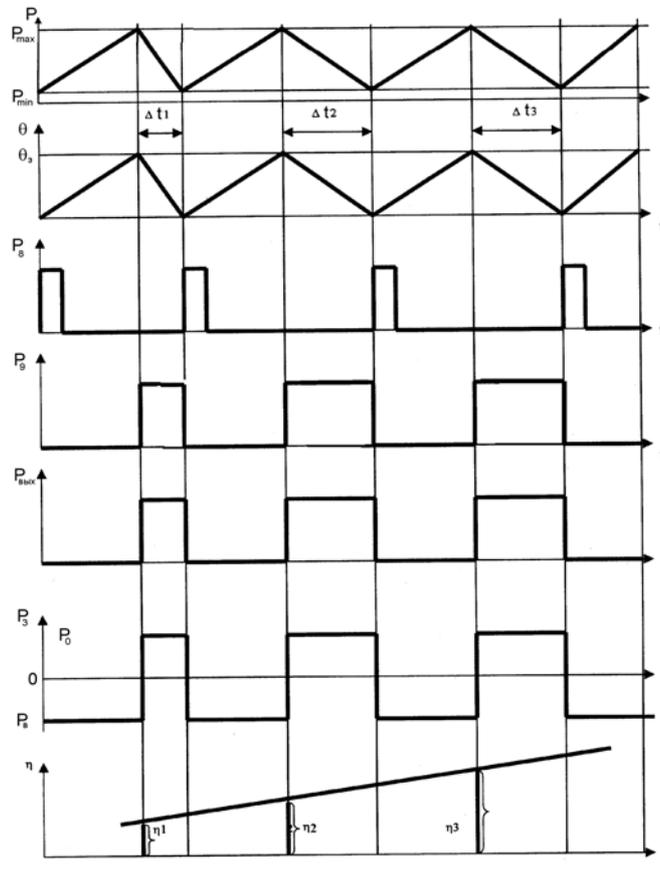


Рис. 4.2 Временная диаграмма работы устройства контроля вязкости жидкости в технологическом аппарате с дискретным пробоотбором

Блок автоматической коррекции обеспечивает постоянство перепада давления в процессе истечения, благодаря чему на процесс измерения не влияют колебания давления и уровня в аппарате.

На временной диаграмме (рис. 4.4) рассмотрим тот случай, когда вязкость жидкости постоянна. При первом измерении вязкости давление P_a и уровень жидкости в аппарате равны своим номинальным значениям. Затем давление P_a увеличилось на ΔP_a и уровень жидкости увеличился на Δh относительно своих номинальных значений.

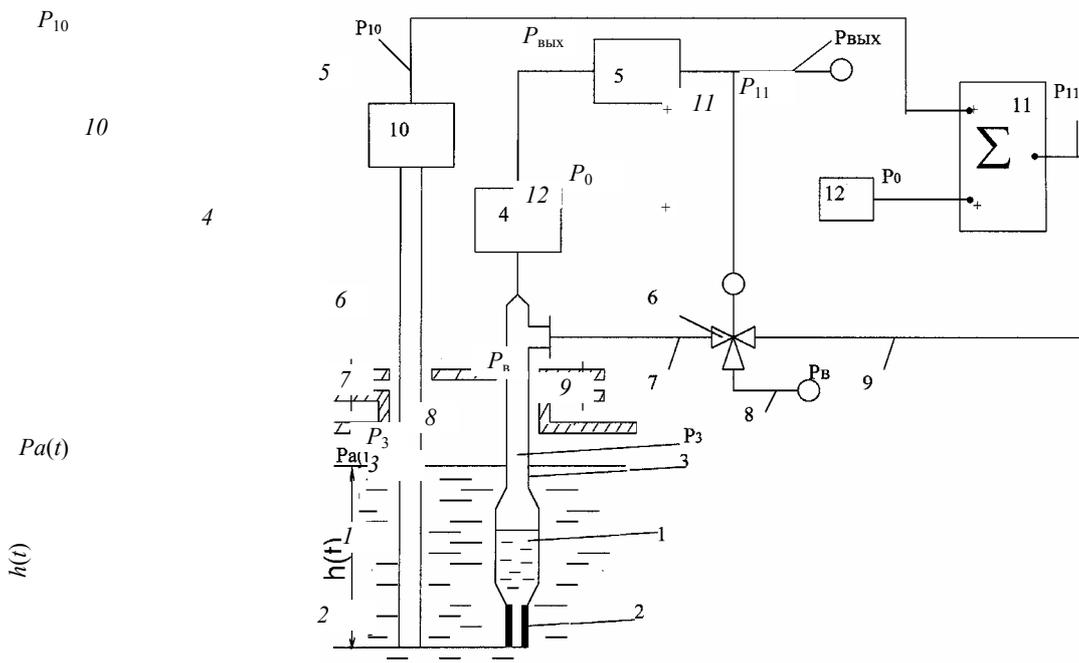


Рис 4.3 Устройство контроля вязкости жидкости с дискретным пробоотбором с блоком коррекции:

1 – измерительный сосуд; *2* – капилляр; *3* – газоподводящая трубка;
4 – преобразователь силы в давление; *5* – двухпозиционный регулятор;
6 – трёхходовой клапан; *7, 8, 9* – каналы; *10* – гидростатический уровнемер;
11 – сумматор; *12* – задатчик

При втором измерении вязкости получают значение вязкости η_2 равное значению вязкости η_1 при первом измерении.

Далее давление P_a уменьшается на ΔP_a , уровень уменьшается на Δh относительно своих номинальных значений.

При третьем измерении получают значение вязкости η_3 равное значениям η_2 и η_1 .

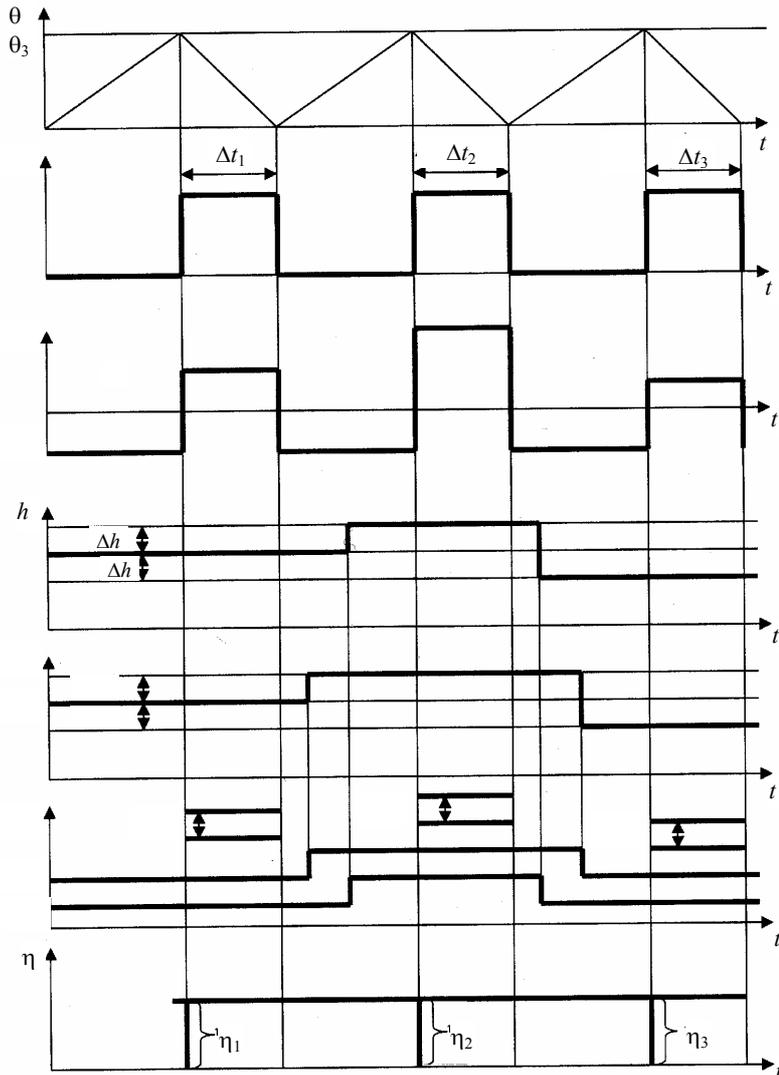


Рис. 4.4 Временная диаграмма работы устройства контроля вязкости с дискретным пробоотбором с блоком коррекции

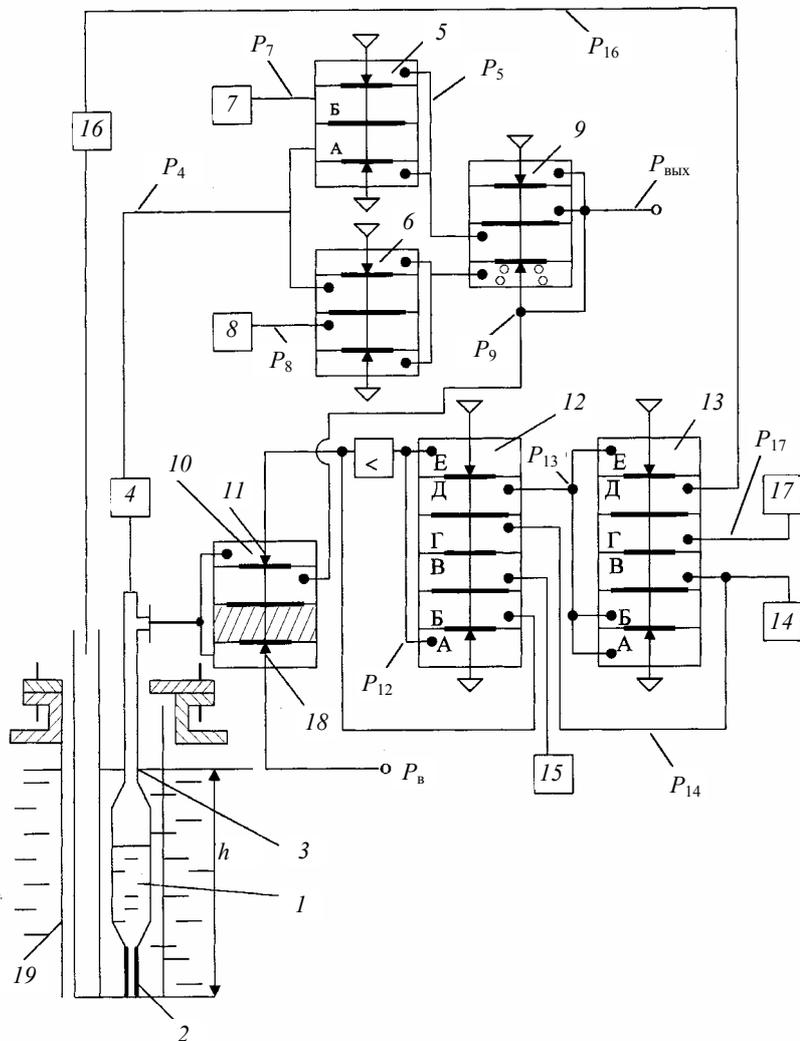


Рис. 4.5 Принципиальная схема устройства контроля вязкости жидкости с дискретным пробоотбором с блоком коррекции:

- 1 – измерительный сосуд; 2 – капилляр; 3 – газоподводящая трубка;
 4 – преобразователь силы в давление; 5, 6 – трехмембранные элементы сравнения; 7, 8 – задатчики давления; 9 – триггер с отдельными входами; 11 – сопло; 12, 13 – пятимембранные элементы сравнения;
 14, 15 – задатчики давления;
 16 – гидростатический уронемер; 17 – задатчик; 18 – сопло; 19 – защитный кожух

Устройство контроля вязкости жидкости с дискретным пробоотбором и блоком коррекции (рис. 4.3) может быть реализовано на электрических, пневматических или гидравлических элементах.

Опишем работу устройства реализованного на пневматических элементах УСЭППА (рис. 4.5). Двухпозиционный регулятор реализован на двух трехмембранных элементах сравнения 5 и 6, двух задатчиках давления 7 и 8, триггера 9 с отдельными входами, построенном на трехмембранном реле с пружиной. Сумматор 11 (рис. 4.3) выполнен на двух пятимембранных элементах сравнения 12 и 13, задатчиках 14 и 17, усилителе мощности, вход которого подключен к выходу элемента 12. Роль задатчика 12 (рис. 4.3) выполняет задатчик 15. Трехходовой клапан 6 (рис. 4.3) реализован на трехмембранном реле 10 с подпором.

На задатчике 17 выставляется давление определяемое номинальными значениями давления P_{a0} и уровня h_0 жидкости в технологическом аппарате

$$P_{17} = P_{a0} + \rho g h_0.$$

Для элементов сравнения 12 и 13 справедливы следующие равенства:

$$P_{13} = P_{16} - P_{17} + P_{14},$$

$$P_{12} = P_{13} - P_{14} + P_{15}.$$

Тогда $P_{12} = P_{16} - P_{17} + P_{15}$.

Перепад давления ΔP_k на капилляре 2 определяется следующим образом

$$\Delta P_k = P_{12} - P_{16} = P_{15} - P_{17}.$$

Колебания давления и уровня жидкости в технологическом аппарате не влияют на величину перепада давления на капилляре 2.

Таким образом, истечение жидкости через капилляр будет происходить при постоянном перепаде давления, не смотря на то, что изменилась глубина погружения капилляра и давление внутри технологического аппарата.

