

Измерительные
технологии
для
процесса
автоматизации

Название на англ

Измерительные технологии для процесса автоматизации

Андерс Андерссон



CRC Press

Taylor & Francis Group

Boca Raton London New York

CRC Press is an imprint of the
Taylor & Francis Group, an **informa** business

УДК 681.2

ББК 32.96

A65

"CRC Press"

Taylor&FrancisGroup

6000 БрукленСаундПарквейНью-Йорк, сют 300 Бока-Ратон, Флорида 33487-2742

© 2017 ООО "Taylor&FrancisGroup"

"CRC Press" этоимпринткомпаниии "Тэйлор&Фрэнсис", информационный бизнес. Нет претензий к оригинальным работам правительства США

Напечатано на антикоррозийной бумаге.

Международный Стандартный Книжный Номер – 13:978-1-1380-3539-3 (книга в мягкой обложке)

Данная книга содержит информацию, полученную из достоверных и уважаемых источников. Были предприняты разумные усилия для публикации достоверных данных и информации, но автор издатель не могут взять на себя ответственность за достоверность всех материалов или за последствия их использования. Авторы и издатели предприняли попытку отследить правообладателей всех материалов, воспроизведенных в данной публикации, и извиняются перед правообладателями, если разрешение на публикацию в данной форме не было получено. Если какой-либо материал, защищенный авторским правом, не был согласован, пожалуйста, напишите и уведомите нас, чтобы мы могли исправить в любой будущей перепечатке.

За исключением случаев, разрешенных законодательством США об авторском праве, никакая часть этой книги не может быть перепечатана, воспроизведена, передана или использована в любой форме любыми электронными, механическими или другими средствами, известными в настоящее время или изобретенными в будущем, включая фотокопирование, микрофильмирование и запись, или в любой информационной или поисковой системе, без письменного разрешения издателей.

Для получения разрешения на ксерокопирование или использование материалов этой работы в электронном виде, пожалуйста, обратитесь к www.copyright.com (<http://www.copyright.com/>) или обратитесь в Центр по проверке авторских прав, Зарегистрированная корпорация (ЦПАП), 222 Роузвуд Драйв, Данверс, Массачусетс 01923, 978-750-8400. ЦПАП является некоммерческой организацией, которая предоставляет лицензии и регистрацию для различных пользователей. Дляя оранизаций, которым ЦПАП выдал лицензию на фотокопирование, организована отдельная система оплаты.

Уведомление о товарном знаке: Продукт или фирменные наименования могут быть товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками и используются только для идентификации и пояснения без намерений нарушать права.

Библиографическая запись Библиотеки Конгресса США

Имена: Андерссон, Андерс (метролог), автор.

Название: Измерительнаятехникадляавтоматизациипроцессов / Андерс Андерссон. Описание: Бока-Ратон :Taylor&Francis, CRC Press, 2017. |

Включает библиографические ссылки.

Идентификаторы: LCCN 2017000309 / ISBN 9781138035393 (в твердой обложке: антикорроз. бумага) / ISBN 9781315267913 (Электронная книга)

Предметы: LCSH: Управление химическим процессом -- автоматизация. | Расходомер. | Измерение давления. / Измерения температуры.

Классификация: LCC TP155.75 .A55 2017/DDC 660/.2815--dc23 LC данные доступны на <https://lcn.loc.gov/2017000309>. Посетите веб-сайт Taylor&Francis

<http://www.taylorandfrancis.com> и веб-сайт "CRC Press" по адресу <http://www.crcpress.com>

ISBN 978-601-333-632-9

(рус)

Содержание

Предисловие	xiii
Выражение благодарности	xv
Введение	xvii
1. Пример использования	1
Проектирование процесса	1
Смешивание и дозирование	3
Непрерывное смешивание.....	5
Заполнение.....	6
Термообработка.....	8
Инвентаризация.....	10
Покупка и продажа (передача продукта потребителю)	12
Измерение разницы (чистый вес) / Обнаружение утечки	14
Кондиционирование воздуха / Охлаждение	15
Накачка.....	17
Переливное устройство	19
Разбрызгиватели.....	20
Целлюлозно-бумажный поток	21
Поток суспензии.....	22
Криогенный поток.....	23
Поток сточных вод.....	25
Тепловая мощность	25
Поток пара	27
2. Поток	29
Основные положения.....	29
Принцип измерений	31
Индуктивные расходомеры	33
Ультразвуковые расходомеры	35
Массовые расходомеры	37
Объемные расходомеры	39
Турбинные расходомеры.....	39
Дифференциальные расходомеры	40
Ротаметры	42
Вихревые расходомеры	44
Тепловые расходомеры.....	44
Общие требования к установке.....	44

Калибровка и проверка	46
Стандарт объема	48
Весовой резервуар	48
Испытательный прибор.....	49
Контрольные расходомеры	49
Трейсеры.....	49
Дополнительная литература	50
3. Давление	51
Основные положения	51
Единицы измерения давления	52
Методы измерения.....	53
Средства измерений	53
Измерительные преобразователи	53
Калибровка и проверка	57
Дополнительная литература	58
4. Температура.....	59
Основные положения	59
Методы измерения.....	59
Жидкость в стекле	59
Pt-100	60
Термопара.....	61
Инфракрасные термометры	61
Установка	62
Монтаж на трубе.....	62
Калибровка и проверка	63
Сравнение	64
5. Уровень	65
Основные положения	65
Принцип измерений.....	65
Поплавков.....	66
Ультразвуковое эхо.	66
Радиолокационные измерители.....	67
Датчики давления	67
Датчики проводимости	68
Взвешивание	69
Обзор уровнемера.....	70
Калибровка и проверка	71
6. Встроенный анализ.....	73
Химические измерения	73

РН.....	74
Проводимость	74
Мутность	75
Вязкость	75
Плотность и концентрация	76
7.Электрические сигналы.....	77
Передача сигнала	78
Аналоговые сигналы.....	79
HART	82
Сигналы импульса / частоты	83
Контроллеры.....	85
Проведенные расчеты	87
Линеаризация.....	88
Гальваническое разделение	89
Частота импульсов к аналоговому преобразованию	89
Экс-барьеры	89
Тепло и пар – тепловая энергия	90
Стандарт объема.....	91
Тепловое расширение	91
Таблицы и стандарты	92
Калибровка	92
Чертежи системы и конструкции.....	92
8.Клапаны, насосы и трубы.....	95
Клапаны	95
Клапаны управления.....	95
Насосы	96
Верхний элемент	97
Трубы и фитинги	97
Фланцы.....	98
Резьбовые соединения	98
Специальные соединения	99
Кавитация.....	99
9.Безопасность	101
Электрическая безопасность	101
IP-номинальные корпуса	102
Электрические помехи (ЭМС)	103
Безопасность давления.	104
Свойства материала	105
Коррозия	105
Опасные области	106

Огненный треугольник.....	107
Оценка риска	107
Электрооборудование	107
Электростатический разряд	110
Функциональная безопасность	110
Уровень полной безопасности.....	111
Традиционные концепции повышения безопасности	111
Дополнительная литература	112
 10. Калибровка и прослеживаемость	113
Насколько точны Ваши измерения?	113
Калибровка	113
Протокол калибровки	115
Отслеживание	116
Концепция	116
Ошибка	116
Повторяемость	117
Точность	117
Погрешность	117
Сравнение.....	117
Оценка соответствия	118
Сигнальные петли.....	118
Дополнительная литература	119
 11. Погрешность измерения	121
Числа.....	121
Оценка соответствия	122
Сравнения.....	122
Управление процессом.....	123
Погрешность	123
Случайная или систематическая	124
Образец.....	126
Дополнительная литература	128
 12. Основы метрологии.....	129
История.....	129
Веса и меры	129
Международная система единиц.....	131
Другие установки широкого спектра применения	133
Масса	133
Объем.....	133
Длина и площадь.....	133
Сила, мощность и энергия	133

13. Мир метрологии	135
Организации	135
Внутриафриканская метрологическая система	135
Национальный институт стандартизации США.....	135
АНИ	136
Ассоциация государств Юго-Восточной Азии.....	136
Американское общество инженеров-механиков	136
Международное бюро весов и мер	136
Британская ассоциация измерения и испытания.....	136
Колорадская инженерная экспериментальная станция	136
Немецкий институт стандартов	136
ЕА – Европейский совет по аккредитации	136
Европейский совет по стандартизации, метрологии и сертификации	137
МО – международная оценка.....	137
ЕКС	137
Европейская ассоциация национальных метрологических институтов.....	137
Совет по сотрудничеству стран Персидского залива – Всемирная организация по стандартизации.....	137
ГОСТ	137
Международная организация по сотрудничеству в области аккредитации лабораторий	137
Международная конференция по измерениям	138
Международная организация по стандартизации	138
Германская ассоциация по стандартизации для технологий измерения и управления в химической промышленности	138
Национальный институт по стандартизации и технологии	138
Международная организация по законодательной метрологии	138
Межамериканская метрологическая система	138
Западноевропейское сотрудничество по законодательной метрологии.....	139
Рабочая группа по потокам жидкости.....	139
 Глоссарий.....	 141
Приложение	151
Индекс	175

Предисловие

Моя идея при написании этой книги и выборе макета заключалась в том, чтобы начать с конца. Если сначала показать читателю результаты, это может вызвать больше энтузиазма, и я думаю, что энтузиазм – лучший способ достичь хороших результатов.

Итак, в первой главе вы найдете примеры того, чего можно достичь, изучая вещи, описанные в этой книге. Книга достаточно прикладная и ориентирована на практическую работу с измерительными приборами. Для получения дополнительной информации по фундаментальной физике и математике имеются ссылки на другие публикации. Вы можете начать с поиска примера, близкого к вашей проблеме измерения. Таким образом, это может быть не важно, в какой отрасли вы работаете. Например, вопросы измерения и контроля в процессе смешивания в большинстве аспектов одинаковы, независимо от того, работаете ли вы с нефтью, пищевыми продуктами или сточными водами. После этого вы можете перейти к конкретной части книги. Если, например, вам нужно измерить температуру, вы найдете информацию о том, как выбрать, установить и поддерживать температурный прибор в определенной главе. Затем есть несколько глав, представляющих общий интерес для всех типов измерений, включая разделы по электрическим сигналам и безопасности. Следующий шаг – выяснить, насколько велика погрешность измерения, и это описано в главах о калибровке и погрешности измерений.



Для достижения хороших результатов измерений, вкратце, мы можем разделить процесс на четыре части:

1. Сам инструмент. Датчики, оборудование и программное обеспечение должны быть в порядке и функциональны. Точность, основные настройки и калибровка должны быть адаптированы к применению с приемлемыми погрешностями измерений.
2. Установка и окружающая среда. Установите устройство правильно. Прочитайте руководство и остерегайтесь "обещаний" в маркетинговых материалах. Хорошие результаты требуют, чтобы вы думали о деталях! Такие вещи, как температура и давление (как в процессе, так и в окружающей среде) могут повлиять на результат. Так могут повлиять вибрации, электрические помехи, электромагнитное излучение и влажность.

3. **Безопасность.** Проверьте и убедитесь, что прибор не ставит под угрозу безопасность. Это включает много аспектов, включая деятельность, установку и функциональность.

4. **Сеть.** Как результат измерения передается в приемник? Независимо от того, является ли это ручным считыванием, аналоговым сигналом или цифровой шиной данных, всегда есть вещи, которые следует учитывать, и дополнительные погрешности, которых (иногда) можно избежать.

Я надеюсь, что вы найдете книгу полезной и что она поможет вам получить хорошие и надежные данные измерений.

Примечание

Были приложены все усилия, чтобы включить в эту книгу только точную и правильную информацию. Тем не менее нет никаких гарантий, что книга не сожержит ошибок. Данные и выводы, разработанные автором, не предназначены для использования без исследования. Автор, редактор и издатель не несут никакой ответственности за ущерб, возникший в результате использования информации в этой книге. Читатели должны всегда следовать требованиям законодательства, местным правилам и рекомендациям производителя в отношении любых работ по установке, эксплуатации или техническому обслуживанию.

В основном тексте и примерах величины в основном выражаются в единицах системы СИ, а ссылки даются и в других единицах. Знак запятой (',') используется в качестве десятичного разделителя, а пробел обозначает тысячи (1 000 000).

Выражение благодарности

Я впервые начал работать с расходомерами в VolvoCars во время школьного проекта. Это было интересно и занимательно. После школы я смог использовать отчет о проекте в качестве рекомендации при приеме на работу в отдел метрологии Научно-исследовательском институте SP Technical в Швеции. Через несколько лет я перешел на новую должность в Gustaffagerberg AB, частной компании, поставляющей приборы для шведской перерабатывающей промышленности. Все это время я изучал измерительную технику в различных школах, институтах, компаниях и отраслях по всему миру. Я очень благодарен всем, с кем я встречался в течение этих лет, каждый из которых вносит свой вклад в знания, которые я имею сегодня. Спасибо всем! Я хотел бы выразить свою благодарность миссис Керстин Маттиассон (SP, Швеция), г-ну Кристеру Столту (SP, Швеция), д-ру Масаки Такамото (Tokyo Keiso, Япония), д-ру Фридриху Гофману (компания KROHNE, Германия), г-ну Бенгту Фредрикссону (Fagerberg, Швеция), Питеру Расселу (Evaluation International, Великобритания), д-ру Йошия Терао (NMIJ, Япония), г-ну Пер-Ола Олссону (E-O, Швеция), д-ру Жан-Мелани Фавенеку (EDF, Франция), д-ру Джону Райту (NIST, США), д-ру Джинн-Аур Шоу (CMS/ITRI, Тайвань) и профессору Роджеру Бейкеру (Кембриджский университет, Великобритания) за их поддержку. Наконец, я хотел бы поблагодарить г-на Тима Энниса (Horizon Nuclear Power, Великобритания) за помощь в написании этой книги на английском языке, ведь это не такая простая задача.

Введение

Эта книга о технологии измерения процесса. Другими словами, в ней рассматриваются мероприятия и оборудование, предназначенные для выяснения того, что происходит внутри труб и резервуаров. Чтобы получить эту информацию, нам нужны такие устройства, как расходомеры, датчики давления, датчики уровня и преобразователи. Если предъявляются жесткие требования к достоверности собранной информации, то ее нужно измерять с небольшой погрешностью, а в большинстве процессов достоверные данные приравниваются к хорошему качеству продукции. Поскольку большинство производителей стремятся к достижению более высокого (или, по крайней мере, постоянного) качества, большинство процессов требуют все меньше погрешностей – развитие, приводящее к необходимости лучших измерений! Это не обязательно означает лучшие и более дорогие инструменты, потому что результат также очень сильно зависит от других параметров, таких как установка, пригодность выбранного принципа измерения, окружающая среда и пересчеты. И это то, о чем эта книга. Узнайте, как настроить измерительную систему, какие датчики выбрать, куда их поставить и как оценить истинность полученного результата. Книга будет посвящена измерительным решениям, установке и электрическим сигналам. Если вы работаете с автоматизацией процессов, измерительной техникой, проектированием процессов, обслуживанием приборов или обеспечением качества, надеюсь, эта книга поможет вам в вашей повседневной работе и поможет вам в решении ваших проблем.

Большинство описанных вещей соответствуют действительности во всем мире и в большинстве случаев основаны на международных стандартах. Кроме того, некоторые местные ссылки и ресурсы перечислены в главе 13.

Андерс Андерссон
Ридбохолм, Сведридж

Тим Эннис
Английский редактор

Обновления, примеры и дополнительную информацию можно найти на www.measurement.academy

Примеры использования

Всегда помните, что безопасность должна быть на первом месте! Но если испытание безопасно, всегда пытайтесь выполнить симуляцию системы измерения или управления, над которой вы работаете, до запуска реального процесса. Метод проб и ошибок, вероятно, является лучшим и наиболее эффективным способом обучения. Так что, если это безопасно, попробуйте свои идеи в реальном мире. Поэтому первая глава этой книги посвящена практическим установкам, технологическим схемам, контурам управления и типовым установкам счетчиков и датчиков.

Надеюсь, это даст вам вдохновение и новые знания! Эта книга о технологии измерения процесса. Это включает в себя измерители давления, температуры, уровня, потока и некоторые другие. Основное внимание уделяется процессам, протекающим в трубах и резервуарах. Мы обсудим методы измерения, оборудование, установку, обслуживание и, возможно, самое главное, калибровку и прослеживаемость.

Безопасность всегда на первом месте! Технологические трубы и резервуары могут содержать горячие токсичные вещества под высоким давлением. Соблюдайте правила техники безопасности, используйте средства защиты и слушайте советы и инструкции.

Проектирование процесса

Представьте себе фабрику по производству фруктовых соков. В этом процессе люди, работающие на заводе, используют очищенные, промытые и вареные фрукты. Затем фруктовый концентрат смешивают с водой и сахаром. Наконец, сок упаковывается и распределяется. Это довольно простой процесс, который также можно сделать дома на кухне. Все, что мы делаем на фабрике, это то же самое, что вы делали бы на кухне, но теперь мы собираемся делать сок в больших количествах и промышленным способом. Конечно, есть много соображений при построении такого рода процесса, особенно когда речь идет о пищевых и гигиенических требованиях. Но сейчас, как и в остальной части этой книги, мы сосредоточимся на измерениях и проблемах, связанных со смешиванием, перемещением и распределением продуктов, а также на том, как контролировать и измерять эти процессы.

В примере, проиллюстрированном на рис. 1.1, имеются две емкости: одна с фруктовым концентратом (2), а другая с сахаром (1). Продукты перекачиваются в новый резервуар (4), где они смешиваются с водой (3) и нагреваются. По окончании приготовления бутылки наполняются соком (5). Чтобы заставить все это работать, нам нужны четыре различных процесса

измерительных цепей. Во-первых, мы хотим отслеживать

2 Измерительные технологии для процесса автоматизации

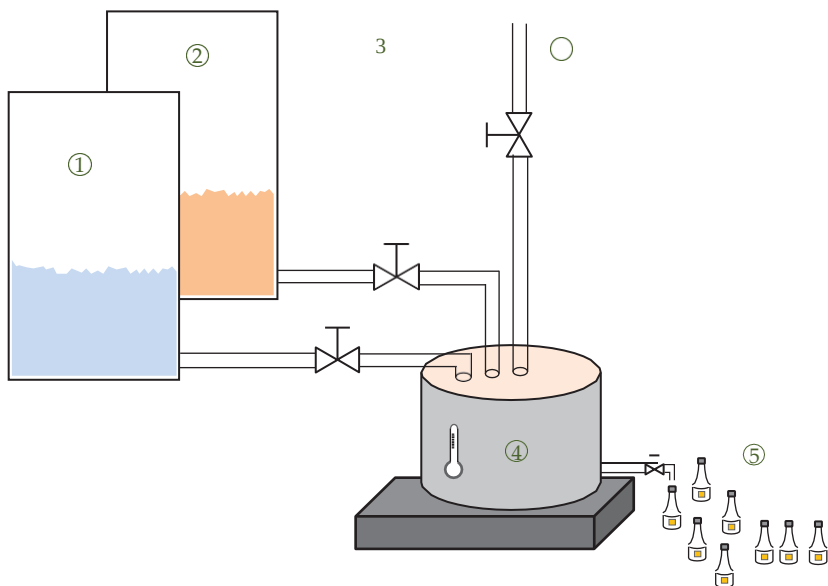


Рисунок 1.1

Смешивание и дозирование.

сколько материала осталось в резервуарах (1) и (2). Затем необходимо смешать ингредиенты в нужных пропорциях. Во время нагрева мы должны иметь правильную температуру. Наконец, мы хотели бы знать, сколько мы помещаем в каждый пакет, чтобы мы могли поставить правильную цену на продукты. Это первые четыре примера измерения на следующих страницах, где вы можете прочитать более подробно о том, как это сделать.

В этом конкретном примере может оказаться, что необходимость в точности не так важна. Но в основном те же принципы измерения применимы практически к любому произведенному продукту. Когда дело доходит до дорогостоящих ингредиентов, опасных химических веществ, лекарств или продуктов с очень высокими требованиями к качеству, вероятно, будут гораздо большие требования к измерениям. Другой аспект заключается в том, что хорошие измерительные приборы позволяют не только минимизировать ошибки, но и проверить, что было сделано с продуктами, тип качества трассировки – способность, которая имеет важное значение в некоторых процессах, таких как производство фармацевтических препаратов и продуктов питания.

Смешивание и дозирование

Почти все производственные процессы включают смешивание различных компонентов. Часто продукт смешивают с водой (разбавляют) для получения конечного продукта с правильной концентрацией. Однако цель процесса может также создать реакцию, определенную характеристику продукта или правильный вкус или текстуру.

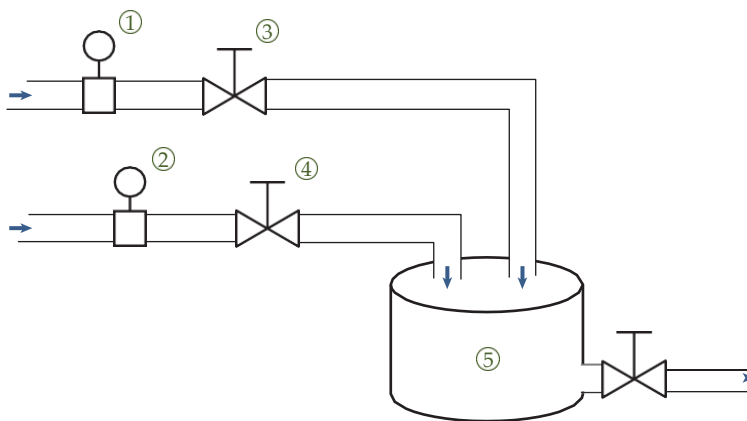


Рисунок 1.2
Смешивание.

Процесс смешивания обычно осуществляется двумя различными способами: партиями (в резервуаре, бочке или аналогичной единице) или непрерывно в "точке встречи" между двумя трубопроводами. Во многих случаях неправильное дозирование химических веществ не только приводит к продукции более низкого качества, но и может привести к производству опасного продукта. В таких случаях, конечно, предъявляются более высокие требования к используемому технологическому измерительному оборудованию, чтобы минимизировать риск неправильного смешивания и избежать рисков.

Два продукта, А и В, должны быть смешаны. Смешивание производится в емкости (5) (рис. 1.2). Как упоминалось ранее, этот метод аналогичен тому, как мы делали бы дома на кухне при выпечке или приготовлении пищи, когда ингредиенты измеряются и смешиваются в миске. Здесь в этом процессе продукты А и В могут быть измерены несколькими различными способами, и в случае измерения большого объема, вероятно, проще всего открывать и закрывать клапаны (3) и (4) в двух постоянно установленных трубопроводах. Чтобы знать, сколько времени клапаны должны быть открыты, мы можем:

1. Прочитать изменение уровня в смесительном баке
2. Использовать расходомеры (1) и (2), установленные в каждой линии

Для того чтобы сделать процесс более автоматизированным, клапаны можно контролировать с заранее поставленными измерителями соединенными

к измерителям прокачки. С заранее установленным измерителем и приводами клапанов, единственное, что нужно сделать оператору, это нажать START, и поток сам остановится, когда будет доставлено нужное количество.

Ссылка, см. подробнее

- Выбрать лучший расходомер, см. главу 2.
- Чтобы найти подходящий уровнемер, см. главу 5.
- Контроллеры дозирования и измерители (счетчики) с предустановкой см. в главе 7.
- Чтобы выбрать подходящий регулирующий клапан см. главу 8.

Преимущество

- Смешивание в резервуаре упрощает контроль качества, потому что образцы могут быть взяты, когда смешивание готово (и продукт все еще находится в резервуаре).

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Смешивание в резервуаре вызывает перебои в производстве. Если смешивание не получилось, может случиться так, что полная партия и все содержимое бака должны быть уничтожены. Если сырье имеет тенденцию отделяться, в резервуаре может потребоваться смешивающее устройство (например, пропеллер). Возможно также охлаждение или нагревание, которые необходимы для поддержания качества продукции.

- Выберите размеры, время отклика и время заполнения, соответствующие требуемой точности. Использование уровнемеров для контроля партии часто затруднительно, но иногда возможно, если резервуары высокие с небольшим диаметром. Если требуется использование расходомеров и высокая точность, расходомеры не должны устанавливаться далеко от точки смешивания.

- При работе с пищевыми продуктами требуется особая осторожность при выборе компонентов и материалов.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Вы должны знать высоту и диаметр резервуара, а также диаметр трубы и минимальный, номинальный и максимальный поток в каждой линии. Необходимо указать среду, максимальное рабочее давление и температуру. Время заполнения для каждой партии также может иметь значение, особенно если оно очень короткое (менее 1 минуты). Перед выбором подходящих расходомеров необходима оценка требуемой точности, основанная на требованиях к качеству продукции. Не забудьте проверить свойства материала при работе с химическими веществами. Выберите типы ввода/вывода сигнала, чтобы датчики и контроллеры могли работать вместе.

Непрерывное смешивание

Непрерывное смешивание – это метод, используемый в более новых производственных объектах, и часто где производственная мощность высока. В этом методе различные ингредиенты текут все время. Скорость потока измеряется с помощью расходомеров (1) и (2) (рис. 1.3). Смешивание контролируется системой управления (5) и двумя клапанами (3) и (4) в соответствии с конкретной рецептурой, причем соотношение компонентов смешивания определяется как процентное отношение. Регулятор коэффициента может быть частью большой системы управления или отдельным блоком. В любом случае аддитивный поток (в нашем примере желтый цвет) постоянно подстраивается под основной поток (синий цвет), чтобы поддерживать устойчивое процентное соотношение в конечном смешанном продукте (зеленый цвет).

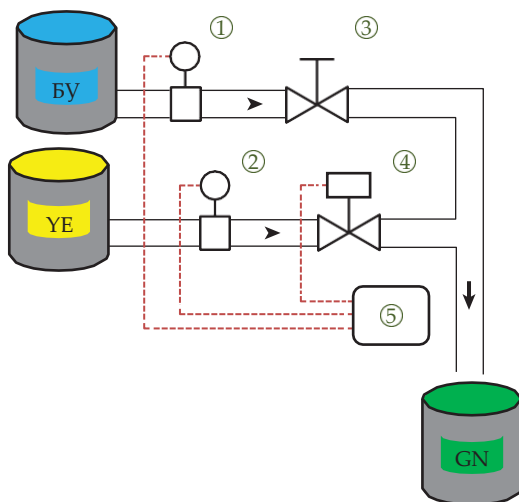


Рисунок 1.3

Непрерывное смешивание.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор подходящих расходомеров см. в главе 2. В основном, могут использоваться все виды расходомеров, но индуктивные и массовые расходомеры являются самыми распространенными.
- Выбор регулирующих клапанов см. в главе 8.

Преимущество

- Непрерывное смешивание обеспечивает более высокую производительность, гибкий процесс с меньшими затратами пространства.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Убедитесь, что продукты хорошо перемешаны. При необходимости установите статический смеситель, устройство, которое начинает вращение в трубе, который помогает смешивать продукт. Качество продукта может быть сложнее проверить, когда процесс непрерывно работает, и, следовательно, пробоботборный клапан важен.

- Выберите размеры трубы, размеры измерителя и потока, который соответствуют требуемой точности. Избегайте больших расстояний между расходомерами и точкой смешивания.

Вы должны знать высоту и диаметр резервуара, а также диаметр трубы и минимальный, номинальный и максимальный поток в каждой линии. Необходимо указать среду, максимальное рабочее давление и температуру. Перед выбором подходящих расходомеров, необходима оценка требуемой точности, основанная на требованиях к качеству продукции.

Не забудьте проверить свойства материала при работе с химическими веществами. Выберите типы ввода/вывода сигнала, чтобы датчики и контроллер могли работать вместе.

Заполнение

В процессе наполнения определенное количество (часть) перекачивается или переносится в упаковку (или в другой процесс). Первый вопрос, который нужно задать при проектировании такой системы: "Как продается каждая упаковка: по весу или по объему?" При постоянном качестве продукта и известной плотности легко преобразовать массу в объем (или наоборот), но при различных качествах это становится сложнее. Поэтому выбор измерительного оборудования более важен, когда характеристики продукта меняются со временем. В примере, показанном на рисунке 1.4, мы используем циркуляционную линию для подачи продукта. Такая конструкция обеспечивает лучшую стабильность температуры и давления в линии наполнения, поскольку поток в циркуляционной линии никогда полностью не выключается.

Эти типы процессов часто выполняются с высокой скоростью. На заводе по производству напитков при заполнении банок время заполнения может составлять до 1 секунды. В таких случаях важно, чтобы и измерительные приборы, и клапаны были быстры и согласованы друг с другом. Например, некоторые счетчики преднабора "узнают" (путем регистрации данных), как работает запорный клапан, и соответствующим образом регулируют следующую заправку. Также важно подумать о том, как и где клапан находится. Трубопровод должен быть устроен так, чтобы объем в трубопроводе между расходомером и пакетом не менялся между 2 заполнениями.

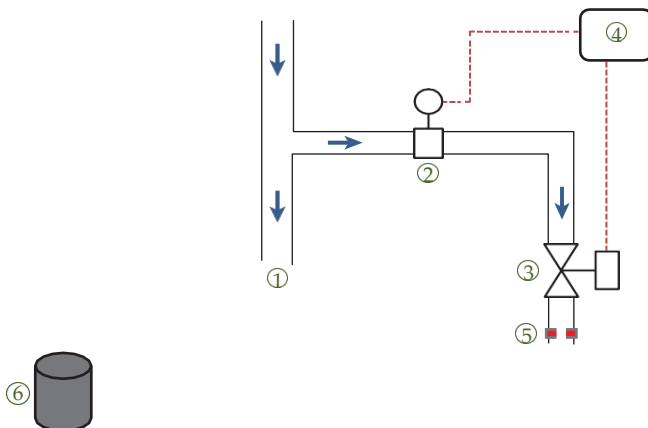


Рисунок 1.4

Заполнение и дозирование.

Хороший способ состоит в том, чтобы иметь четко определенное разделение (своего рода край, который может пройти жидкость) или, в очень быстрой системе, специальный клапан, который закрывает конец трубы, чтобы избежать капель. Для этого применения существуют также дозирующие насосы, которые представляют собой комбинацию расходомера и насоса.

Здесь подача распределяется в циркуляционной системе (1), своего рода перелив, где неиспользуемая жидкость передается на другие линии наполнения или обратно в резервуар хранения. Это полезно даже при одновременном заполнении только одной упаковки (6), поскольку циркуляция будет поддерживать жидкость смешанной и свежей, а также поддерживать более стабильное давление в подающей линии. Расходомер (2) измеряет прохождение жидкости при открытом дозирующем клапане (3), а контроллер (4), подключенный к клапану и к выходному сигналу расходомера, закрывает клапан при достижении номинального объема. Чтобы избежать капания и попадания различных объемов между расходомером и пакетом (также известный как объем буфера), эта труба должна быть как можно короче. Он также может быть оснащен устройством против капель (5), своего рода соплом, которое будет поддерживать заполнение линии между двумя пакетами, когда нет потока.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор расходомеров см. в главе 2. Индуктивные, объемные и массовые расходомеры являются наиболее часто используемые видами прибора.
- Выбор регулирующих клапанов см. в главе 8.
- Законы и рекомендации по правовым требованиям в отношении

упакованных товаров см. в главах 12 и 13.

Преимущество

- Непрерывное смешивание обеспечивает более высокую мощность и гибкий процесс.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- С высокоскоростной начинкой, это более трудно измерить с точностью! Попробуйте соотнести производственную мощность с максимальной ошибкой в весе или объеме. В некоторых случаях лучше расположить две более медленные линии заполнения параллельно.
- Тщательно выберите размер расходомера и потока. В высокоскоростной разливочной машине компенсируйте движение дозирующего клапана. Установите расходомер, клапан и выходное сопло близко друг к другу. Не используйте стандартные настройки в электронных счетчиках, вместо этого установите постоянные времени, шумовые фильтры и аналогичные функции в соответствии с конкретным приложением.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Размер пакета, время заполнения и жидкости важно знать при проектировании этого приложения. Давление и температура всегда необходимы.