4.3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОБООТБОРНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКИХ СРЕД В ЗАКРЫТЫХ АППАРАТАХ

Получение информации о физико-химических свойствах жидких сред, находящихся в технологических аппаратах, пневматическими методами является актуальной задачей. Одним из перспективных путей решения такой задачи может быть разработка способов и устройств для контроля вязкости $\eta_{ж}$ на основе камерного первичного преобразователя (КПП) с жесткими стенками. При работе таких устройств в автоматическом режиме КПП выполняет функцию первичного измерительного преобразователя, а также ряд вспомогательных операций, осуществление контроля без которых было бы невозможно.

Принцип действия капиллярного пневматического погружного автоматического вискозиметра основан на измерении времени истечения жидкости через капилляр. До настоящего момента такой способ измерения вязкости посредством измерения времени истечения заданной дозы жидкости использовался только в устройствах выносного типа.

Измерительный блок 7 (рис. 4.6) погружен в контролируемую жидкость 4, находящуюся в закрытом аппарате 6. Измерительная емкость 2 с капиллярной трубкой истечения 1 жестко закреплена на аппарате 6. В верхней части емкости 2 размещен тарельчатый клапан 3, соединенный газоподводящей трубкой 5 с подвижным дном 8 сильфонного блока 13. Вход 12 сильфонного блока 13 подключен к входу 11 блока управления 10 и к входу вторичного прибора 9.

Схема блока управления 10 выполнена из элементов УСЭПА и содержит сумматор 18 (П2ЭС.3), входы которого соединены с задатчиком 17 (П23Д.3) и с входом 16, соединенным с полостью над контролируемой жидкостью в аппарате 6. Выход сумматора 18 подключен ко входу пневмореле 19 (П1Р.1), реализующего логическую функцию "Запрет". Управляющий вход сумматора подключен к входу триггера 22, выполненного на основе пневмореле с фиксированным начальным положением (П1Р.2), к входу 11 блока управления и к входу импульсатора 24, содержащего реле (П1Р.1), дроссель (П2Д.2) и пневматическую емкость (ПОЕ-50). К выходу импульсатора 24 подключен вход 23 триггера 22.

Вход 21 триггера 22 подключен к входу инвертора 20 (П1Р.1), с выходом которого соединен выход пневмореле 19 и выход 15 блока управления 10. Выход 15 блока 10 подключен в пространство 14 между сильфонами, которое в свою очередь через трубку 5 соединено с измерительной емкостью 2.

Процессы, происходящие в КПП с жесткими стенками, описываются системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = Ah + B_1 P_k + C_1, \\ P_k \frac{dh}{dt} + h \frac{dP_k}{dt} = B_2 P_k + C_2, \end{cases} \quad (4.1)$$

где A, B_1, C_1, B_2, C_2 – коэффициенты, значения которых приведены в таблице; P_k – давление газа в емкости 2; h – высота газового пространства в емкости 2.

Пусть в начальный момент времени емкость 2 заполнена жидкостью, на поверхность которой подано давление P_k . Жидкость вытекает из емкости 2 по капиллярной трубке 1 под действием давления

$$P_k = P_{17} + P_6,$$

где P_{17} – давление на выходе задатчика 17; P_6 – давление в аппарате с контролируемой средой.

Процессы, происходящие в КПП при вытеснении из него жидкости, описываются системой дифференциальных уравнений (4.1) которую после подстановки соответствующих коэффициентов из табл. 4.1 запишем в виде

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = \frac{\alpha_4 g h}{S} + \frac{\alpha_4}{\rho_c S} P_k + \frac{\alpha_4 (\rho_c g l - P_4)}{\rho_c S}, \\ P_k \frac{dh}{dt} + h \frac{dP_k}{dt} = -\frac{\alpha_1 R T}{S} (P_k - P_1). \end{cases} \quad (4.2)$$

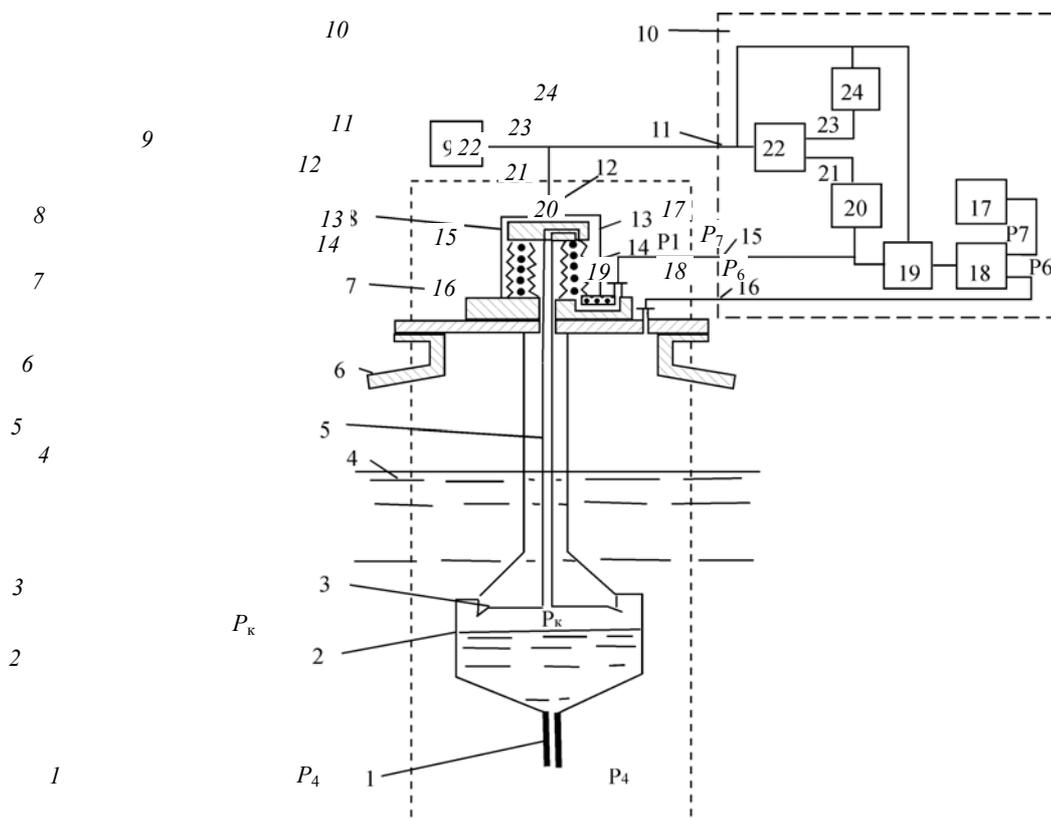


Рис. 4.6 Капиллярный погружной автоматический вискозиметр с дискретным пробоотбором

Так как α_1 – проводимость газоподводящей трубки 5 при течении по ней газа велика, то $P_k = P_1$ и $P_4 = \rho_{ж}gH + P_6$, где H – глубина погружения КПП. Давление $P_1 = P_k$ поддерживается с погрешностью не более 0,75 %, определяемой погрешностью задатчика 17 и сумматора 18,

Из первого уравнения системы (4.2) получим

$$S \frac{dh}{dt} = \alpha_4 \left(\frac{P_1}{\rho_c} - gh - g(H-l) - \frac{P_6}{\rho_c} \right),$$

но так как

$$\frac{P_1}{\rho_c} - g(H-l) - \frac{P_6}{\rho_c} = K = \text{const},$$

то

$$\frac{dh}{dt} + \frac{\alpha_4 g}{S} h = \frac{\alpha_4}{S} K. \quad (4.3)$$

Решая уравнение (4.3) относительно времени истечения τ_n дозы контролируемой жидкости, т.е. изменения уровня h от 0 до l , получим

$$\tau_n = \frac{S}{\alpha_4 g} \ln \left(1 + \frac{\rho_c g l}{P_1 - (P_6 + \rho_c g H)} \right). \quad (4.4)$$

В капиллярных вискозиметрах режим течения контролируемой жидкости должен быть устойчивым ламинарным, т.е. когда число Рейнольдса $Re < 1400$. Проводимость капиллярной трубки l при таком режиме течения с учетом краевых эффектов

$$\alpha_4' = \alpha_4 \left(1 + \frac{d_1}{32l_1} Re \right),$$

где $\alpha_4 = \pi d_1^4 / 128 \nu_{ж} l_1$ – проводимость капиллярной трубки l без учета краевых эффектов; $\nu_{ж}$ – кинематическая вязкость жидкости. Так как

$$Re = \frac{4V}{\pi \tau_n d_1 \nu_c},$$

где V – объем вытекшей жидкости, то после подстановки α_4' в выражение (4.4) и последующего преобразования получим

$$\tau_{и} = \frac{128\nu_c S l_1}{\pi g \alpha_4^4} \ln \left[1 + \frac{\rho_c g l}{P_1 - (P_6 + \rho_c g H)} \right] - \frac{V}{8\pi l_1 \nu_c}. \quad (4.5)$$

После окончания процесса вытеснения жидкости начинается операция разгрузки (сброса давления) пневматической емкости 2 (см. табл. 4.1) через газовый разгрузочный дроссель с проводимостью α_3 . Для рассматриваемой конструкции автоматического вискозиметра после окончания истечения жидкости функцию разгрузочного газового дросселя выполняет капиллярная трубка 1, проводимость которой по отношению к протекающему по ней газу $\alpha_{4г} \rightarrow \max$. Время разгрузки пневматической емкости $\tau_p \rightarrow 0$, поэтому давление P_k быстро уменьшается и принимает значение, являющееся начальным:

$$P_k = \rho_{ж} g H + P_6 = P_{кн}.$$

Сбросом давления из емкости 2 фиксируется окончание процесса истечения дозы контролируемой жидкости.

Давление $P_{кн}$ поступает из емкости 2 на вход инвертора 20, на выходе которого при этом появляется сигнал единичного уровня $P_{20} = 1$. Этим сигналом триггер 22 переводится в состояние с выходным давлением $P_{22} = 1$, которое поступает на вход управления реле 19 и запрещает прохождение давления P_{18} в полость емкости 2.

Давление $P_{22} = 1$ поступает на вход 12 сильфонного блока 13 и перемещает его жесткое дно 8. Это перемещение передается посредством газоподводящей трубки 5 тарельчатому клапану 3, который при этом перемещается вниз и открывает доступ контролируемой жидкости в полость измерительной емкости 2.

Измерительная емкость заполняется контролируемой жидкостью, причем процесс заполнения описывается системой уравнений

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = \frac{\alpha_2}{\rho_c S} (P_k - P_2), \\ P_k \frac{dh}{dt} + h \frac{dP_k}{dt} = \frac{\alpha_1 RT}{S} (P_3 - P_k). \end{cases} \quad (4.6)$$

Тарельчатый клапан 3 имеет большое проходное сечение, проводимость α_2 которого можно принять равной бесконечности, поэтому из первого уравнения системы (4.6) $P_k = P_2$, а второе уравнение при этом примет вид

$$\frac{dh}{dt} = - \frac{\alpha_3}{S P_2} RT (P_2 - P_3). \quad (4.7)$$

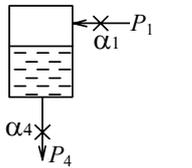
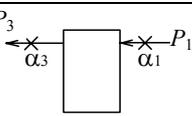
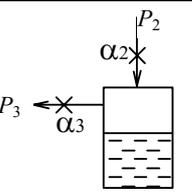
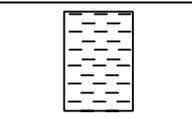
Так как $P_2 = P_{г1} + P_6$, где $P_{г1} = \rho_{ж} g H_1$ – гидростатическое давление на уровне H_1 погружения тарельчатого клапана 3, то решение уравнения (4.7) позволяет определить время τ_3 заполнения контролируемой жидкостью емкости 2 через тарельчатый клапан 3 в виде

$$\tau_3 = \frac{l S P_2}{\alpha_3 RT (P_2 - P_3)}. \quad (4.8)$$

Давление $P_{22} = 1$ поступает на вход импульсатора 24, который срабатывает через промежуток времени $\delta\tau$, и на вход 23 триггера 22 поступит сигнал единичного уровня, которым триггер переводится в состояние с нулевым выходным сигналом. Нулевой сигнал с выхода триггера снимает запрет с реле 19 на подачу давления с выхода сумматора 18 в полость измерительной емкости 2.

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ (4.1), ОПИСЫВАЮЩЕЙ КПП ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИМ РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Операция	Схема реализующего КПП	Коэффициенты системы уравнений

Процесс истечения контролируемой жидкости (измерение)		$A = -\alpha_4 g / S;$ $B_1 = \alpha_4 / \rho_{ж} S;$ $C_1 = \alpha_4 (\rho_{ж} g l - P_4) / \rho_{ж} S;$ $C_2 = \alpha_1 RT / S;$ $B_2 = -\alpha_1 RT / S$
Сброс давления из емкости и фиксация окончания измерения		$A = 0; B = 0;$ $C_1 = 0;$ $B_2 = -(\alpha_1 + \alpha_3) RT / S;$ $C_2 = (\alpha_1 P_1 + \alpha_3 P_3) RT / S$
Отбор пробы (заполнение КПП жидкостью)		$A = 0;$ $B_1 = \alpha_2 / \rho_{ж} S;$ $C_1 = -\alpha_2 P_2 / \rho_{ж} S;$ $B_2 = -\alpha_3 RT / S;$ $C_2 = \alpha_3 P_3 RT / S$
Фиксация окончания процесса отбора пробы		$A = 0; B_1 = 0;$ $C_1 = 0; B_2 = 0; C_2 = 0$

Время фиксации τ_{ϕ} нового состояния определяется в основном разностью времени сдвига переднего фронта импульса $P_{22} = 1$ импульсатором 24 и времени τ_3 заполнения емкости 2 контролируемой жидкостью, т.е. $\tau_{\phi} = \delta\tau - \tau_3$.