Кроме того, попробуйте оценить необходимую точность на основе требований к качеству продукции. Если продукция продается по объему или весу, к заявке могут предъявляться юридические требования. Выберите типы ввода/вывода сигнала, чтобы датчики и контроллеры могли работать вместе.

Термообработка

Когда продукт подвергается термической обработке, это обычно делается в печи или духовке или, если продукт жидкий, в резервуаре с подогревом. В большинстве случаев критическим аспектом этого процесса является то, какой температуры достигает продукт и время, в течение которого продукт подвергается воздействию тепла. Во многих случаях существует два лимита: максимальный и минимальный. Если температура слишком низкая, обработка продукта может быть недостаточно хорошей. Если температура становится слишком высокой, продукт может быть поврежден или даже разрушен. Важной технической проблемой здесь является то, что датчик температуры не всегда измеряет фактическую температуру продукта. Так или иначе, мы должны использовать измеренную температуру для расчета или оценки фактической температуры продукта. В примере, показанном на рис. 1.5, изделия перемещаются по ленте (3) через печь. Нагреватель (1) расположен в нижней части печи. При использовании среднего значения четырех датчиков температуры (2) показания температуры в контроллере (4) становятся более

характерными для температуры, воздействию которой подвергается продукт. Однако, если ключевым пределом является самая высокая температура, при которой продукт подвергается воздействию (возможно, деликатный пищевой продукт), то не оптимально регулировать тепло в соответствии со средней температурой. В этом случае лучше использовать датчик, установленный где-то рядом с нагревателем (чтобы увидеть максимальную температуру внутри печи) или рядом с продуктом, когда он находится рядом с нагревателем (чтобы увидеть максимальную температуру, которой подвергается продукт).

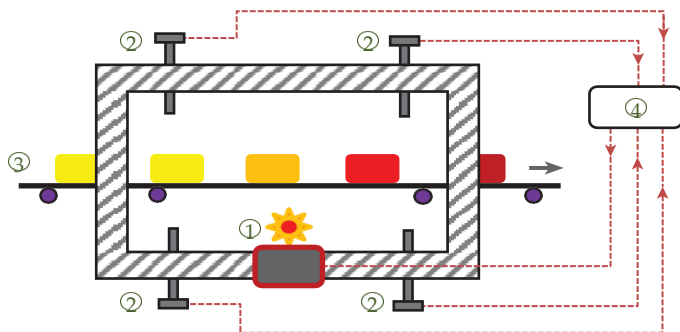


Рис. 1.5

Печь / печь выпечки.

Напротив, если целью является определение минимальной температуры, например, в стерилизующем автоклаве, то наилучшее положение для датчика температуры, вероятно, должно быть как можно дальше от нагревателя.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор подходящих датчиков температуры см. в главе 4. Наиболее распространенными при низких температурах (ниже 300 °C) являются датчики типа Pt-100. Для более высоких температур, термопары часто используются, и в процессах при температуре 1000 °C и более (например, в сталелитейной промышленности) бесконтактные, инфракрасные пирометры (тепловых камер) являются предпочтительными.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Убедитесь, что продукт достигает измеренной температуры. При испытании / проверке технологической линии можно использовать движущийся регистратор температуры, имитирующий продукт. Помните, что все температурные датчики измеряют собственную температуру, а не реальную температуру продукта!
- Установите датчики в подходящем и репрезентативном месте, где они будут измерять значение как можно ближе к требуемым данным. Постоянные времени

часто изменяются в зависимости от установки, конструкции датчика и настроек преобразователей, и все эти факторы должны соответствовать скорости процесса. Информация, необходимая для калибровки и выбора

- При выборе датчиков необходимо знать температурные диапазоны и необходимую точность, исходя из требований к качеству продукции. Выберите типы ввода/вывода сигнала, чтобы датчики и контроллеры могли работать вместе.

Инвентаризация

Инвентаризационные измерения связаны со знанием того, сколько цистерны и резервуары могут вмещать. Если вы знаете, сколько материала у вас есть на складе, вы можете установить как скорость производства, так соответственно и выход. Это можно сравнить с тем, когда вы ведете свой автомобиль, планируя свой маршрут в зависимости от того, сколько топлива есть в баке. Хранение товаров в упаковках можно, конечно, проверить, подсчитав бутылки и коробки. Возможно, вам придется объединить несколько различных принципов измерения и методов работы, чтобы получить информацию об общем запасе. Поэтому важно, чтобы во избежание путаницы использовалась одна общая единица. В большинстве случаев наиболее подходящей единицей для использования является масса (например, тонны), поскольку масса не будет меняться в зависимости от температуры и давления.

В примере, показанном на рис. 1.6, имеются два резервуара с одним и тем же типом уровнемера. Оба резервуара имеют одинаковый объем, но один высокий и узкий, другой короткий и широкий.

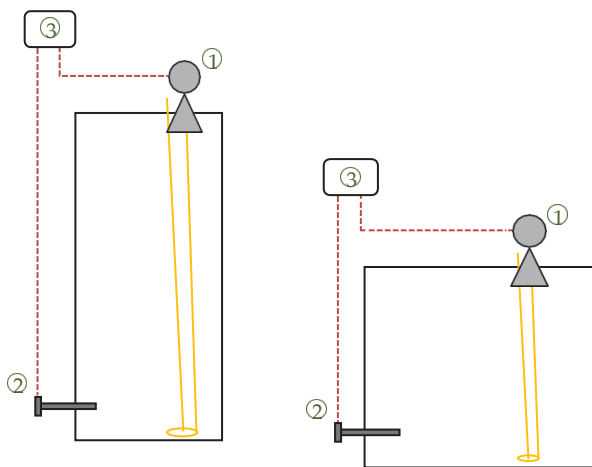


Рис. 1.6
Контроль уровня.

Оба уровнемера имеют одинаковую спецификацию, но поскольку точность задается в миллиметрах, точность с точки зрения объема будет лучше в высоком резервуаре. Это потому, что уровень будет меняться больше в этом, чем в широком баке, для данного объема.

Если температура в баке не постоянна, плотность жидкости внутри бака изменится. А если плотность изменится, то изменится и объем! Это означает, что медленно меняющийся уровень измерения не обязательно означает, что есть утечка в баке; это может быть температура, которая меняется. Различные жидкости имеют различную температурную зависимость. Вода имеет очень специальную кривую плотности, с максимальной плотностью при 4 °C. Нефть – это группа продуктов, которая имеет большое изменение плотности из-за температурных вариаций. При повышении температуры бензин, масло и дизельное топливо увеличат свой объем примерно на 0,2% на каждый градус Цельсия. Таким образом, измеритель уровня (1) в большинстве случаев необходимо комбинировать с датчиком температуры (2) и блоком пересчета (3).

Ссылка, см. подробнее

- О выборе хорошего уровнемера см. в главе 5. Много различных уровнемеров используются в таких приложениях – там, где выбор локатора, вероятно, является наиболее точным решением. Также распространены ультразвуковые датчики и датчики давления. Также можно установить весь бак на платформу для взвешивания или на тензодатчики. Методы взвешивания и датчики давления не обнаруживают изменений уровня, вызванных изменениями плотности (температуры).
- Для защиты от переполнения / безопасности см. главу 9.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Если измерения выполняются во многих точках большой системы, например, для контроля теплового баланса или общего потока продуктов на заводе, не забудьте преобразовать все количества в одну единицу. Всегда выбирайте уровнемер с учетом формы резервуара. Помните, что внутри резервуара может быть установлено оборудование, такое как трубы, смешивающие устройства, лестницы и нагреватели. Такие предметы могут вызвать проблемы с уровнемером, установленным сверху; измеритель ошибочно обнаружит объекты, а не истинный уровень жидкости. Изменение атмосферы внутри резервуара, с паром, газом или пылью, может также привести к проблемам со счетчиком и ошибкам измерения для приборов, предназначенных для чистого воздуха.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

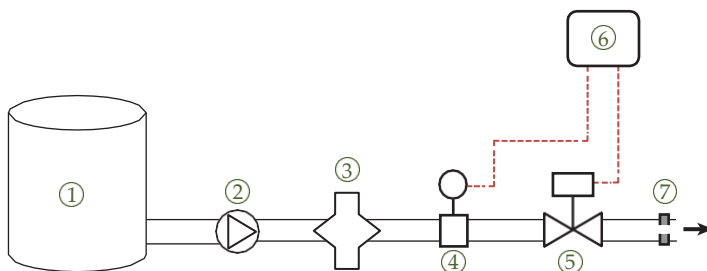
- Важны диаметр и высота резервуара, а также условия эксплуатации (среда, температура и давление). При работе с химическими веществами проверьте свойства материала и попытайтесь выяснить, как будет выглядеть

поверхность внутри резервуара (спокойная, с рябью или с пеной сверху). Если вы проверили по эталону резервуары, проверьте, как применить данные эталоны к измерению уровня.

Покупка и продажа (передача продукта потребителю)

Измерительное оборудование, используемое для продажи, должно по закону (в большинстве стран) проектироваться в соответствии с конкретными требованиями. Эти законы направлены на предотвращение мошенничества и поощрение справедливой торговли. Международные рекомендации по использованию методов выдаются Международной организацией законодательной метрологии (Organisation Internationale de Métrologie Légale, или МОЗМ). Затем в большинстве стран выпускаются местные версии этих документов. В большинстве этих различных документов изложены сходные основные технические требования, такие как температура окружающей среды и способность выдерживать внешние радиосигналы. Большинство требований также разделены на разные части для разных счетчиков и/или областей применения. Например, имеются поддокументы, касающиеся бытового водоснабжения, топливораздаточных устройств на автозаправочных станциях, весов в продуктовых магазинах и счетчиков такси. Масштабы этих законов значительно варьируется от одной страны к другой. В некоторых местах *все* измерительное оборудование, используемое для расчетов, подчиняется требованиям законодательства-дажепаркомат. В некоторых других странах предусмотрено лишь несколько применений, например, измерители объема, которые используются для продажи топлива частным лицам.

Когда дело доходит до законодательной метрологии, жидкости, такие как бензин и дизельное топливо, относятся к группе "жидкости, отличные от воды". Аналогичные правила применяются для всех счетчиков, используемых в таких применениях. Важным фактом является то, что не только счетчик удовлетворяет заявленным техническим требованиям, но и такие устройства, как клапаны, насосы, резервуары и трубы вокруг счетчика. Это называется "измерительной системой".



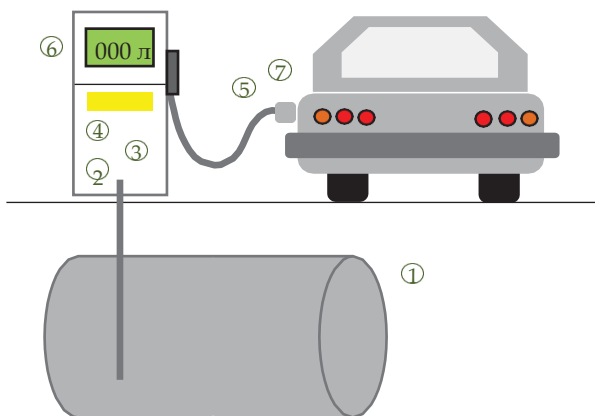


Рисунок 1.7

Хранение измерительной системы передачи.

Пример, показанный на рисунке 1.7, иллюстрирует автозаправочную станцию. Топливо хранится в подземных резервуарах (1). Каждый дозатор содержит насос (2) и воздушный сепаратор или устройство контроля газа (3). После этого жидкость измеряется в расходомере (или измерителе объема) (4). Электронный блок (6) внутри устройства будет управлять выпускным клапаном (5) и/или насосом в соответствии с входными сигналами от персонала магазина/киоска или от близлежащего считывателя кредитных карт. Жидкость перекачивается через гибкий резиновый шланг и форсунку (7) в автомобиль. Внутри сопла имеются датчики для защиты от переполнения и клапан с регулируемым давлением, который закрывается при выключенном насосе или при закрытом выпускном клапане. Это позволит держать шланг заполненным, а также позволит правильно распределять объем каждому потребителю.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор правильного расходомера см. в главе 2. Многие типы расходомеров могут быть использованы (и сертифицированы), но наиболее распространены в продаже других жидкостей, кроме воды, используются объемные, ультразвуковые и массовые расходомеры (Кориолисовые).
- Законы, директивы и правила, которые скорее всего применяются, см. главы 12 и 13.

Преимущество

- Выбор измерительного оборудования, которое одобрено по типу конструкции (или сертифицировано), часто приводит к безопасной и надежной работе, даже если нет никаких юридических требований.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Сертифицированный датчика не всегда достаточно для выполнения требований законодательства. В большинстве случаев существует системный

подход, и должна быть утверждена полная измерительная система. Кроме того, обычно требуется провести повторную проверку для проверки ошибок измерения через определенные интервалы времени.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Сведения о типе жидкости и номинальном потоке требуются при разработке этого применения. Давление и температура всегда необходимы выбирая компоненты. Большинство сертифицированных измерительных приборов имеют утвержденный тип с системным подходом, что приводит к необходимости не только конкретного прибора, но и конкретной измерительной системы с различными компонентами.

Измерения разницы (чистый вес) / обнаружение утечки

В некоторых случаях очень важно, чтобы то количество, которое входит в трубу (или систему), выходило наружу на другом конце. Например, это может применяться в канализационной трубе, которая пересекает озеро, в водопроводной трубе, которая установлена под железной дорогой, или в трубе с токсичной жидкостью, которая может причинить вред в случае утечки. Для контроля таких установок можно использовать два расходомера: один на входе, а другой на выходе. Если входной поток отличается от выходного потока, может быть подан сигнал тревоги или клапан на конце подачи может быть автоматически закрыт. Если труба длинная (или если система большая), то почти наверняка необходимо, чтобы две измеренные скорости потока были скомпенсированы для изменений давления, температуры и других факторов, которые могут вызвать изменения объема между двумя точками измерения. Для таких больших систем имеется программное обеспечение, предназначенное для обработки такой связанной информации, или многовариантные входные данные.

Аналогичная настройка может использоваться для измерения потребления в системе подачи переполнения. Примером такой системы является подача топлива в горелку в электростанции или судовых двигателях (4) (рисунок 1.8).

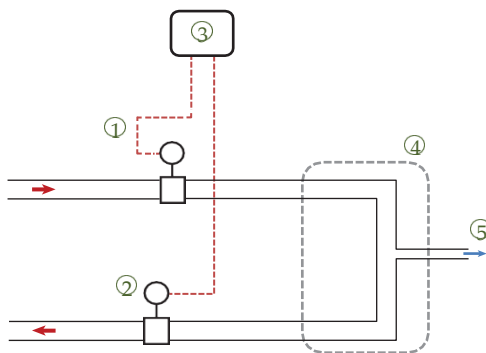


Рисунок 1.8

Система чистого (валового) измерения.

Когда потребляемая мощность мала (на холостом ходу), расход топлива (5) мал, а входной поток (1) и обратный поток (2) высоки. При высокой мощности используется большая часть топлива, а обратный поток низкий.

В обоих случаях определение размеров расходомеров очень важно. Поскольку точность рассчитанного дифференциального потока зависит от показаний обоих расходомеров, точность становится критической. Даже если погрешность измерения в каждом расходомере имеет небольшое значение в процентах, это может привести к большой погрешности дифференциального расхода, например, при малом выходном расходе. Образец: Расход потока (5) составляет 100 л/мин. Входной поток 1000 л/мин и возвращенная подача (2) 900 л/мин. Погрешность каждого расходомера составляет менее 1%. Это равно $0,01 \times 1000 = 10$ л/мин и $0,01 \times 900 = 9$ л/мин. В принципе (без какого-либо статистического подхода) погрешность потребления, указанная в контроллере (3), может быть до $(10 + 9)/100 = 19\%$.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор расходомеров см. в главе 2.

Преимущество

- Это хороший способ повысить безопасность и снизить влияние экологических аварий.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Помните, что погрешность измерения в процентах может быть весьма высокой. С высокой подачей в циркуляции и небольшой разницей, необходимы очень точные расходомеры. Если давление и температура изменяются между входом и возвратом, может потребоваться компенсация этих изменений.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Тип жидкости и максимальные и минимальные скорости потока для входа, возврата и использования необходимы при разработке этого применения. Давление и температура должны всегда учитываться. При работе с химическими веществами проверьте свойства смачиваемых компонентов. Проверьте типы сигналов, чтобы датчики и контроллер работали вместе.

Кондиционирование воздуха / Охлаждение

Системы кондиционирования воздуха требуют много энергии. В большинстве случаев, система охлаждения менее эффективна, чем система отопления. Поэтому часто бывает много пользы, если измерительная система установлена и используется для контроля эффективности (часто в качестве коэффициента полезного действия, КПД) холодильной машины или теплового насоса. При мониторинге машины в режиме реального времени можно наблюдать соотношение между мощностью, скоростью и температурами для

оптимизации производительности системы.

В примере, показанном на рис. 1.9, имеется несколько измерительных приборов. Первичным измерением является тепловой счетчик, установленный на входе (1) с помощью датчика потока (4D) и температуры входа и выхода (4A) и (4B). Кроме того, электрическая мощность (3) измеряется измерителем электрической мощности (4C). Произведенная энергия измеряется на выходе (2) аналогично с (4E), (4F) и (4G).

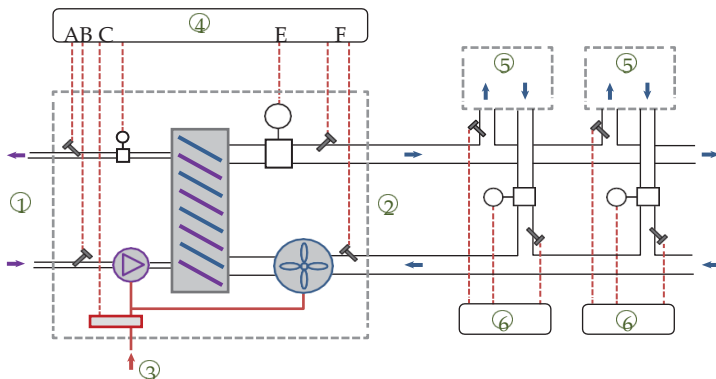


Рисунок 1.9

Измерительная система теплового насоса.

Общее производство и эффективность могут быть вычислены и проконтролированы в центральном блоке (4). Распределение и подача различным потребителям (5) измеряются индивидуальными теплосчетчиками (6).

Ссылка, см. подробнее

- Выбор расходомеров см. в главе 2.
- Расчет тепловой мощности и тепловой энергии см. в главе 7.
- При использовании для выставления счетов, теплосчетчик также может быть предметом юридических требований – см. главу 12.

Преимущество

Измерение мощности и энергии в производственных и распределительных сетях повышает возможность обнаружения утечек энергии. Без знаний и статистических данных гораздо труднее осуществлять соответствующие меры по повышению энергоэффективности. ISO 50001 (Системы управления энергией) описывает в общих чертах подходящие действия по энергосбережению.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- При измерении потока воздуха в помещениях и больших воздуховодах

скорость воздуха может сильно варьироваться в зависимости от положения датчика. Это связано с тем, что поток распределяется неравномерно, и ваш датчик измеряет только в одной точке. Всегда старайтесь измерять в нескольких положениях и вычислять средний общий поток. Подробнее о датчиках потока воздуха и газа читайте в главе 2.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Тип жидкости и максимальный поток необходимы при разработке этого способа применения. Давление и температура всегда необходимы при выборе компонентов. Конденсация на холодных деталях может потребовать специальных материалов (или других процедур для борьбы с конденсацией). Выясните, существуют ли юридические требования для применения. Выберите типы сигнала так, что датчики, регуляторы и аппаратуры будут соответствовать; также проверьте возможные требования для дистанционного чтения

Накачка

Существует несколько способов транспортировки жидкости между двумя местами, и применение насоса, вероятно, является наиболее часто используемым способом. Различные насосы работают в соответствии с различными принципами, и наиболее подходящий принцип для конкретного применения выбирается на основе температуры, давления, вязкости и наличия твердых веществ или пузырьков газа в среде, которая должна быть перенесена. Также одни газы могут перекачиваться (вентилятор – это тип насоса), в то время как другие (например, пар) обычно не перекачиваются, а вместо этого перетекают из-за различия давления.

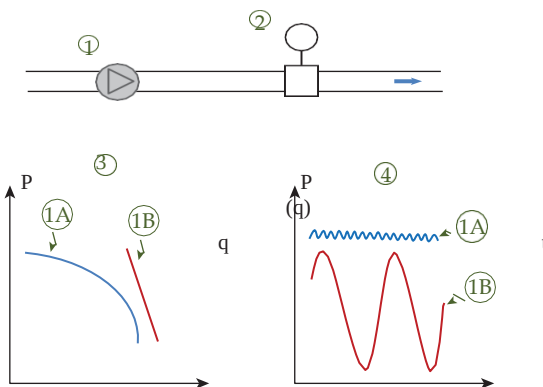


Рисунок 1.10

Характеристики насоса.

При использовании тех способ, которые предусматривают применение насосов, расходомеры часто устанавливаются на одной линии. Если насос и

расходомер установлены близко друг к другу, они могут мешать друг другу, вызывая производственные проблемы или ошибки измерения. Это особенно актуально при использовании насосов и/или счетчиков объемного (объемного) типа.

На рис. 1.10 насос (1) направляет жидкость на расходомер (2), установленный ниже по потоку. Проиллюстрирована связь между давлением и расходом для двух широко используемых принципов работы насоса. Синяя линия (1A) показывает отношение в центробежном насосе, и красная линия (1B) показывает отношение в объемном (положительном размещении) насосе. На первом графике (3) видно соотношение между давлением и расходом (q), а на втором графике (4) – давление и время (t). С центробежным насосом, как правило, наблюдается небольшое, но высокочастотное изменение давления в трубопроводе. С объемным насосом, гораздо медленнее и более большое изменение давления. Частота и амплитуда зависят от типа используемого насоса. Однако обе версии насоса могут нарушить измерительное оборудование установленное по потоку. После объемного насоса, часто необходимо использовать специально сконструированный измеритель прокачки для того чтобы дать стабилизированное и правильное чтение.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор подходящего расходомера см. в главе 2.

Преимущества

- Измерение потока в насосе дает возможность контролировать эффективность и износ.
- Если после насоса установлен небольшой резервуар с воздухом (или газом с резиновой мембраной или без нее), это позволит компенсировать пики давления, создаваемого насосом. Такое устройство (иногда называемое гидрофором) приведет к более плавному потоку, обычно хорошему как для измерения, так и для процесса.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Тип жидкости, давление и температура всегда влияет на работу насоса.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Вам нужно знать диаметр трубы и минимальный, номинальный и максимальный расход. Также необходимы среды, максимальное рабочее давление и температура, а также частота пиков давления для объемного насоса. Не забудьте проверить свойства материала при работе с химическими веществами. Выберите типы ввода/вывода сигнала, чтобы датчики и контроллеры могли работать вместе.

Переливное устройство

Если в баке для хранения слишком много жидкости, то могут возникнуть все виды проблем. Система защиты от переполнения используется для предотвращения утечки ядовитых или опасных жидкостей из резервуара. Поэтому в некоторых случаях требуется установка не только системы предупреждения, но и автоматической системы отключения клапанов или насосов. Такая система, конечно, должна быть надежной и (когда защита от переполнения является требованием безопасности) также сертифицирована.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор уровнемера см. в главе 5.
- Безопасность процесса см. в главе 9.

Преимущество

- Выбор сертифицированного уровнемера позволит не беспокоиться за его работу, даже если к нему нет никаких юридических требований.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Для выполнения всех требований во многих случаях требуются два независимых измерительных прибора. Кроме того, необходимо запланировать регулярное обслуживание, техническое обслуживание и функциональные испытания.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Важны диаметр и высота резервуара, а также условия эксплуатации (среда, температура и давление). При работе с химическими веществами проверьте свойства материала и попытайтесь выяснить, как будет выглядеть поверхность посмотрите внутрь резервуара (спокойный, с рябью или с пеной сверху).

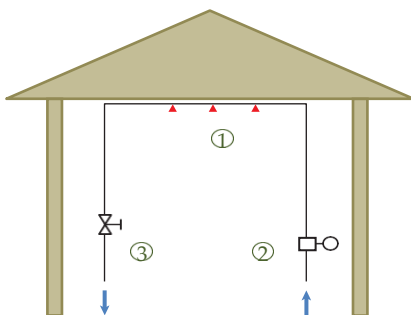


Рис. 1.11

Смешивание и дозирование.

При необходимости не забудьте упомянуть, что практическое использование имеет юридические требования для защиты от переполнения.

Разбрызгиватели

Спринклерные системы используются для смягчения последствий пожара. Когда обнаруженная температура в помещении достигает определенного предела, внутренний клапан в спринклерной системе открывается и вода выпускается в виде брызгов. Часто требуется протестировать такие системы, как функцию выпуска, так и емкость подачи воды. Функция сброса может быть испытана путем набора образцов для испытаний в лаборатории. Поток воды, подаваемой в разбрызгиватели (1), можно проверить, открыв перепускные клапаны (3) и проверив поток, измеренный локально установленными расходомерами (2) (рис. 1.11).

Ссылка, см. Подробнее

- Выбор подходящего расходомера см. в главе 2. В таких системах скорость потока очень высока. Это требует компонентов с точными размерами, чтобы избежать больших перепадов давления. Поскольку расходомер в данной конкретной области применения используется для проверки максимальной производительности спринклерной системы, он должен иметь как можно более низкий перепад давления. Это сделано для того, чтобы избежать того, что сам расходомер приведет к более низкому максимальному потоку (по сравнению с отсутствием расходомера)! Наиболее распространенными типами являются индуктивные или ультразвуковые расходомеры. Также можно использовать накладные ультразвуковые измерители, установленные на внешней стороне трубы.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- В некоторых случаях местным органам власти или страховым компаниям потребуются регулярные тесты и прослеживаемые эталонные счетчики.

В таких целевых случаях для эталонного счетчика должен иметься действительный сертификат калибровки. Такой документ может быть трудно получить для счетчика (даже если это в других аспектах является подходящим и простым в использовании устройством), так как в этом типе счетчика также является частью трубопровода (где установлен счетчик) измерение.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Установленный диаметр трубы и максимальный поток так же, как максимальное давление. Попробуйте оценить падение давления и проверить, приемлемо ли это.

Целлюлозно-бумажный поток

В принципе целлюлозно-бумажный комбинат ничем не отличается от других технологических производств. Однако эти заводы могут иметь специфические применения измерения. Одним из таких применений является измерение потока пульпы, теплой жидкости, содержащей воду, пульпу, химикаты и воздух. Пульпа может быть трудна для того чтобы измерить и часто будет требовать специальных аппаратур, или специальных версий стандартных аппаратур.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор подходящего расходомера см. в главе 2. Индуктивные измерители прокачки чаще всего встречаются в данном типе. При высокой концентрации волокон и/или химических добавок может возникать электрический шум, который требует специальных действий.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Бумажная масса часто находится при высокой температуре. Это относится и к другим технологическим жидкостям на бумажной фабрике, а поскольку индуктивные расходомеры имеют вкладыши (внутреннюю электрическую изоляцию), важно соблюдать предельные значения температуры и давления. Особенно низкое давление, ниже атмосферного давления, в сочетании с высокой температурой, может быть трудно обрабатывать облицовочный материал.
- При отборе проб с целью анализа различных свойств в лаборатории важно брать репрезентативную пробу. Пульпа не всегда однородно смешана в трубе; поэтому, специальный клапан забора может быть выгоден.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Определение диаметра трубы в соответствии с номинальным потоком важно как для ограничения погрешности измерения, так и для снижения износа. При работе с химическими веществами проверьте свойства смачиваемых компонентов. Добавки и частицы в жидкости могут вызвать как химические, так и электрические шумы внутри любого прибора.

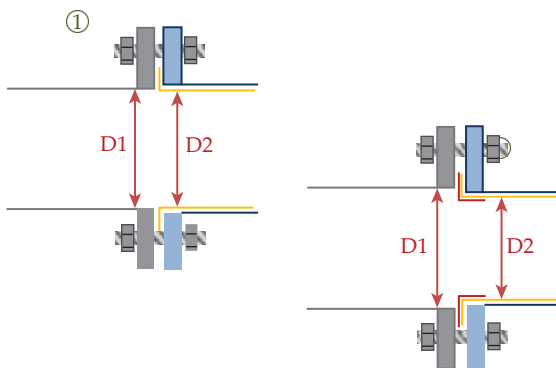


Рис. 1.12

Выравнивание внутренних диаметров.

Поток суспензии

Суспензии, пасты и другие жидкости, содержащие твердые частицы, часто используются в некоторых технологических отраслях, особенно в горнодобывающей промышленности. Как и в случае бумажной массы (рассмотренной выше), частицы в суспензиях и пастах могут вызывать различные типы проблем. В этих случаях необходимо учитывать засорение, образование накипи (образование внутренних слоев), истирание и износ, чтобы не сократить срок службы инструментов. Важно выбрать правильный размер и материал, чтобы избежать повреждения внутренней трубы. Помимо проблемы истирания, эффективность самого переноса материала связана со скоростью. Если скорость потока слишком высока, вода (или транспортная жидкость) оставит твердые частицы, что приведет к засорению. Напротив, если скорость слишком низкая, частицы будут падать и скапливаться на дне трубы через осаждение, и это также вызовет засорение.

В примере, показанном на рис. 1.12 показаны два разных размера труб. С хорошо подобранными размерами (1), нет никакой разницы во внутреннем диаметре при сравнении расходомера и трубопровода. Если внутренний диаметр прибора меньше по сравнению с трубопроводом (2), необходимы защитные устройства. Из – за возможных ошибок измерения, как правило, не рекомендуется использовать прибор с большим внутренним диаметром, чем труба.

Ссылка, см. подробнее

- Чтобы найти лучший расходомер, см. главу 2. Индуктивные расходомеры очень распространены в суспензионных системах. Твердые тела и частицы с определенными электрическими свойствами могут вызвать шум на измерительных электродах, и это требует тщательного проектирования системы. Дополнительно могут использоваться расходомеры на основе доплеровского или корреляционного методов. Если износ можно держать под контролем, можно также использовать массовые расходомеры (типа Кориолиса). Если это так, они могут предложить дополнительную

функциональность, как они в дополнение измеряют плотность и в некоторых случаях высчитывают концентрацию и/или процент твердых тел в продукте.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Следите за процессами истирания и износа. Чтобы избежать слишком большого сокращения срока службы компонентов, важно поддерживать ограниченную скорость в трубе! Помимо проблемы истирания, также сам транспорт материала связан со скоростью. Оптимальная скорость зависит от свойств материала; очень часто скорость около 2 м/с достаточно хороша. Важно также, чтобы внутренний диаметр расходомера был таким же, как у трубы. Если измеритель имеет меньший диаметр (если D2 меньше D1), для улучшения ситуации можно использовать металлические защитные кольца различных конструкций.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Определение диаметра трубы в соответствии с номинальным потоком важно как для ограничения погрешностей измерения, так и для снижения износа. При работе с химическими веществами проверьте свойства смачиваемых компонентов. Добавки и частицы в жидкости могут вызвать как химические, так и электрические шумы внутри любого прибора.

Криогенный поток

Криогенное применение при очень низкой температуре. Примерами являются сжиженные газы, такие как сжиженный азот, используемый в лабораториях, или сжиженный природный газ (СПГ) в энергетическом секторе. При атмосферном давлении температура СПГ составляет около -162 °C. Из-за свойств материала трубы, резервуары и компоненты будут сжиматься при охлаждении. Если система изготовлена из разных материалов, что, вполне вероятно, приведет к возникновению напряжений и усилий, если они будут сокращаться или сжиматься с разной скоростью. Гибкая секция (3), установленная где-то в линии, защитит расходомер (2) и другие компоненты (1) (рисунок 1.13). Тот же метод используется, когда трубопровод иногда достигает очень высоких температур.

Ссылка, см. подробнее

- Для поиска подходящего расходомера, см. главу 2. При таких низких температурах предъявляются высокие требования ко всем компонентам, особенно к измерительному оборудованию.

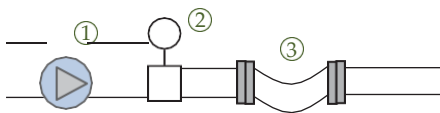


Рис. 1.13

Гибкая установка.

Положение установки и монтажа еще более важно, чем обычно, чтобы избежать помех от механических сил, которые могут возникнуть, когда материалы сжимаются из-за снижения температуры. Среди наиболее распространенных типов являются диафрагменные, Кориолисовые и ультразвуковые измерители.

- Законы и правила хранения и перекачки см. в главах 12 и 13. В некоторых областях, криогенные системы могут иметь (ясно видимый) перепускной клапан через расходомер. Это связано с тем, что счетчик и труба должны быть охлаждены, чтобы жидкость находилась в жидком состоянии до начала подачи (в других применениях Перекачки и хранения перепускные клапаны не допускаются).

Преимущество

- Сертифицированная или одобренная система измерения может предложить надежность и уверенность, даже если нет никаких юридических требований.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Следите за тепловыми пятнами, как плохо изолированные участки в системе труб. В таком месте жидкость может потеплеть, а при достижении температуры кипения образуется газ. Поскольку плотность газа значительно ниже, увеличение объема приведет к неожиданным эффектам давления, которые могут толкать жидкость в любом направлении.

- Эффект, подобный описанному выше тепловому пятну, может быть использован для защиты устройств, таких как датчики давления, от более низких температур. Если он установлен в «мертвом» Т-соединении, датчик давления будет измерять давление холодной жидкости через более теплый газ, не подвергаясь воздействию криогенных температур. Однако в таком случае слив передатчика никогда не должен использоваться, так как это приведет к попаданию впередатчик холодной жидкости.

- Сертифицированный счетчик часто недостаточно хорош. Вам также нужно посмотреть на устройства вокруг счетчика и выбрать подходящие компоненты. Кроме того, требуется регулярная повторная проверка. Всегда устанавливайте приборы так, чтобы механические усилия не были слишком большими, и используйте гибкие секции, если они вызывают сомнения.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Низкий перепад давления важен для предотвращения скопления газа, и диапазон потока в зависимости от диаметра трубы должен выбираться соответствующим образом. Поскольку расчетная температура применения относительно низка, рабочее давление системы может быть ограничено. Калибровка может выполняться с использованием других жидкостей; проверьте необходимость проверки этой процедуры. Если применяются

правовые требования, то они, как правило, не очень строгие – с большим диапазоном допустимой максимальной ошибки. Поэтому могут быть приняты во внимание дополнительные требования к точности, поскольку измеряемая величина жидкости может быть высокой.

Поток сточных вод

Канализационные системы и установки собирают и обрабатывают сточные воды из домов и промышленных предприятий. Среди особых требований здесь можно найти высокую концентрацию твердых веществ, большие размеры труб (которые не всегда полностью заполнены) и длинные линии, где поток вызван только силой тяжести (требующей очень низкого падения давления). Кроме того, доступность может быть низкой, так как в большинстве случаев и трубы, и расходомеры находятся под землей.

Ссылка, см. подробнее

- Выбрать лучший расходомер, см. главу 2. Из-за высокой концентрации твердых веществ и низкого максимального перепада давления индуктивные расходомеры являются общим выбором. Существуют также ультразвуковые доплеровские измерители, а также желоба и плотины, основанные на уравнениях преобразования уровня в поток. В специально разработанный расходомер может быть встроен уровнемер, позволяющий проводить измерения, даже если труба не заполнена.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Местные экологические нормы могут требовать сертифицированных измерительных систем – см. главы 12 и 13.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Перед выбором расходомера укажите номинальный поток, размер трубы и максимально допустимый перепад давления. Также укажите условия работы и номинальное содержание частиц, а также проверьте, требуется ли регулярная очистка.

Тепловая мощность

Тепловая мощность может быть распределена посредством протекания горячих жидкостей или пара. Централизованное теплоснабжение используется во многих городах, где центральные тепловые станции поставляют тепловую энергию группе потребителей, подключенных к трубопроводной системе, заполненной технологической водой. Районное охлаждение аналогично, но здесь распределяется холодная вода (например, из озера). В большинстве случаев теплообменник (10) устанавливается между водопроводной системой (1) и местной системой (9) в здании заказчика (рис. 1.14). Это позволяет

обеспечить циркуляцию воды без смешивания добываемой воды и водопользователей, а также обеспечивает более высокую безопасность в случае аварии или утечки компонентов. Потребляемая (или вырабатываемая) тепловая энергия может быть рассчитана по потоку и разности температур между входом и выходом. Измерения могут быть выполнены на любой стороне теплообменника, но в зависимости от того, какая сторона теплообменника используется, результаты будут включать или исключать потери тепла в теплообменнике. Расчет, выполняемый

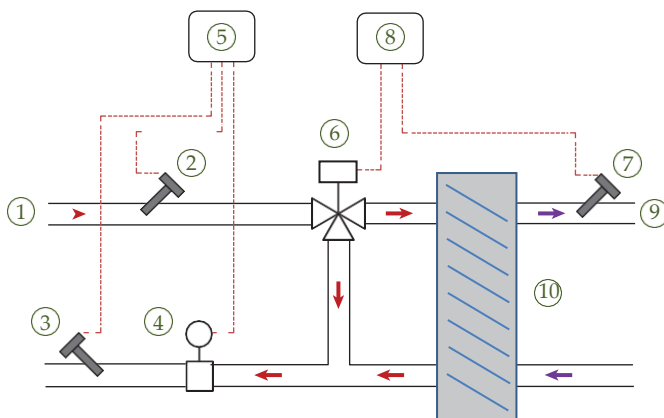


Рис. 1.14

Учет тепла / тепловой энергии.

калькулятором или компьютером (5), требует потока (4), температуры на входе (2), температуры выхода (3) и содержания энергии (энтальпии) используемой жидкости. В этом примере также включен контроллер (8). Это связано с температурой выходного отверстия на стороне пользователя (7) и будет пытаться поддерживать ее на постоянном уровне путем управления потоком на первичной стороне теплообменника с помощью трехходового перепускного клапана (6). Термальный нагрев в других приборах, таких как котлы, измеряется аналогичным образом.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор подходящего расходомера см. в главе 2. Обычно в небольших системах используются импеллерные счетчики (турбины) и в больших системах ультразвуковые измерители. Также индуктивные счетчики могут использоваться в системах, где проводимость воды не слишком низкая и где не слишком много магнетита (прилипание магнетита к внутренней части индуктивного расходомера может вызвать короткое замыкание электродов).
- Выбор подходящих датчиков температуры см. в главе 4. Почти без исключения, детекторы температуры сопротивления (RTDs как Pt100/ Pt500) использованы в этих приборах.
- Расчет и интегрирование см. в главе 7.

- Законы и правила продажи в системах отопления и охлаждения см. в главах 12 и 13.

Преимущество

- Выбор сертифицированного теплосчетчика может обеспечить уверенность, даже если нет никаких юридических требований. С помощью выходного сигнала от измерителя также могут быть реализованы различные функции управления.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Чтобы рассчитать тепло от объемного потока, прибор должен сначала пересчитать массовый поток. Этот расчет производится исходя из температуры, и поэтому калькулятор должен знать температуру воды, когда она находится в расходомере. Расчет потребует поправок, если жидкость содержит какие-либо примеси или добавки, то есть, если это не чистая вода. Итак, не забудьте использовать другое уравнение расчета тепла, если используемая жидкость не является чистой водой! Вода, смешанная с гликолем или спиртом, часто используется в системах охлаждения.
- Важно всегда устанавливать датчики температуры так, чтобы они измеряли репрезентативное значение, максимально близкое к средней температуре жидкости. В некоторых системах охлаждения разница температур между входом и выходом чрезвычайно мала, что приводит к необходимости очень высокой точности измерения температуры.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Давление, температура, диаметр трубы и максимальный поток необходимы для того чтобы выбрать инструменты для этого прибора. Если жидкость не является водой, укажите, что используется, и попытайтесь выяснить, есть ли грязь, магнетит или другие вещества в работе трубы. Выберите типы сигналов, чтобы датчики и приборы соответствовали друг другу, а также проверьте возможные требования к дистанционному считыванию.

Поток пара

Пар может быть насыщенным или перегретым. Насыщенный пар в основном то, что производится, когда вода кипит. Перегретый пар подвергается воздействию большего количества тепла и имеет дополнительную энергию. Паровые трубы могут также часто содержать жидкую воду (конденсат) после охлаждения в длинных линиях или из-за производственных проблем. Пар также может содержать влагу, если он не был высушен и / или отделен. Для насыщенного пара существует фиксированная зависимость между давлением, температурой, плотностью и энергией. Это означает, что нет необходимости измерять давление и температуру при расчете энергии из объемного потока. Если пар перегрет, то такой заданной зависимости нет, и здесь для расчета энергии нужны и давление, и

температура. На рис. 1.15 нагреватель (1) заставляет воду (2) кипеть, и образуется пар (3). По соображениям безопасности необходимо контролировать давление в баке котла, а также оборудовать бак предохранительными клапанами. Во время нормальной работы пар покидает бак котла и поступает в распределительную сеть через регулирующий клапан. Во всех точках измерения для расчета (4) энергии, мощности и массы необходимы объемный поток, давление и/или температура.

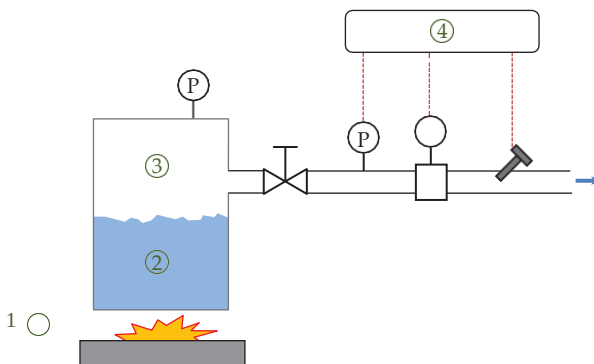


Рис. 1.15

Замер пара.

Ссылка, см. подробнее

- Выбор оптимального расходомера см. в главе 2. Обычно выбираются расходомеры с вихревым или дифференциальным давлением. Для перегретого пара, ультразвуковые измерители прокачки можно также использовать, если конструировано для высоких температур.
- Выбор вычислительного устройства (проточного компьютера) см. в главе 7.

Предупреждение, на что нужно обратить внимание

- Всегда выбирайте измерительную систему, включающую датчики давления и температуры, если есть сомнения в том, что пар действительно насыщен.
- Перегретый пар очень горячий!. Используйте компоненты, которые могут выдерживать нагрев, или инструменты с датчиками и электроникой, которые разделены. Никогда не открывайте вентиляционные клапаны. Импульсные линии, соединяющие паропровод с датчиком давления, будут очень горячими, если пар начнет поступать внутрь. Перегретый пар не виден невооруженным глазом и поэтому очень опасен в обращении.

Информация, необходимая для калибровки и выбора

- Перед выбором прибора проверьте, насыщен ли пар или перегрет. Максимальное и номинальное давление и температура всегда необходимы выбирая компоненты. Узнайте, какой тип данных требуется: объемный поток, массовый поток или энергия. Выберите типы сигналов, чтобы датчики и приборы соответствовали друг другу.

Основные положения

Когда текущая среда (газ или жидкость) транспортирована в трубе, все части текучей среды не могут иметь такую же скорость. Скорость обычно ниже вблизи стенки трубы. Это изменение скорости описывается профилем потока. Можно оценить профиль потока, глядя на форму работы восходящей трубы или с помощью программного обеспечения вычислительной гидродинамики (CFD). Если есть оптический доступ (например, в свободном газе или в трубах со стеклянным окном), профиль потока также может быть измерен с помощью лазерного доплеровского измерителя.

Большинство расходомеров в некоторой степени зависят от профиля потока. Это означает, что ошибка измерения будет затронута, если профиль потока не соответствует ожиданиям проектировщика расходомера. Некоторые принципы измерения очень чувствительны, тогда как другие будут менее затронуты. Однако в целом важно знать профиль потока в месте установки расходомера. В длинной прямой трубе профиль потока имеет тенденцию быть симметричным. На рис. 2.1 показаны два симметричных профиля потока: один для низкого потока (1), а другой для высокого потока (2). Изгибы, Т-образные сечения, редукторы, фильтры, клапаны и датчики вызывают несимметричные сдвиги в профиле потока (3). Величина помех или турбулентности зависит как от материала трубы, так и от самой жидкости. Существуют эмпирические правила для различных типов расходомеров и распределителей. Например, один изгиб обычно допустим, если более чем в пять раз диаметр трубы находится вдали от индуктивного расходомера. Минимальное рекомендуемое расстояние в большинстве случаев выражается в количестве диаметров труб, например, $5 \times DN$ (что равно 500 мм для трубы с номинальным диаметром 100 мм). Конечно, это минимальное расстояние также зависит от того, насколько точно требуется измерить.

Для теоретического описания движения текучей среды часто используется число Рейнольдса (Re). Около 1900 года Осборн Рейнольдс описал связь между потоком, вязкостью и плотностью уравнением и безразмерным числом:

$$Re = \frac{v \times d}{\vartheta} \quad (2.1)$$

где v -скорость жидкости (м/с), d -диаметр (м) и ϑ -Кинематическая вязкость (m^2/c).

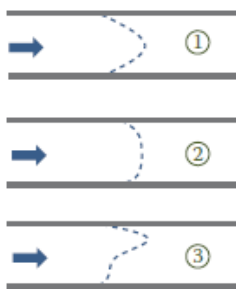


Рисунок 2.1
Профиль потока

Таким образом, не только скорость потока определяет, каким будет его профиль, но также учитываются плотность и вязкость. Если Re меньше, чем 2000, поток будет ламинарным (1). Если Re больше, поток будет турбулентным (2). Эти два условия могут повлиять на производительность расходомера, падение давления и другие параметры. Давление и поток имеют тесную связь в трубопроводе. Это иногда используется при измерении. Поток может быть измерен для расчета

давления и наоборот. Основы этого были описаны в 1738 году Даниэлем Бернулли в его книге

«Гидродинамика». Энергия постоянна вдоль трубы (кроме того, что теряется при трении); без протечек, массовый поток в трубе постоянен. Если, например, площадь трубы внезапно уменьшается, скорость потока будет увеличиваться для поддержания постоянного массового потока. Чтобы энергия оставалась постоянной, давление должно одновременно уменьшаться. Уравнение Бернулли описывает эти соотношения и образует важную основу для калибровки и проектирования трубопроводных систем и компонентов. На самом деле, есть много аспектов, которые следует учитывать при описании текучих сред в движении, но уравнение ниже является основой для большинства расчетов.

$$P_1 + \frac{\rho_1 \times v_1^2}{2} + \rho_1 \times g \times h_1 = P_2 + \frac{\rho_2 \times v_2^2}{2} + \rho_2 \times g \times h_2 \quad (2.2)$$

где P – давление, ρ – плотность, v – скорость жидкости, g – сила тяжести и h – высота.

На рис. 2.2 труба уменьшена с большого диаметра (D_1) до меньшего диаметра (D_2). Если нет утечек, массовый поток будет постоянным через трубу; следовательно, скорость должна быть выше в трубе с меньшим диаметром.

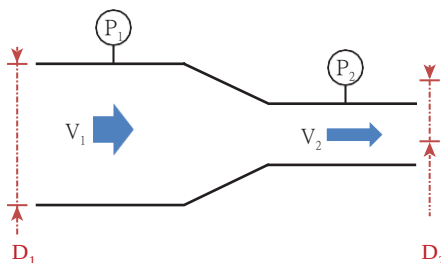


Рис. 2.2
Уменьшение площади трубы.

В этом примере высота не изменяется и эта часть уравнения Бернулли останется постоянным. Если мы посмотрим на текущую жидкость, плотность также довольно постоянна; поэтому единственное, что будет меняться со скоростью, – это давление. Если скорость увеличивается, давление уменьшается. Плотность и вязкость два других параметра, которые будут влиять на поток в трубах. Плотность газа или жидкости говорит нам о весе единицы объема; например, вода имеет приблизительную плотность 1 кг на литр. Вязкость говорит нам, насколько "толстая" жидкость, а также насколько легко она будет течь. Это величина внутреннего трения, и есть много способов выразить это. Существует два типа вязкости: кинематическая и динамическая. Кинематическая вязкость является динамической вязкостью, деленная на плотность:

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

где ϑ -Кинематическая вязкость ($\text{м}^2/\text{с}$), μ -динамическая вязкость ($\text{Па} \cdot \text{с}$) и ρ -плотность ($\text{кг}/\text{м}^3$).

В системе СИ Кинематическая вязкость $\text{м}^2/\text{с}$, и еще одна общая единица измерения сантистокс (сСт) ($1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$). Кинематическая вязкость воды при 20°C составляет около 1 сСт. В системе СИ динамическая вязкость это Па с, и другая часто используемая единица-сантипуаз (СП) ($1 \text{ СП} = 1 \text{ МПа} \cdot \text{с}$). Динамическая вязкость воды при температуре 20°C составляет около 1 СП, воздух имеет вязкость от примерно 0,02 сП и оливковое масло около 100 сП. Вязкость выбранных жидкостей приведена в таблице А3. При повышении температуры вязкость газа также будет увеличиваться, но в жидкости вязкость будет уменьшаться. Газы и большинство жидкостей (например, вода) имеют постоянную вязкость по отношению к скорости, но некоторые жидкости отличаются. Если вязкость изменяется, когда жидкость течет, эта жидкость называется "неньютоновской". В таких жидкостях вязкость может как увеличиваться, так и уменьшаться с потоком.

Принцип измерений

Изобретательность была велика, когда дело доходит до расходомеров. Существуют тысячи патентов и идей, связанных с измерением текущей жидкости или газа, все они имеют преимущества и недостатки. Однако «идеальный» расходомер еще не разработан! Это приводит к необходимости выбора наилучшего принципа измерения для конкретного применения, что делает измерение потока иным и более сложным по сравнению со многими другими измерительными мероприятиями. Чтобы получить хороший результат, вам нужно знать, какие среды должны быть измерены, давление, температура, размер трубы, минимальный / номинальный / максимальный расход, требуемая точность и требуемое время отклика. Конечно, бюджет и

цена также должны быть включены в критерии выбора (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Выбор расходомера

Применение	Индуктив- ный	Ультразвуковой	Корио- лис	Перепад давления	Тепл овой	Вихре- вой	Положит ель-ное смещени е	Перемен- ная площадь	Турб ина
Вода	OK	OK	OK	OK		OK		OK	
Вода, конденсат		OK	OK	OK		OK		OK	
Вода (СТ ^a)	OK								OK
Тепловая энергия	OK ^b	OK						OK	
Тепловая энергия (СТ ^a)		OK							OK
Нефть, процесс		OK	OK	OK			OK	OK	
Нефть (СТ ^a)		OK	OK						
Химический	OK		OK	OK		OK	OK	OK	
Напитки	OK ^e		OK ^e					OK ^e	
Высокая вязкость	OK ^f		OK ^e						
Суспензия, паста	OK		OK						
Целлюлоза	OK		OK						
Контрольный расходомер	OK		OK				OK		
Cryo, LNG (СТ ^a)		OK	OK						
Высокая температура	OK	OK	OK	OK					
Пар		OK ^d		OK		OK			
Газ/сжатый воздух		OK	OK	OK	OK	OK		OK	

ТАБЛИЦА 2.1 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Выбор расходомера

Применение	Индуктив- ный	Ультразвуковой	Корио- лис	Перепад давления	Тепл овой	Вихре- вой	Положитель- ное смещение	Перемен- ная площадь	Турбина
Биогаз (влажный)			OK						OK
Газ (СТ ^a)			OK		OK ^c				
Объем газа х ^б			OK						
Масса газа х ^б					OK				

^a для прибора перекачки и хранения (СТ) в большинстве случаев требуется утверждение вида прибора.

^b не подходит, если система содержит магнетит / металлические отложения.

^c сжатый природный газ (СПГ).

^d перегретый.

^e специальная гигиеническая версия.

^f на основе воды.

^g с различным составом.

Индуктивные расходомеры

Индуктивные расходомеры являются сегодня одним из наиболее часто используемых принципов измерения потока в перерабатывающей промышленности. Преимущества индуктивных расходомеров состоят в том, что они не имеют движущихся частей (требуется низкий уровень технического обслуживания), малой погрешности измерения, большого диапазона измерений и низкого перепада давления и что они не будут нарушать поток больше, чем участок трубы с равной длиной. Датчик оснащен магнитными катушками, которые создают магнитное поле поперек трубы. Внутри трубы имеются измерительные электроды, контактирующие с жидкостью, и вкладыш, обеспечивающий электрическую изоляцию жидкости от корпуса расходомера. Этот тип измерителя будет работать только на жидкостях со свойством электрической проводимости (например, масло не может быть измерено). Измеритель будет в первую очередь измерять скорость жидкости (например, в м/с), а скорость потока (например, кубические метры в час) рассчитывается внутренним преобразователем сигнала с помощью измеренной скорости и диаметра трубы. Часто измеритель прокачки также имеет уникальный фактор для того чтобы компенсировать отклонения в продукции, как диаметр трубы, толщина вкладыша и прочность магнитного поля. Эти два значения, диаметр и коэффициент измерения, должны быть сохранены в преобразователе сигналов, чтобы получить правильное измерение. Преобразователь сигнала (2) на индуктивный расходомер измеряет напряжение между электродами (1) индуцированные магнитным полем катушек (4) (рис. 2.3). Уровень напряжения зависит от скорости жидкости, напряженности магнитного поля и расстояния между электродами (диаметр датчика). Проводимость жидкости важна, чтобы она соответствовала импедансу преобразователя сигнала, но она не включена в уравнение потока, и изменение не повлияет на измерение.

При выборе подходящего индуктивного расходомера для конкретного применения необходимо обратить внимание на размер (диаметр) и материалы, контактирующие с жидкостью ("смоченные детали"). Среди доступных материалов вкладыша, вы найдете резину, пластмассу, PTFE (политетрафторэтилен) и керамический материал. Общедоступными электродными материалами являются нержавеющая сталь (для воды), различные сплавы, титан

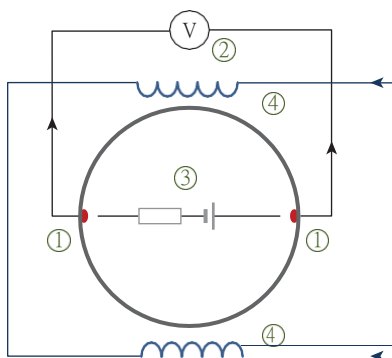


Рисунок 2.3

Индуктивный принцип измерителя прокачки.

и тантал (для вьедливых химикатов). Что касается размера и параметров, каждое практическое применение должно быть исследовано. Не ограничивайте выбор размера измерителя размерами трубы, чтобы выбрать размер измерителя, вместо этого попытайтесь узнать номинальные рабочие потоки из данных процесса. Желательно, чтобы было 3 м/с, даже если большинство типов счетчиков будут справляться со скоростью до 10 м/с. При наличии хорошего индуктивного расходомера вы должны иметь возможность измерять с номинальной погрешностью менее 0,5% от измеренного значения. См. таблицы в приложении для легкого преобразования между подачей и скоростью.

Как описано, напряжение, измеренное на электродах внутри измерителя, пропорционально напряженности магнитного поля, расстоянию между электродами и скорости жидкости. Однако, постоянное магнитное поле может вызвать проблемы. Поэтому используются переменные поля, постоянно меняющие направление. Это приводит к измерению сигналов на электродах, которые также изменяются от положительных до отрицательных напряжений. Измерители раннего типа использовали переменное напряжение для создания магнитного поля. Сегодня используется, генерируется и поддерживается в основном прямоугольный постоянный ток от внутреннего преобразователя сигналов. Система постоянного тока являются более точным, и она также потребляет меньше энергии. Однако, маломощное магнитное поле также будет вызывать меньше отношение сигнал-шумов, и в некоторых случаях это может вызвать помехи от электрически заряженных частиц в жидкости. Для преодоления этой проблемы могут использоваться сигнальные фильтры и специальные электроды.

Напряжения, подаваемого на магнитные катушки для системы переменного тока синусоидальной волны и для системы постоянного тока прямоугольной формы, на рисунке красным (1) (Рисунок 2.4). Напряжение, измеренное на электродах (при условии постоянного потока), показано зеленым цветом (2). В обеих системах существует своего рода время задержки, когда направление

магнитного поля изменяется. В системе переменного тока эта задержка имеет форму фазового сдвига (3), а в системе постоянного тока существует своего рода "время нарастания" (4). Это время задержки не постоянно с температурой, и оно может повлиять на показатели измерителя прокачки.

Помните, что если жидкость, которую вы хотите измерить, имеет тенденцию образовывать корки или отложения на внутренней части трубы, это, вероятно, негативно повлияет на индуктивный расходомер. Величина погрешности, вызванной отложениями, будет зависеть от их электрических свойств. Толстые изолирующие отложения влияют на все области применения и приводят к нестабильным сигналам потока. Проводящие отложения, также в виде тонких слоев, вызовут отрицательную погрешность измерения.

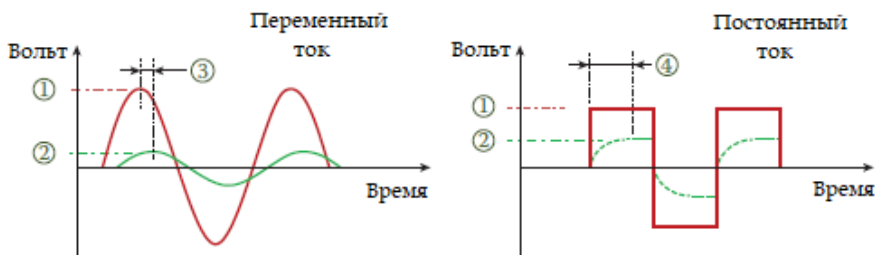


Рис. 2.4

Индукционное магнитное поле.

Погрешность измерения связана с проводимостью жидкости, и измеритель, измеряющий жидкость с высокой электрической проводимостью, как правило, меньше подвержен влиянию проводящих отложений.

Напряжения, измеряемые на электродах измерителя, очень малы. Для этого требуются хорошие измерительные цепи, а используемый сигнальный кабель (между сигнальным преобразователем и датчиком) должен быть хорошего качества. Часто несколько экранов используются для защиты сигналов от помех, поступающих от двигателей, электрических кабелей и мобильных телефонов. Трубопровод должен быть свободен от электрических напряжений (потенциалов), а кабель короткого замыкания в большинстве случаев поставляется вместе со счетчиком для защиты датчика от возможных напряжений в трубопроводе. Всегда убедитесь, что электроустановка соответствует проектным критериям и требованиям к установке, которые могут быть описаны в руководстве по расходомеру.

Ультразвуковые расходомеры

Звуковые волны могут использоваться несколькими способами для измерения потока. Наиболее распространенным является использование ультразвука и метода времени прохождения. В этом методе, время, которое требуется для импульса, чтобы двигаться по диагонали через трубу (1)

измеряется (2) (рисунок 2.5). Если импульс движется вверх и вниз по течению, его можно измерить дважды и сравнить. Различия во времени могут быть переведены в размер потока. Средняя скорость потока по звуковому тракту измеряется автоматически, но для получения среднего значения по всей площади трубы необходимо использовать несколько пар датчиков (3).

Как и индуктивные расходомеры, ультразвуковой измеритель времени прохождения обладает преимуществами отсутствия движущихся частей, небольшого перепада давления, хорошей точности и большого диапазона измерений. Он будет работать для всех типов жидкостей, за исключением тех, которые содержат много частиц (или пузырьков газа), поскольку они остановят звуковые импульсы от пересечения трубы. Ультразвуковой измеритель времени прохождения может также использоваться для измерения потока газа, но не с использованием тех же датчиков, поскольку газу требуются звуковые волны на других частотах. Калибровка и определение размеров аналогичны индуктивному измерителю с целью получения оптимальной скорости около 3 м/с. Когда дело доходит до профиля потока и необходимых условий монтажа, необходимость

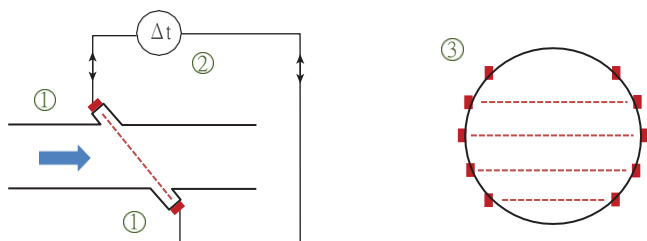


Рисунок 2.5

Принцип ультразвукового расходомера.

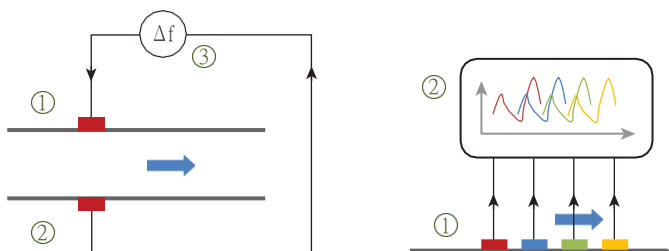


Рис. 2.6

Доплеровские и корреляционные принципы расходомера.

прямой трубы, которая проходит вверх по течению, зависит от того, сколько пар датчиков имеет счетчик. При наличии только одной пары (один путь прохождения звука) необходимая длина достаточно велика, например, около пятидесяти номинальных диаметров после двойного изгиба. Измеритель

с тремя парами предъявляет те же требования, что и индуктивный измеритель, а с 10 или более парами датчиков требования практически отсутствуют. В качестве альтернативы, если такой многопутевой измеритель установлен в прямой трубе, ошибка измерения может быть сведена к минимуму с очень низкой погрешностью измерения в результате. Ожидаемые погрешности счетчика находятся в диапазоне от 1% для счетчика с одним трактом до менее 0,1% для счетчика с несколькими трактами. Терминология здесь не выдерживает никакой критики. Некоторые производители будут использовать термин "луч" или "ход" вместо "тракт". Также иногда используется "аккорд", возможно, со значением, что это включает отражение на противоположной стене трубы. Скорость звука для нескольких выбранных материалов представлена в приложении.

Другие способы использования ультразвука относятся доплеровский измеритель и методы корреляции (рис. 2.6). Оба полезны в приборах используя жидкости которые содержат частицы или пузыри (или газы с капельками). Доплеровский измеритель измеряет отклонение между переданной и принятой частотами, и это различие зависит от скорости частиц в среде. Необходимые предпосылки для этого метода заключаются в том, что среда содержит некоторые частицы и что эти частицы движутся с той же скоростью, что и сама среда. Если есть много крупных частиц, таких как камни, может быть полезен корреляционный измеритель. Это устройство будет анализировать звуковые шаблоны в двух местах вдоль трубы. Если шаблон от датчика (1) распознается на датчике (2), время пути может быть измерено, и вместе с известным расстоянием между датчиками может быть оценена скорость потока.

Массовые расходомеры

При воздействии вибрации на трубу среда (жидкость или газ) внутри трубы вынуждена двигаться вместе с вибрацией. Масса и скорость среды будут влиять на силы, воздействующие на трубу и вызывать небольшую деформацию. Существуют разные способы проектирования массового расходомера кориолисового типа, но

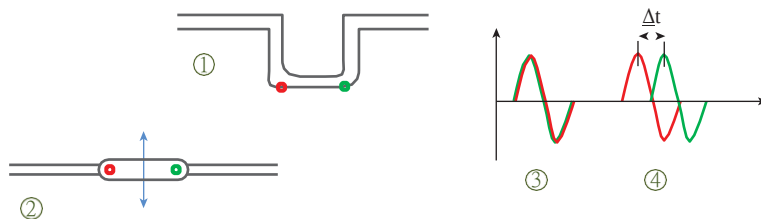


Рисунок 2.7

Принцип массового расходомера Кориолиса.