Под действием давления, создающегося в измерительной емкости 2, и пружины, установленной в сильфонном блоке 13, при поступлении на вход 12 сильфонного блока давления нулевого уровня тарельчатый клапан 3 закрывается. Течение жидкости и газа по дросселям при этом отсутствует.

Вновь жидкость вытесняется поступившим в емкость давлением через капиллярную трубку истечения в технологический аппарат.

Дальнейшая работа устройства осуществляется аналогично рассмотренному выше.

Истечение жидкости из емкости 2 происходит под действием избыточного давления P_k . В приборах, использующих внешнее избыточное давление для продавливания жидкости, гидростатическое давление является только поправкой и нет необходимости определять плотность $\rho_{ж}$ с высокой точностью.

В автоматических капиллярных вискозиметрах, как правило, вязкость измеряется сравнением скоростей течения контролируемой жидкости и эталонной, вязкость которой измерена образцовым вискозиметром. Использование таких устройств в промышленности позволяет быстро и просто с достаточной точностью сравнить и оценить качество продуктов в жидком состоянии непосредственно при их производстве и хранении.

Предложенный вискозиметр имеет выходной сигнал в виде пневматического импульса прямоугольной формы с длительностью, равной времени истечения дозы контролируемой жидкости. Для согласования выходного сигнала вискозиметра с входом вторичного прибора, шкала которого проградуирована в единицах вязкости, в конструкции последнего применяется специ-

альный согласующий блок. При этом, используя известные пути преобразования сигналов, можно получить выходной сигнал в цифровой форме.

Рассмотренный выше автоматический капиллярный вискозиметр реализует пневматический способ контроля вязкости. Все операции, направленные на реализацию способа, описываются одной общей системой дифференциальных уравнений с коэффициентами, определяемыми реализуемой КПП функцией. При этом любая из осуществляемых КПП операций может быть проанализирована теоретически.

4.4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕДИНЕННОЙ ПРОБЫ

Возможны два способа отбора пробы. Согласно первому отбирают пробу при заданном времени, причем объем пробы не ограничивается. Такой способ целесообразен для проведения лабораторных исследований. По второму способу отбирается заданное количество жидкости. Время пробоотбора не лимитируется. Такой способ наиболее удобен для создания автоматического устройства контроля.

Математическое описание процесса, протекающего при измерении, базируется на уравнении Пуазейля. Объемный расход жидкости, поступающей в пробоотборную трубку равен

$$Q_i = \frac{\pi d_k^4 \Delta P_i}{128 \eta l_i},$$

где d_k – диаметр капилляра, м; ΔP_i – перепад давления в пробоотборной трубке. Па; η – динамическая вязкость исследуемой жидкости, Па·с; l_i – длина i -го капилляра, м; $i = 1, 2, 3$.

Величина перепада давления определяется так

$$\Delta P_i = P_b + \rho g h_i,$$

где P_b – давление разрежения. Па; h_i – глубина, на которой находится капилляр, м.

Точечный отбор проб проводят при соотношении объемов 1:2:1 проб, взятых в верхней части технологического аппарата, в средней и нижней частях:

$$V_1 = V_0; \quad V_2 = 2V_0; \quad V_3 = V_0, \quad (4.9)$$

где V_1, V_2, V_3 – объемы проб, взятых в верхней, средней и нижней частях технологического аппарата соответственно; V_0 – заданный объем.

С другой стороны, объемный расход определяют как соотношение объема отбираемой пробы V_i ко времени истечения пробы Δt_i

$$Q_i = V_i / \Delta t_i.$$

Для объемов V_1, V_2, V_3 жидкости, проходящей через каждый капилляр, справедливы следующие равенства:

$$V_1 = \frac{\pi d_k^4 (P_b + \rho g h_1) \rho \Delta t_1}{128 \eta l_1}; \quad V_2 = \frac{\pi d_k^4 (P_b + \rho g h_2) \rho \Delta t_2}{128 \eta l_2};$$

$$V_3 = \frac{\pi d_k^4 (P_b + \rho g h_3) \rho \Delta t_3}{128 \eta l_3}.$$

При одинаковом и постоянном времени объемы V_1, V_2, V_3 заполнения через каждый капилляр зависят от геометрических размеров капилляров (диаметр и длина). Из (4.9) получим

$$\frac{\pi d_k^4 (P_b + \rho g h_1) \rho \Delta t}{128 \eta l_1} = \frac{\pi d_k^4 (P_b + \rho g h_2) \rho \Delta t}{2 \cdot 128 \eta l_2} = \frac{\pi d_k^4 (P_b + \rho g h_3) \rho \Delta t}{128 \eta l_3}.$$

После преобразования получаем следующие соотношения

$$\frac{P_b + \rho g h_1}{l_1} = \frac{(P_b + \rho g h_2)}{2l_2} = \frac{P_b + \rho g h_3}{l_3}. \quad (4.10)$$

Введем обозначения

$$C_1 = P_b + \rho g h_1, \quad C_2 = 0,5(P_b + \rho g h_2), \quad C_3 = P_b + \rho g h_3. \quad (4.11)$$

Выражение (4.11) с учетом (4.10) запишется так

$$C_1/l_1 = C_2/l_2 = C_3/l_3.$$

Длины второго и третьего капилляров выражаются через длину первого капилляра

$$l_2 = l_1 C_2 / C_1, \quad l_3 = l_1 C_3 / C_1.$$

Из конструктивных соображений зададимся одним и тем же диаметром для каждого из капилляров. Выберем следующие конструктивные размеры:

$$d_k = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad P_b = 0,4 \cdot 10^5 \text{ Па}; \quad V_1 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3; \quad V_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$V_3 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

По условию высота технологического аппарата делится на три равные части. Каждая проба отбирается на середине соответствующего участка. Тогда соотношение между высотой технологического аппарата H и глубинами погружения капилляров h_1, h_2, h_3 имеет следующий вид:

$$h_1 = \frac{1}{6}H, \quad h_2 = \frac{1}{2}H, \quad h_3 = \frac{5}{6}H.$$

Зададимся длиной первого капилляра $l_1 = 20 \cdot 10^{-3}$ м. Вычислим длины второго и третьего капилляров для трех значений высоты аппарата для жидкости с плотностью $\rho = 1183$ кг/м³. Данные сведем в табл. 4.2.

Таблица 4.2

$H, \text{ м}$	3	6	9
$l_1, 10^{-3} \text{ м}$	20	20	20
$l_2, 10^{-3} \text{ м}$	12,53	14,49	16,06
$l_3, 10^{-3} \text{ м}$	30,12	37,98	44,24

При выводе статической характеристики пробоотборного устройства положено в основу уравнение Пуазейля. После получения численных значений геометрических размеров капилляров необходимо проверить выполнение условия ламинарного течения. Критерий Рейнольдса Re должен быть меньше 1400

$$Re = Wd\rho/\eta < 1400, \quad (4.12)$$

где W – скорость жидкости в капилляре, м/с; d – диаметр капилляра, м; ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Выразим объемный расход Q через скорость W и площадь сечения S капилляра

$$Q = WS = W\pi d^2/4. \quad (4.13)$$

Учитывая (4.12) и (4.13) получим

$$Q < 350\pi d\eta/\rho.$$

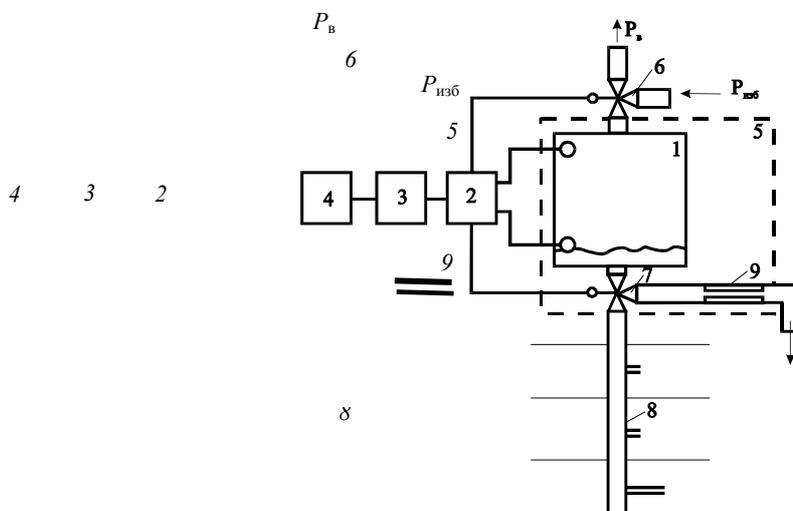


Рис. 4.7 Структурная схема устройства контроля вязкости жидкости в технологическом аппарате:

- 1 – емкость для анализируемой жидкости; 2 – блок управления;
- 3 – преобразователь; 4 – регистрирующий прибор; 5 – термостат;
- 6, 7 – исполнительные механизмы; 8 – пробоотборная трубка с тремя капиллярами; 9 – измерительный капилляр

Подставив в уравнение Пуазейля численные значения величин, получим:

$$Q = (3,14 \cdot 3^4 \cdot 10^{-12} \cdot (0,4 \cdot 10^5 + 1183 \cdot 9,8 \cdot 3) \cdot 1183) / (128 \cdot 1,2 \cdot 129 \cdot 10^{-3}) = 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с},$$

$$350 \cdot 3,14 \cdot 1,2 \cdot 3 \cdot 10^{-3} / 1183 = 3,34 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}.$$

Условие ламинарности выполняется.

Блок 2 (рис. 4.7) с помощью ИМ6 и ИМ7 подает вакуум в емкость 1 и соединяет ее с трубкой 8. Начинается заполнение емкости 1 исследуемой жидкостью через пробоотборную трубку 8.

При полностью заполненной емкости 1 блок 2 переключает ИМ6 и ИМ7. В емкость 1 подается постоянное избыточное давление и жидкость начинает продавливаться через капилляр 9. Прибор 4 регистрирует интервал времени истечения жидкости через капилляр, который пропорционален искомой вязкости жидкости.

Таким образом, устройство формирует объединенную пробу жидкости, находящейся в технологическом аппарате, и определяет искомую вязкость.

4.5 ПОСТРОЕНИЕ ПРОБООТБОРНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ШЛЮЗОВАНИЯ

Наиболее полно отвечающими специфике потенциально опасных производств являются пневмогидравлические методы и средства контроля и управления. Для обеспечения возможности использования в условиях производства, а также для их реализации, часто основным и необходимым требованием является исключение короткого замыкания, т.е. сквозного протока вещества.

Использование принципа шлюзования (от латинского "exclude" – отделяю), как процесса передачи заданного количества вещества из одного объекта в другой, исключающего режим сквозного протока, способствует развитию пневмогидравлических средств контроля. Такой принцип позволяет не только реализовать известные методы контроля, но и создавать новые, а также повысить точность и надежность автоматических устройств.

Процессы шлюзования находят применение в различных областях техники: перевод судов в реке с одного уровня на другой (шлюз судоходный); вентиляционный шлюз в шахтах; шлюзовой отсек космического корабля; пусковые шахты подводных лодок; подача жидкости шестеренчатыми, перистальтическими и пластинчатыми насосами; обогащение полезных ископаемых; а также в вычислительной технике [57]; при пробоотборе жидкости или газа из технологических аппаратов [2] и др.

Однако, до настоящего времени нет обобщенного теоретического и конструктивного подхода к их использованию в целях контроля веществ.

В работе [58] рассмотрены особенности принципа шлюзования применительно к контрольно-измерительной технике, приведены зависимости информационных параметров от контролируемых.

В зависимости от поставленных задач шлюзование веществ может осуществляться как при сохранении постоянным величин уровня или давления контролируемого вещества (потенциальное шлюзование), так и потока (расходное шлюзование). Для потенциального шлюзования характерно постоянство дозы отбираемого вещества и пульсация расхода, а для расходного – непрерывный расход [58].

В процессе потенциального шлюзования пульсации потока выходной линии происходят вследствие выброса в нее заданных объемов. Проведение расходного шлюзования возможно при различных соотношениях давлений во входной и выходной линиях. Пульсации потока в выходной линии отсутствуют, так как заполнение и разгрузка осуществляются синхронно.

Известно использование потенциального шлюзования в пневматической вычислительной технике в устройствах, в основу которых положено пульсирующее пневматическое сопротивление [57].

Обобщенная структурная схема устройства, реализующего потенциальное шлюзование, представлена на рис. 4.8. При его работе заданное количество вещества передается из одного объекта, имеющего давление P_1 , в другой объект с давлением P_2 , причем $P_1 > P_2$.

Пусть из линии 1 при замыкании контакта 2 под действием давления P_1 газ поступает в емкость 3. Как только давление $P(t)$ изменит свое значение от нижнего уровня P_a до верхнего P_6 , причем $P_1 > P_6 > P_a > P_2 > P_{атм}$, контакт 2 размыкается, после чего контакт 4 замыкается.

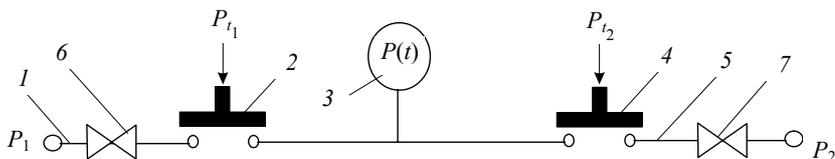


Рис. 4.8 Обобщенная структурная схема устройства, реализующего потенциальное шлюзование:

1 – входная линия; 2 – нормально-замкнутый контакт; 3 – емкость;

4 – нормально открытый контакт, 5 – выходная линия; 6, 7 – дроссели

Начинается процесс истечения газа в выходную линию. Если принять, что газ идеальный, процессы заполнения и разгрузки емкости 3 описываются дифференциальными уравнениями [58]

$$\begin{cases} \tau_1 \frac{dP(t)}{dt} + P(t) = P_1, & P(0) = P_a, \\ \tau_2 \frac{dP(t)}{dt} + P(t) = 0, & P(0) = P_6. \end{cases} \quad (4.14)$$

Решение (4.14) позволяет определить изменение давления $P(t)$ в процессе заполнения и разгрузки емкости 3 в виде:

$$P(t) = (P_a - P_1) \exp\left[-\frac{t}{\tau_1}\right] + P_1, \quad P(t) = P_6 \exp\left[-\frac{t}{\tau_2}\right]. \quad (4.15)$$

Из уравнения (4.15) время t_3 изменения давления от P_a до P_6 и время разгрузки t_p емкости 3 от давления P_6 до P_a определяется, соответственно,

$$t_3 = \tau_1 \ln((P_1 - P_a)/(P_1 - P_6)); \quad t_p = \tau_2 \ln(P_6 / P_a).$$

На рис. 4.9 представлена циклограмма работы устройства, реализующего потенциальное шлюзование.

В моменты окончания управляющего импульса $P_{11} = 1$ открывается контакт 2, его проводимость α_1 изменяется от максимального значения до нуля (интервал времени t_{12}). Для исключения режима сквозного протока из линии 1 в линию 5 предусмотрено размыкание контактов 2 и 4 в течение интервалов времени t_{23} . Под действием импульса P_{12} в момент времени t_3 контакт 4 закрывается, его проводимость α_2 в интервале времени t_{34} изменяется от 0 до максимального значения. Начинается разгрузка емкости 3 в выходную линию 5. Интервал времени t_{45} выбирается из условия полной разгрузки.

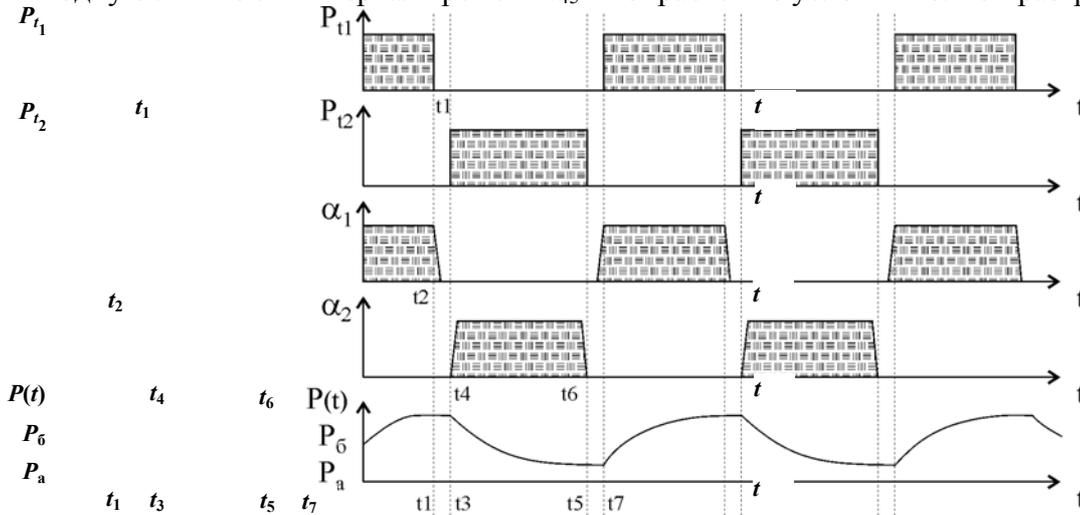


Рис. 4.9 Циклограмма работы устройства, реализующего потенциальное шлюзование

Выбор постоянных времени τ_1 и τ_2 зависит от динамических возможностей системы управления процессом шлюзования. Одним из наиболее простых путей решения задачи согласования является установка на линиях 1 и 5 сопротивлений 6 и 7 с проводимостями α_l и (или) α_r . При этом проводимость ламинарного дросселя в виде цилиндрической трубки

$$\alpha_l = \frac{\pi d^4 \rho}{128 \eta l},$$

а проводимость турбулентного дросселя

$$\alpha_r = aF \sqrt{2\rho}.$$

Как видно, величины $\alpha_{\text{л}}$ и $\alpha_{\text{т}}$ определяются конструктивными размерами и свойствами протекающей среды, поэтому при решении ряда задач контроля используют сопротивление как элемент, воспринимающий изменения контролируемой величины (плотность, вязкость и др.) [60].

В течение одного такта из линии 4 в линию 5 передается количество вещества $\Delta\theta$, определяемое из уравнения газового состояния в виде [59]:

$$\Delta\theta = \frac{V}{RT}(P_6 - P_a).$$

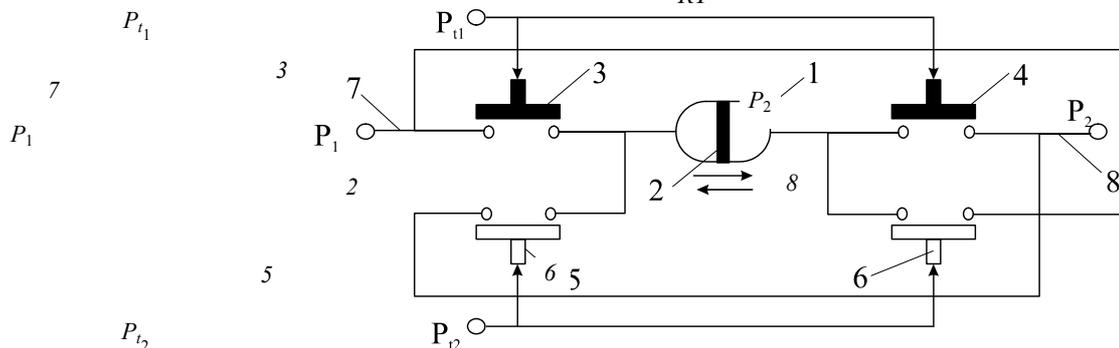


Рис. 4.10 Обобщенная структурная схема устройства, реализующего расходное шлюзование:

1 – емкость; 2 – перемещающийся элемент; 3, 4, 5, 6 – контакты; 7 – входная линия; 8 – выходная линия

Расходное шлюзование основано на компенсации объемов. Устройство, реализующее расходное шлюзование (рис. 4.10), состоит из емкости 1, имеющей перемещающийся элемент 2, контактов 3 ... 6. В начале работы контакты 3 и 4 замкнуты, контакты 5 и 6 разомкнуты. Входная линия 7 подключена к левой полости емкости 1, к правой полости которой подключена выходная линия 8. Элемент 2 перемещается из крайнего левого положения вправо. Под действием образующегося разрежения в емкость 1 поступает доза вещества из входной линии 7. Одновременно элемент 2 вытесняет набранную в предыдущем цикле дозу вещества в выходную линию 8. Как только элемент 2 достигнет крайнего правого положения (рис. 4.11) в момент времени t_1 , контакты 3 и 4 размыкаются, а в момент времени t_3 контакты 5 и 6 замыкаются, элемент 2 перемещается влево. В правой полости емкости 1 накапливается доза вещества из входной линии 7, а из левой полости емкости 1 в выходную линию 8 выталкивается набранная в предыдущем такте доза вещества.

Таким образом, из входной линии 7 в выходную линию 8 непрерывно передается заданное количество вещества. Изменение объема емкости 1 при необходимости можно осуществлять с различной скоростью. За один цикл изменения объема V из емкости 1 в выходную линию поступает газ в количестве

$$\Delta\theta = \frac{P_1 V_{\text{max}}}{RT}. \quad (4.16)$$

Количество передаваемого вещества, при постоянных величинах V_{max} и T , определяется давлением P_1 .

Если объект имеет внутренний источник газовыделений, например, при контроле герметичности изделий, химических, биологических и других реакций, то при потенциальном шлюзовании из формулы (4.16) получим

$$\theta = N\Delta\theta = NV(P_6 - P_a)/RT, \quad W = f(P_6 - P_a)V/RT = f\Delta\theta.$$

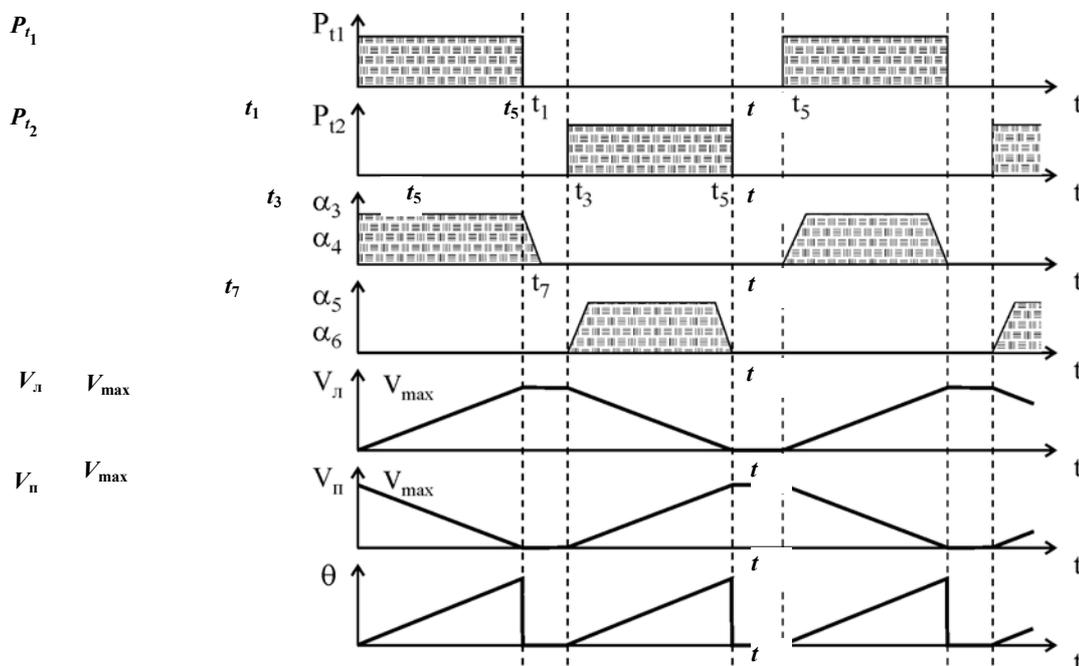


Рис. 4.11 Циклограмма работы устройства, реализующего расходное шлюзование

В расходном шлюзовании изменением объема емкости поддерживается постоянство давления во входной линии, при этом скорость изменения объема dV/dt пропорциональна скорости W газовой выделению

$$W = \frac{P_1}{RT} \frac{dV}{dt}.$$

Количество выделившегося газа за заданный интервал времени определяется количеством доз и значением объема V_1 емкости на момент измерения

$$\theta = \frac{P_1}{RT} (NV_{\max} + V_1).$$

Пробоотборные устройства в составе устройств для измерения скорости и количества выделяющихся газов. Имеется ряд химических и биохимических реакций, при осуществлении которых происходит выделение веществ в виде газов. Измерив выделившееся количество газов и используя стехиометрическое соотношение реакции, определяют реальное состояние процесса, а затем формируют управление процессом.

При контроле плотности в условиях пищевых производств необходимо проводить коррекцию на газосодержание исследуемой жидкости. В противном случае показания измерительного прибора будут соответствовать не плотности жидкости, а кажущейся плотности смеси жидкость – газ. Такая ситуация характерна для сахарных, крахмалопаточных, спиртовых и хлебопекарных заводов при измерении плотности и концентрации диффузионного сока, известкового молока, сатурационного сока, сахарного сиропа, крахмального молока, паточного сиропа, бродящей массы, раствора поваренной соли и др.

При контроле газопроницаемости пористых материалов и герметичности изделий необходимо определять количество газа, прошедшее через пористый материал или неплотности изделий.

Измерение скорости и количества выделяющихся газов от маломощного источника дает дополнительную информацию об исследуемом объекте и является актуальной задачей аналитического контроля веществ так как по измеренным параметрам (скорость и количество) выделяющихся газов возможно оценить газосодержание жидкостей, определить реальное состояние ряда химических и биохимических реакций, оценить газопроницаемость пористых материалов и герметичность изделий.

С использованием принципа шлюзования разработан ряд оригинальных конструкций устройств для измерения скорости и количества выделяющихся газов [59, 64, 65].

Рассмотрим устройство для измерения скорости и количества выделяющихся газов [59].

Золотниковый элемент 1 (рис. 4.12) содержит каналы 2, 3, 4 и золотник 5. Канал 2 соединен с источником выделяющихся газов. Канал 3 соединен с адиабатической емкостью. К каналу 4 подсоединена измерительная камера 6.

В начальный момент времени давление в измерительной камере 6 меньше минимальной настройки преобразователя 7, который формирует сигнал, приводящий триггер 8 в единичное состояние. Исполнительный механизм 9 переводит золотник 5 вниз, соединяя тем самым каналы 2 и 4 и закрывая канал 3.