наиболее общие из них выполнены таким образом, что могут быть обнаружены как частота колебаний (2), так и фазовый сдвиг (4) между входом и выходом участка трубы (1) (рис. 2.7). Поскольку плотность и скорость будут влиять на механические силы, фазовый сдвиг будет пропорционален массовому потоку. Из-за напряжений и смещений в трубопроводной системе также может иметь место небольшой остаточный сдвиг фазы при нулевом потоке (3), который устраняется путем регулировки нулевой точки после установки. Сила Кориолиса впервые наблюдалась на вращающихся объектах, но поскольку движение вибрирующих (или качающихся) труб можно рассматривать как небольшую часть вращения, эффект Кориолиса также будет наблюдаться в вибрации. Трубы можно конструировать множеством способов и вы найдете измерители с различными форменными трубами. Хитрость заключается в том, чтобы найти хорошую и гибкую конструкцию, которая обеспечит эффект Кориолиса, а также прочную конструкцию, на которую не влияют внешние силы и вибрации.

Большинство кориолисовых счетчиков также измеряют плотность. Плотность жидкости рассчитывается из частоты вибрирующих труб, так как частота будет зависеть от общей массы колеблющегося сегмента трубы. Объем этого сегмента известен; поэтому плотность может быть измерена.

Даже если эти два значения, массовый поток и плотность, измеряются одновременно в одной и той же трубе, они не полностью зависят друг от друга. Массовый поток является дифференциальным измерением и как таковой не одинаково чувствителен к внешним силам и помехам. Плотность является абсолютным измерением и поэтому, как правило, не очень точна по сравнению с показаниями массового потока. Поскольку большинство кориолисовых счетчиков могут отображать как массовый поток, так и объемный поток, следует отметить, что точность этих показаний отличается; выберите массовый поток, если вы хотите получить наиболее точное чтение.

Даже если массовый расходомер кориолисова типа вибрирует, считается, что он не имеет движущихся частей. Установка может быть несколько более требовательна, чем другие счетчики. Когда дело доходит до механической поддержки. Особенно старые счетчики потребуют, чтобы опоры труб были закреплены на прочном и устойчивом основании, чтобы обеспечить хорошие результаты измерений. Более новые аппаратуры имеют меньше требований. Нет никакой необходимости в хорошем профиле потока в кориолисовом измерителе, и он может быть установлен, например, сразу за изгибом трубы. Он может измерять все виды жидкостей и газов, а некоторые модели также могут измерять любую смесь газа и жидкости.

Однако всегда старайтесь избегать наполовину заполненных труб, так как пульсация может вызвать нежелательные вибрации. От хорошего расходомера Кориолиса следует ожидать погрешности измерения в диапазоне 0,2% для массового потока и около 1% для плотности.

Объемные расходомеры

Объемные измерители иногда называют объемным расходомером, который может предоставить лучшее объяснение того, как они работают (рис. 2.8). Есть много различных конструкций, но все они имеют какую-то общую камеру.

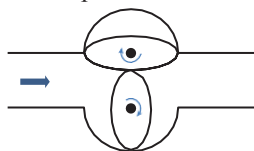


Рисунок 2.8

Объемный расходомер

Камеры заполняются и опорожняются механическим прибором. Подсчитывается количество раз, когда камеры заполняются, и, поскольку объем камер известен, количество может быть пересчитано в объем и величину потока. Если счетчик остановлен, то подача также будет остановлена. Поскольку это хорошо при применении, когда расходуется жидкость, этот тип счетчика очень распространен в топливных дозаторах

на автозаправочных станциях. Измеритель вызовет небольшие изменения давления в исходящем потоке, что в некоторых чувствительных процессах может вызвать проблемы. Счетчик этого типа имеет много движущихся частей и требует регулярного технического обслуживания и ухода. Однако, если работать в масле (что довольно распространено), износ не является значительным, и потребность в обслуживании снижается. Рекомендуется лишь частая повторная калибровка.

Не используйте механические расходомеры в тех случаях, когда могут возникнуть загрязнения или коррозионные условия, так как это может привести к повреждению уплотнений и подшипников внутри прибора. При необходимости установите фильтр перед расходомером. Убедитесь, что максимальная скорость потока в расходомере не превышает допустимой скорости, так как избыточный поток повредит счетчик. Соблюдайте осторожность во время монтажа, убедитесь, что трубопровод чист, и не устанавливайте счетчик, если на счетчике требуется серьезное выравнивание фланцев и труб.

Турбинные расходомеры

Турбины будут вращаться с более высокой скоростью при более объемных потоках. Таким образом, количество оборотов пропорционально объему, который проходит через измерительное устройство. Однако на вращение также повлияют плотность и вязкость. Чувствительный элемент в турбинном измерителе часто представляет собой катушку, которая определяет, когда лопатки турбины вращаются. Выход этого датчика зависит от частоты вращения. Каждая турбина обозначена "К-фактором", выраженным в виде импульсов на литр для конкретной жидкости. Таким образом, калибровка турбинного счетчика лучше всего производится с использованием того же типа среды, в которой он должен использоваться. Этого нелегко достичь, и иногда можно найти коэффициенты компенсации плотности и вязкости. Однако точность этих факторов часто бывает довольно низкой. Если счетчик находится в хорошем состоянии и, если он используется и откалиброван в один и тот же тип

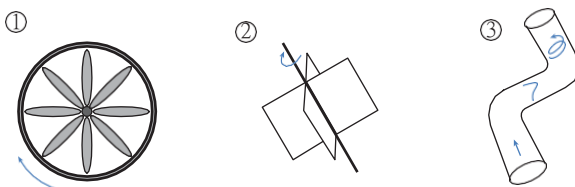


Рисунок 2.9

Турбина, лопатка и генерация вихря.

жидкости, можно ожидать, что погрешность измерения около 0,4% и низкое время отклика. Лопатки турбины чувствительны к частицам и пузырькам. Если частицы застревают на лопастях, скорость увеличивается, что приводит к положительной погрешности измерения. То же самое верно, если пузырьки возникают из-за кавитации. Для того чтобы избежать кавитации около турбины, необходимо обратное давление (давление на выходе из расходомера). Необходимое давление варьируется от типа счетчика к типу счетчика, но давление в области 1 бар обычно достаточно.

Турбинный расходомер (1) требует хорошего профиля потока, и он особенно чувствителен к вращающемуся потоку, например, вызванному двойным изгибом вне плоскости (3) (рисунок 2.9). Часто для турбинного расходомера необходим выпрямитель или кондиционер, чтобы иметь возможность измерять свои характеристики.

Очень распространенными вариантами турбинных счетчиков являются те, которые мы используем для измерения потока воды в домах. Эти счетчики часто имеют в своем роде лопастное колесо (2) или что-то похожее на лопастное колесо и турбину. Эти счетчики часто сертифицированы и одобрены для использования в торговле, где максимальная ошибка счетчика составляет 5%.

Расходомеры дифференциального давления

Как упоминалось ранее, Даниэль Бернулли показал нам связь между потоком и давлением в трубопроводе около 300 лет назад. Поэтому измерение потери давления над ограничением в трубе (иногда называемой проточным элементом) для расчета потока является довольно старым методом. В этом методе легко спроектировать и установить прибор. Однако перевести перепад давления в величину потока непросто. Существует несколько стандартизированных конструкций для ограничений потока, которые могут быть использованы, и если они сделаны в соответствии со стандартом, есть также стандартизированные уравнения, которые могут быть использованы для расчета потока. Примеры унифицированных конструкций – это плиты отверстия (диск с отверстием) и трубки Вентури (конические трубки) (2) (рис. 2.10). Широко используемым стандартом, который включает оба этих типа,

является ISO 5167. Если элемент потока спроектирован в соответствии со стандартом, для расчета потока требуется всего несколько мер, таких как диаметр трубы и диаметр отверстия. Ограничение (например, конус) (3), установленное в центре трубы, является еще одним методом, но поскольку для этой конструкции еще не существует стандартизированных уравнений, требуется калибровка (следующий пересмотр стандарта ISO может также включать конусометры).

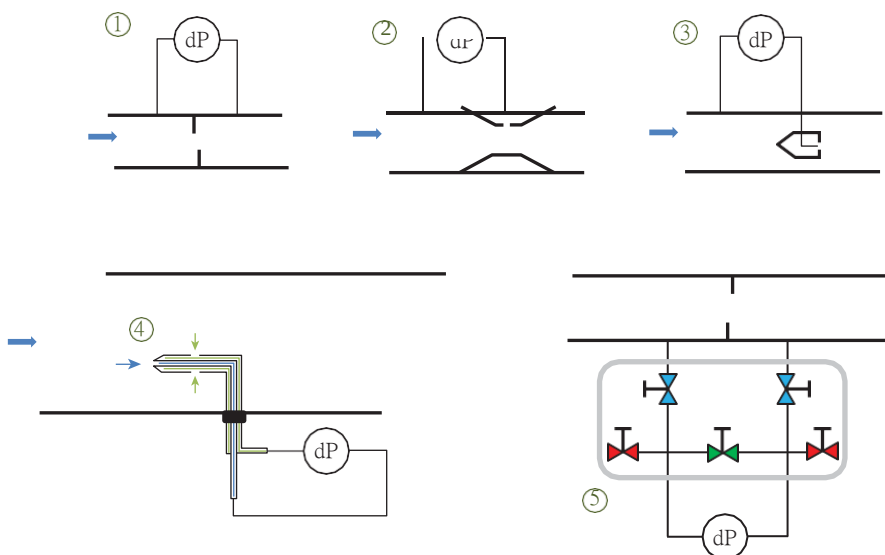


Рисунок 2.10

Измерители, работающие по принципу переменного перепада давления

Трубка Пито (4) будет измерять скорость потока только в одной точке, но, перемещая датчик, можно измерить различные точки, что приведет к среднему потоку. Среда повлияет на падение давления. Поэтому для решения уравнения необходимо знать плотность, вязкость и многое другое. Измеритель перепада давления (или передатчик) всегда необходим, независимо от конструкции проточного элемента. Всегда рекомендуется устанавливать сервисные клапаны (клапанный коллектор) (5) между технологическим процессом и преобразователем.

В некоторых новых приборах уравнение потока реализуется в дифференциальном измерителе давления. Это автоматически вычислит величину потока. Поскольку отношение является квадратичным, диапазон измерения ограничен (если величина потока уменьшается до половины, падение давления составит только четверть по сравнению с полным потоком). ISO 5167 устанавливает ожидаемые погрешности измерения в области 1% для нового проточного элемента без какого-либо износа. Погрешность

дифференциального манометра является дополнительной, но новый электронный др-передатчик обычно имеет очень небольшую погрешность измерения.

$$v = \sqrt{\frac{2 \times \Delta p}{\rho}} \quad (2.4)$$

где v – скорость жидкости (м/с), Δp – дифференциальное (динамическое) давление (па) и ρ – плотность (кг/м³).

Для диафрагм и трубок Вентури необходимы хорошие и безупречные профили потока. Длинные и ненарушенные трубопроводы поэтому необходимы если стандартные

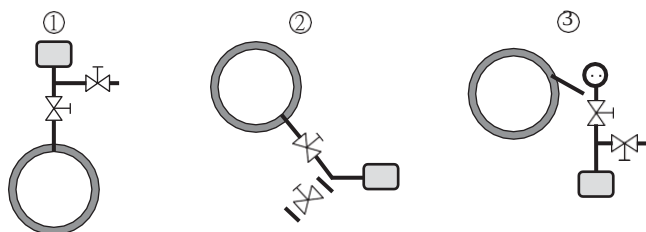


Рисунок 2.11

Отводы давления и места расположения датчика.

уравнения должны использоваться. Если возможно выполнить калибровку на месте, где измеряется соотношение между величиной потока и давлением, то могут быть измерены профили нарушенного потока. Даже существующие ограничения потока, такие как изгибы трубы, клапаны или другие компоненты, могут использоваться в качестве элементов потока, если известно соотношение между перепадом давления и скоростью потока.

Положение датчика давления по отношению к проточному элементу может иметь решающее значение. Так как есть тонкие трубы (импульсные линии), соединяющие передатчик с большой трубой (и элементом потока), эти соединения должны быть под контролем. Газовая система не должна содержать жидкости, а жидкая система не должна содержать газа. Поэтому передатчик должен быть размещен ниже трубопровода при измерении жидкости (2) и выше при измерении газа (1) (рис. 2.11). Кроме того, труба не должна иметь изгибов, которые могут задерживать газ/жидкость по пути. Для паровых приборов (3) возникают особые условия, и в зависимости от давления и температуры рекомендуется использовать специальные «емкости для конденсата», чтобы импульсные трубы были заполнены водой.

Расходомеры постоянного перепада

Это очень простой метод измерения, основанный на аналогичных принципах, используемых в устройствах перепада давления, но с переменным размером

области, где среда может течь. Он состоит из конической измерительной трубки и "поплавка" (он называется поплавком, но это скорее грузило, поскольку он не будет плавать на носителе). Измеритель монтируется в положении стоя, где большой диаметр измерительной трубки находится сверху. Поскольку область, в которой носители могут проходить поплавков, будет увеличиваться в более высоких позициях, поплавков будет оставаться в положении, в котором силы находятся в равновесии. На это положение влияют плотность среды и величина потока, вес и форма поплавка и диаметр трубки. В результате ротаметра (2) будет зависеть от плотности среды, и шкалы (1) счетчика, поэтому уточняйте данные в заявке (рисунок 2.12).

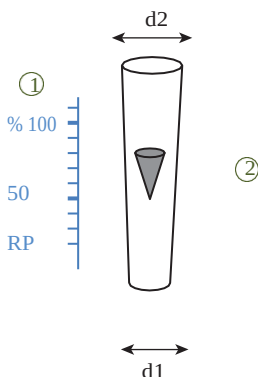


Рисунок 2.12

Вид расходомер с поперечным сечением

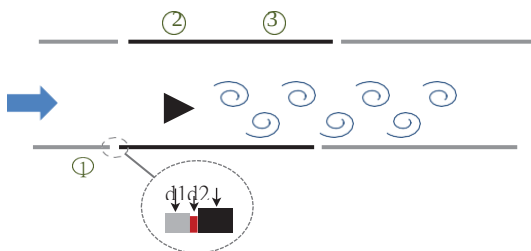


Рисунок 2.13

Допуски по внутреннему диаметру.

Переменная площадь потока счетчики имеют точность в районе 2–5%, в зависимости от длины измерительной трубы.

Вихревые расходомеры

Вихревой счетчик использует один из немногих принципов (возможно, единственный), который будет работать со всеми типами сред, независимо от того, является ли это жидкостью, газом или паром. Его основное применение – в среде пара, так как его трудно измерить для большинства других расходомеров. Создать вихри в ламинарном потоке довольно легко; нужно "просто" ввести помехи (называемые блефовыми телами) внутрь трубы. Поток вызовет турбулентность после этого блефующего тела, и турбулентность будет медленно смещаться слева направо. Частота этого сдвига равна частоте вихря, и она пропорциональна скорости жидкости. При низком потоке вихревого эффекта нет; следовательно, существует минимально необходимый поток, при котором измерение невозможно (большинство других принципов расходомера имеют увеличивающуюся погрешность расходомера при низком потоке). Край и другие части, нарушая подачу около входа измерителя, могут также вызывать вихри, поэтому правильная установка очень важна. Убедитесь, что внутренний диаметр входного патрубка (d_1), прокладки (d_2) и расходомера (d_3) соответствуют друг другу с небольшими допусками (рис. 2.13).

Тепловые расходомеры

Тепловой массовый расходомер часто используется в каналах и дымоходах для измерения потока в вентиляционных системах или дыма, выходящего из горелки. Он может быть спроектирован несколькими способами, но распространенным методом является наличие двух датчиков температуры на конце измерительного шупа. Один датчик нагревается, другой нет. Мощность, необходимая для поддержания постоянной разности температур, пропорциональна массовому потоку. Другой способ сделать это состоит в том, чтобы один датчик подвергался воздействию потока, а другой был защищен. Здесь оба датчика нагреваются, и для нагрева датчика потребуется больше энергии, то есть подвергается воздействию потока.

Кроме того, в этом случае мощность, необходимая для поддержания постоянной температуры, пропорциональна массовому потоку. Этот принцип измерения имеет три основных преимущества: он относительно хорош при низких скоростях потока, его легко установить, а внутренняя конструкция также облегчает правильное измерение при очень малых скоростях потока. К числу его недостатков относится то, что измеритель не очень точен и что существует необходимость интегрировать поток по площади трубы вручную, поскольку сам прибор будет измерять скорость потока только в одной точке.

Общие требования к установке

Поскольку монтаж является важным вопросом для почти всех расходомеров, сильно связанных с погрешностью измерения, мы повторим некоторые

Большинство типов расходомеров улучшат свои характеристики, если они "видят" хороший профиль потока, если среда однородна, если давление и температура стабильны и если в трубе нет механических напряжений. Поэтому всегда проверяйте инструкции по монтажу перед выполнением монтажных работ. Хороший, прямой кусок трубы всегда хорош вокруг расходомера. Необходимая длина прямой трубы зависит от применения, принципа измерения

Требования к установке расходомера

Принцип измерения	Необходимый входной поток	Длина цельной трубы ^a
Индуктивный		Средний
Индуктивный, с квадратным поперечным сечением		Короткий
Ультразвуковой, одиночный луч		Длинный
Ультразвуковой многолучевой		Средний
Кориолисовый массовый поток		Короткий
Положительное смещение		Короткий
Турбина		Длинный
Турбина со встроенным выпрямителем		Средний
dP: Отверстия/Вентури, Пито		Длинный
dP: Конус /усреднение Пито		Короткий
Вихревой		Длинный
Тепловой		Длинный

Общие требования к установке расходомера.

и требуемая погрешность измерения, но требуемые длины, вероятно, находятся вокруг значений, указанных в таблице 2.2.

Существует несколько общих рекомендаций по установке для всех типов расходомеров. Прямая цельная труба (1) перед расходомером исправна (рис. 2.14). Также после счетчика (3) не следует устанавливать компоненты слишком близко. Фланцевое соединение (2) должно быть свободным от механических усилий, фланцы должны быть параллельными, а прокладка между ними должна иметь правильный размер (избегайте любой части, выступающей в поток). Трубопровод должен быть построен так, чтобы расходомер всегда был полон. Всегда старайтесь избегать газа в расходомере жидкости и жидкости в расходомере газа. Если предполагается, что измеритель измеряет порциями, то должен быть установлен "предел разделения" (6), чтобы уровень (и объем) в трубе всегда был одинаковым от порции к порции. Наконец, поскольку фланец и прокладка не всегда проводят электричество, убедитесь, что трубы и расходомер электрически соединены (5) и при необходимости заземлены/подключены к защитному заземлению (4). Если труба уже подключена к земле, как это обычно бывает, то отдельный кабель, разумеется, не требуется.

Калибровка и проверка

Все типы расходомеров должны быть откалиброваны! Обычно в конце производственной линии расходомера изготовитель расходомера имеет калибровочную установку, на которой устанавливается соотношение между расходом и выходным сигналом. Возможно, диафрагмы и трубки Вентури, спроектированные и изготовленные в соответствии со стандартом, являются исключением, поскольку здесь можно рассчитать соотношение, но стандарт по-прежнему рекомендует калибровку, если это возможно. Как мы неоднократно говорили, эффекты установки могут быть очень важны для расходомера. Поэтому установка на калибровочном стенде, конечно, также очень важна. В принципе, существует два способа установки расходомера во время калибровки. Во-первых, сделать установку как можно лучше, и это как раз то, чем занимается большинство производителей. Другой способ – сделать имитацию реальных условий, копию (или макет) работы трубы, где будет работать счетчик, и использовать это во время калибровки. Поскольку это довольно трудоемкий и дорогостоящий способ, этот метод используется только в тех случаях, когда высоки требования. Наконец, можно выполнить встроенную или локальную калибровку. Для этого необходимо, чтобы поток доходил до места установки коррелятора и чтобы этот коррелятор мог быть установлен последовательно со счетчиком. Для труб малого диаметра это не очень необычный метод. Периоды повторной калибровки будут варьироваться в зависимости от применения, но интервалы в 1 и 2 года являются общими в перерабатывающей промышленности. Для счетчиков хранения и перекачки, используемых для целей продажи и/или налогообложения, существуют законодательные требования, устанавливающие максимальные интервалы

реверсирования.

В любом случае основой для калибровки является стандарт потока (или объем плюс время). Наилучший стандарт будет отличаться в зависимости от принципа, размера и средств измерителя прокачки. В некоторых случаях (например, когда очень большие трубы, высокое давление, высокая или низкая температура) может быть невозможно найти необходимый стандарт; в этих случаях должна быть проведена экстраполяция в иных условиях – с результатами с повышенной погрешностью.

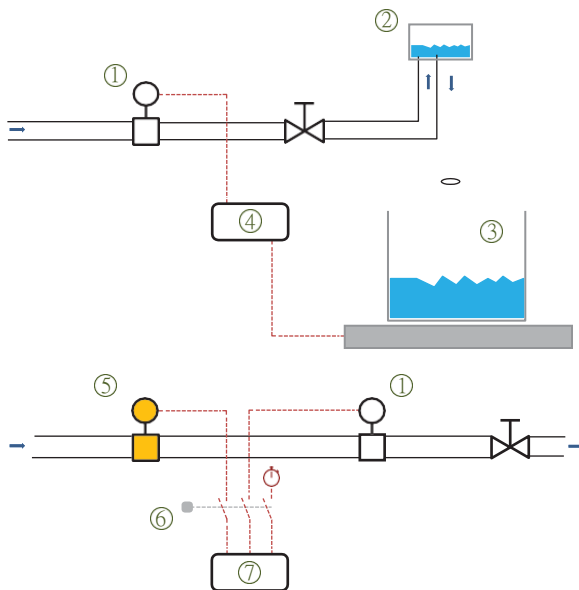


Рис. 2.15

Измерительный бак и калибровка образцового расходомера.

Калибруемый расходомер (1), иногда в общих чертах называемый проверяемым устройством (DUT), подключается к эталону (рисунок 2.15). Здесь показаны весовой резервуар (3) и эталонный измеритель (5). В обоих случаях ссылка и DUT должны быть соединены последовательно, и между ними не должно быть утечек или сдвига температуры. Калибровка может быть "статической", когда поток останавливается до и после каждого запуска. Или, она может быть "динамической", где поток работает непрерывно. Переливное устройство (2) или перекрывной клапан управляет подачей в резервуар. Для динамической калибровки перекрывной клапан также управляет записью сигнала (4), аналогично системе эталонного счетчика (7). Синхронизированная запись (6), включая измерение времени, требуется при использовании образцового расходомера для динамической калибровки.

Стандарт объема

Стандарт по объемам – это простое в понимании и использовании устройство. В деталях, это, пожалуй, несколько сложнее, чем кажется, но в основном это просто резервуар с известным объемом. Чтобы знать, что полный бак полон, необходимо измерить уровень. Для повышения чувствительности (отношения между уровнем и объемом) стандарт объема обычно разрабатывается как узкое место. Таким образом, значение уровня позволит повысить точность, когда резервуар заполнен до краев. Одним из важных ограничений в использовании объемных резервуаров является максимальный поток. Просто невозможно заполнить бак за очень короткое время, по крайней мере, при четко определенных условиях. Как правило, минимальное время заправки составляет около 1 минуты. Это когда расходомер стоит на месте с нулевым потоком до и после наполнения. Способ увеличения максимального потока и уменьшения минимального времени наполнения состоит в использовании динамического метода измерения при запуске и остановке. Здесь, расходомер работает с постоянным потоком до, во время и после измерения. Когда измерение начинается, поток отводится от обратной линии в резервуар с помощью специального клапана. Когда бак заполнен, поток снова отклоняется, теперь обратно в обратную линию. Отклоняющий клапан синхронизирован с электронным счетчиком, так что сигнал расходомера измеряется одновременно с заполнением бака. Шкала объема по стандарту объема в большинстве случаев является «влажным объемом». Это означает, что это объем, который может быть залит в бак, когда внутренние стены мокрые. Компенсация по изменению температуры должна быть выполнена, используя стандартный коэффициент расширения материала бака. Объем резервуара с горлышком бутылки обычно имеет погрешность около 0,05%.

Колокольный мерник – это еще один тип объемного резервуара, используемый для газа. Здесь газ собирается под закрытым резервуаром, как ведро, поставленное вверх дном в ванну с водой (или маслом). Газ пройдет тестируемый расходомер и затем поступит в бак. Когда бак заполняется газом, жидкость отталкивается, и высота колокола будет указывать объем газа.

Весовой резервуар

Использование весового резервуара вместо объемного резервуара имеет ряд преимуществ. Один из них заключается в том, что можно остановить поток в любом месте резервуара, не теряя слишком много точности. Однако, плотность также необходима если необходим объем. Обратите внимание, что плотность внутри расходомера не всегда совпадает с плотностью внутри весовой емкости (например, при изменении температуры). Для измерения высокой точности также требуется компенсация воздушной плавучести. Подробнее об этом читайте в главе 5.

Испытательный прибор

Мерник – это полуавтоматическая машина, которая измеряет поток, как гибрида расходомера и объемного бака. В большинстве случаев Мерник изготавливается из трубы (или цилиндра) с известным объемом. Для измерения потока требуется время, и движущийся объект запускает часы. В шарике мерника резиновый шарик движется с той же скоростью, что и поток, и шарик будет обнаружен датчиками. В комбинированном испытателе поршень движется вместе с потоком. Поршень имеет датчик положения с высоким разрешением, который позволяет точно измерять его скорость. Преимущество мерников заключается в том, что они могут быть установлены в замкнутом контуре с последовательно установленным расходомером, что минимизирует риск испарения и потери жидкости между испытуемым объектом и образцом. Поскольку мерник всегда использует метод запуска и остановки с хода (поток непрерывен), максимальный поток довольно высок. Погрешность находится в той же области, что и объем резервуара, ниже 0,1%.

Контрольные расходомеры

Самый простой способ калибровки расходомера – установить другой расходомер последовательно и сравнить измерения с обоих приборов. Однако этот главный измеритель должен быть точным и надежным и предпочтительно нечувствительным к малым различиям в условиях работы. Таким образом, задача этого метода состоит в том, чтобы найти хороший расходомер и иметь возможность проверить его функцию и производительность. Специальные счетчики иногда доступны, как ламинарные элементы для газа и воздуха. Такие устройства предназначены для использования в качестве эталонов и имеют хорошую точность. Стандартный технологический прибор может не подходить в качестве эталона, а сравнить два счетчика одного и того же вида непросто. Хорошим примером этого является ультразвуковой расходомер с фиксирующими хомутами. Этот прибор очень легкий для установки, поскольку он установлен снаружи существующей трубы. Однако обычно производительность не так хороша, как встроенный расходомер; поэтому, возможно, не очень подходит в качестве эталона.

Трейсеры

В случае труб очень большого диаметра или когда рабочие условия жесткие, невозможно использовать мерники, баки или контрольные расходомеры.

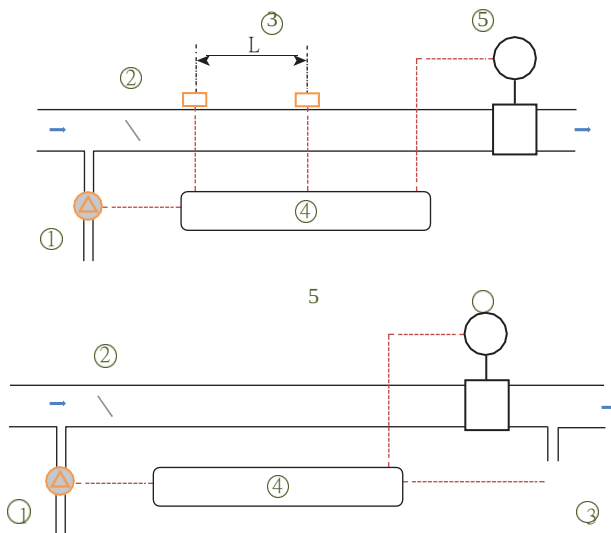


Рис. 2.16

Принципы калибровки трейсеров.

Однако в некоторых из этих случаев все еще можно использовать трейсеры. Трейсеры являются некоторыми веществами, которые обычно не присутствуют в процессе (цвет флуоресценции, радиоактивные изотопы или аналогичные). Если такой трейсер инжектируется (1) и смешивается (2) в общем потоке, датчики (3) могут определять скорость, с которой они движутся, и тем самым делать выводы об общем потоке (4) (рис. 2.16). Если сигнал от существующего расходомера (5) контролируется в то же время, когда трейсер проходит через систему, эти данные могут быть использованы в качестве основы для калибровки. Как правило, можно ожидать погрешность в 1-2%, в хороших условиях даже немного лучше. Этот метод описан в стандарте ISO 2975.

Дополнительная литература

Роджер С. Бейкер. 2016. Руководство по измерению потока. Издательство Кембриджского университета.

Давление

Основные положения

Когда молекулы в движении сталкиваются, например, с внутренней стенкой резервуара, это вызовет воздействие на стену. Давление в этом баке зависит от силы этих столкновений. Более высокая скорость и / или большее количество молекул приведет к более высокой силе воздействия на стену и таким образом более высокому давлению. Это также причина, почему система единиц СИ для давления является Н/м^2 , сила, разделенная площадью. Обычно используется единица измерения Паскаль (Па), и $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. Другой обычной системой единиц, также принятой в системе СИ, является бар = 100 000 Па (или 100 кПа). В некоторых странах и отраслях промышленности преимущественно используется psi (фунт на квадратный дюйм) и $1 \text{ psi} = 6895 \text{ па}$ (таблица 3.1).

Давление окружающей среды (атмосферное давление) зависит от высоты над уровнем моря и погодных условий. Даже если это давление постоянно меняется, ученые согласились на среднее значение для использования в качестве эталона, нормальное атмосферное давление (АТМ), и это составляет 101 325 па. На малых высотах, например, при подъеме на гору, атмосферное давление снизится примерно до 12 Па/м. Если идти выше, атмосферное давление примерно делится на 2 каждые 5 км. Относительно нормальные погодные условия вызовут колебания давления около $\pm 5000 \text{ Па}$. При точном измерении, например, при измерении потока газа, требуется компенсация этих отклонений или проектирование системы таким образом, чтобы давление окружающей среды не влияло на измерение.

Разница из-за высоты пропорциональна плотности, и поскольку вода имеет гораздо более высокую плотность, чем воздух, давление в море будет меняться быстрее. При погружении давление возрастет примерно на 10 кПа/м.

В закрытом резервуаре (без какой – либо утечки) давление везде одинаковое, и не важно, где измерять давление, поскольку все места дадут одинаковый результат. То же самое верно для трубы, где величина потока равна нулю. Однако в трубе, где течет газ или жидкость, все по-другому. В этом случае, происходит падение давления вдоль трубы и давление будет уменьшаться вдоль трубы. Можно рассчитать падение давления, по крайней мере приблизительно, используя размер трубы, материал трубы (шероховатость поверхности), поток и свойства среды.

Таблица 3.1

Единица давления

Единица	Аббревиатура	Величина
Паскаль	Па	1 Па
Бар	бар	100 000 Па
Гектопаскаль	гПа	100 Па
Миллибар	мбар	100 Па
Ртутный столб	мм. рт. ст.	133,322 Па
Водяной столб	мм в. с.	9,8 Па ^а
Фунт-сила на кв. дюйм	psi	6895 Па
Нормальная атмосфера	атм.	101 325 па

^а В зависимости от исходной температуры.

Инструменты и онлайн-калькуляторы для этого доступны в Интернете или (более подробно и точно) предоставляются профессиональными производителями труб и проектных/консалтинговых фирм. Существует несколько основных уравнений, в которых наиболее часто используются уравнения Дарси–Вайсбаха и Коулбрука–Уайта.

При низких числах Рейнольдса и очень низких давлениях вблизи вакуума (ниже 100 Па) необходимы другие методы и уравнения.

Единицы измерения давления

При указании измерения давления необходимо записать три вещи: измеренное значение, единицу измерения и базовую точку отсчета ("нулевой уровень"). Есть две общие точки отсчета: вакуум (0 па) и нормальная атмосфера (101 325 па).

- Абсолютное давление измеряется с помощью вакуума в качестве эталона, и это указывается с помощью (а) после единицы измерения.
- Манометрическое давление измеряется с атмосферным давлением в качестве эталона, и это указывается с помощью (g).