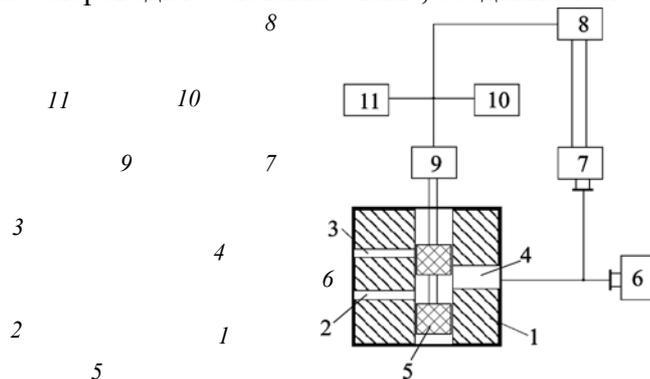


Рис. 4.12 Устройство для измерения скорости и количества выделяющихся газов:

- 1 – золотниковый элемент; 2, 3, 4 – каналы золотникового элемента;
 5 – золотник; 6 – измерительная камера; 7 – преобразователь давления;
 8 – триггер с раздельными входами; 9 – исполнительный механизм;
 10 – частотомер; 11 – счетчик импульсов

Выделяющиеся газы от источника через каналы 2 и 4 поступают в измерительную камеру 6, повышая в ней давление. Как только давление газа в камере 6 достигнет максимального значения, определяемого настройкой преобразователя 7, на выходе которого формируется сигнал, переводящий триггер 8 в нулевое состояние. Исполнительный механизм 9 переместит золотник 5 вверх, тем самым закроет канал 2 и соединит каналы 3 и 4. Газы из камеры 6 через каналы 4 и 3 поступят в адиабатическую емкость.

Как только давление в камере 6 станет меньше минимальной настройки преобразователя 7 произойдет переключение триггера 8 и вновь газы от источника будут поступать в камеру 6.

О скорости газовыделений W в устройстве судят по частоте ω переключений триггера 8, которая измеряется частотомером 10.

Количество θ выделившегося газа определяется количеством импульсов n , поступивших на счетчик 11.

Численные значения скорости и количества выделившегося газа определяются по следующим формулам:

$$W = \frac{V(P_1 - P_2)}{RT} \omega,$$

где W – скорость газовыделения, кг/с; V – объем камеры 6, м³; P_1, P_2 – максимальный и минимальный пределы срабатывания преобразователя 7, Па; R – газовая постоянная, Дж/(кг·К); T – температура газа, К; ω – частота переключения триггера 8, с⁻¹;

$$\theta = \frac{V(P_1 - P_2)}{RT} n,$$

где θ – количество выделившегося газа, кг; n – количество импульсов, поступивших на счетчик 8.

Таким образом, информация об измеряемых параметрах на выходе устройства представлена в виде последовательности прямоугольных импульсов, частота следования которых пропорциональна скорости газовыделений, а количество импульсов пропорционально количеству выделившегося газа.

Пробоотборное устройство в составе устройства для измерения вязкости газа. Известен способ измерения вязкости газа, основанный на пропускании исследуемого газа через ламинарный капилляр. Точность измерения вязкости определяется точностью стабилизации перепада давления на капилляре и точностью дозирования газа.

Пробоотборное устройство, построенное на принципе шлюзования, позволяет отбирать пробы газа с заданной точностью [60].

В начальный момент времени выходной сигнал триггера 9 равен нулю. Под действием подпора в камере Д пульсирующего сопротивления 1 мембранный блок опущен вниз и исследуемый газ через ка-

меры В и Б сопротивления l поступает в емкость 3, в которой газ накапливается до тех пор, пока не будет выполняться равенство $P_1 + P_7 > P_5$.

В этом случае выходной сигнал элемента сравнения 6 станет равным единице, которая переведет триггер 9 в единичное состояние. Сигнал $P_9 = 1$ поднимет вверх мембранный блок сопротивления l .

Газ из емкости 3 через камеры Б и А сопротивления l поступает в верхнюю камеру повторителя 2 и далее происходит истечение газа через трубку истечения 4 (ламинарный капилляр) и нижнюю камеру повторителя 2 в атмосферу.

Повторитель 2 обеспечивает постоянный перепад давления на трубке истечения 4.

Чем больше вязкость, тем длительнее истечение отобранной дозы газа через трубку 4. Вторичный прибор 11 регистрирует длительность прямоугольных импульсов, которая пропорциональна искомой вязкости исследуемого газа.

$$\eta_r = \frac{\pi d^4 \Delta P \rho R T}{128 P_7 V l} \Delta t,$$

где η_r – динамическая вязкость газа, Па·с; d, l – диаметр и длина капилляра, м; ΔP – перепад давления на капилляре, Па; ρ – плотность газа, кг/м³; T – температура газа, К; P_7 – давление на выходе задатчика 7, Па; V – объем емкости 3, м³; Δt – время истечения дозы газа, с.

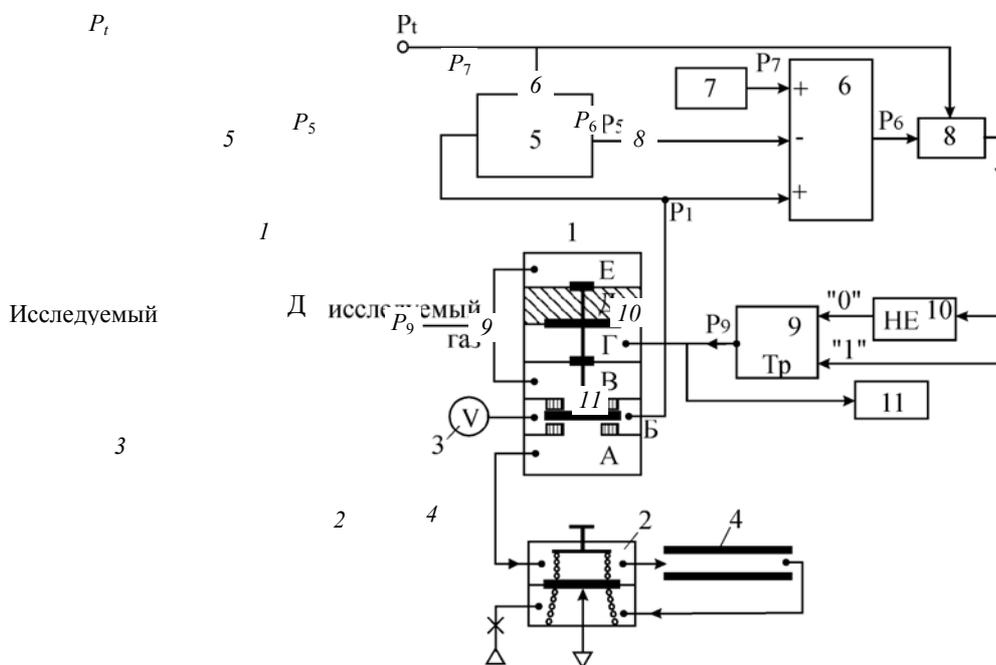


Рис. 4.13 Устройство для измерения вязкости газа с пробоотборным устройством:

1 – пульсирующее сопротивление; 2 – точный повторитель со сдвигом;

3 – дозирующая емкость; 4 – трубка истечения; 5 – узел памяти; 6 – элемент сравнения; 7 – задатчик давления; 8 – реле, реализующее логическую функцию "Запрет"; 9 – триггер с отдельными входами; 10 – реле, реализующее логическую функцию "НЕ"; 11 – вторичный прибор

Выделяющийся газ в источнике имеет различное давление. В элементе 6 сравнивается давление в источнике (давление P_5) с суммой давлений задатчика 7 (P_7) и текущее давление в емкости 3 (P_1). Независимо от колебаний давления газа в источнике элемент сравнения срабатывает в тот момент, когда разность давлений в источнике и в емкости 3 равна постоянному значению давления на выходе задатчика 7, т.е. при $P_5 - P_1 = P_7$ от источника отбираются одинаковые дозы газа, независимо от колебаний давления в источнике.

4.6 ПРОБООТБОР ЖИДКИХ СРЕД ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Наиболее сложно производить отбор пробы из технологического аппарата. Это обусловлено такими фактами, как протекание технологического процесса при высоких температурах и давлениях. Внутри аппарата вращается мешалка и расположен змеевик для подачи теплоносителя.

Далее рассмотрим пробоотбор при определении вязкости и кислотного числа при синтезе алкидных смол, газовой смеси, содержащей аммиак и кислород, из вакуум-аппарата сахарного производства.

Пробоотборные устройства в системах управления синтезом алкидных смол [61]. Разработанные и прошедшие испытания в условиях ряда промышленных производств системы оперативного автоматизированного контроля вязкости (η) и кислотности (к.ч.) реакционных технологических сред в процессе синтеза алкидных и полиэфирных смол: Алкид-39, АТВ-39 и ГА-ПС – открывают широкие возможности для управления технологическими процессами. Использование этих систем позволяет (при условии соблюдения рецептурного соотношения компонентов):

- на протяжении всего синтеза поддерживать заданное функциональное соотношение параметров η и к.ч. (в качестве примера такая зависимость получена при синтезе смолы ПФ-060 – рис. 4.14);
- контролировать концентрацию "легколетучего" компонента (растворителя) в зоне реакции, не прибегая при этом к использованию каких-либо анализаторов, для оперативного управления и своевременного корректирования скоростей изменения вязкости и кислотности синтезируемой смолы;
- прогнозировать развитие технологического процесса синтеза смолы на 0,5 – 1,0 ч вперед, корректируя при этом полученные результаты по анализам значений η и к.ч., выполняемым автоматически каждые 15 мин;
- останавливать (прекращать) синтез при достижении заданных значений вязкости и кислотности с учетом характера изменений энергии активации вязкого течения.

При этом основные контролируемые параметры синтезированной смолы должны указываться в значительно более узком интервале, чем это предусмотрено многочисленной нормативной технологической документацией. Например, при синтезе смолы (основы лака ПФ-060) конечные значения вязкости (η) и кислотности (к.ч.) должны быть: $\eta = 70 \pm 1(2)$ с или $\eta = \eta_{\text{зад}} \pm 1(2)$ с; к.ч. = к.ч._(зад) ± 1 (вместо: $\eta = 70 \pm 10$ с и к.ч. = 10 – 20).

Критерий завершения синтеза позволяет своевременно обнаружить и, следовательно, предотвратить начало активного образования высокомолекулярных компонентов в составе смолы, которые отрицательно влияют на качество полученного продукта (лака) не требуют дополнительных затрат на его восстановление путем дополнительной фильтрации и суперцентрифугирования. Однако такими способами улучшать качество продукта не всегда удается.

Следовательно, от синтеза к синтезу можно получать практически одинаковые по качеству смолы в соответствии с выбранной рецептурой, не прибегая при этом к таким нежелательным иногда используемым в производствах приемам, как "разваривание", "доваривание" и др.

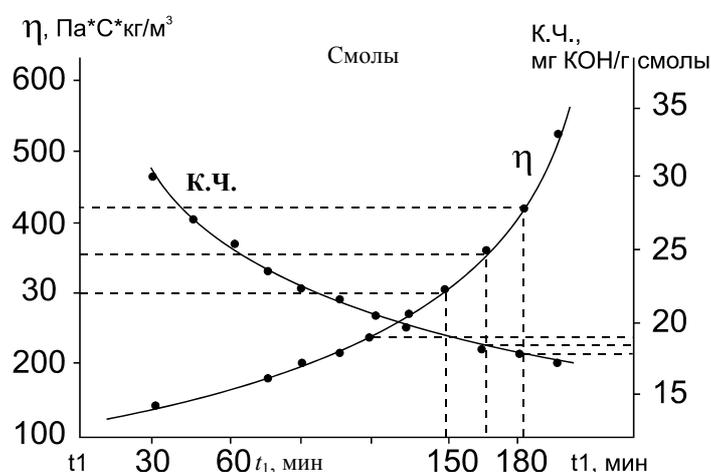


Рис. 4.14 Зависимость вязкости η и кислотного числа к.ч. от времени t технологического процесса синтеза (t_1 – начало отсчета времени – выбрано произвольно, вязкость смолы измерена при

температуре 157,5 °С)

На рис. 4.15 показана принципиальная двухконтурная технологическая схема синтеза алкидных смол с реактором полупериодического действия и с обогревом высокотемпературным теплоносителем (ВОТ).

Исходные реагенты (масло и многоатомный спирт или переэтерификат) загружаются в реактор 1, затем непрерывно с регулируемой скоростью, ограниченной (сверху) скоростью вывода побочного продукта – реакционной воды (F) из системы на утилизацию, подается фталевый ангидрид (ФА) в виде расплава или 85 ... 90 % раствора в кислоте.

Первый циркуляционный контур (реактор 1, насос 2, нагреватель 3, циклонный смеситель-распылитель 4) обеспечивает поддержание заданной температуры процесса и протекание реакции поликонденсации по всему объему реакционного пространства реактора. При этом во избежание локальных перегревов и, как следствие, потемнения синтезируемого продукта температура теплообменных поверхностей не должна превышать 280 ... 300 °С.

Второй циркуляционный контур (реактор 1, парциальный конденсатор-абсорбер 6, холодильник 7, разделительный сосуд 8, циркуляционный насос 5, циклонный смеситель-распылитель 4) обеспечивает улавливание паров ксилолола и ФА и возврат их обратно в реактор. При этом пары воды с ксилололом (азеотропная смесь) конденсируются в конденсаторе-холодильнике 7, разделяются пофазно в сосуде 8, а затем ксилолол непрерывно возвращается обратно в аппарат 6 в требуемом количестве, а вода с минимальным содержанием ФА направляется на утилизацию. Температура паров на выходе конденсатора-абсорбера 6 должна обеспечивать минимальную потерю ФА, что контролируется автоматическим рН-метром на выходе из сосуда 8

Таблица 4.2

$C_{\text{фа}}, \%$ (по кислоте)	0,4	0,3	0,2	0,1	0,06 5	0,05 0	0,04 2	0,03 5	0,02 8	0,02
рН	3,3	3,4	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,4	6,7

Поэтому температура паров на выходе из конденсатора-абсорбера 6 поддерживается в интервале 92 ... 95 °С ($T_{\text{кип}}$ азеотропной смеси ксилолол – вода 92 °С). Температура жидкой фазы в нижней (емкостной) части аппарата 6, в которой установлен уровнемер (L), должна быть 10 ± 5 °С, чтобы не допустить попадания в нее воды в виде жидкости, иначе она вернется в реактор 1.