Перепад давления (dP или ΔP) представляет собой разность давлений между двумя точками, состояние до и после насоса или в верхней и нижней части бака. Это значение давления не обозначено (а) или (g).

В автоматизации процессов в основном используется манометрическое давление, и поскольку оно настолько распространено, вы не всегда найдете (g) напечатанным. В науке и исследованиях используется в основном абсолютное давление, и по той же причине также не всегда присутствует (а). Поэтому рекомендуется быть осторожным, чтобы избежать ошибок.

Методы измерения

Если вы не работаете с очень высокими или очень низкими давлениями, не так много аспектов, которые нужно рассматривать, выбирая самый лучший принцип измерения давления для вашего практического применения. По сравнению с расходомерами доступно лишь несколько принципов измерения, и в большинстве случаев применений в обрабатывающей промышленности принцип работы датчика не является критическим. Однако последствия монтажа все еще могут быть очень важны. При очень низких давлениях, близких к вакууму, должны использоваться специальные инструменты и методы установки, но они здесь не объясняются.

Средства измерений

Манометр часто основан на трубке Бурдона. Трубки Бурдона – это изогнутые трубки, и под воздействием внутреннего давления они изменяют форму. Это движение соединено (в большинстве случаев с механическим соединением) с шкальным диском, где давление можно прочесть. Другое имя для этого прибора манометр. Манометр не нуждается во внешнем питании, он имеет низкую стоимость, прочен и прост в использовании, но не очень точен.

Измерительные преобразователи

Преобразователь давления – это измеритель давления, состоящий из датчика давления и электронных устройств для усиления и преобразования в унифицированный сигнал. Обычно они используются в обрабатывающей промышленности, и, поскольку они вырабатывают электричество, основным применением является автоматизация процессов. Сам датчик давления внутри преобразователя может иметь несколько различных принципов. Часто датчик защищен мембраной и не находится в непосредственном контакте с процессом. Технологические среды будут давить на мембрану, а заполняющая жидкость (например, силиконовое масло) за мембраной будет давить на датчик. В некоторых случаях эту заполняющую жидкость необходимо выбирать в соответствии с требованиями этого конкретного процесса.

На рис. 3.1 показан корпус датчика перепада давления (1) с двумя соединениями, высокого давления (H) и низкого давления (L). На верхней части обычно есть электроника в отдельном корпусе (2), предлагающая стандартизированные выходные сигналы и дисплей. Внутри находится датчик давления (или ячейка), обычно с мембраной. Иллюстрация является излишней, но при высоком давлении (4) вы можете видеть, как мембрана деформируется по сравнению с воздействием низкого давления (3). Все мембраны имеют две стороны. Одна сторона подвергается воздействию процесса, как описано выше. Другая сторона может подвергаться воздействию окружающего давления (как в манометрическом передатчике), вакуума (как в абсолютном передатчике) или другого места в процессе (через второе соединение, как в

дифференциальном передатчике давления). Если существует вторая (или наружная) мембрана между процессом и клеткой давления, то промежуточное пространство заполнено веществом, в большинстве случаев маслом.

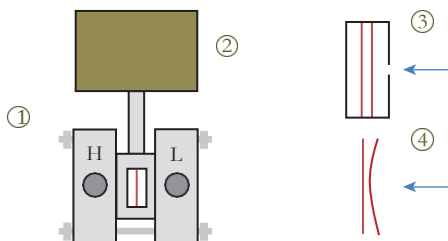


Рис. 3.1

Датчик давления.

Когда внешняя мембрана движется из-за более высокого давления процесса, масло сжимается и давит на датчик. Обычно это не замечается пользователем, но если, например, масло расширяется из-за более высокой температуры окружающей среды или если датчик наклонен в другое положение, само масло может вызвать индикацию давления. Сигнал будет небольшим, но для передатчика с низким диапазоном измерения он будет полностью обнаружен. Чтобы избежать этого, всегда выполняйте установку нуля с передатчиком в рабочем положении.

Доступны четыре общих принципа датчиков, каждый из которых предпочитают разные производители. Емкостный датчик основан на изменении емкости при сближении двух пластин. Электрический сигнал с этого устройства является практически линейным давлением. Другой принцип – тензометрический датчик. Это небольшой электрический провод, который уменьшит свой диаметр, если потянуть. Уменьшение диаметра приведет к увеличению сопротивления, которое можно измерить. Также используются полупроводники, и аналогичным образом работает пьезорезистор. Еще один принцип можно сравнить с гитарой: когда сила приложена к струне, ее частота изменится, и поэтому измеренная частота может быть пересчитана в давление.

Если ваше приложение предъявляет «нестандартные» требования (такие как время отклика, долговременная стабильность, температура окружающей среды и т. п.), Важен принцип измерения.

Некоторые датчики давления называются многомерными. Это относится к тому, что они имеют расширенную способность и могут измерять больше данных, например, перепад давления, давление и температура. Цель состоит в том, чтобы использовать все входные данные для расчета потока, уровня или других параметров.

Датчик давления может быть спроектирован несколькими способами, но существует типичная модель, которая используется многими производителями

(см. иллюстрацию). Эта общая конструкция предназначена для монтажа рядом с процессом и подключения к процессу через (или две для перепада давления) трубу / небольшую трубу. Эту трубу иногда называют импульсной линией. Есть также меньшие преобразователи (датчики или измерители давления), которые предназначены для подключения непосредственно в технологическую линию.

Установка

Жидкость

Измерительный преобразователь должен располагаться *под* процессом. При соединении с трубкой трубка должна постоянно направляться вниз от процесса к преобразователю, чтобы внутрь не могли попасть газ или воздух.

Газ

Измерительный преобразователь должен быть расположен *над* процессом. При соединении трубкой трубка должна постоянно направляться вверх от процесса к преобразователю, чтобы жидкость не могла попасть внутрь.

Пар

Говоря об измерении давления, пар можно рассматривать между газом и жидкостью, так как пар в какой-то момент остынет и конденсируется (изменяя состояние от газа до жидкости). Частично заполненная трубка между процессом и преобразователем может привести к большим ошибкам измерения, и ее следует избегать. Одним из решений этой проблемы является использование «парового котла» (или камеры для конденсата), небольшого резервуара, в котором будет происходить конденсация и образование жидкости на постоянном уровне. Трубки к передатчику должны быть *всегда* заполнены водой. Если передатчик устойчив к высокой температуре, то также возможно расположить его над процессом, как в применении газа.

На рисунке 3.2 показаны предпочтительные положения для подключения датчика выпуска / давления для газа (1), жидкости (2) и пара (3), а также запорных и вентиляционных клапанов.

Измерение потока с помощью датчика перепада давления

Это общее применение для передатчиков перепада давления. Чтобы избежать проблем с импульсными линиями, держите их как можно ближе. Расположение клапана между процессом и передатчиком практически для обслуживания и технического обслуживания. Диаметр трубок может быть разным; меньший диаметр приведет к более быстрой реакции, но также более чувствителен к засорению. Стандарт ИСО 2186 рекомендует использовать трубки с внутренним диаметром 7-10 мм для воздуха, воды, пара и сухого газа.

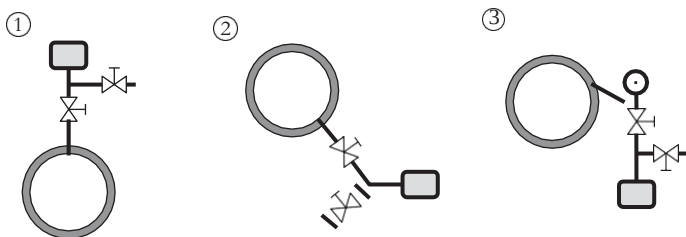


Рисунок 3.2

Отводы давления и места расположения датчика.

Если расстояние велико, рекомендуется держать обе трубки близко друг к другу, так как разница в температуре может повлиять на измерение. Например, 1 м водяного столба при изменении температуры от 20 °C до 30 °C будет влиять на давление примерно с 25 па.

Монтаж

Убедитесь в отсутствии утечек в трубопроводе между технологическим процессом и передатчиком. Утечка приведет к потоку, вызывающему изменение давления и ошибки измерения. Альтернативой импульсной линии является дистанционное уплотнение. Это трубка, которая предварительно заполнена жидкостью, и если она установлена между процессором и передатчиком, она будет действовать как "пульт дистанционного управления". Обычно такие дистанционные уплотнения используют там, где технологические среды горячие, липкие или абразивные и где измерительные приборы нуждаются в дополнительной защите от технологических сред.

Выравнивание передатчика, после установки, может быть важно. После затяжки всех труб и крепежных устройств датчик давления всегда должен быть установлен на ноль. Если датчик не стоит вертикально (если есть угол с любой стороны), это может привести к тому, что заполняющая жидкость внутри датчика будет неравномерно давить на мембрану, и это повлияет на измерение. Регулировка нуля на месте компенсирует это.

Рабочие клапаны

Всегда рекомендуются запорные клапаны между процессом и измерительным прибором, так как они позволяют проводить обслуживание и техническое обслуживание без необходимости завершения всего процесса. Конечно, можно использовать отдельные клапаны, по одному на каждую трубу, но есть также блоки с несколькими клапанами, смонтированными вместе и готовыми к использованию. Наиболее распространенными являются пятиклапанные блоки для дифференциальных датчиков давления и двух – или трехклапанные блоки для обычных датчиков. Некоторые производители используют клапаны с цветовой кодировкой, где красный означает вентиляцию (открыт для атмосферы), синий означает изоляцию (близко к

процессу) и зеленый означает выравнивание (соединение высокого и низкого уровня друг с другом) (рис. 3.3).

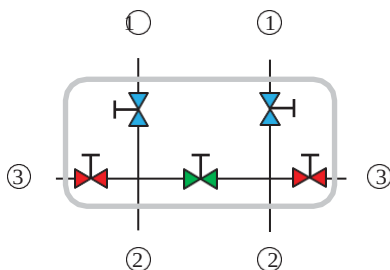


Рисунок 3.3

Сервисные клапаны для отводов под давлением.

Настройка диапазона

Несколько лет назад все датчики давления были поставлены без "абсолютной калибровки". Сигнал, соответствующий определенному давлению, должен быть исследован, записан и установлен пользователем на месте. Для этого на датчик должно было быть подано известное давление (обычно максимальное в данном конкретном процессе), и в то же время выходной сигнал должен был установлен на 100%. Затем прикладывали нулевое давление и устанавливали сигнал 0%. Современные передатчики предварительно устанавливаются и калибруются на заводе перед поставкой. Датчик после этого откалиброван на своем максимальном ряде, и потребитель может установить любое значение ниже его или ее максимума (уровню 100%). Некоторые производители сохранили оба метода в своих приборах, и можно установить диапазон "в цифровом виде" (путем пересчета с заводской калибровки) или "вручную" (путем применения известного давления).

Калибровка и проверка

Вероятно, самый простой метод калибровки для измерителя давления-это прибор для проверки тяжести. Этот прибор содержит цилиндр и поршень нагруженные весами. Утяжелители в верхней части поршня будут прижимать поршень вниз, а сила от общего веса, деленная на площадь поршня, равна создаваемому давлению. Чтобы быть точным, также требуется знание силы гравитации (g) в этом конкретном месте.

Более простой и более общий метод калибровки состоит в том, чтобы использовать контрольный шаблон (3), откалиброванный датчик с хорошей точностью и надежностью (рис. 3.4).

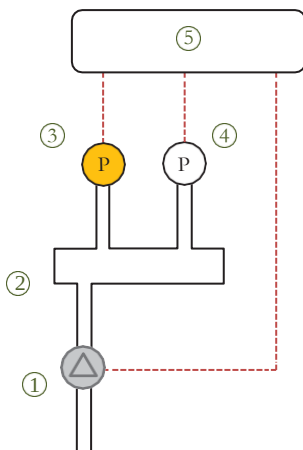


Рис. 3.4

Принцип калибровки манометра.

Он подключается параллельно через коллектор (2) к испытательному объекту (4), а насос (1) используется для создания давления, необходимого для калибровки. Затем сравниваются показания обоих приборов (5). Чтобы проверить линейность, рекомендуется сравнить на нескольких уровнях давления, кардинальных точках, между 0% и 100%.

Дополнительная литература

Шведский метеорологический и гидрологический институт (ШМГИ). <http://www.smhi.se>. Национальная физическая лаборатория (НФЛ), Соединенное Королевство. <http://www.npl.co.uk>.

Питер Аткинс и Хулио де Паула. 2012. Элементы физической химии. Издательство Оксфордского Университета.

Температура

Основные положения

Температура является мерой молекулярной вибрации. При более высокой температуре наблюдается большая вибрация, а в точке абсолютного нуля (-273°C) молекулы вообще не движутся. Ни вибрации, ни температуры. Было разработано несколько методов, шкал и единиц измерения температуры, среди которых наиболее распространенными являются градус Кельвина (основанный на абсолютном нуле), градус Цельсия (основанный на свойствах воды) и градус Фаренгейта (частично основанный на человеческом теле). На рис. 4.1 показаны некоторые общеизвестные температуры для этих трех единиц измерения: минимально возможная температура, абсолютный ноль (1), температура замерзания воды (2), тело человека (3), температура кипения воды (4), приблизительная температура плавления стали (5).

Методы измерения

Для измерения температуры обычно используются несколько различных методов и принципов измерения. В обрабатывающей промышленности датчики сопротивления являются наиболее распространенными. В домашних условиях термистор является самым популярным типом датчиков, используемых в электронных термометрах. Кроме того, термометр "жидкость в стекле" является традиционным прибором, который раньше заполнялся ртутью. Есть также бестактные, похожие на камеры инфракрасные датчики. Все типы датчиков можно разделить на три группы: механические, электрические и оптические.

Жидкость в стекле

Когда жидкость нагрета другие свойства как выкопность и плотность также изменятся в пропорциональном соотношении к изменению температуры. При изменении плотности объем также изменится (масса останется постоянной). Если определенная масса жидкости заключена в тонкую трубку, уровень жидкости будет увеличиваться, если объем увеличивается, и именно так работает термометр жидкости в стекле. При изменении температуры, уровень будет меняться соответственно, и температура может быть считана, если соответствующая шкала установлена на

стороне стекла.

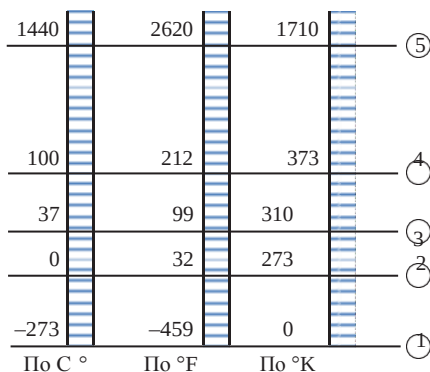


Рисунок 4.1

Сравнение температурных шкал.

Pt-100

Pt обозначает платину и 100 для значения сопротивления (100 Ом). Платиновый термометр сопротивления (ПТС) является наиболее распространенным примером, где электрическое сопротивление металла используется для измерения температуры. Платина является очень стабильным материалом с хорошими электрическими свойствами и поэтому популярна в датчиках температуры. Существуют различные версии ПТС, таких как Pt-25 и Pt-1000. Изменение номинального сопротивления не говорит нам о качестве датчика, для которого существуют различные классы допуска. Платинум может прикрепиться к монтажной плате или в форме тонкого провода, или висеть свободно или обмотанным на катушке внутри датчика. Сопротивление датчика Pt-100 будет меняться примерно на 0,4 ом на градус C. Более предварительное значение сопротивления (R) можно рассчитать по следующему уравнению:

$$R = R_0(1 + 3,9083 \cdot 10^{-3} \times t - 5,775 \cdot 10^{-7} \times t^2) \quad (4.1)$$

где t – температура в градусах C и R_0 – сопротивление датчика при 0 °C.

Электрическое соединение

Сопротивление датчика Pt-100 измерено путем поставки небольшого течения (типично в следующем порядке в 1 мА) через датчик, и путем измерения падения напряжения тока, сопротивление можно высчитать. Как инструмент (3), который измеряет напряжение часто на некотором расстоянии от датчика (1), соединительные кабели (2) также будут влиять на результат (рис. 4.2). Если используются два провода, сопротивление кабеля будет просто добавлено к температуре. При использовании грубого медного кабеля 0,75 мм², погрешность измерения составляет около 0,1 °C на метр.

А (4-проводной) В (3-проводной) С (2-проводной)

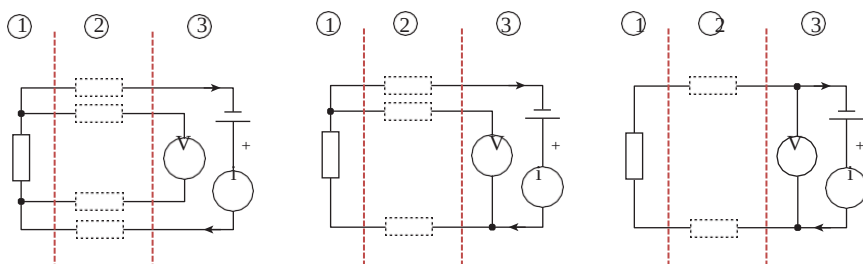


Рисунок 4.2

Цепи измерения сопротивления.

Чтобы избежать этого дополнительного измерения температуры (или погрешности измерения), можно использовать три или четыре провода. Измерительный ток теперь отделен от вольтметра, поэтому сопротивление кабеля сохраняется отдельно. Для точных измерений настоятельно рекомендуется четырехпроводное соединение (и приборы).

Термопара

Термопара — это датчик температуры, состоящий из двух проводов, изготовленных из разных материалов. Провода соединены на кончике датчика переходом, а на другом конце находится вольтметр. Когда этот датчик (или кабель термопары) подвергается воздействию температурных колебаний по его длине, генерируется напряжение, пропорциональное температуре. Поскольку "начальная температура" является температурой окружающей среды, эта температура должна быть добавлена к измеренному значению. Это часто вызвано "компенсацией холодного спая", и характеристика, которая может отрегулировать это, включена в большинство коммерческих температурных передатчиков. По сравнению с датчиком сопротивления, одно различие с термопарой заключается в том, что сигнал будет генерироваться по всему кабелю, на всех участках, где происходит изменение температуры, а не "только" в наконечнике датчика, как в датчике сопротивления. Можно использовать много различных материалов, и при выборе подходящего типа (пары материалов) необходимо учитывать чувствительность к температуре и условиям окружающей среды.

Инфракрасные термометры

Удобным и бесконтактным методом измерения температуры является взгляд на тепловое излучение. Все объекты будут излучать инфракрасную энергию, и с увеличением температуры излучение также будет увеличиваться. Ультракрасный пирометр может собрать излучаемую энергию и пересчитать

это к температуре. Однако собранная энергия зависит не только от температуры, но и от излучательной способности и пропускания. Излучательная способность является мерой поверхностной характеристики, колеблющейся от 0 до 1. "Блестящая" металлическая поверхность имеет излучательную способность около 0,1 и черную матовую поверхность около 0,9.

Передача зависит от того, какие субстанции находятся в атмосфере между объектом измерения и пирометром. Пар, дым и влажный газ уменьшат передачу, и эффект демпфирования зависит как от концентрации, так и от длины волны инфракрасной энергии, на которую смотрит датчик. Чтобы иметь возможность рассчитать температуру от энергии излучения, поверхность измеряемого объекта должна быть известна, так же, как атмосфера в передней части датчика. Если датчик может смотреть на несколько длин волн, то он может автоматически обнаружить, и компенсировать изменения в излучательной способности и передаче. Излучательная способность некоторых материалов приведена в приложении.

Установка

Датчик температуры измерит только непосредственную окружающую температуру! Скорее всего, это не то, что требуется; вам требуется информация о температуре объекта, жидкости или процесса. Поэтому необходимо обеспечить хорошее тепловое соединение (теплообмен) между датчиком и процессом. Между различными температурами никогда нет резкой "границы"; всегда есть зона, где будут формироваться градиенты. При хороших изоляционных материалах толщина этой зоны, например, в печи может быть относительно небольшой, но не нулевой. Аналогичным образом, сам датчик температуры образует градиентную зону с температурой, изменяющейся от уровня процесса вблизи наконечника датчика до температуры окружающей среды на конце соединения. Если процесс теплее, чем окружающая температура, измеренное значение будет слишком низким, потому что тепло отводится через датчик. Чтобы избежать или свести к минимуму эту проблему, можно использовать более длинные датчики и датчики с лучшим тепловым контактом. Изоляция части датчика, которая находится вне трубы, также может быть эффективной.

Монтаж на трубе

Когда датчик температуры установлен в трубе, наконечник датчика должен подвергаться воздействию потока с минимальным «тепловым воздействием» окружающей среды. Существует несколько базовых рекомендаций по установке датчика, но ограничимся наиболее эффективными (см. рисунок 4.3). Если текущая жидкость или газ имеют неоднородное распределение температуры, то найти наилучшее положение может быть трудно; в этих

случаях может потребоваться несколько датчиков, чтобы получить хорошую среднюю репрезентативную температуру.

Справа видны три различных монтажных положения: отличные (а), очень хорошие (б) и хорошие (в) монтажные положения датчика температуры в трубопроводе. Слева вы можете видеть наконечник датчика, с сенсорным элементом (1) и электрическими кабелями (5) в середине защитной трубки (4) внутри термобатареи/внешней защитной трубки (3). Некоторые датчики оснащены гнездом (2) для улучшения внутренней теплопроводности.

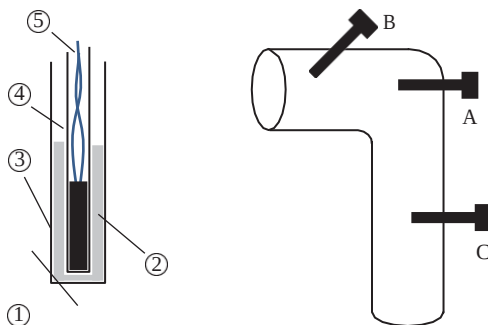


Рисунок 4.3

Конструкция датчика температуры и положения установки трубы.

Теплопроводность в целом играет важную роль для измерения температуры не только внутри датчика, но и снаружи датчика. Сенсор измерит его внутреннюю температуру! При хорошей теплопроводности вокруг датчика эта внутренняя температура, вероятно, будет такой же, как и окружающая температура, что в большинстве случаев является желательным. С низкой термальной проводимостью, будет разница, приводящая в увеличенной погрешностью измерения.

Калибровка и проверка

Как уже упоминалось, основой температурной шкалы Цельсия является температура замерзания и кипения воды. В международной температурной шкале (ITS) перечислены точки замерзания, плавления и кипения других материалов. Эти пункты использованы как рекомендации в лабораториях измерения температуры. Поэтому для создания основы для прослеживаемых температурных калибровок необходимы очень чистые вещества, которые могут быть расплавлены и измерены. Давление окружающей среды влияет на температуру кипения, но не на температуру замерзания. Это кажется довольно странным, но это означает, что если давление достаточно низкое, жидкость может кипеть и замерзать при той же температуре. Это состояние называется

тройной точкой, где, например, вода одновременно находится в твердой (лед), жидкой и газовой (паровой) фазах. Материалы, перечисленные в его таблицах, охватывают приблизительный диапазон от $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. эталонные температуры в соответствии с ним перечислены в Приложении.

Сравнение

При выполнении калибровки датчика температуры, идея состоит в том, чтобы сравнить датчик температуры, который вы хотите проверить с "более лучшим" и "надежным" датчиком: эталоном!

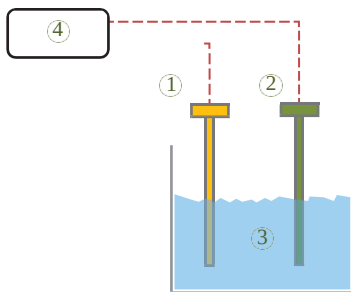


Рис. 4.4

Принцип калибровки температуры.

Поскольку все калибровки должны быть прослеживаемыми, необходимо калибровать контрольный калиброванный к прослеживаемому стандартному с небольшой погрешностью. Для того чтобы оба датчика подвергались воздействию одинаковой температуры во время нагрева, необходимо располагать их в жидкой ванне или в твердом блоке с равномерным распределением температуры. Такие ванны и блоки можно получить от различных поставщиков калибровочного оборудования. Простую, но все же хорошую ванну с эталонной комбинацией может легко сделать практически каждый. Для этого нужно положить в термос колотый лед и холодную воду. Через некоторое время, когда температура стабильна, у вас есть ванна с $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в пределах не более $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Когда весь лед растаял, нужно сделать новую смесь (рис. 4.4).

Датчики должны иметь хороший тепловой контакт с жидкостью в ванне (легко) или материалом в блоке калибратора (сложно). Блок часто снабжается соединительными деталями разных размеров, и тогда важно выбрать один с правильным диаметром, соответствующим датчикам температуры. Также важно, чтобы датчик был полностью погружен. Если какая-то часть датчика остается над поверхностью жидкости в ванне (или над верхней частью блока), то трудно быть уверенным, что датчик показывает правильную температуру. При правильной установке оба метода являются очень точными, а оставшаяся погрешность из-за температурных колебаний минимизируется.

Уровень

Основные положения

Большинство резервуаров, используемых в обрабатывающей промышленности, оснащено уровнемерами. Однако в большинстве примеров использования измерителя уровня требуется не "уровень", а "объем" сохраненного продукта. Исключение составляет случай, когда уровнемер защищает от переполнения; в этом случае действительно необходима информация об уровне. При выборе подходящего и хорошего принципа измерения уровня, во первых надо проверить, как резервуар спроектирован.

Бесконтактные измерители (такие как радар и ультразвук) пользуются популярностью. Устройства этих типов устанавливаются над поверхностью жидкости, обычно на крыше резервуара. В большинстве случаев требуется определенный уровень жидкости, но в данном случае измеритель будет высчитывать расстояние от себя до поверхности. Чтобы выровнять это значение, необходима высота резервуара. Это значение, которое задается в конфигурации измерителя и, конечно же, точность измерения уровня будет не лучше заданной высоты. Следует отметить, что многие резервуары изменяют свою форму при заполнении, как правило, за счет увеличения диаметра, что приводит к уменьшению высоты (датчик будет ближе к дну прибора, когда бак будет заполнен). Одним из способов улучшить эту ситуацию является установка счетчика на подставку-трубу, не соединенную с крышей резервуара.

Диапазон измерения (1) ограничен верхней мертвой зоны (2) и нижней мертвой зоной (3) (рис. 5.1). Полная высота бака (4) также необходима для конфигурации. Некоторые резервуары имеют точку отсчета, базовый уровень, внутри резервуара, и если это так, объем часто устанавливается на ноль на этом уровне. Помните, что номинальный диаметр (5) будет меняться с повышением уровня (6), и возможно, что все параметры резервуара также будут меняться с температурой. Поверхность, на которой стоит резервуар, должна быть устойчивой, чтобы угол (7) резервуара не менялся со временем.

Принцип измерений

Наиболее часто используемые принципы определения уровня основаны на измерении давления, положении поплавка или на обнаружении эхо. Как всегда различные принципы измерения имеют свои преимущества и недостатки.

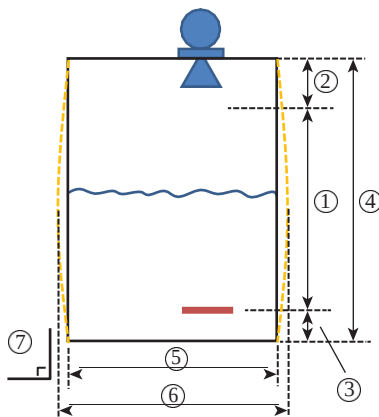


Рисунок 5.1

Измеритель уровня – на крыше резервуара.

И, как уже упоминалось, если требуемой информацией является объем, помните, что резервуар также является частью измерительных приборов (часть, которая должна быть такой же стабильной и точной, как датчик и его требования).

Поплавок

Поплавок, подключенный к какому-либо индикатору, является, пожалуй, наиболее распространенным типом уровнемера. Этот тип датчика может быть чисто механическим, но часто будет содержать электрические детали, переключатель или индикатор для сигнала тревоги или дистанционного чтения. Уровень поплавка зависит от его объема и веса, по сравнению с плотностью жидкости, в которой оно плавает. Таким образом, изменения плотности будут вызывать небольшие изменения в индикации уровня. Эта "глубина поплавка" также делает невозможным измерить его полностью вниз к дну бака.

Ультразвуковое эхо

Ультразвуковые счетчики уровня основаны на принципе времени прохождения. Счетчик измеряет время, которое необходимо для ядерного импульса, произведенного внутри счетчика, для того чтобы сдвинуться от счетчика к поверхности и снова назад. Чтобы иметь возможность рассчитать расстояние от измеренного времени, измеритель должен знать скорость звука в атмосфере резервуара. Обычно эти счетчики сконфигурированы для

измерения в воздухе (внутреннее уравнение будет использовать скорость звука в воздухе), что приводит к ошибкам измерения, если атмосфера резервуара содержит другие газы. Температура также важна, так как скорость звука не постоянна с температурой (в воздухе она изменяется примерно на 0,2% на градус Цельсия). Следовательно, большинство счетчиков имеют внутренний датчик температуры для компенсации для изменения температуры воздуха. Для лучшего измерения, постарайтесь убедиться, что этот датчик подвергается воздействию репрезентативной температуры, как можно ближе к средней температуре атмосферы бака, насколько это возможно.

Радиолокационные измерители

Радиолокационный уровнемер может использовать различные принципы измерения. Один из способов – использовать импульсное эхо (время прохождения), так же как ультразвуковой уровнемер. Другим способом, в большинстве случаев более быстрым и надежным, является использование частотно-модулированной непрерывной волны (FMCW), метода, который использует переменную частоту. В обоих случаях измеряемой величиной является время перемещения от измерителя к поверхности и обратно. Это затем пересчитывается на расстояние, используя скорость сигнала. Радиолокационный сигнал представляет собой электромагнитную волну, подобную свету. Эта скорость довольно стабильна и изменяется намного меньше, чем скорость звука из-за изменений газовой смеси или температуры, например. Чтобы получить показания, импульс должен отражаться на поверхности под датчиком. Качество отражения зависит от различных факторов, и одним из важных факторов является диэлектрическая проницаемость конкретной среды. Более низкое диэлектричество делает отражение более слабым, что приводит к меньшему сигналу, возвращающемуся к датчику. Итак, есть предел, когда рефлексия недостаточно хороша. Этот предел зависит от чувствительности конкретного уровнемера и расстояния, но общее значение диэлектрика составляет около 1,5. Пена или твердые тела плавающие на поверхности могут повлиять на отражение, в зависимости от свойств и толщины плавательного материала "преграждая" появлению поверхности. Таблица диэлектрических постоянных приведена в приложении.

Датчики давления

Датчик давления можно легко измерять уровень жидкости, но для этого он должен быть подключен в нижней части бака. Существуют различные способы подключения датчика: либо в отверстие (через соединительный фланец) на дне, либо с помощью герметичного датчика "погружения" (расположенного внизу, внутри резервуара). Датчик давления будет действовать как своего рода весы, и измеренное давление может быть пересчитано к уровню, если плотность жидкости известна. При постоянном объеме резервуара колебания температуры приводят к разнице уровней.

Однако, счетчик уровня давления не обнаружит это, потому что жидкость изменит свои плотность и уровень соответственно.

Если резервуар закрыт и верхняя часть не соприкасается с атмосферой, давление на жидкость может быть другим. Это давление должно быть добавлено к давлению, измеренному уровнемером. Для этого применения следует использовать измеритель перепада давления. Если датчик давления установлен в нижней части резервуара, другая сторона должна быть соединена с верхней частью резервуара небольшой трубкой (см. также главу 3 о давлении). Эту трубу можно спроектировать так, чтобы она была пустой или заполненной жидкостью. По мере того как любой конденсат будет иметь проблемы, он будет общим для этой трубы (также называется 'нога') заполненной.

Это означает, что выходной сигнал инвертирован: когда бак пуст, существует отрицательный перепад давления, а когда бак полон, перепад давления близок к нулю. В этом примере использовании, конечно, важно убедиться, что труба, соединяющаяся с верхней частью бака, всегда полностью заполнена.

Другой метод установки, где давление на дне бака измерено с видом дистанционного соединения, "барботер". Небольшой поток воздуха направляется через трубу, ведущую на дно резервуара. Поскольку перепад давления в трубе очень мал, им можно пренебречь, и давление, измеренное при Т – образном соединении в верхней части резервуара, считается равным давлению в конце трубы (в нижней части резервуара). Поскольку на дне резервуара не требуется отверстий, риск утечки минимален, и датчик давления не подвергается воздействию жидкости. Однако этот метод измерения требует постоянного потока воздуха, и в долгосрочной перспективе использование воздуха может быть дорогостоящим. Этот метод потребует регулярного обслуживания и технического обслуживания.

Датчик проводимости

При установке двух электропроводных пластин (или стержней) в жидкости, уровень может быть измерен с помощью электрического сопротивления. Предполагая, что жидкость имеет электропроводность, сопротивление между пластинами будет уменьшаться с глубиной погружения и, следовательно, уровнем в резервуаре. Если резервуар изготовлен из проводящего материала (например, из нержавеющей стали), стенки резервуара можно заменить одной из пластин. Выход полностью зависит от оборудования, а также свойств измеряемой жидкости, поэтому перед его запуском всегда требуется регулировка на месте. Грязь и другие слои, накапливающиеся на измерительных пластинах, будут влиять на измерения, и этот метод лучше всего подходит там, где применение является чистым (например, в пищевой и фармацевтической промышленности, где этот тип приборов довольно распространен). Заменив устройство для измерения сопротивления устройством для измерения емкости, можно также измерять параметры непроводящих жидкостей. В прочих аспектах эти принципы очень похожи.

Взвешивание

Дозирование по массе – это технология измерения, но она рассматривается здесь как альтернатива применению уровнемера. Это связано с тем, что весы обычно не считаются технологическим инструментом, хотя весы, тензодатчики и ленточные весы обычно используются во многих отраслях промышленности. Весы также широко применяются в калибровочных лабораториях и включены во многие цепи прослеживаемости.

Как правило, выделяют два вида весов: тип компаратора и тип, который измеряет силу. В типе компаратора есть противовес (с известной массой), и чтение отнесено к нему. В данном устройстве такие параметры, как гравитация (местоположение) и комнатная температура, не важны, поскольку они одинаково влияют как на измеряемый объект, так и на противовес.

Однако большинство весов работают по принципу силы и поэтому воспринимают не только массу. Есть разница между массой и весом. Масса постоянна, но вес будет отличаться из-за изменения силы тяжести. Стандартная гравитация установлена на $9,82 \text{ м/с}^2$; однако гравитация Земли непостоянна по всей планете. Из-за различных расстояний до центра планеты вблизи экватора сила тяжести составляет около $9,78 \text{ м/с}^2$, а вблизи полюсов – около $9,83 \text{ м/с}^2$. Однако существуют локальные вариации, обусловленные топографией и другими факторами, и для точного взвешивания можно найти и компенсировать локальное значение G . При использовании тензодатчиков под резервуаром убедитесь, что все они хорошо сбалансированы, чтобы разделить общую нагрузку. Во многих случаях три ноги (или опоры) под резервуаром лучше, чем четыре. Защищают элементы от боковых сил и перепады температур. Платформа (или что-либо аналогичное – то, что нужно использовать для калибровочных весов) пригодна, но она должна быть сконструирована таким образом, что вес был распределен поровну во всех ячейках загрузки.

Воздушная плавучесть

Плотность окружающего воздуха будет влиять на вес, потому что измеряемый объект будет "отталкивать" (или заменять) некоторый воздух, когда он покоится на весах. В некоторых областях используются две концепции: 'массы воздуха' и 'массы в вакууме'. Истинная масса указана в вакууме. При взвешивании в воздухе плавучесть, масса воздуха, которая заменяет объект, повлияет на результат.

Пример 5.1

Один кубический метр воздуха имеет массу около 1,2 кг. При взвешивании нефти (с плотностью 900 кг/м^3), мы должны компенсировать воздух, вытесняемый жидкостью. Один кубический метр масла оттолкнет 1,2 кг воздуха, что равно $1,2 / 900 = 0,13\%$. Таким образом, погрешность плавучести воздуха при взвешивании масла составляет примерно 0,13%.

Поскольку контрольный вес, который использовался для калибровки Весов, также

отталкивал некоторое количество воздуха, это также должно быть включено (см. сертификат калибровки). Если не принимать это во внимание, то мы имеем в виду "конвенциональную истинную массу". Поскольку большинство контрольных весов сегодня изготовлены из нержавеющей стали, мы можем сравнить плотность объекта (или жидкости), который будет взвешиваться с нержавеющей сталью, и соответствующим образом компенсировать показания. Разумеется, чтобы быть как можно более точными, мы также компенсируем контрольные веса.

Пример 5.2

Если мы хотим откалибровать весы, которые можно использовать для измерения одного кубического метра нефти, нам нужен эталонный вес примерно такого же веса. Один кубический метр нержавеющей стали имеет массу около 8000 кг. Один кубический метр воздуха имеет массу около 1,2 кг. При взвешивании стального блока, мы имеем погрешность $1,2/8000 = 0,02\%$ из-за воздуха, чья сталь отталкивает.

При взвешивании 900 кг нефти мы, вероятно, использовали бы меньшие весы (и меньшие контрольные веса), но разница в процентах одинакова независимо от размера. При использовании одной и той же весовой шкалы для измерения нефти (с плотностью 900 кг/м^3) мы должны компенсировать воздух, отталкиваемый нефтью. Один кубометр нефти также оттолкнет 1,2 кг воздуха, но так как есть разница в плотности, то погрешность в процентах теперь будет разной: $1,2/900 = 0,13\%$. Однако, вероятно, первоначальная ошибка с использованием Весов из нержавеющей стали была устранена регулировками, выполненными во время калибровки. Если мы уберем это, то результат будет $0,13\% - 0,02\% = 0,11\%$. Так, погрешность при взвешивании нефти составляет поэтому примерно 0,11%. Это также разница между массой в воздухе и массой в вакууме. Если быть точным, мы должны также учитывать, что плотность воздуха изменится, и мы можем сделать корректировку, основанную только на плотностях.

$$\text{Реальная масса} = \text{указанная масса} \times \frac{\left(1 - \frac{\delta_{\text{возд.}}}{\delta_{\text{эт.}}}\right)}{\left(1 - \frac{\delta_{\text{возд.}}}{\delta_{\text{об.}}}\right)} \quad (5.1)$$

где $\delta_{\text{возд.}}$ – плотность воздуха, $\delta_{\text{эт.}}$ – эталонная, калибровочная плотность массы, а $\delta_{\text{об.}}$ – плотность объекта или жидкости.

Ссылки и более подробную информацию о взвешивании можно найти по адресу www.oiml.org.

Обзор Уровнемера

Широкий выбор измерители уровня включают давление (1), радар (2), управляемый радар (3), ультразвуковой (4), давление (5) и магнитный поплавков (6) (рис. 5.2).

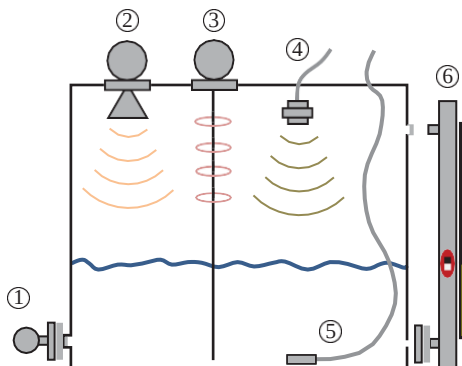


Рисунок 5.2

Различные принципы уровнемера.

Калибровка и проверка

Уровнемер можно легко откалибровать в испытательной установке, во время "сухой" тарировки используя длину (измерительную ленту или лазер) как образец. Однако, как уже упоминалось, в большинстве случаев, это объем, который необходим. Итак, есть две вещи для калибровки: измеритель уровня и резервуар. Существует два распространенных способа калибровки резервуара: геометрически путем измерения высоты и диаметра и путем сравнения с известным объемом (т. е. путем заполнения резервуара через калиброванный расходомер). Если калибровка резервуара должна быть действительной в течение долгого времени (и на различных уровнях жидкости), резервуар должен быть прочно сконструирован. Для этого может быть выбрана проверенная (или утвержденная по типу конструкции) Конструкция резервуара. Более подробную информацию об этом см. в рекомендации 71 Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ) или стандарте 620 Американского института нефти (АИН). Много уровнемеров можно установить с данными по калибровке резервуара. Значения заносятся в таблицу, чтобы счетчик мог пересчитать и линеаризовать измеренный уровень в объем.

Встроенный анализ

Химические измерения

Нет никакого четкого различия между физическими и химическими измерениями, но это хорошая идея, чтобы разделить их, поскольку есть некоторые различия. Одним из отличий является то, что "широкая чувствительность" (датчик, реагирующий на многие параметры) считается хорошей для химического датчика, но плохой для физического датчика (в котором чувствительность к другим параметрам, чем желаемые, рассматривается как помехи). Еще одно основное и довольно важное различие заключается в том, как делаются образцы. Измерения, связанные с физикой (или, по крайней мере, раньше), основаны на артефакте, таком как длина, время или вес, в то время как измерения, связанные с химией, часто основаны на сравнении таких вещей, как цвет или электрический отклик. Это означает, что эталонные материалы необходимы, и это наиболее распространенный способ создания прослеживаемости в химической лаборатории. Поскольку эталонные материалы используются с аналогичной целью при калибровке, для каждого материала необходимо указать погрешность. Большинство материалов поставляются с этой информацией, даже если используемая терминология иногда может отличаться. Существуют аналогичные организации, которые контролируют работу и предоставляют аккредитацию химическим измерительным лабораториям. Для получения дополнительной информации посетите Eurachem (www.eurachem.org) или любую подобную организацию.

Одним из примеров того, как можно организовать прослеживаемость, является проводимость. Поскольку кондуктивность-это величина электрического сопротивления в материале (жидкости), типичным "физическим" подходом было бы связать измеритель проводимости со стандартами длины (площади) и электрическими стандартами. Однако обычно химические лаборатории не достигают такой прослеживаемости; вместо этого они используют эталонные жидкости с заявленной проводимостью. Различные подходы сочетаются с различными методами и несколько иной терминологией. Для конечного результата это не важно, но может создать путаницу, когда "инженер – физик" находится в конфликте с "инженером-химиком". Полезно знать, когда встроенный датчик не согласуется с лабораторным тестом!

Многие химические измерения производятся в лаборатории. При проведении всех лабораторных исследований необходимо соблюдать осторожность при взятии пробы. Если образец не является представителем полной продукции, то не имеет значение насколько точно измерение. Как

место, так и время могут иметь значение, и в среднем несколько образцов всегда лучше, чем один!

pH

Активность ионов (pH) является важным фактором во многих процессах, указывая, например, скорость химической реакции. В пищевой промышленности, pH может указать, и также может быть качественной отметкой для жидкости и показывать насколько безопасен тариф коррозии. Наиболее распространенным способом измерения pH в перерабатывающей промышленности является использование электрода, содержащего ионную мембрану из стекла. Эта конструкция произведет напряжение тока пропорциональное к деятельности иона. Важно, чтобы электрод был чистым, чтобы мембрана функционировала. Регулярная чистка и "регенерация" необходимы – специальное требование для электродов pH. Рекомендуется частая повторная калибровка.

Шкала pH логарифмическая и охватывает очень большую площадь. Таким образом, реальная разница в активности, например, при pH 7 и pH 8 довольно велика. Шкала охватывает от 1 до 14, где 7 нейтрально. Растворы с pH менее 7 являются кислыми, а растворы с pH больше 7 являются базовыми. Примеры веществ и их pH можно найти в приложении.

Проводимость

Электрическое сопротивление в жидкости, как раз как pH, полезный параметр при проверке качества или попытке сепарации одного продукта от другого. Это также может быть параметр безопасности, например, когда жидкость контактирует с электрическими компонентами. Единица СИ для проводимости – это Сименс на метр, но другие единицы также довольно обыкновенно используются. Одним из них является мСм, Ом написаны задом наперед. В спецификациях, часто S/m заменено $\mu\text{S} / \text{cm}$, более практическими единицами для обыкновенно используемых веществ. Водопроводная вода имеет проводимость около 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, но значение сильно зависит от местного состава воды.

Особое внимание следует уделять жидкостям с очень низкой проводимостью. Так же, как при измерении на компонентах с высоким сопротивлением, измерительная цепь становится очень чувствительной к помехам. И жидкости как ультра-чистая вода, имеющие очень низкую проводимость, также прореагируют с окружающим воздухом, что приведет к измене проводимости со временем.

Температура будет важна по мере того как проводимость изменится, если жидкость нагрета или охлаждена. Поэтому показания проводимости могут быть скорректированы до "стандартной" температуры. Эта процедура (ручной расчет или использование встроенной функции) требует знания жидкости и ее свойств. Если измеряемая жидкость представляет собой неизвестную смесь, математическая коррекция температуры невозможна! Охладить или нагреть образец до стандартной температуры конечно гораздо сложнее, но в этом случае также безопаснее.

Электропроводность воды

Вы, вероятно, слышали, что вода и электричество составляют опасную пару. Однако чистая вода на самом деле является отличным изолятором, который не проводит электричество. Чистая вода в основном существует в лабораториях; в повседневной жизни мы не сталкиваемся с чистой водой. Вода может растворить больше вещей, чем любая другая жидкость, и почти независимо от того, откуда вода приходит, она будет содержать много растворенных веществ, минералов и химических веществ. Соли, например поваренная соль (хлористый натрий), это та, которую мы знаем лучше всего. В химических терминах соли представляют собой ионные соединения, которые состоят из катионов (положительно заряженных ионов) и анионов (отрицательно заряженных ионов). В растворе эти ионы по существу нейтрализуют друг друга, так что раствор электрически нейтрален (без чистого заряда). Как только вода будет содержать эти ионы, она будет проводить электричество.

Мутность

Мутность говорит вам, насколько прозрачна жидкость. Это оптическая характеристика и выражение количества света, рассеиваемого материалом в продукте, когда свет сияет через него; чем выше интенсивность рассеянного света, тем выше мутность. Материалы, которые вызывают помутнение продуктов, включают глину, ил, мелкодисперсные неорганические и органические вещества, растворимые цветные органические соединения и микроскопические организмы. Мутность – это показатель мутности или непрозрачности жидкости, часто показатель качества для продуктов питания и напитков.

Вязкость

Как уже упоминалось в главе 2, вязкость жидкости будет влиять на профиль потока, падение давления и другие реакции. Вязкость-это внутреннее трение жидкости, часто в повседневной жизни называемое "толщиной". Вязкость будет меняться с температурой, и большинство жидкостей будет течь гораздо легче (получит более низкую вязкость) при более высоких температурах. Ньютоновские жидкости, как говорят, имеют вязкость, независимую от потока, и неньютоновская жидкость изменит свою вязкость при более высоких потоках. Для этих типов жидкостей, вязкость может пойти и вверх или вниз на более высоких величинах потока. Большинство измерителей вязкости не могут измерять вязкость при различных потоках и поэтому не могут быть использованы для неньютоновских жидкостей. Газы и большинство чистых жидкостей обычно считаются ньютоновскими.

Существует два типа вязкости: (1) кинематическая и (2) динамическая. Кинематическая вязкость-это динамическая вязкость, деленная на плотность (уравнение 2.3). В системе СИ кинематическая вязкость $\text{м}^2/\text{с}$, и еще один распространенная единица сантисток (сСт) ($1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$). Кинематическая вязкость воды при 20°C составляет около 1 сСт. В системе СИ динамическая вязкость измеряется в Па·с; другая часто используемая единица – сантипуаз (сП) ($1 \text{ сП} = 1 \text{ МПа} \cdot \text{с}$). Динамическая вязкость воды при 20°C составляет около 1 сП.

Плотность и концентрация

Плотность газа или жидкости говорит нам о массе единицы объема; например, вода имеет приблизительную плотность 1 кг на литр. Концентрация-это способ выразить, сколько определенного вещества есть в смеси. Это может быть смесь двух (или более) различных жидкостей или содержание твердых частиц в жидкости (или наоборот). Если смешиваются два вещества с различной плотностью, то концентрацию можно рассчитать по измеренной плотности. Если имеется три или более веществ или если оба вещества имеют одинаковую плотность, для измерения концентрации должны использоваться другие аналитические методы. Существуют различные способы измерения плотности; вибрация является одним из них (см. также о расходомере Кориолиса в главе 2). Пикнометр представляет собой плотномер, состоящий из небольшого флакона с известным объемом. Прибор часто имеет пробку (или колпачок) с небольшим отверстием, куда будет выдавлена жидкость, и это гарантирует, что пикнометр будет полностью заполнен. Если он после этого остается пустым и полным, то плотность жидкости можно высчитать. Гидрометр-это прибор для измерения плотности. Это своего рода поплавков со шкалой сверху. Гидрометр будет плавать в измеряемой жидкости, а плотность заставит поплавок оставаться на различных глубинах. Плотность показана где масштаб пересекает жидкостную поверхность. Такой прибор часто используется для измерения содержания алкоголя в вине и пиве. Содержание алкоголя часто представлено в процентах, и следует отметить, что это число может быть связано как с объемом, так и с массой. Так как плотность напитка не равна 1, то процент будет разным. Например, конкретное пиво имеет содержание алкоголя 4,5% по объему. Это примерно эквивалентно 3,6% по весу. Более крепкие напитки, такие как водка, могут в некоторых регионах иметь содержание алкоголя с надписью "пруф США". Эта старая установка до сих пор используется, и концентрация спирта в 100 американских пробах равна 50% по объему. Примеры плотности некоторых распространенных жидкостей и материалов приведены в приложении.

Термин "удельный вес" – это понятие, аналогичное плотности: вес на единицу объема. В общем, вес и масса равны, но вес-это скорее сила и как таковая связана с вопросами измерения. "Удельный вес" – это еще одно понятие, связанное с плотностью, теперь по сравнению с эталоном (чаще всего вода для жидкостей и воздух для газов). Таким образом, жидкость с удельным весом 1 имеет ту же плотность, что и вода.

Процент равен частям на сотню. Небольшие концентрации иногда выражаются в виде частей на миллион (ppm) или даже частей на миллиард (ppb). Здесь следует отметить не только то, что объемы и веса имеют разные единицы во всем мире, но и то, что концепция миллиарда отличается в разных районах мира и поэтому ее следует избегать. Чтобы быть ясным, мы должны также добавить, если указанная часть по массе или по объему. Другой общий путь, главным образом используемый для твердых частиц в газе, выразить концентрацию как масса на единицу объема. Затем также хорошо указать стандартное условие, например $^3 \text{ мг} / \text{м}^3 @ 102 \text{ кПа}$ и $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Символ @ затем используется со значением 'at'

$100\% = 1\,000\,000 \text{ ppm} = 1\,000\,000\,000 \text{ ppb}$ (в США и Европе)

Электрические сигналы

Все измерительные приборы имеют индикатор для отображения измеренных данных. Это может быть локальный дисплей для ваших глаз, чтобы наблюдать, или электрический сигнал для дистанционного чтения. Приборы, используемые в перерабатывающей промышленности, почти всегда имеют один или несколько выходных сигналов. Часто используются аналоговые сигналы электрического тока (мА). Существует несколько стандартизированных диапазонов, где 4–20 мА являются наиболее распространенными; 4 мА равны 0%, а 20 мА равны 100% значения процесса (например, 0–100 °С). Можно сказать, что сигнал 4–20 мА является универсальным процентным индикатором, и вы всегда должны (в большинстве случаев вручную) устанавливать диапазоны и единицы измерения на обоих концах (отправитель/измерительный прибор и приемник/индикатор). Важно, чтобы оба прибора были установлены на одинаковые значения, в противном случае это может привести к большим погрешностям измерения.

Некоторые приборы вместо этого или дополнительно посылают импульсы в качестве выходного сигнала. Этот метод распространен при измерении количества, такого как тонны или кубические метры. Импульсы в этом случае посылаются в сумматор, который подсчитает количество импульсов и укажет общее количество. В этом случае вам нужно установить значение импульса как в отправителе, так и в приемнике; если счетчик отправит один импульс на кубический метр, конечно, сумматор должен быть установлен для указания кубических метров. Новый метод заключается в использовании передачи данных. Несколько систем шины данных специально начаты для окружающей среды и потребностей обрабатывающей промышленности, как основание PROFIBUS и Fieldbus (<http://www.fieldbus.org/>). M-Bus (Шина счетчика, спроектированная в соответствии с EN13757) аналогична, но фокусируется на учете коммунальных услуг (вода, газ и электричество), а не на технологическом учете. Сетевые устройства, такие как Ethernet и Modbus, обычно встречаются в офисных системах, также могут использоваться до тех пор, пока позволяют условия окружающей среды. Одним из основных преимуществ использования передачи данных является то, что больше данных может быть отправлено по тем же проводам. Несколько значений измерения, включая ряд и блоки, легко переносятся, которые уменьшают риск ошибок в установках. Кроме того, сообщения об ошибках и сигналы тревоги могут быть распределены, и некоторые системы также позволят удаленное обслуживание и конфигурацию. С цифровой передачей данных, качество сигнала легче поддерживать – если связь работает, передаваемые данные являются правильными. Однако все основные настройки сети должны быть

правильными, а драйверы должны быть обновлены, что является непростой задачей. При подключении к интернету очень важно следить за риском хакерских атак и кибератак на системы и сети. ISO 62443 предоставляет дополнительные сведения о защите систем управления jп кибератак.

Довольно распространенной системой является HART, где аналоговый сигнал сочетается с (медленной) передачей данных. HART может передавать данные измерений но главным образом использован для целей конфигурации.

Удаленное конфигурирование с помощью ручного терминала HART (или ПК с модемом HART) является удобным способом доступа к инструментам, установленным удаленно. Чтобы использовать этот тип конфигурации, инструменты также предлагают возможность архивировать настройки простым способом. Также в некоторых больших системах управления поддерживается функциональность HART. Термин "распределенный ввод-вывод" относится к системе управления, где входные и выходные порты расположены во внешних блоках, расположенных вблизи технологических устройств. Между этими блоками и центральной системой управления осуществляется цифровая связь, а от датчика или привода используются аналоговые сигналы. Также здесь возможна функциональность HART.

Передача сигнала

Внутри почти всех измерительных приборов вы найдете несколько преобразователей сигналов и калькуляторов. Также в приемнике (контроллере, дисплее или системе) имеются преобразователи. Наконец, иногда можно найти внешние преобразователи и защитные барьеры между ними. Все преобразования должны быть выполнены правильно, и специалист по приборостроению должен убедиться, что все в этой цепи правильно. Требуется особая осторожность для всех преобразователей с настраиваемой (или программируемой) конфигурацией, так как это может привести к большим ошибкам, если они установлены неправильно. Рис. 7.1 описывает, как музыка записывается, хранится и распределяется.

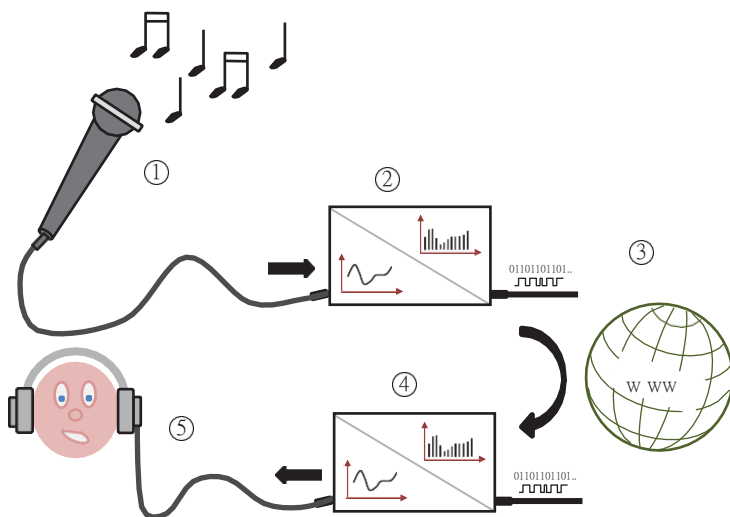


Рисунок 7.1

Преобразование аналого-цифрового сигнала в аналоговый.

Однако, такие же структуры использованы для много измерений, и в перерабатывающей промышленности строятся аналогичные системы. Во-первых, есть датчик (1) сбора данных. Данные поступают на преобразователь сигналов (2), где в большинстве случаев аналоговые сигналы также преобразуются в цифровую информацию. В некоторых случаях, этот преобразователь имеет встроенные функции для генерации аналогового выхода; в других случаях, он будет передавать цифровую информацию в сети (3). Эта сеть может быть локальной или общедоступной, из-за соображений безопасности большинство обрабатывающих производств не подключены к интернету. Получатель (4) является тогда другим клиентом в этой сети, собирая выбранную информацию. В случае обрабатывающей промышленности это может быть конкретный клапан (5), ищущий информацию об уровне резервуара или аналогичный, способный предпринимать действия (открывать, закрывать или оставаться) для управления этим параметром процесса.

Аналоговые сигналы

$$I = \frac{V}{R} \quad (7.1)$$

где I – ток (А), V – напряжение (В) и R – сопротивление (Ом).

Для правильного измерения аналогового сигнала необходимы некоторые фундаментальные электрические знания. Закон Ома поможет вам понять как возможности, так и ограничения сигнала. Глядя на это, вы быстро поймете

преимущество использования тока вместо напряжения для передачи сигнала. Ток будет оставаться на том же уровне на всем пути через петлю, независимо от длины кабеля (или если есть клеммы и разъемы по пути). Если общая нагрузка (сопротивление) в контуре не превышает максимального значения, значение сигнала будет правильным везде, где вдоль контура оно измеряется. Все кабели имеют некоторое сопротивление и в какой-то момент, кабель будет слишком длинным. Но если вы остаетесь ниже максимального сопротивления петли, сигнал мА будет в порядке. Если вы подниметесь выше максимального сопротивления, сигнал будет слишком низким. Однако сигнал напряжения будет постоянно падать, а расстояние от отправителя до приемника приведет к увеличению сопротивления и ошибке считывания. Таким образом, при использовании сигналов напряжения, все кабели должны быть как можно короче!

Специальная версия текущего сигнала – "двухпроводная" петля. Этот тип проводки также называется "петлевым питанием", поскольку энергия питания измерительного прибора передается по тем же проводам, что и измерительный сигнал. Это может быть достигнуто, когда есть достаточно энергии для питания прибора также на 4 мА, так что прибор может также "функционировать", когда измеренное значение равно нулю. Этот метод популярен, потому что он уменьшает потребность в электрических проводах и облегчает монтажные работы. Тем не менее, мощность для управления инструментом ограничена сравнительно небольшим значением, и не все инструменты могут быть под напряжением, таким образом. Особое внимание необходимо уделить максимальной нагрузке в контуре, так как здесь также другие компоненты будут потреблять части доступной мощности. Существуют также приборы со смесью систем, где выходной сигнал подключен в виде двухпроводной петли и где все еще есть необходимость для отдельного подключения питания.

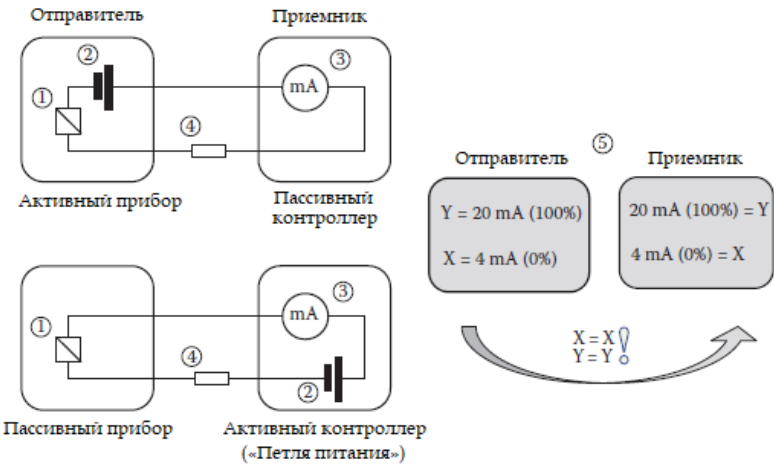


Рисунок 7.2

Активные и пассивные аналоговые сигналы.

Это приводит к общему вопросу для всех терминалов 4-20 мА: – Выходной сигнал, активный или пассивный? Это необходимо знать перед подключением приемника или индикатора: для активного выхода потребуется пассивный индикатор, а для пассивного выхода – активный индикатор. На рис. 7.2 показано, что основным отличием является расположение источника питания (2). Генератор измеряемых величин (1), а также индикатор или приемник (3) остаются на прежнем месте. Общее сопротивление (4) в контуре ни в коем случае не должно превышать максимального предела. Когда соединение будет готово, необходимо также убедиться в правильности конфигурации. Диапазон измерений в большинстве случаев устанавливается как в отправителе, так и в получателе, и оба конца должны иметь одинаковые значения.

Большинство систем управления где-то имеют преобразователи, которые делают цифровые данные аналоговых сигналов (А/D-преобразователи). Важной спецификацией для каждого аналого-цифрового преобразователя является его разрешение. Это обозначает размер шагов между каждым возможным аналоговым значением. Двоичный термин "биты" часто используется для указания разрешения, где 9 бит равняется приблизительно размеру шага 0,2%, а 12 бит лучше, и здесь размер шага составляет около 0,02%. В большинстве случаев, 16 бит весьма удовлетворительно с шагом 0,002%. Аналого-цифровой преобразователь с низким разрешением где-нибудь вдоль цепочки сигналов разрушит все данные с хорошей точностью. Высокое разрешение-это почти всегда лучше, но это может привести к замедлению работы (таблица 7.1). Распространенными проблемами в цепях сигнала мА являются неисправности в заземлении, особенно если последовательно подключено более одного приемного устройства. Некоторые устройства не имеют гальванического разделения между нулевым сигналом (эталон) и нулевым источником питания (эталон), что может привести к проблемам.

Двоичные числа против аналогового разрешения

Биты	Разрешение (%)
1	50
8	0,4
12	0,02
16	0,002

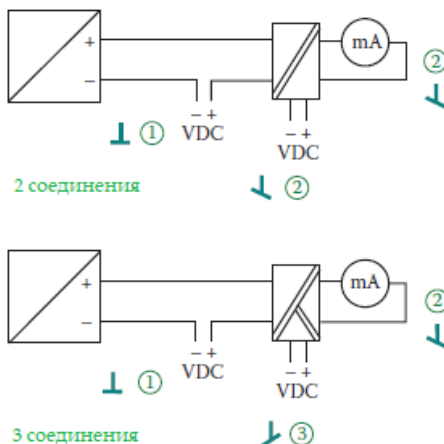


Рисунок 7.3
Гальваническое разделение.

Упрощенное объяснение заключается в том, что ток "идет по неправильному пути", и если это произойдет, то индикатор будет показывать нулевое или очень низкое значение. Во многих случаях эту проблему можно решить, просто подключив устройства в другом порядке, так что индикатор "заземлен" является последним устройством в цикле. Другое решение – использовать "изолятор" или "i / i-конвертер". Изолятор будет копировать сигнал на выход, но с новой (изолированной) ссылкой, что предотвратит проблемы с заземлением/заземлением системы. Изоляторы с двумя ссылками будут отделять вход (1) и выход (2) друг от друга. Изолятор с тремя ссылками также будет держать на напряжении питания (3) разделенным (рис. 7.3).

HART

HART (адресуемый дистанционный магистральный преобразователь) обыкновенно используемый протокол в измерительных системах многих систем. HART означает данные, транспонированные поверх аналогового сигнала 4-20 мА.