ФА перед поступлением в реактор 1 смешивается с ксилололом и попадает в реактор в виде интенсивно перемешанного потока.

Пробоотборная и измерительная система Алкид-39 устанавливается в непосредственной близости от реактора 1 и соединяется с ним через пробозаборную трубу диаметром Ду50, опущенную в реакционную среду. Это схематически показано на рис. 4.16. Пробы контролируемой среды регулярно каждые 15 мин засасываются вакуумом в емкость 4 системы, где измеряются вязкость η и к.ч. (при снижении температуры контролируемой среды до 120 ... 180 °С; $T_{\text{нач}} = 220 \dots 260$ °С) с помощью вискозиметра ВВН-6 и титриметрической системы АТВ-39, а затем возвращаются обратно в реактор. Все операции выполняются автоматически по командам от систем Алкид-39 или ГАЛС (ГАЛС включает в себя несколько систем: Адкид-39, АТВ-39, микро-ЭВМ и другие элементы).

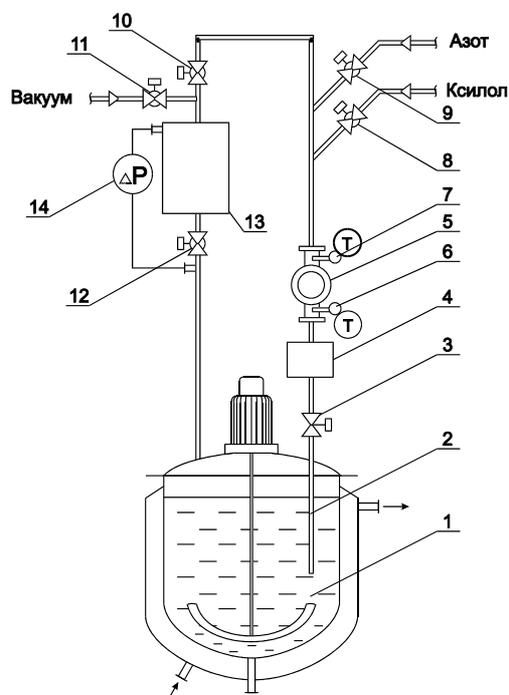


Рис. 4.16 Принципиальная схема совмещения автоматической пробоотборной системы с реактором синтеза смол

Учитывая, что вязкость контролируемой среды определяется температурой и концентрацией растворителя (ксилола)

$$\eta = A \cdot \exp(E/RT) \cdot \exp(-BC/RT)$$

где A , B – экспериментально определяемые коэффициенты; C – концентрация растворителя; R – универсальная постоянная; T – абсолютная температура. Измерения проводятся при минимальной (равновесной) концентрации C . Значения E (энергия активации вязкого течения) для каждой контролируемой пробы рассчитываются на микро-ЭВМ.

На рис. 4.17 приведены функциональные зависимости типа $E = f_1(\text{к.ч.})$ и $\Delta E/\Delta \text{к.ч.} = f_2(\text{к.ч.})$, полученные при анализе многочисленных проб продуктов, отбираемых через каждые 15 мин при различных

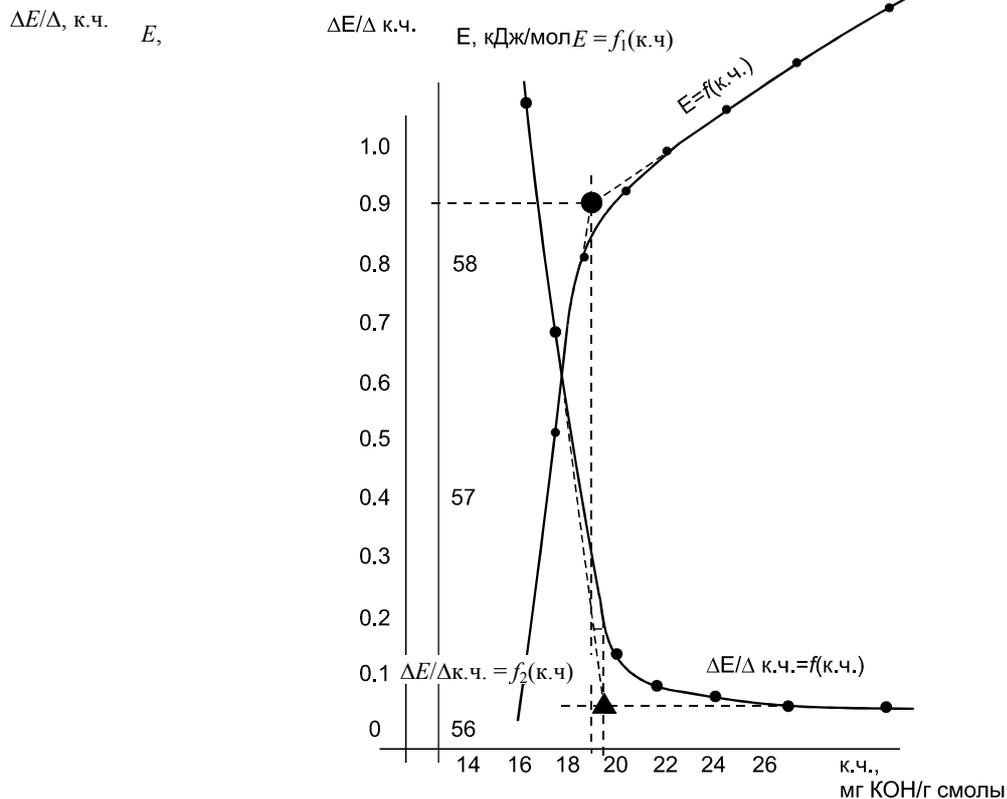


Рис. 4.17 Функциональные зависимости $E = f_1(\kappa.ч.)$ и $\Delta E/\Delta\kappa.ч. = f_2(\kappa.ч.)$, полученные при аналитическом и физико-химическом контроле продуктов синтеза смолы ПФ-060

синтезах алкидных смол. Результаты свидетельствуют о высокой информативности на завершающей стадии любого технологического синтеза алкидных смол. Резкое изменение хода кривых указывает на начало активного образования высокомолекулярных компонентов, которые, как известно, являются нежелательными, так как способствуют резкому возрастанию вязкости смолы и гелеобразованию.

Как видно из рис. 4.17 и с учетом выполняемого в ГАЛС и Алкид-39 прогнозирования развития процесса на $0,5 \pm 1,0$ ч вперед, обнаружить приближение к критической точке можно не менее чем за 0,5 ч. Коррекция результатов прогноза дает возможность остановить синтез в точно рассчитанное время с отклонением от него не более чем на 5 мин (которых обычно бывает достаточно на то, чтобы в реактор подать избыточное количество растворителя для резкого падения температуры за счет испарения последнего). Поскольку синтез проводится при строгом функциональном соотношении параметров η и $\kappa.ч.$ (см. рис. 4.14), конечные параметры $\eta_{\text{кон}}$ и $\kappa.ч._{\text{кон}}$ являются строго фиксированными с незначительным отклонением от заданных значений.

Таким образом, за критерий окончания технологического процесса синтеза алкидных смол можно принять не просто достижение заданных значений η и $\kappa.ч.$, а начало резкого изменения функциональных зависимостей $E = f_1(\kappa.ч.)$ и $\Delta E/\Delta\kappa.ч. = f_2'(\kappa.ч.)$.

10 13 7 9 4 3 6

11 5

12

6

8

1

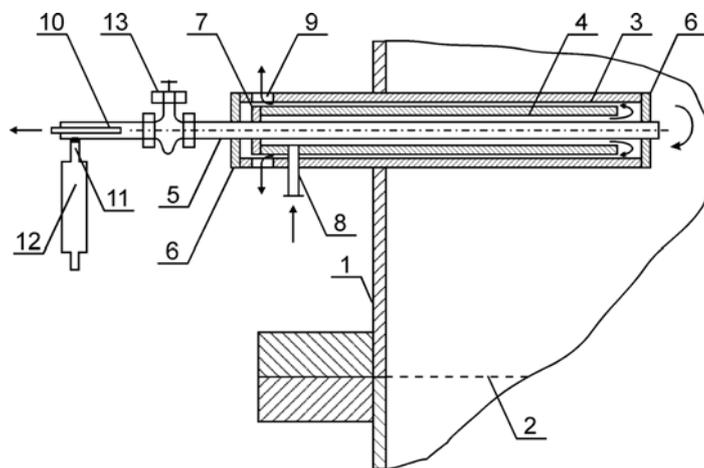


Рис. 4.18 Устройство для отбора проб из реактора:

1 – корпус реактора конверсии аммиака; 2 – каталитический элемент; 3, 4, 5 – концентрические трубы; 6, 7 – перегородки; 8, 11 – патрубки; 9 – отверстие; 10 – капилляр; 12 – емкость; 13 – запорное устройство

Устройство для отбора проб из реактора. Устройство [62] предназначено для отбора проб газовой смеси, содержащей аммиак и кислород, из реактора конверсии аммиака.

Открывают запорное устройство 13 и пропускают газовую смесь по внутренней трубе 5 и сбрасывают через емкость 12 в атмосферу. Меньшая часть потока проходит через капилляр 10.

Через патрубок 8 в межтрубное пространство между внутренней 5 и средней 4 трубами подают азот для охлаждения. Азот сбрасывается в атмосферу через отверстие 9.

Запорным устройством 13 уменьшают расход газового потока. Ниппель предварительно отвакуумированного стеклянного шара Гайяра присоединяют к капилляру 10 посредством резиновой трубки. Кран шара Гайяра открывают на 3 – 4 с. Далее проводится анализ газа, отобранного в шар Гайяра.

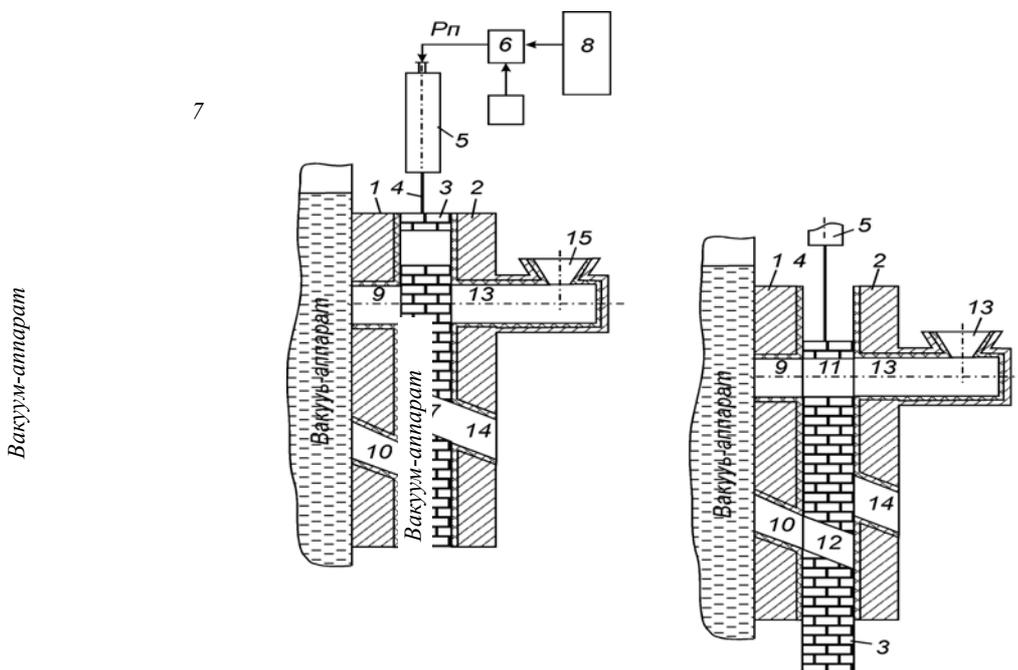


Рис. 4.19 Устройство отбора пробы из вакуум-аппарата сахарного производства при различных положениях подвижной пластины:

1, 2 – неподвижные пластины; 3 – подвижная пластина; 4 – шток; 5 – двухпозиционный исполнительный механизм; 6 – ключ; 7 – тумблер; 8 – программный блок; 9, 10, 11, 12, 13, 14 – отверстия в пластинах; 15 – воронка

Устройство отбора пробы из вакуум-аппаратов сахарного производства. В сахарном производстве одними из основных технологических аппаратов являются вакуум-аппараты, в которых происходит

уваривание сахарного сиропа. Периодически оператор отбирает пробы технологической жидкости и проводит анализ на наличие кристаллов сахара.

Устройство отбора пробы [63] работает следующим образом (рис. 4.19). Оператор переводит ключ 6 в положение "Дистанционное управление", включает тумблер 7. Подается питание на исполнительный механизм 5, который с помощью штока 4 перемещает пластину 3 во второе положение.

Поток воздуха проникает через воронку 15 и совмещенные отверстия 13, 11, 9 внутрь вакуум-аппарата, способствуя интенсивному перемешиванию увариваемого продукта и попаданию его части через наклонное отверстие 10 в отверстие 12.

Возвращая тумблер 7 в исходное положение, оператор снимает питание с исполнительного механизма 5, в результате чего пластина 3 возвращается в исходное положение.

Проба вытекает через наклонное отверстие 14 в емкость.

Контрольные вопросы

- 1 Каковы особенности пробоотбора с дискретной подачей вещества на ЧЭ датчика?
- 2 Почему длительность интервала измерения технологического параметра должна быть больше постоянной времени ЧЭ датчика?
- 3 С какой целью в капиллярном методе измерения вязкости жидкости стабилизируют температуру исследуемой жидкости и формируют ламинарный поток жидкости?
- 4 Какие активные действия предусматривает капиллярный метод измерения вязкости жидкости?
- 5 Какие активные действия предусматривает метод измерения вязкости жидкости, реализованный в устройстве (рис. 4.1)?
- 6 Как определяется начало и окончание временного интервала в методе изменения вязкости, реализованном в устройстве (рис. 4.1)?
- 7 Как можно изменять величину дозы жидкости, отбираемой в сосуд 1 в устройстве (рис. 4.1)?
- 8 Каково назначение триггера 10 в устройстве (рис. 4.1)?
- 9 Как определяется разность давлений на капилляре в устройстве (рис. 4.1)?
- 10 Какие источники погрешности содержатся в устройстве (рис. 4.1)?
- 11 Как устраняются влияния колебаний уровня жидкости в аппарате и давления над жидкостью на точность измерения вязкости жидкости (рис. 4.3)?
- 12 Что принимается за критерий окончания технологического процесса синтеза алкидных смол?
- 13 Какова движущая сила, под действием которой заполняется камера в системе Алкид 2 – 39?
- 14 Чем определяется длительность участков на временной диаграмме работы измерительного прибора (рис. 4.2)?
- 15 Какую функцию выполняет корректирующий блок в устройстве (рис. 4.3)?
- 16 С какой целью проверяется выполнение условий ламинарного течения жидкости в капилляре при формировании объединенной пробы?
- 17 В каких областях техники используется принцип шлюзования?
- 18 В чем состоит принцип шлюзования?
- 19 В каких областях техники целесообразно измерять скорость и количество выделяющихся газов?
- 20 Какие действуют источники погрешности при измерении скорости выделяющихся газов?
- 21 Какие действуют источники погрешности при измерении количества выделяющихся газов?
- 22 Какой вид (график) имеет выходной сигнал в устройстве для измерения скорости и количества выделяющихся газов?

5 ПРОБООТБОР С НЕПРЕРЫВНО-ДИСКРЕТНОЙ ПОДАЧЕЙ ВЕЩЕСТВА

Непрерывно-дискретный пробоотбор характерен непрерывной подачей анализируемого вещества на чувствительный элемент и импульсным сбросом пробы.

Такой пробоотбор наиболее целесообразен для контроля скорости и объема выделяющихся газов.

5.1 ПРОБООТБОР ПРИ КОНТРОЛЕ СКОРОСТИ И ОБЪЕМА ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ГАЗОВ

Выделяющиеся из зоны реакции газы поступают на вход преобразователя давлений *1* (рис. 5.1) и в эластичную трубку *2* [64]. В результате растет давление в замкнутой камере, ограниченной с одной стороны преобразователем *1*, с другой стороны – одним из роликов *3*, пережимающих трубку *2*.

На выходе преобразователя *1* сигнал будет равен нулю до тех пор, пока давление в замкнутом объеме, создаваемое постоянно поступающими в камеру выделяющимися газами, не станет равным минимальному заданному значению давления P_4 , устанавливаемому заранее задатчиком *4*. При отклонении давления в камере P_k от заданного значения P_4 изменяется выходной сигнал преобразователя *1*, который усиливается по мощности электронным усилителем *5*. Этот сигнал приводит в действие реверсивный двигатель *6*, вал которого кинематически связан с осью, на которой закреплены ролики *3*.

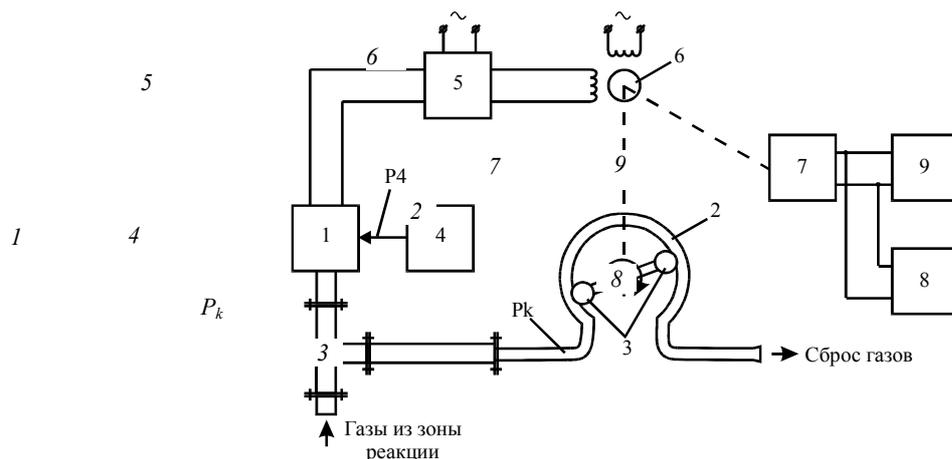


Рис. 5.1 Устройство для измерения скорости и объема выделяющихся газов:

- 1* – преобразователь давлений; *2* – эластичная трубка; *3* – ролики; *4* – задатчик давления; *5* – электронный усилитель, *6* – реверсивный двигатель; *7* – преобразователь угла поворота; *8* – регистрирующий прибор; *9* – измеритель числа оборотов

При вращении вала двигателя *6* вращаются и ролики *3*, изменяя объем измерительной камеры. Ролики *3* полностью пережимают трубку *2* в местах контакта, отсекая постоянную дозу газа в верхней части трубки *2*. Дальнейший поворот оси приводит к выбросу дозы газов в адиабатический сборник, из которого в дальнейшем газы поступают на анализ.

При одном обороте вала двигателя *6* происходит отбор газа объемом ΔV , определяемым объемом дозы, отсекаемой роликами *3*. Отбираемое при этом количество газа $\Delta\theta$ определяется из соотношения

$$\Delta\theta = (P_4 \cdot \Delta V) / (RT), \quad (5.1)$$

где R – газовая постоянная; T – температура газа.

В основу действия устройства заложен принцип компенсации объемов, при котором вся измерительная схема стремится занять такое положение, когда сигнал на выходе преобразователя давлений *1* стремится к нулю.

Ролики *3* закреплены на оси, центр которой кинематически связан с валом двигателя *6* и входом преобразователя *7*. Выходной сигнал преобразователя *7* записывается регистрирующим прибором *8*, а также фиксируется измерителем *9* числа оборотов.

Количество импульсов n , фиксируемое измерителем *9*, связано с количеством θ выделившихся газов соотношением

$$n = RT\theta / P_4 \Delta V. \quad (5.2)$$

Кривая, регистрируемая прибором *8* (рис. 5.2), представляет собой пилообразную кривую с постоянной амплитудой, равной ΔV .

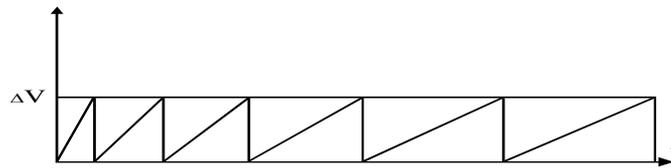


Рис. 5.2 Кривая газовыделений, регистрируемая прибором

В любой момент времени о скорости газовыделений G можно судить и по равенству

$$G = (P_4/RT)(\Delta V(t)/\Delta t),$$

где $\Delta V(t)$ – объем газа, соответствующий заданному моменту времени; Δt – отрезок времени, отсчитываемый от начала действия импульса до заданной точки, скорость газовыделений в которой необходимо определить.

Кривую реального процесса газовыделения (рис. 5.3) получают путем последовательного сшивания отрезков кривых, зафиксированных регистрирующим прибором [65].

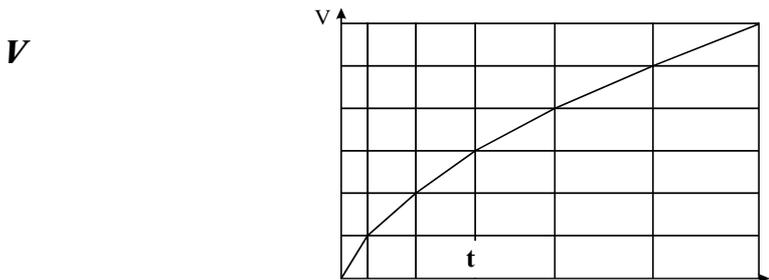


Рис. 5.3 Кривая газовыделений реального процесса

Среднюю скорость газовыделений $G_{\text{ср}}$ определяют по частоте f следования импульсов, фиксируемых регистратором 9.

Таким образом, осуществляется постоянный отбор порций газа и измерение искомых параметров газовыделений. В дальнейшем газ отводится в емкость постоянного давления или сбрасывается в атмосферу.

5.2 ПРОБООТБОР НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ИЗ РЕЗЕРВУАРОВ

В резервуаре 1 устанавливается колонна 2, состоящая из секций труб 3, связанных муфтами 4 с пробозаборными отверстиями, закрываемыми шариковыми пружинными клапанами. Пробозаборные отверстия муфт 4 ориентированы в разных направлениях (рис. 5.4).

Колонна 2 устанавливается в резервуаре на расстоянии не менее 500 мм от стенки резервуара 1. Вверху колонна 2 крепится в специальном люке 5. Сливная труба 6 проходит через нижний люк в боковой стенке резервуара 1 и снабжена клапаном 7 с исполнительным механизмом 8.

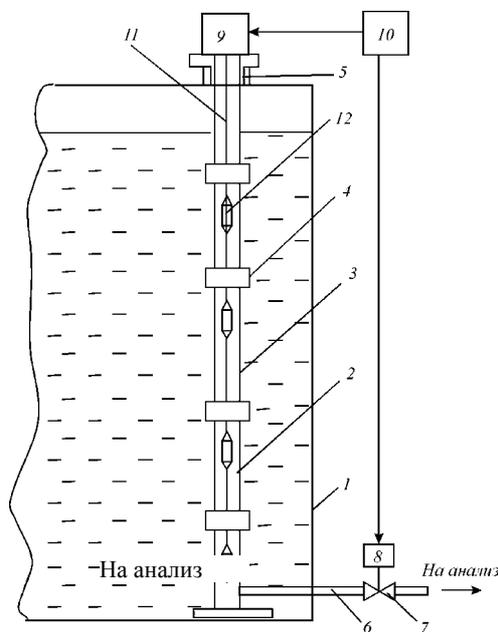


Рис. 5.4 Пробоотборник нефтепродуктов из резервуара:

1 – резервуар; 2 – колонна; 3 – секция трубы; 4 – муфта; 5 – люк; 6 – сливная труба; 7 – клапан; 8, 9 – исполнительные механизмы; 10 – блок управления;
11 – шток; 12 – бегунок

В начальный момент времени клапан 7 закрыт. Исполнительный механизм 9 по команде блока управления 10 поднимает шток 11 вместе с бегунками 12, которые входят внутрь муфт 4 и освобождают шариковые пружинные клапаны, открывая отверстия в муфтах 4. Жидкость из разных слоев резервуара 1 через открытые отверстия в муфтах 4 поступает в колонну 2.

По команде блока управления 10 исполнительный механизм 9 опускает шток 11. Клапаны в муфтах 4 закрываются. Отбор жидкости прекращается. Исполнительный механизм 8 по команде блока управления 10 открывает клапан 7 и отобранная проба нефтепродуктов поступает на анализ [21].

Контрольные вопросы

- 1 Какова особенность пробоотбора с непрерывно-дискретной подачей вещества?
- 2 Как осуществляется сброс порции газа в устройстве (рис. 5.1)?
- 3 Какого типа (замкнутого или разомкнутого) является устройство (рис. 5.1)?
- 4 Исходя из каких соображений устанавливается величина выходного давления задатчика 4 в устройстве (рис. 5.1)?
- 5 Какова статическая характеристика преобразователя (рис. 5.1)?
- 6 Какова статическая характеристика преобразователя (рис. 5.1)?
- 7 На основании какого закона выведена формула (5.1) ?
- 8 Какова размерность величин, входящих в формулу (5.1) ?
- 9 Как можно изменить длительность интервала Δt_1 на кривой (рис. 5.2)?
- 10 Почему частота следования импульсов на преобразователе 7 устройства (рис. 5.1) пропорциональна средней скорости газовыделения в объекте?
- 11 Какова размерность величин, входящих в формулу (5.3)?
- 12 Каков принцип работы устройства (рис. 5.1)?
- 13 Каков алгоритм построения кривой реального процесса газовыделения в объекте (рис. 5.3)?
- 14 Какие источники погрешности отбора пробы газа в устройстве (рис. 5.1)?
- 15 Какие источники погрешности контроля скорости и объема выделяющихся газов (рис. 5.1)?
- 16 С какой целью муфты располагаются на разных высотах в колонне пробоотборника (рис. 5.4)?
- 17 Какова циклограмма работы блока управления пробоотборника (рис. 5.4)?