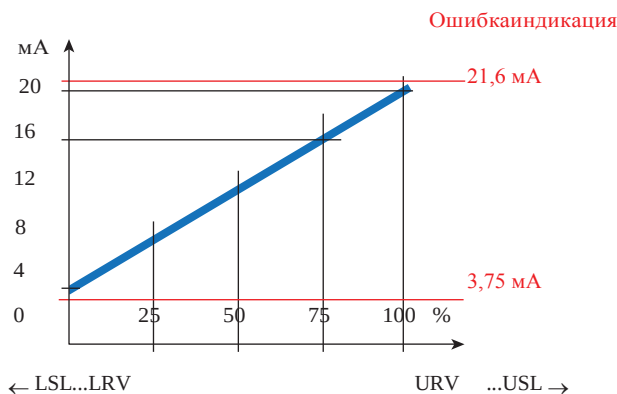


Рисунок 7.4
Диапазон сигнала.

С помощью этого метода можно перенести традиционное измерительное значение (например, 0-100 кПа) и, кроме того, передача настроек и проверка диагностических значений в приборе. Соединение может быть выполнено с помощью специального ручного терминала, устройства со встроенным модемом HART и программным обеспечением или с помощью ПК через модем HART. Программное обеспечение может быть либо коммуникатором "один к одному", либо более сложной системой, где программное обеспечение способно подключаться к сети многих датчиков. PACTware™ является примером сетевого программного обеспечения, поддерживаемого многими различными производителями. Связь с помощью HART может осуществляться на двух уровнях. Есть универсальный режим, который не требует каких-либо специальных драйверов. В этом режиме вы не сможете подключиться ко всем функциям прибора, можно использовать только базовые настройки, такие как диапазон и нулевая регулировка. В полном режиме вам нужен конкретный драйвер (описание устройства или файл DD) для этого инструмента, к которому вы хотите подключиться. Если этот файл установлен на вашем терминале или ПК, вы сможете подключиться ко всем функциям и настройкам. Важные настройки в конфигурации включают диапазон измерений, ограниченный значением нижнего диапазона (LRV) и значением верхнего диапазона (URV). Минимальный LRV специфичен для устройства и ограничен нижним пределом шкалы. Максимальный URV полностью ограничен верхний предел шкалы (рис. 7.4). Для получения дополнительной информации, пожалуйста, посетите en.hartcomm.org и www.pactware.com.

Сигналы импульса / частоты

Как уже упоминалось, импульсы в большинстве случаев используются для передачи измеренных величин (интегрированных данных) на счетчики или суммирующие дисплеи. Однако частота импульсов может также указывать на

измеряемое значение, например, где 0 Гц равно 0%, а 1000 Гц равно 100%. Во многих инструментах, поэтому можно настроить выход пульса двумя способами, либо путем установки значения импульса (например, 1 кВт в импульсе) или в диапазоне частот (например, 0-1000 Гц равно 0-200 кВт).

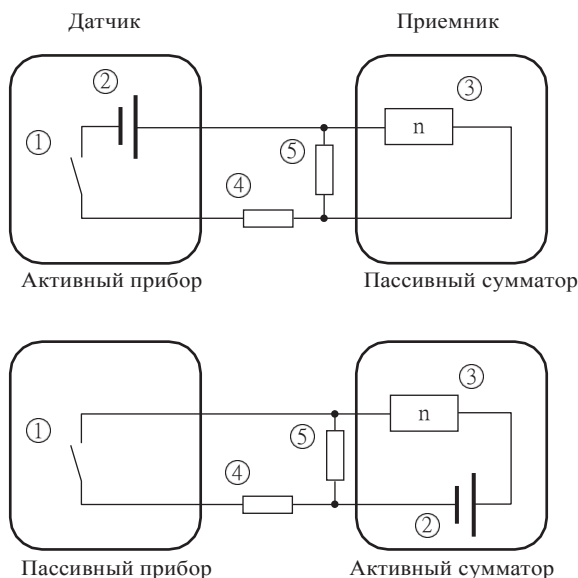


Рисунок 7.5

Активные и пассивные импульсные сигналы.

Однако это не всегда возможно; конструкция может быть такой, что частота нестабильна во время работы, и если это так, это приведет к нестабильному показанию (общее количество импульсов может быть правильным). При проектировании импульсной системы важны частота и количество импульсов, но также должны быть проверены уровни импеданса и напряжения. Сам прибор может иметь два различных типа выхода. Обычно используется переключатель, который закрывается для каждого импульса. В этом случае источник напряжения должен быть расположен снаружи. В других приборах сигнал активного напряжения генерируется на импульсном выходе, поступающем изнутри приборов. Конечно, получая аппаратура должна приспособлять к имеющемуся выходу. Сопротивление также важно; если сопротивление слишком низкое, это вызовет перегрузку (слишком большой ток), и если оно слишком высокое, это вызовет высокую чувствительность к воздействию сигнала.

На рис. 7.5 показаны активные и пассивные системы, и, как видно, они очень похожи, так же как и для аналоговых систем главным отличием является

расположение источника питания (2). Генератор импульсов (1) может быть механическим переключателем, но чаще используется электронное реле (или транзистор). Кроме того, тотализатор (3) обычно представляет собой электронное устройство с ЖК-дисплеем или светодиодной индикацией. Общее сопротивление (4) и напряжение источника являются ограничивающими факторами для тока в контуре.

Если внутреннее сопротивление (или импеданс) сумматора высокое, внешний резистор (5) может предотвратить ошибки подсчета из-за электрических помех, когда переключатель (1) открыт.

Цифровой сигнал, например концевой выключатель, очень похож на импульсный сигнал, описанный здесь, и электрическое соединение идентично. Есть некоторые часто используемые понятия, которые могут быть хорошо известны. На рис. 7.5 контакт имеет два доступных разъема и может быть как открытым, так и закрытым. Поскольку он нарисован "открытым", его нормальное положение находится в состоянии "выключено". Есть и другие типы контактов, переключающихся между двумя положениями, они имеют три терминала, где один (общий или "C") переключает электрический ток с одного терминала (нормально закрытый или "NC") на другой терминал (нормально открытый или "нет") при активации.

В аббревиатуре SPDT (однополюсный выход на два направления), SP означает контакт с одним полюсом (как описано выше). SP и DP относятся к однополюсные и двухполюсные, соответственно, и ST и DT ссылаются на один бросок и двойной бросок, соответственно. Полюс означает количество цепей, управляемых переключателем, что означает, что переключатель SP может управлять только одной электрической цепью. Переключатель DP управляет двумя электрически независимыми цепями, но они будут переключаться одновременно. Бросок относится к позициям контакта. Выключатели ST замыкают цепь только в одном положении. Другое положение контакта выключено. Выключатели DT замыкают цепь в обе "активные" и "неактивные" позиции (о-о). Контакт SPST обычно имеет две клеммы, тогда как контакт DPDT поставляется с шестью клеммами.

Контроллеры

Одним из основных назначений промышленных измерительных приборов является контроль технологического процесса. В таких случаях измеряемая величина, выходной сигнал, подключается к какому-либо приводу. Это может быть клапан регулирования потока, прибор для контроля температуры, и насос или что-то еще, что может "влиять" на процесс. Затем поток, температура, давление и другие технологические значения используются для создания (или регулировки) различных технологических реакций, таких как смешивание, качество и что-либо аналогичное (как описано в Главе 1).

В основных терминах контроллер довольно легко понять. Вы можете сравнить с собой регулировку температуры в вашей комнате. Если слишком жарко, может быть, вы откроете окно (теперь мы предполагаем, что у вас нет кондиционера). Вероятно, вы впервые откроете его, чтобы получить как можно больше свежего воздуха. Но потом быстро становится слишком холодно. Таким образом, теперь вы его немного закрываете, чтобы в комнате стало уютно. Контроллер работает аналогичным образом. Оптимизировать контроллер можно довольно сложной процедурой. Вы должны знать диапазоны сигналов и константы времени процесса. Когда контроллер активен, есть в основном два значения, которые он должен знать: Каково фактическое значение процесса (измеряемая переменная, например, давление или температура в вашей комнате)? Каково желаемое значение процесса, заданное значение (необходимое давление или желаемая температура вашего помещения)? Если разница между этими двумя значениями равна нулю (или в пределах небольшой разницы), контроллер будет поддерживать выход на постоянном уровне.

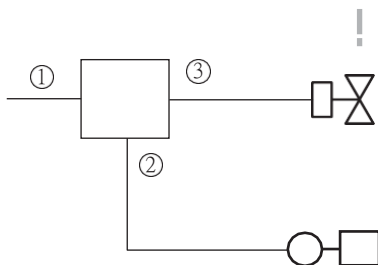


Рисунок 7.6
Регуля тор
потока.

Если специалист по контролю и специалист по измерениям говорят об "ошибках", они часто ссылаются на несколько разные определения этого термина. Погрешность в измерительной системе-это разность между измеренным значением и истинным значением. В контуре управления погрешность – это разность между заданной точкой и измеряемой переменной процесса. Конечно, неправильное понимание может вызвать проблемы! Важно знать, что на самом деле может быть три значения вокруг контроллера:

заданное значение, измеренная переменная величина и истинная переменная величина. Это часто упускается из виду на курсах системы управления. Существует также еще один аспект при обсуждении ошибок управления. Может быть, что привод слишком груб, например, регулирующий клапан слишком велик. Эта проблема приведет к ситуации, когда вы знаете, что у вас есть, например, смесь, которая не является правильной. Регулятор может обнаружить отступление но не может отрегулировать его из-за отсутствия точности в приводе, клапане или в чем-то подобном. В контуре управления, где требуется низкая погрешность, следует соблюдать не только измерительный прибор, но и клапаны, приводы, нагреватели, двигатели и все компоненты в контуре и, конечно же, сам контроллер!

Объясняя немного подробно, что невозможно подключить измерительный прибор (2), значение процесса, непосредственно к исполнительному механизму (3), нам нужен контроллер между ними (рис.7.6). Требуется устройство, регулирующее уровни сигнала и адаптирующее их к характеристике конкретного привода, а также требуемое значение (1):

заданная величина. Другими словами, сравнить значение процесса с заданным значением и затем сформировать выходной сигнал на исполнительный механизм в соответствии с отклонением (или ошибкой управления) является задачей контроллера. Есть несколько различных типов контроллеров, которые работают с использованием различных принципов, но два общих типа являются "вкл/выкл контроллер" и "PID-контроллер". Первый будет, например, включать тепло на полную мощность, когда температура низкая, и выключать, когда температура высокая. Это приведет не только к контролируемой температуре, но и к постоянно меняющейся температуре. Регулятор PID может отрегулировать силу между 0% и 100%, и он также имеет возможность компенсировать задержки по времени в процессе и времени возбуждения. С регулятором PID, правильно настроенным к специфическому процессу, температура проконтролирована к стабилизированному уровню.

Для получения дополнительной информации о технологии управления имеется много литературы, например, "Введение в управление технологическими процессами" Хосе А. Романьоли и Ахмет Палазоглу (CRC Press). Вы также можете посетить книжный магазин по адресу www.isa.org.

Проведенные расчеты

Во многих случаях, измеряемый сигнал должен быть преобразован, скопирован, размножен и добавлен еще один сигнал. Во всех этих случаях необходим калькулятор сигналов. Как и функция контроллера, этот расчет может быть выполнен в небольшом модуле или в "блоке" (или функции) в системе управления. Далее вы найдете некоторые общие примеры расчета функции (рис. 7.7).

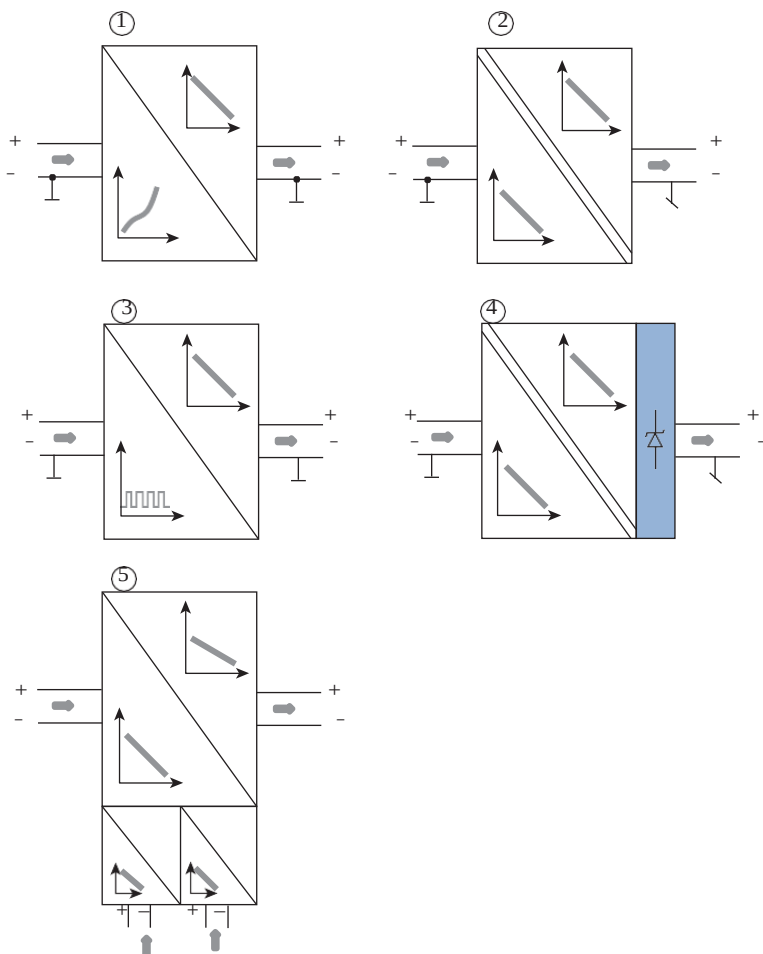


Рисунок 7.7

Различные преобразователи сигналов.

Линеаризация

Линеаризация (1) требуется, когда датчик выдает несовершенный сигнал. Если сигнал всегда показывает одинаковое соотношение между входом и выходом (если датчик повторяется), конечный результат значительно улучшится с линеаризацией между измерением и пользователем. На практике есть несколько различных способов настроить это. Наиболее распространенным является использование таблицы с различным количеством точек и линейной коррекцией между этими точками. Конечно, вам нужно знать "истинные" отношения, прежде чем вы сможете настроить таблицу линеаризации. Дополнительную информацию об этом см. в главе о

калибровке. Чистая математическая линеаризация, такая как квадратный корень, также распространена, особенно при работе с дифференциальными давлениями.

Гальваническое разделение

Гальваническое разделение (2) также является своего рода пересчетом, даже если преобразование выполняется один к одному. Входящий сигнал также выходит, всегда с тем же значением. Цель этого обыкновенно доступного прибора изолировать одну землю сигнала от других. Это улучшит защиту от помех, а также может упростить подключение нескольких блоков в большую сеть датчиков. Когда дело доходит до калибровки и управления, вы должны убедиться, что изолятор достаточно точен, чтобы небольшое изменение уровня сигнала от датчика не было потеряно в изоляторе. Всегда включайте изолятор в калибровку!

Импульсно-аналоговое преобразование

Импульсы обычно указывают общее количество и, следовательно, это число импульсов, которое равно обрабатываемым данным. Однако, *частоту* можно также измерить на таком же сигнале. В счетчике энергии количество импульсов может быть преобразовано в энергию (кВтч) и частоту в Мощность (кВт). Частоту можно внешне преобразовать к аналоговому сигналу, полезному в регуляторе например. Это делается в D/A-преобразователе или f/i-преобразователе (3), который является более конкретным устройством для преобразования Гц в мА. Преобразование может быть выполнено с использованием двух различных методов, либо путем подсчета импульсов в течение заданного времени, либо путем измерения времени между импульсами. Первый принцип даст наилучшие результаты при высоких частотах, а второй-при низких частотах. Есть устройства, которые могут автоматически переключаться между обоими методами и, конечно, это лучше всего, если сигнал будет сильно отличаться по частоте.

Экс-барьеры

Целью экс-барьера (4) является предотвращение передачи опасных количеств электрической энергии в сигналах в потенциально взрывоопасную атмосферу. Ограничивая мощность, недостаточно энергии, чтобы получить зажигание искрой, которое может быть создано, если случайно произойдет короткое замыкание где-то вдоль кабеля.

Чтобы указать, что сигнал (и кабель) защищен, обычно используются голубые кабели и стержни. Однако, даже если энергия выхода от барьера ограничена к безопасному уровню, невозможно соединить любой прибор. Если бы кто-то, например, подключил батарею к сигнальному кабелю от барьера, это отрицало бы безопасность, потому что через некоторое время батарея собрала достаточно энергии, чтобы иметь возможность создать зажигание. Поэтому, каждый экс-барьер обозначен с максимальными

емкостью и индуктивностью в соединенном оборудовании для того чтобы избежать "влияние батареи". В основном, экс-барьеры представляют собой разновидность гальванических сепараторов и преобразователей один в один. Несколько функций могут быть объединены в один блок, что приводит, например, к устройству линейаризации со встроенным экс-барьером.

Тепло и пар – тепловая энергия

Тепловой счетчик (5) предназначен для измерения тепловой энергии. Здесь слово "тепловой" используется для определения отличия от счетчика электрической энергии (наиболее распространенный тип и обычно то, что упоминается, если кто-то говорит о счетчике энергии). Эти приборы предназначены для измерения энергии, но многие из них также имеют функции индикации мощности. Теплосчетчику требуется не менее трех датчиков, так как тепловая мощность рассчитывается по потоку и двум температурам. Выход рассчитывается по всем трем входам. Обычно это калькулятор, который называется теплосчетчиком, но поскольку расходомер и датчики температуры всегда необходимы, именно эта комбинация является теплосчетчиком. Энергия рассчитывается на основе объема (или потока и времени), разности температур между входом и выходом и энтальпии (содержания энергии) используемой среды (обычно воды). Как правило, 1 л воды содержит 4,2 кДж на градус Цельсия.

Термальное тепло может также распределяться в виде пара. Содержание энергии в паре будет меняться в зависимости от давления и температуры. Рассмотрим пример:

Даже холодная жидкость содержит энергию. Вода в качестве примера содержит около 4,2 кДж на кг и градус Цельсия (или Кельвина). Это означает, что если вы добавите 4,2 кДж энергии к 1 кг воды, температура повысится на 1 °C. Если вы затем добавите еще 4,2 кДж, температура повысится еще на один градус. Это будет продолжаться до тех пор, пока вы не достигнете 100 °C, где вода начнет кипеть. Теперь часть воды превратится в пар и оставит жидкость. Если вы представите, что и вода, и пар заключены в расширяемый резервуар, у нас все еще есть 1 кг воды: некоторые в жидкой фазе, а некоторые в газовой фазе. Если мы будем продолжать добавлять энергию, образуется больше пара, но температура останется на уровне 100 °C, пока вся жидкость не исчезнет, и у нас будет 1 кг пара. Такой пар называется насыщенным паром. В то же время объем увеличился от 1 литра до 1600 литров. Если мы начинали с воды при 0 °C, то сейчас в общей сложности добавили около 2,5 МДж тепла. Если мы будем продолжать добавлять еще больше энергии, мы сделаем наш пар перегретым.

Если мы знаем, что пар насыщен, мы можем использовать измерительное устройство для расчета давления от температуры (или температуры от давления). Это имеет значение, если нам нужно знать плотность и энергию, например, в расходомере.

Однако, если в процессе производства была добавлена дополнительная энергия, и пар перегрет, нам нужно измерить давление и температуру для расчета плотности и энергии.

Единица измерения энергии Си-Джоуль (Дж). Энергия – это время, умноженное на мощность, и 1 Дж равен 1 Вт. Таким образом, 1 кВт/ч равен 3600 кДж. Верно также, что 1 Вт равен 1 Дж/с.

Стандарт объема

При измерении потока и объема часто необходимо пересчитать измеренное значение. Целью этого является коррекция объема для давления и температуры, особенно если это измерение газа, так как эта коррекция будет иметь большое влияние на результат. Использование массовых единиц во многих отношениях проще. Килограмм всегда килограмм, но литр не всегда литр. Из-за этого, вы также найдете другое родственное понятие: унифицированный объем или нормальный объем. Это объем, пересчитанный в "стандартные условия". Устройство, которое может это сделать, очень похоже на теплосчетчик, описанный выше, но с другим уравнением в использовании. Нет никаких стандартов, говорящих нам, как это сделать, но все же это обычная практика использовать эти "единицы", и они часто обозначаются буквой "N" или "n" спереди (как Nm³). Нормальное давление в большинстве случаев атмосферное давление: 101 325 кПа (а). Нормальная температура может изменяться, но обычно составляет 0, 15 или 20 °C или эквивалентные значения в других шкалах температуры. Вы должны выяснить, что в вашем случае означают нормальные (или эталонные) условия. Стандартные условия – это другой термин, то есть все эти термины могут применяться к одному и тому же объекту. При коммерческой торговле нефтью и газом коррекция к нормальным условиям является стандартной процедурой. Иногда пересчет не останавливается на нормальных кубических метрах, и калькулятор также представит другие объемы, а иногда и энергию (на основе фиксированных энтальпий, связанных с конкретным продуктом). Устройство, которое может справиться с этим, является потоковым компьютером. Блок управления потоком содержит проверенные алгоритмы, таблицы плотности и стандартизированные коэффициенты корреляции. Пересчет обычно не очень сложен, но тот факт, что он должен быть выполнен безопасным способом и таким образом, чтобы каждый мог проверить, включая клиентов, поставщиков, торговцев и авторов, делает его более сложным. По этой причине проточные компьютеры часто сертифицируются и являются частью проверенной измерительной системы в заявке на передачу.

Тепловое расширение

Не только газы, но также жидкости и твердые материалы зависят от температуры. Плотность и объем материала будут меняться с температурой. Это может привести, например, к изменению диаметра трубы или к изменению объема резервуара. Если измеряемая жидкость изменяет температуру между точкой измерения и точкой использования, производится пересчет и может потребоваться компенсация.

В некоторых применениях этот объем (поглощенный между счетчиком и потребителем) называется объемом буфера.

Таблицы и стандарты

При поиске констант, физических данных и тому подобного информация, которую вы находите, иногда может отличаться в зависимости от источника. Примеры могут включать плотность пара и энергосодержание газов. Есть две основные причины этого, либо жидкость не указана подробно (например, в таблице плотности воды, к какому типу воды они относятся). Другая причина может заключаться в том, что органы стандартизации использовали другую методологию для получения данных. В этом случае нельзя сказать, что неправильно использовать данные из одного из этих источников, но хорошо упомянуть источник. В некоторых устройствах (таких как калькуляторы и проточные компьютеры) именно по этой причине можно выбрать, какой стандарт использовать.

Калибровка

Электрические приборы для измерения напряжения и тока являются полезными и важными инструментами. Если прибор используется в измерительной цепи для калибровки, он должен быть хорошего качества и откалиброван. Калибратор петли – это точный мА-метр со встроенным источником питания. Калибратор петли по существу соединен как замена выходного сигнала первоначальной аппаратуры. При включении калибратор контура может моделировать различные значения процесса от 0% до 100%, и вход сравнивается с показаниями в системе. Общепринятым и практичным подходом является установление предела приемлемости; если есть небольшая разница между вводом и выводом, это не приведет к каким-либо действиям. Размер этого предела, конечно, должен быть достаточно мал, чтобы на практике быть незначительным. Однако при работе с погрешностью измерений необходимо также учитывать этот предел допустимости.

Чертежи системы и конструкции

Чертежи технологического проектирования очень полезны, как при проектировании новых систем, так и при поиске проблем. Для этого существуют различные стандарты, подробно описывающие, как символы должны использоваться для различных компонентов. Существуют также различные типы чертежей, предназначенных для различных рабочих групп, таких как механическое проектирование и электрическое проектирование.

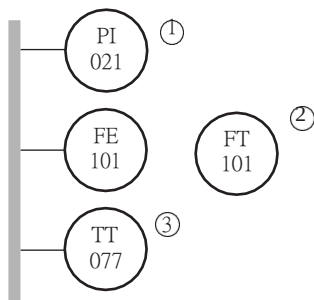


Рисунок 7.8

Идентификация приборов.

При работе с измерительными системами, очень полезный тип чертежа процесс и диаграмма инструментирования (ПиДИ). Это дает схематический обзор технологических потоков и электрических сигналов (или, другими словами, труб и кабелей). Некоторые из наиболее распространенных символов, используемых в этом типе рисунков можно найти ниже. Символы, используемые в схемах ПиДИ, не стандартизированы. Существует несколько стандартов, предлагающих небольшие различия. Основы очень похожи, с символами, похожими на те, которые ранее использовались в этой книге. Символы также могут быть проще, используя только круг для измерительного прибора. Это может быть помечено именем, "номером тега", уникальным для этой конкретной позиции. Номер тэга может включить коды для какого типа аппаратуры он, где Р стоит для давления, F для подачи, Т для температуры, L для уровня и так далее. Вторая буква обозначает функцию устройства, где I обозначает индикатор, Т-передатчик и Е-элемент (датчик). Есть также коды для контроллеров, регистраторов, функций безопасности и многое другое. Одним из широко используемых стандартов в этой области является ISA 5.1. Посетите www.isa.org для полной информации и полных ключей кода для этого стандарта. Также различное программное обеспечение ПК доступное для создания чертежей ПиДИи много из них имеют встроенные символы. На рисунке 7.8 приведены три инструмента. Сверху индикатор давления (1), посередине расходомер с отдельным датчиком и преобразователем/передатчиком (2) и, наконец, датчик температуры (3).

Клапаны, насосы и трубы

Клапаны

Есть много различных типов клапанов, некоторые с универсальным дизайном, а некоторые специально для конкретного применения. Когда дело доходит до измерения и автоматизации процесса, помимо обычных требований к выбору, таких как среда, температура и давление, есть несколько вещей, которые следует учитывать. Например, клапан герметичен на 100%? Следует заметить, что не все клапаны даже теоретически полностью перекрывают поток в закрытом положении. Когда система требует полностью закрытого клапана, один вариант может быть использовать "двойной блок и выпускной клапан". По сути, это два клапана в серии с небольшим обратным клапаном на Т-образном соединении между ними. Когда оба клапана закрыты и обратный клапан открыт, гарантируется полный закрытый поток (и изоляция). Такие клапаны часто использованы в применениях передачи продукта.

Среди часто используемых типов клапанов включено-выключено – шарик и клапан-бабочки. Клапан включения/выключения также можно использовать в качестве регулирующего клапана, но он не дает очень хороших результатов, поскольку настройка в большинстве случаев слишком грубая.

Клапаны должны всегда устанавливаться после расходомера. Если это невозможно и клапан установлен перед расходомером, то необходимо обеспечить, чтобы этот клапан как можно меньше нарушал профиль потока. Использовать тип клапана, который в открытом положении не имеет ограничений по диаметру труб.

Клапаны управления

Поскольку целью большинства расходомеров в автоматизации процесса является контроль скорости производства, уровня, температуры, давления или самого потока, регулирующие клапаны очень часто находятся рядом с расходомерами. В любом случае, всегда устанавливайте клапан после расходомера. Так же, как для запорного клапана, существует несколько различных типов регулирующих клапанов на выбор. Выбор также часто включает дискретные внутренние части, различные размеры конусов и цилиндров.

то включает хорошую функцию управления. Для выбора наилучшего регулирующего клапана требуется информация о среде, давлении выше по

потоку, диапазоне потока, а также давлении ниже по потоку. Оценить давление на выходе сложно, так как оно может зависеть от выбранного клапана. Запрашиваемая информация-это, скорее, необходимое давление для последующего процесса, например, падение давления в трубах и компонентах после регулирующего клапана.

Переменной калибровки для регулирующих клапанов является значение K . В принципе, это значение покажет поток при определенном падении давления. Используются три различных значения K : K_v (заявленный как поток в литр/мин на перепаде давления 1 бара), C_v (заявленный как подача в галлоны/мин на перепаде давления 1 пси) и A_v (заявленный как подача в $\text{м}^3/\text{с}$ на перепаде давления 1 Па). Хотя A_v – это единица СИ, вряд ли когда-либо использовали.

Насосы

Наиболее распространенным типом насоса является центробежный насос. Одна или несколько турбин вращаются с высокой скоростью внутри насоса и заставляют жидкость двигаться. Другой общий тип основан на объемном принципе, где небольшие камеры (части) жидкости двинуты последовательно от входа к выходу насоса (положительного типа смещения). Когда дело доходит до измерений, некоторые насосы (1) создают проблемы для расходомера (2), что приводит к нарушениям сигнала потока (рис. 8.1). Объемный насос будет вызывать изменения давления с той же частотой, что и движение камер насоса. Если камеры большие и движутся медленно, как в мембранном насосе, можно измерить изменение потока и давления. Если частота высокая (как в поршневом насосе), нестабильное давление может привести к появлению ложных сигналов и погрешностей измерения. В большинстве случаев для объемного насоса потребуется специальный расходомер, а в электронном счетчике будут полезны функции фильтра.

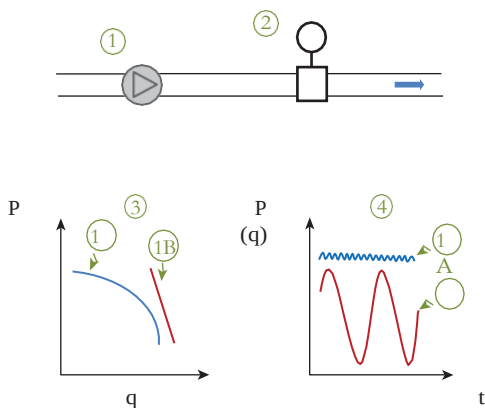


Рисунок 8.1. тношения подачи и давления.

На левой схеме (3) на рис. 8 показана упрощенная зависимость между давлением и расходом в центробежном насосе (рис. 1А) и объемные насосы (1В). Правая диаграмма (4) показывает изменение давления во времени, также для центробежного насоса (1А) и для объемного насоса (1В). В статической системе колебания давления также вызывают изменения потока. Иллюстрация не в масштабе, и фактические изменения зависят от типа насоса, размера и применения.

Верхний элемент

Напор – это то, что создается при работе насоса. Напор появляется в результате сочетание давления и плотности перекачиваемой жидкости, он определяется тем, как высоко насос может поднять жидкость. Если вы добавляете давление на входе насоса с давлением на выходе, вы рассчитали общий напор. Это в сочетании с расходом и свойствами жидкости пропорционально тому, какую работу выполняет насос, то есть мощности и энергии. Если известна энергия, потерянная в насосе, приводе и электродвигателе, то можно рассчитать КПД этого насоса.

Отрицательное давление на стороне всасывания не может быть ниже 0 бар (или -1 бар g, что равно вакууму). Теоретически это означает, что насос никогда не может быть расположен выше примерно 10 м над поверхностью воды, чтобы иметь возможность качать. Однако на практике из-за жидкости, перепадов давления в трубах, погодных условий и других несовершенств максимальная высота будет ниже. Например, при откачке воды при 70 °C максимальная высота на стороне всасывания будет составлять около 2 м. Тип насоса и жидкость устанавливают предел. В некоторых случаях для работы насоса может потребоваться даже положительное давление.

Трубы и фитинги

Размеры труб нормализованы. Существует множество стандартов, как общих, так и специфических (например, стандарты, используемые в пищевой промышленности). Каждый размер трубы и соединения назван в соответствии со своим номинальным диаметром; однако измерения меняются с номинальностью давления. Для трубы важен наружный диаметр, который равен всем номинальным давлениям при конкретном измерении, а, поскольку стенки толще в трубах, подходящих для высокого давления, внутренний диаметр будет меньше в трубе высокого давления. Это важно для некоторых приборов; например, вихревые расходомеры необходимо адаптировать не только к номинальному диаметру, но и к классу давления. 2 общих стандарта размера трубы: американский стандарт (ANSI/ ASME/API) с размерами заявленными в дюймах, и Европейская/немецкая система (DIN) с размерами в миллиметрах. В американской системе, диаметр трубы как "номинальный размер трубы" (NPS) или "номинальная скважина" (NB), и толщина стены классифицирована "графиком".