- 18 Какова роль бегунков в конструкции пробоотборника (рис. 5.4)?
- 19 С какой целью отверстия муфт в пробоотборнике (рис. 5.4) ориентированы в разных направлениях?
- 20 Почему накладываются ограничения на расстояние от стенки резервуара до колонны пробоотборника (рис. 5.4)?
- 21 Каковы достоинства пробоотборника (рис. 5.4)?
- 22 Каковы недостатки конструкции пробоотборника (рис. 5.4)?
- 23 По какому алгоритму определяется число уровней отбора жидкости в пробоотборном устройстве (рис. 5.4)?
- 24 Каковы источники погрешности при работе пробоотборного устройства нефтепродуктов из резервуара (рис. 5.4)?
- 25 Какова статическая характеристика задатчика в пробоотборном устройстве (рис. 5.1)?
- 26 Почему на кривой газовыделений (рис. 5.2) прямые имеют разный наклон к оси X ?
- 27 Каков метод получения кривой газовыделений реального процесса?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ Р 50779.10–2000 "Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения".
- 2 Искандарян А.А. Пробоотборники газов и жидкостей. М.-Л.: Энергия, 1964. 40 с.
- 3 Гун Р.Б., Барыш-Тищенко О.Л. Кутасова Э.Б. Современные пробоотборные системы для промышленных анализаторов состава и физико-химических свойств продуктов: Обзор зарубежных материалов. М.: ОНТИприбор, 1964. 72 с.
- 4 Тхоржевский В.П. Автоматический анализ химического состава газов. М.: Химия, 1969. 324 с.
- 5 Тхоржевский В.П. Автоматический анализ газов и жидкостей на химических предприятиях. М.: Химия, 1976. 272 с.
- 6 Тхоржевский В.П. Автоматический контроль в производстве серной кислоты, фосфорных и сложных удобрений. М.: Химия, 1980. 184 с.
- 7 Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей. М.: Энергия, 1970. 552 с.
- 8 Полякова В.Ф., Чекмарева З.А. Пробоотборные системы и устройства для газообразных сред. М.: ЦНИИИТЭнесптехим, 1971. 55 с.

- 9 Полякова В.Ф., Чекмарева З.А. Пробоотборные системы и устройства для жидких сред. М.: ЦНИИИТЭнефтехим, 1972. 66 с.
- 10 Буяновский Л.А. Пробоотборные системы и их элементы для анализаторов качества нефтепродуктов. М.: ЦНИИИТЭнефтехим, 1971. 55 с.
- 11 Иовенко Э.Н. Автоматические анализаторы и сигнализаторы токсичных и взрывоопасных веществ в воздухе. М.: Химия, 1972, 188 с.
- 12 Хвальковский Т.П., Рабинович И.Б., Шапиро А.И., Захарова И.В. Методы исследования материалов в сахарном производстве: Справочное пособие / М.: Пищевая промышленность, 1975. 252 с.
- 13 Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. М.: Химия, 1978. 330 с.
- 14 Измерения в промышленности: Справочник / Под ред. П. Профоса. М.: Металлургия, 1980. 648 с.
- 15 Прохоров В.А. Основы автоматизации аналитического контроля химических производств. М.: Химия, 1984. 320 с.
- 16 Прохоров В.А. Основы автоматизации контроля и управления качеством продукции химических производств. М.: Химия, 1990. 367 с.
- 17 Волошин З.С., Макаренко Л.П., Яцковский П.В. Автоматизация сахарного производства. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
- 18 Соколов М.В., Гуревич А.Л. Автоматическое дозирование жидких сред. Л.: Химия, 1987. 400 с.
- 19 Методическое пособие по отбору и анализу проб природных газов / Под ред. З.Н. Несмеловой Л.: Недра, 1969. 160 с.
- 20 Задора Г.И. Пробоотборники для отбора газа и конденсата из двухфазного потока. М.: ВНИИ-Эгазпром, 1976. 43 с.
- 21 Хазнев Н.Н., Герустович А.М. Современные методы и средства отбора проб нефти и нефтепродуктов. М.: ВНИИОЭНГ, 1974. 56 с.
- 22 Ленский Д.М., Степанова Н.Н. Пробоотборные и пробоподготовительные системы и устройства для анализаторов качества и свойств продуктов в нефтепереработке и нефтехимии. М.: ЦНИИИТЭихим, 1981. 51 с.
- 23 Сиразетдинов Ф.М. Разработка пробоотборных устройств с перфорированной трубкой для отбора проб нефти и нефтепродуктов из резервуаров: Автореф. дис... канд. техн. наук. Уфа, 1983.
- 24 Зуев Б.К. Лазерный пробоотбор в решении проблемы локального определения газообразующих примесей в твердых веществах: Дис. ... докт. техн. наук. М.: ИГАХ им. В.И. Вернадского, 1994.
- 25 Cornish D.C., Jepson G., Smurthwaite M.J. Sampling Systems for process analysers. London: Butterworths, 1990. 450 с.
- 26 Видинеев Ю.Д. Автоматическое непрерывное дозирование жидкостей. М.: Энергия, 1967. 112с.
- 27 Видинеев Ю.Д. Автоматическое непрерывное дозирование газов. М.: Энергия, 1971. 85 с.
- 28 Видинеев Ю.Д. Дозаторы непрерывного действия. М.: Энергия, 1978. 184с.
- 29 Карпин Е.Б. Средства автоматизации при измерении и дозировании массы. М.: Машиностроение, 1971. 470 с.
- 30 Рогинский Г.А. Дозирование сыпучих материалов. М.: Химия, 1978. 173 с.
- 31 Гуревич А.Л., Соколов М.В. Импульсные системы автоматического дозирования агрессивных жидкостей. М.: Энергия, 1973. 111 с.
- 32 Абилов А.С., Лютфалиев К.А, Автоматические микродозаторы для жидкостей. М.: Энергия, 1975. 62 с.
- 33 Каталымов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. Л.: Химия ЛО, 1990. 250 с.
- 34 Орлов С.П. Дозирующие устройства. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1966. 288 с.

- 35 Орлов С.П. Автоматические весовые дозаторы непрерывного действия. Обзор зарубежных конструкций. М.: МПСАСУ, 1967. 47 с.
- 36 Орлов С.П., Михайловский С.С., Тимофеев К.К. Весы и дозаторы: Справочник. М.: Машиностроение, 1988. 296 с.
- 37 Гроссман Н.Я., Шнырев Г.Д. Автоматизированные системы взвешивания и дозирования. М.: Машиностроение, 1988. 296 с.
- 38 Маликов С.П., Михайловский С.С., Старостин Л.Н., Клементьев П.К. Весы и дозаторы весовые: Справочник. М.: Машиностроение, 1987. 319 с.
- 39 АСУ процессами дозирования / Под ред. В.С. Нагорного Л.: Машиностроение, 1985. 223 с.
- 40 Перри Дж. Справочник инженера-химика. Т. 1. Л.: Химия, 1969. 640 с.
- 41 Дмитриев В.Н., Градецкий В.Г. Основы пневмоавтоматики. М.: Машиностроение, 1973. 360 с.
- 42 Измерения в промышленности: Справочник / Под ред. П. Профоса. М.: Металлургия, 1980. 648 с.
- 43 Фарзани Н.Г., Иляев Л.В., Азим-Заде А.Ю. Технологические измерения и приборы. М.: Высшая школа, 1989. 456 с.
- 44 Земельман М.А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. М.: Изд. стандартов, 1972. 199 с.
- 45 Бреславский Д.А., Петров В.В. Точность измерительных устройств. М.: Машиностроение, 1976. 312 с.
- 46 Бромберг Э.А., Куликовский К.А. Тестовые методы повышения точности измерений. М.: Энергия, 1978. 176 с.
- 47 Купер В.Я., Куликовский К.А. Методы и средства измерений. М.: Энергоиздат, 1986. 424 с.
- 48 Брюханов В.А. Методы повышения точности измерений в промышленности. М.: Изд. стандартов, 1991. 108 с.
- 49 Патент РФ № 2135978. МПК⁶ G01N1/10. Устройство для отбора проб полимера при полимеризации мономера / А.П. Болдырев, В.И. Васильев, С.П. Шестаков. Оpubл. 27.08.99. Бюл. № 24.
- 50 А.с. № 1640577 СССР. МКИ⁵ G01N1/10. Устройство для отбора проб текучих сред из трубопровода / К.М. Блажковский, В.Г. Хорошунов, А.Ф. Лапаенко, В.К. Кипа. Оpubл. 07.04.91. Бюл. № 13.
- 51 А.с. № 1651138 СССР. МКИ⁵ G01N1/22. Установка для отбора пылегазовых проб / Е.В. Успенский, А.С. Лавошник, Г.Д. Хныкин, Л.Г. Флора, Т.Б. Сорокина. Оpubл. 23.05.91. Бюл. № 19.
- 52 А.с. № 1397783 СССР. МКИ⁴ G01N1/00. Устройство для отбора проб полициклических ароматических углеводородов / П.П. Дикун, В.А. Корягин, К.В. Шевелев, В.Ю. Безруких, В.А. Ямшанов. Оpubл. 23.05.88. Бюл. № 19.
- 53 А.с. № 1605165 СССР. МКИ⁵ G01N1/22. Устройство для отбора и подготовки высокотемпературных пылегазовых проб / П.В. Беседин, В.И. Ильин, А.П. Панченко, Е.П. Чуркин, А.Е. Чевлев. Оpubл. 07.11.90. Бюл. № 41.
- 54 Патент РФ № 2002235. МПК⁵ G01N1/22. Способ контроля состава рабочей среды и устройство для его осуществления / П.Н. Козлов, А.А. Румынский. Оpubл. 30.10.93. Бюл. № 33-40.
- 55 А.с. № 600419 СССР. МКИ² G01N1/11/08. Устройство для определения вязкости жидкости / М.М. Мордасов, В.М. Тютюнник, В.Д. Рязанов, В.Л. Бараев. Оpubл. 30.03.78. Бюл. № 12.
- 56 А.с. № 857785 СССР. МКИ³ G01N1/08. Устройство для определения вязкости жидкости / М.М. Мордасов, А.В. Трофимов. Оpubл. 23.08.81. Бюл. № 31.
- 57 Фудим Е.В. Пневматическая вычислительная техника. Теория устройств и элементов. М.: Наука, 1973. 528 с.
- 58 Мищенко С.В., Мордасов М.М., Трофимов А.В. Принцип шлюзования потоков в методах контроля физических свойств веществ // Вестник ТГТУ. Том 2, № 4. 1996, С. 389 – 396.

59 А.с. №618680 СССР. МКИ² G01P5/00. Устройство для определения скорости и объема выделяющихся газов / М.М. Мордасов. Оpubл. 05.08.78. Бюл. № 29.

60 А.с. № 972325 СССР. МКИ³ G01N11/06. Устройство для измерения вязкости / М.М. Мордасов, А.В. Трофимов. Оpubл. 07.11.82. Бюл. № 41.

61 Михайлов Д.П., Меньшиков В.В., Прохоров В.А. Управление синтезом алкидных смол // Технологии и оборудование. 1997. № 4. С. 24 – 26.

62 Патент РФ № 1614634. МПК⁵ G01N1/22. Устройство для отбора проб / И.Е. Калинин, Е.С. Скворцов, В.И. Чернышев, Г.М. Галуцкий, В.В. Альбицкий. Оpubл. 30.12.94. Бюл. № 24.

63 А.с. № 1718002 СССР. МКИ⁵ G01N1/10. Устройство для заправки кристалла и отбора пробы из вакуум-аппаратов сахарного производства / В.В. Пименов, А.О. Полторак, Ю.М. Скаковский. Оpubл. 07.03.92. Бюл. № 9.

64 А.с. № 792142 СССР. МКИ³ G01P5/00. Устройство для измерения скорости и объема газовой выделений / В.М. Тютюнник, М.М. Мордасов. Оpubл. 30.12.80. Бюл. № 48.

65 А.с. № 972409 СССР. МКИ³ G01P5/00. Устройство для измерения скорости и объема газовой выделений / М.М. Мордасов, А.В. Трофимов. Оpubл. 07.11.82. Бюл. № 41.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
.....	
.....	
1 Методы и средства пробоотбора	5
.....	

1.1	Основные понятия и определения	5
1.2	Средства пробоотбора и пробоподготовки в структуре автоматической системы регулирования	9
1.3	Классификация пробоотборных устройств	13
1.4	Обобщенная структура устройств для отбора жидких сред и газа	18
	Контрольные вопросы	24
2	Повышение эффективности методов и средств пробоотбора	25
2.1	Метрологические характеристики устройств непрерывного пробоотбора	26
2.2	Представительность пробы	28
2.3	Точность пробоотбора	33
2.4	Особенности пробоотбора неоднородных жидкостей	36
	Контрольные вопросы	39
3	Пробоотбор с непрерывной подачей вещества	40
3.1	Организация непрерывного пробоотбора	41
3.2	Устройства пробоотбора с возвратом анализируемого вещества	43
3.3	Устройства пробоотбора без возврата анализируемого вещества	48
	Контрольные вопросы	53
4	Пробоотбор с дискретной подачей вещества	54
4.1	Организация дискретного пробоотбора	54
4.2	Отбор пробы при контроле вязкости жидкости в технологическом аппарате	55
4.3	Математическая модель пробоотборного устройства для контроля вязкости жидких сред в закрытых аппаратах	64
4.4	Автоматизация процесса формирования объединенной пробы	71

4.5	Построение пробоотборных устройств на основе принципа шлюзования	74
.....		
...		
4.6	Пробоотбор жидких сред из технологических аппаратов	83
Контрольные	вопросы	91
.....		
5	Пробоотбор с непрерывно-дискретной подачей вещества	92
5.1	Пробоотбор при контроле скорости и объема выделяющихся газов	92
.....		
.....		
5.2	Пробоотбор нефти и нефтепродуктов из резервуаров	95
Контрольные	вопросы	96
.....		
Список	литературы	98
.....		