В европейской системе, это известно как "номинальный диаметр" (DN). Каждый номинальный диаметр доступен с различной толщиной стенки, чтобы

соответствовать рабочему давлению и температуре. Трубы могут быть изготовлены из различных материалов, чаще всего это мягкая сталь, нержавеющая сталь, медь и пластик. Стальные трубы могут быть продольными, спиральными или бесшовными. В ситуации точного измерения, следите за сварными трубами, которые не являются гладкими внутри, так как они могут повлиять на профиль потока. Труба должна быть круглой, если используется прижимной расходомер. Даже небольшие несовершенства в округлости могут повлиять на точность измерения

Фланцы

Как и для труб, в обрабатывающей промышленности существует несколько различных стандартов фланцев; наиболее распространенными являются ANSI, DIN и JIS (японский промышленный стандарт, используемый в Азии). Во всех системах существуют как номинальные размеры, так и номинальные значения давления. Согласно DIN и EN, рабочее давление определяется "номинальным давлением" (PN), а в ANSI существуют классы давления в фунтах. Использование одного и того же стандарта на всем заводе, конечно, является преимуществом, так как разные фланцы не будут соответствовать друг другу. В некоторых случаях, особенно для труб диаметром менее 100 мм, фланцы в пределах одного стандарта, но с различным классом давления могут быть соединены друг с другом. Однако, в большинстве случаев, используется различное количество и размеры болтов и эти фланцы не подойдут, даже если номинальный диаметр одинаков (рис. 8.2). Номинальные размеры для некоторых типов фланцев приведены в приложении.

Резьбовые соединения

На фитингах труб обычно используются три типа резьбы: NPT, BSPT и BSPP. NPT (национальная трубная резьба) – это коническое соединение с хорошими уплотняющими свойствами, часто используемое для манометров и датчиков давления. BSPT (британская стандартная трубная резьба) похожа на NPT, но с другим углом в коническом сечении. В некоторых областях этот тип также называется «тип R». BSPP (британская стандартная параллельная труба) – это фитинг с параллельной резьбой, в котором для уплотнения используется кольцо.

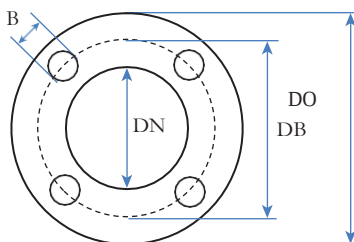


РИСУНОК 8.2

Размеры фланца.

Специальные соединения

Существует множество фитингов и быстрых соединений. Большинство из них используются в определенных сегментах промышленности и разработаны с учетом особых требований. Пищевые и биохимические соединения часто изготавливаются из гигиеничной и полированной нержавеющей стали с уплотнениями и уплотнительными кольцами, предназначенными для защиты от образования бактерий. Разъемы используемые на пожарных машинах и тележках топливозаправщика использованы для удобоподвижности и быстрых соединениях и отпуса.

Кавитация

Как описано в разделе о тепловой энергии, жидкость может начать кипеть даже при низких температурах из-за низкого давления. Иногда пузырьки газа нежелательны. В горячей жидкости может потребоваться держать жидкость под давлением, чтобы остановить образование пузырьков газа. В насосе, это может быть серьезной проблемой. Например, если у вас есть труба, где давление составляет 2 бар г, температура воды может подняться до 120 °C, а вода все еще находится в жидкой фазе. При 16 бар г, вода до 200 °C останется жидкой. Поскольку всегда существует падение давления, когда жидкость течет через трубу, клапан или любой компонент, давление обязательно изменится внутри этого компонента. В некоторых случаях давление также будет увеличиваться. При определенных условиях сначала образуются пузырьки газа, а затем, вскоре после этого, возвращаются в жидкую фазу. В этом возвращении, пузыри лопаются, создавая довольно много нежелательной энергии, которая может разрушить материал и может вызвать всевозможные проблемы. Это событие называется кавитацией, и если это происходит, вы могли бы легко услышать шум, вызванный этими имплозиями. В редуccionном устройстве, таком как регулирующий клапан, лучше выполнять редуccion в несколько этапов, так как это может предотвратить кавитацию.

Безопасность

Есть много различных аспектов безопасности в перерабатывающей промышленности. Поскольку эта книга посвящена измерениям, мы остановимся здесь на безопасности, связанной с измерительным оборудованием. Большинство систем безопасности включают в себя функцию измерения, и поэтому вопросы безопасности могут быть важной частью измерительного прибора или "датчика", как это называется в некоторых стандартах безопасности. В принципе, мы можем разделить все вопросы безопасности на две части: Во – первых, это все, что связано с предотвращением несчастных случаев или травм самого прибора, например, защита от поражения электрическим током или утечки. Вторая часть относится к функциональной безопасности, где безопасность системы или других компонентов зависит от правильно измеренных данных.

Поскольку безопасность всегда важна, обычно аспекты безопасности инструмента оцениваются независимой организацией. Если это так, существуют отчеты и сертификаты, которые можно использовать для проверки безопасности на месте. Потребность в средствах обеспечения безопасности (и соответствующей документации) зависит от применения и рисков, связанных с конкретным процессом. Как правило, требования устанавливаются национальными законами, издаваемыми государственными органами. Однако страховые компании и другие организации могут давать рекомендации, и зачастую компания сама устанавливает внутренние требования или допуски к определенным рискам. Это можно назвать "аппетитом к риску" компании: Насколько велик риск получения травмы или смерти сотрудником или членом общества, который может выдержать компания?

Эта глава содержит немного больше о некоторых общих вопросах безопасности, связанных с измерительными приборами.

Электрическая безопасность

Международные правительственные организации опубликовали рекомендации по электробезопасности. В США такие документы можно найти по адресу www.osha.gov [опубликовано Управлением по безопасности и гигиене труда (OSHA)]. Европейские рекомендации аналогичны и могут быть найдены во всех государствах-членах, например, www.hse.gov.uk/electricity [опубликовано Комитетом по безопасности и здравоохранения (HSE)] в Соединенном Королевстве. Внутри Европейского Союза директива о низком

напряжении устанавливает предел напряжения 50 В. В Соединенных Штатах нет Федерального закона, но местные правила должны соблюдаться. Тем не менее, существует национальный код (NEC), который устанавливает стандарт; предел для низкого напряжения 100 В.

Предел напряжения может варьироваться от региона к региону, но в основном требования к навыкам и оборудованию возрастают с уровнем напряжения. При превышении локального предела напряжения предъявляются более жесткие требования к конструкции кабелей, клемм и внутренних компонентов. Поскольку эти технические требования имеют долгую историю, в большинстве случаев нет сомнений в том, как их реализовать и как построить устройство с безопасной электрической функциональностью. В большинстве областей и в целом соблюдение правил подтверждается знаком официального утверждения.

Однако электробезопасность – это еще и монтажные работы на месте. Что вам (как специалисту по измерениям или инженеру) разрешено делать? Если напряжение выше предела напряжения, обсуждавшегося выше, в принципе, вы ничего не можете сделать, кроме замены компонентов, таких как предохранители и вилки. Но опять же, правила являются локальными и варьируются, поэтому вы должны сначала проверить, что применяется в вашем регионе! В дополнение к национальному законодательству, устанавливающему основные правила, на большинстве фабрик существуют также местные руководящие принципы и "лицензии" на различные работы. Общий совет – посоветуйтесь с коллегами, будьте осторожны и всегда проверяйте, чтобы питание было отключено, прежде чем выполнять какую-либо работу в электрических системах. Если вы все равно решите сделать модификацию или изменение во внутреннем компоненте, вы также должны помнить, что вы должны взять на себя ответственность за будущую безопасность в этом конкретном устройстве. Гарантия производителя (и/или маркировка безопасности) теперь может быть недействительной. Перед выполнением любых ремонтных работ, включающих замену компонентов, обязательно проконсультируйтесь с производителем, что вам разрешено это делать. После завершения работы, при подключении прибора к сети, всегда проверяйте правильность установки и крепления всех кабелей. Также убедитесь, что кабельные вводы, крышки находятся в правильном положении и не повреждены.

IP-номинальные корпуса

Важной частью электрической безопасности, связанными с надежностью и хорошей функциональностью измерительного прибора является защита от пыли и воды. Насколько «герметичен» корпус, можно описать по-разному. Одно из описаний – использовать "IP-класс". Код системы IP исходит из международного стандарта – IEC 60529 (таблица 9.1). Национальная ассоциация производителей электрооборудования (NEMA) предлагает аналогичный стандарт. В публикации стандартов NEMA 250-2003 приложения подразделяются на различные классы в зависимости от области применения (таблица 9.2).

Измерительные приборы часто имеют датчики, электроды, кабели и другие компоненты, где сигналы могут быть "подвержены" воздействию внешних источников сигнала (например, мобильных телефонов). Если уровни сигнала малы, то может быть относительно легко получить помеху

Таблица 9.1

Корпус IP-классов

Первая цифра (вторжение)	Вторая цифра (влажность)
0 – Нет защиты	0 – Нет защиты
1 - Защита от большой части тела, такой как рука (но без защиты от преднамеренного доступа); от твердых предметов диаметром более 50 мм	1 - Защита от пыли, которая может повредить оборудование
2 - Защита от пальцев или других предметов длиной не более 80 мм и диаметром не более 12 мм	2 – Защита от конденсата
3 - Защита от проникновения инструментов, проводов и так далее, диаметром 2,5 мм и более	3 - Защита от капель воды, отклоненных на 15° от вертикали
4 – Защита от твердых тел размером более 1 мм (например, прецизионные инструменты/малых размеров)	4 – Защищен от брызг до 60° от вертикали
5 – Защита от брызг воды со всех Направлений	5 - Защита от струй воды низкого давления (во всех направлениях)
6 – Полностью пыленепроницаемый	6 – защита от струй и волн струнной воды
	7 – защита от временного погружения
	8 – защита от длительного погружения в воду под давлением

Таблица 9.2

Корпус NEMA-классов		
Класс NEMA	Ситуация	Возможный эквивалент IEC
1	Внутренняя / общая	10
2	Внутренняя / капающая вода, падающая пыль	11
3	Внешняя/ дождь, снег, ветер, пыль	54
4, 4X	Шланго-направленная вода, коррозия (X)	56
5	Внутренняя / капающая вода, падающая пыль	52
6	Погружение	67
7	Опасная зона	
8	Опасная зона	
9	Опасная зона	
12	Внутренняя / капель, пыль	52
13	Внутренняя / масло, пыль	54

наложенные на сигнал, например, проблемы управления или неисправные сумматоры в результате. Поэтому очень важно соблюдать осторожность при

подключении датчиков и сигнальных кабелей. Всегда проверяйте инструкции по установке и убедитесь, что прилагаемые щиты правильно подключены.

Если инструкции отсутствуют, обычно рекомендуется использовать экранированный кабель с витыми парами. Помните, что даже если вы можете проверить соединение, проверив функцию системы, защиту электромагнитной совместимости (ЭМС) проверить сложнее, так как она будет полезна только при возникновении помех.

Термин ЭМС часто используется. Необходимо соблюдать два предела: один-для излучения, другой-для иммунитета. Идея заключается в том, что никакие устройства не должны посылать электромагнитные сигналы выше определенного предела и что устройство не должно нарушаться электромагнитными сигналами ниже определенного предела. Однако для некоторых систем эти общие ограничения могут оказаться недостаточными. Например, во время выполнения сервисного задания, если вы позовете кого-то на помощь, стоя перед электрическим шкафом с открытыми дверцами, вы, вероятно, выставите электрооборудование внутри этого шкафа с уровнями ЭМС выше стандартизированных пределов.

Помехи могут распространяться в основном тремя способами: по воздуху, по кабелям или путем контакта. Большие токи в кабеле приведут к в магнитных полях которые могут навести помехи в близрасположенных кабелях сигнала. Блоки питания и регуляторы мощности (режим коммутации), особенно старые, будут создавать помехи в электросети. Моторы и некоторые типы освещения создадут сдвиг фазы в электропитании, и это может также привести к помехам.

Для очень малых и чувствительных сигналов, профессиональные кабели и приборы доступны. Одним из примеров являются экраны из мю-металла (или μ -металла). Мю-металл содержит много никеля, который эффективно защищает от магнетизма. Другим примером является система начальной загрузки, где электронные усилители будут подавать экраны с уровнями сигнала, близкими к "реальному сигналу", что приводит к очень хорошей защите.

Безопасность давления.

Этот раздел посвящен прочности материалов и, возможно, обычно не рассматривается людьми, работающими с приборами и автоматикой. Но поскольку инструменты также должны работать под давлением, и поскольку речь идет о здоровье, безопасности и защите активов, короткий раздел об этом включен. По существу, среда (жидкость или газ), размер, рабочая температура и давление совместно устанавливают требование к проектированию. Такое же сочетание также устанавливает необходимые механизмы обеспечения качества. Соответствие требованиям во многих регионах обозначается заводом-изготовителем знаком официального утверждения, но ответственность за безопасное управление, эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования лежит на владельце процесса.

При более высоких температурах, прочность большинства материалов будет снижена. Это означает, что максимальное давление, допустимое в любом данном компоненте, будет ниже при более высоких температурах. В углеродистой стали, например, максимальное давление упадет примерно на 1 бар, если температура поднимется от 150 до 200 °C.

Другие материалы имеют другие отношения, и при высоких давлениях также Сталь имеет другое отношение. Поэтому всегда проверяйте как расчетную температуру, так и давление перед выбором компонентов. Большинство компонентов используемых в трубопроводах расклассифицированы с "номинальным" давлением. Обратите внимание, что это номинальное давление " не " равно максимальному рабочему давлению при максимальной рабочей температуре для данного конкретного устройства.

Прочность материала, как и многие другие аспекты, тесно связана с общими системами обеспечения качества (например, ISO 9001). Основная идея большинства этих систем состоит в том, чтобы разделить гарантию на две части. Первая часть должна описать " как " компания нормально работает, и какой материал поставлен. Вторая часть-описание " что " поставляется и и сертифицирует, что материал был произведен в соответствии с обычной практикой и процедурами. Это означает, что зачастую необходимо изучать две части документов по качеству: во – первых, процедуры и, во-вторых, подтверждения и сертификаты, связанные с процедурами. Качество-сложная концепция, поскольку большинство людей переводят ее на "хорошее" качество. Однако это не так, в основном система обеспечения качества ничего не говорит о хорошем или плохом качестве, но вместо этого она гарантирует, что продукты имеют "постоянное" качество и что продукты производятся в соответствии с тем, что было "обещано".

Свойства материала

Поскольку расчет механической прочности всегда включает исходные данные для конкретного используемого материала, в некоторых случаях необходимо проверить, что каждое устройство выполнено из правильного материала. Эту информацию можно найти в сертификате материала. Стандартизированные форматы различаются в зависимости от региона, но общий тип соответствует EN 10204. В основном используются три различных варианта, и они заявляют, что металлические изделия соответствуют заданным требованиям (тип 2.1) и поставляемым результатам испытаний (типы 3.1 и 3.2). Типы 2.1 и 3.1 выпускаются заводом-изготовителем, а тип 3.2 подтверждается внешней независимой организацией.

Коррозия

Коррозия – это постепенное разрушение материала под воздействием окружающей среды. Железо, например, станет "ржавым" в присутствии воды и кислорода из воздуха из-за образования оксида железа. Если измерительный прибор начинает корродировать, это, скорее всего, повлияет как на безопасность давления, так и на погрешность измерения, и поэтому важно

всегда выбирать смоченные части (части, контактирующие с жидкостью), которые устойчивы к этой конкретной жидкости. Для измерительных приборов коррозия связана только с безопасностью давления, поскольку гибкость материала и другие свойства также могут влиять на производительность. Например, материал в мембране датчика давления, электроды индуктивного расходомера или трубки в расходомере Кориолиса должны быть выбраны относительно того, какие химические вещества используются в процессе.

Сложные применения

Есть несколько общеизвестных жидкостей, которые трудно обрабатывать. Обратите внимание, что материал, используемый в измерительном приборе, может требовать более высокого уровня химической стойкости по сравнению с другими компонентами, поскольку прибору также может потребоваться поддерживать такие свойства, как гибкость и тому подобное. Высококачественные материалы, такие как титан и тантал в большинстве случаев устойчивы к большинству химических веществ. Но, есть примеры обратного, например, в системах с чистым метанолом (>98%) титан или тантал использовать не следует. Другим примером является то, что титан может очень быстро реагировать с кислородом, а в системах с кислородным газом (>35%) для предотвращения взрыва должны использоваться другие материалы. В приложении вы можете найти дополнительные таблицы с различными жидкостями и совместимыми материалами.

Опасные области

Для получения подробной информации изучите больше о взрывобезопасности в местных правилах и/или специальных курсах по этому вопросу. Все требования законодательства должны быть соблюдены.

В измерительном приборе необходимо соблюдать несколько аспектов, связанных со взрывобезопасностью. Применимы они или нет, зависит от того, где установлен прибор и в каком приложении он используется. Если устройство расположено вблизи (или внутри) цистерн, труб или других систем, содержащих легковоспламеняющиеся материалы, оно должно быть спроектировано безопасным образом. Это также относится к устройствам, используемым в процессе, который может производить потенциально огнеопасных или взрывоопасных сред. Конструкция, гарантирующая отсутствие источников воспламенения, может предотвратить взрыв, если устройство подвергается воздействию газов, пыли или жидкостей. Эти требования к конструкции главным образом покрывают электрические части, но в некоторых случаях механические части можно также включить. Требования распространяются на эксплуатацию и техническое обслуживание таких устройств во взрывоопасных или потенциально взрывоопасных зонах.

Огненный треугольник

Для появления огня необходимы три вещи: горючий материал, кислород и источник возгорания. Чтобы создать взрыв, также нужна локализация; иными словами, потребуется ограниченное пространство. Взрывобезопасность заключается в удалении одного или нескольких условий. В некоторых случаях даже очень низкой энергии (порядка миллиджоуля) достаточно для воспламенения газовой или пылевой смеси. Эта энергия легко производится в Искре внутри электрического выключателя. Искры также могут возникнуть, если, например, аккумулятор вашего мобильного телефона отключен (если вы уроните его и он сломается). Искра может также быть создана, когда две металлические части ударяют друг друга в механическом устройстве. Кроме того, статическое электричество может вызвать искры, а Нефтепродукт, протекающий с высокой скоростью в резиновом шланге, может даже вызвать статическое электричество сам по себе.

Внутри труб, резервуаров и компонентов риск часто меньше, так как нет кислорода. Это означает, что риск может быть выше во время работ по техническому обслуживанию, например, при сливе и опорожнении бензобака. Небольшой объем бензина, который остается на полу, или пар в воздухе, может быть легко воспламенен с помощью электрического инструмента, такого как режущий аппарат, принесенный обслуживающим лицом. Особое предупреждение выдается людям, работающим с этанолом и метанолом, так как эти жидкости создадут смесь, практически идеальную для воспламенения над открытой поверхностью при комнатной температуре. Точно так же следует проявлять особую осторожность при работе с водородом. Этот газ очень легко воспламенить, и он часто будет протекать и проходить уплотнения и прокладки, и, как правило, труднее обнаружить водород по сравнению с другими взрывоопасными газами. Вообще говоря, "тяжелые" газы требуют больше внимания, чем другие. Тяжелый газ имеет плотность выше, чем воздух, и поэтому он будет течь вниз и может собираться в глубоких местах, таких как канализационные системы и закрытые резервуары и помещения (таблицы 9.3 и 9.4).

Оценка риска

Если предотвращение взрывоопасных сред невозможно, изучите, как организовать защитные действия, как удалить источники воспламенения (или ограничить мощность до безопасного уровня) и/или как изолировать возможный взрыв в защитной оболочке (или установить взрывные вентиляционные устройства).

Электрооборудование

Независимо от того, где вы работаете, существуют национальные правила для электрических устройств, используемых в областях, где могут возникать взрывоопасные газы (или пыль). Чтобы выполнить требования в деталях, вы

должны прочитать и понять их, вероятно, вместе с экспертом в этой области. Основные рекомендации аналогичны в большинстве стран и включают (1) оценку риска, (2) Удаление взрывчатых материалов, (3) Удаление источников воспламенения и (4) окончательное подавление (для ограничения последствия возможного взрыва).

Таблица 9.3

Группы газа и пыли

Вещество	Группа EN / IEC	Группа FM / UL
Метан	I	I
Пропан	IIA	IIA
Этилен	IIБ	IIБ
Водород	IIС	IIБ H2
Ацетилен	–	IIС
Горючие частицы	IIIA	IIIA
Непроводящая пыль	IIIB	IIIB ^a
Токопроводящая пыль	IIIC	IIIC

^a в том числе угольной пыли.

Таблица 9.4

Стандарты взрывозащиты

Тип	Зона	Код	EN и UL	FM / ISA
Жидкостное погружение	1,2	o	60079-6	3600/12.16.01
Герметичный корпус	1,2	p	60079-2	3620
Порошковая начинка	1,2	q	60079-5	3600/12.25.01
Огнеупорный корпус	1,2	d	60079-1	3600/12.22.01
Повышение безопасности	1,2	e	60079-7	3600
Искробезопасность	0,1,2	ia	60079-11	3610
Искробезопасность	1,2	ib	60079-11	3600/12.02.01
Неподжигающий	2	n	60079-15	3611/12.12.02
Инкапсуляция	1,2	m	60079-18	3600/12.23.01
Предохранение от загорания	1,2	t fr c b k	60079-31	3616/61241-1
пыли Ограниченная			EN13463-2	
вентиляция ^a Конструкционная			EN13463-5	
безопасность ^a Источники			EN13463-6	
воспламенения ^a			EN13463-8	
Иммерсионная жидкость ^a				

^a Для неэлектрического оборудования.

Основная идея большинства нормативных актов заключается в том, чтобы сначала решить, какие риски существуют в конкретной области. Эти области называются "зонами" и риск обозначается цифрами. Например, в европейской системе АТЕХ риск взрыва наиболее высок в зоне 0, и типичный пример зоны 0 находится внутри топливного бака. Местные власти, как правило, в сотрудничестве с оператором, где расположены различные зоны. Типы и классы температуры газа добавляют больше информации о специфическом применении и что риски с специфическими веществами.

Коды проектирования

Очень часто коды проектирования используются для классификации компонентов, которые будут использоваться в экс-зонах (таблица 9.4). Класс обеспечит, например, герметичность и надежность ограждения. В других системах есть электрические "предохранители", которые будут защищать цепь. Обычно в цепях измерения доступны два типа, "ia" или "ib". "i" означает искробезопасность, и это в основном означает, что даже если два провода касаются друг друга при коротком замыкании, энергия в искре, которая произойдет, не опасна и слишком мала, чтобы воспламенить возможный газ или пыль. Этот особенный взрыватель вызван "барьером" ("экс-барьером" или "зенер-барьером"). Обычный предохранитель защитит от высокого тока; этот барьер остановит как высокий ток, так и высокое напряжение (тем самым ограничивая энергию). Тип "ia" имеет более высокую безопасность по сравнению с типом "ib".

Другие конструкции защиты предназначены для ограждения и отделения электрических компонентов от возможного воспламеняющегося газа (или пыли).

Газонепроницаемые ограждения отмечены буквой "d" (или "e", которая на практике аналогична). Если электрический компонент заполнен каким-либо материалом, газ не может войти, и эти конструкции помечены "m", "q" или "o" в зависимости от материала наполнителя. Давление воздуха немного выше, чем в окружающей атмосфере, будет препятствовать проникновению газа. Эта конструкция маркирована с "p" и может быть использована для больших конструкций, как комната полного контроля. Тип "n" (невоспламеняющийся) означает, что при нормальной работе не может быть искр. Эта конструкция похожа на "i", но уровень безопасности ниже для устройства "n" по сравнению с конструкцией "i", потому что конструкция "i" оценивается как безопасная также в условиях неисправности. Эти маркировки могут отличаться в зависимости от того, в каком регионе вы работаете и какие стандарты используются, но основные идеи очень похожи во всем мире.

Подводя итог, вы должны сначала выяснить, если есть какие-либо риски взрыва в области, где вы будете устанавливать новые измерительные приборы. При наличии легковоспламеняющейся пыли, газов, паров или мхов следует найти карту зон и посмотреть (или выбрать), в какой зоне работает прибор. Вы также должны знать, насколько "опасно" или огнеопасно ваше конкретное применение (газы классифицируются по группам). Узнав об этом, нужно выбрать оборудование, которое поместится в этой зоне. Помните, что

механические устройства также могут генерировать тепло или искры и, следовательно, должны быть спроектированы безопасным образом.

Электростатический разряд

Заземление необходимо для предотвращения накопления статического электричества. Перед подачей легковоспламеняющихся жидкостей или газа из любого сосуда в другой сосуд или систему следует подсоединить кабель, обеспечивающий одинаковый электрический потенциал всех компонентов. Это стандартное оборудование, например, на автоцистернах, но может также улучшить безопасность, заполняя небольшие контейнеры вручную. Если вы работаете с электронными компонентами, вы должны защитить их от статического электричества. Это в первую очередь не проблема измерения, но поскольку многие счетчики включают электронику, хорошо знать, как это сделать безопасным способом. Низкий уровень разрядки воздуха Влажность воздуха может достигать более 30000 В.

Влажность воздуха влияет на риск статического электричества. Свободно падающая струя легковоспламеняющейся жидкости может на определенном расстоянии и при низкой влажности воздуха сама по себе вызывать статическое электричество, поэтому при заливке легковоспламеняющихся жидкостей следует проявлять особую осторожность, например, при наполнении бака (всегда рекомендуется заполнение снизу).

Функциональная безопасность

Аварии на химических и технологических установках привели к травмам, гибели людей и ущербу имуществу и окружающей среде, что привело к появлению новых стандартов и методов безопасного приборостроения и качественного мониторинга потенциально опасных процессов.

Эта часть отличается от других обсуждаемых вопросов безопасности этой книге, как и сейчас, речь идет о функциональности. Например, если индикатор уровня не показывает правильный уровень в баке для хранения, это может быть опасная ситуация. Совсем недавно был опубликован ряд стандартов, касающихся функциональной безопасности. Международная электротехническая комиссия опубликовала несколько стандартов, касающихся функциональной безопасности. IEC 61508 описывает общие требования, и IEC 61511 имеет больше деталей на измерительном оборудовании и системах измерения для обрабатывающих промышленности. Существуют и другие стандарты в этой семье, описывающие особые требования в различных отраслях промышленности. В основном, эти стандарты разработаны вокруг трех фактов: (1) риск не может быть равен нулю, недопустимые риски должны быть уменьшены и (3) риски должны учитываться при проектировании процесса. Во многих областях аналогичные подходы использовались и до внедрения этих стандартов, например, на атомных электростанциях. Ключевым принципом для этих стандартов является жизненный

цикл безопасности; применение безопасности на протяжении всего процесса проектирования, монтажа, эксплуатации для снижения вероятности систематических ошибок.

Уровень полной безопасности

Как и в бывших зонах, оборудование, используемое в опасных процессах, может быть сгруппировано по классам. SIL означает уровень целостности безопасности, а номер уровня определяет степень снижения риска, обеспечиваемого системой. В системе SIL 1 риск отказа был уменьшен по меньшей мере с коэффициентом 10, в SIL 2 по меньшей мере 100, в SIL 3 по меньшей мере 1000 и в устройстве SIL 4 коэффициент снижения риска составляет более 10 000. Конечно, нелегко определить риски или то, что оценивается как "ошибка", и получить сертификацию для применения SIL-сложный и часто трудоемкий процесс. *Все* устройства, включенные в систему безопасности (а не только один компонент, например, измерительный датчик), должны быть включены в оценку безопасности. Для проведения этой оценки необходимы конкретные статистические данные по каждому используемому компоненту. Получение этих данных часто может быть самой сложной частью оценки. Жизненно важно, чтобы используемые данные могли быть ссылочными и подтвержденными, и чтобы были рассмотрены любые предостережения об использовании данных. Например, может быть задана интенсивность отказов компонента, допустимая только в определенных температурных диапазонах. Концепция SIL также применяется на протяжении всего жизненного цикла разработки системы, и поэтому она также зависит от того, как система поддерживается и эксплуатируется.

Традиционные концепции повышения безопасности

Анализ

Для выполнения анализа риска важно, какой бы стандарт не был выбран. Есть несколько способов сделать этот анализ и какая помощь может потребоваться от других инженерных дисциплин и специалистов. Один из методов называется "что, если технику", и это обычно используется, легко понять и она построена на практическом опыте. Среди других методов, вы найдете HAZOP

(исследование опасности и работоспособности), FTA (анализ дерева неисправностей) и FMEA (анализ режимов отказа и эффектов). Еще один принцип Алара (или ALARP), что расшифровывается "насколько низкий настолько разумно достижимый" (или насколько низкий настолько разумно практичный). Эти принципы основаны на оценке наилучшей практики и заключаются в том, что остаточный риск должен быть настолько низким, насколько это разумно достижимо.

Резервирование '2 из 3'/'2 из 4'

Подключив более одного датчика для измерения одного и того же параметра, можно повысить безопасность; отчасти потому, что если один датчик вышел из строя, есть другие, которые остаются в эксплуатации. Также точность может быть улучшена при особых условиях, если используется средний сигнал от нескольких датчиков (по сравнению с использованием только одного датчика). Подробнее об аспекте точности вы можете прочитать в главе о погрешностях. Как правило, целью использования нескольких датчиков является безопасность. Способ подключения этих датчиков зависит от того, что считается "безопасным". В конфигурации "2 из 4", возможно извлечь один датчик для обслуживания, тарировки или подобного без любого влияния на безопасность. В дополнение к этому, безопасность может быть улучшена даже больше принципиальной схемой "диверсификации". Отличие от обычной концепции "2 из 3" заключается в том, что здесь используются датчики разных марок, принципов работы или аналогичные компоненты. Идея заключается в том, что если происходит нарушение процесса, это будет влиять на датчики разных принципов по-разному, и поэтому менее восприимчивы к общим причинам сбоев.

Дополнительная литература

Центр безопасности химических процессов. <http://www.aiche.org/ccps/>. Европейская комиссия (директива ATEX). <http://ec.europa.eu/>. FM Global© (взрывозащищенный). <http://www.fmapprovals.com/>. Комитет по здравоохранению и безопасности (опасные установки). <http://www.hse.gov.uk/>. Международная электротехническая комиссия (функциональная безопасность). <http://www.iec.ch/>. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Explosionsschutz). <http://www.ptb.de/>. Научно-исследовательские институты Швеции (безопасность технологических процессов). <http://www.rise.se/>. UL© (опасные места). <http://industries.ul.com/>.

Калибровка и прослеживаемость

Существуют различные стандарты, которые объясняют слова и понятия в этой области, к сожалению, не всегда согласованы. Словарь в этой книге в основном основан на ISO / IEC Guide 98/99.

Насколько точны Ваши измерения?

Важно помнить, что вряд ли любое измерение является "точным". Все измерения, которые вы выполняете, имеют ошибки и неисправности. Если вы тратите целое состояние на новый инструмент, он все еще не точен, даже если он представляет вам данные со многими десятичными дробями!

К сожалению, формулировки касательно того, насколько точны измерения, часто вызывают путаницу. Например, если вы используете слово "точный", то, конечно, имеет значение, что именно вы под ним подразумеваете. В теории это означает, что нечто абсолютно верно, то есть наблюдается полное отсутствие погрешностей. Невозможно указать, например, температуру, давление, длину или массу без каких-либо допусков. Даже если допуски малы, будут погрешности! Здесь мы также можем подвергнуть сомнению слово "маленький". То, что может быть небольшим допуском в одном процессе, может быть очень большим допуском в другом. Итак, что считается правильным или нет зависит от того, насколько точны измерения и насколько близко к истинному значению, что вам нужно знать про это конкретное значение. Пока точность измерения находится в пределах требуемого допуска, все в порядке. Если нет, может возникнуть дорогостоящая и, возможно, опасная проблема. Чтобы выяснить, так это или нет, может помочь анализ погрешностей. Анализ погрешностей является хорошим способом найти и уменьшить ошибки и погрешности, и вы можете прочитать об этом в Главе 11. Во-первых, мы обсудим калибровку и прослеживаемость, поскольку они являются основой погрешностей.

Калибровка

По определению, в стандартах измерений "калибровка" равна "сравнению". Таким образом, калибровка не включает в себя автоматически какие-либо действия по настройке. Это немного спорно и часто является причиной путаницы в дискуссиях и отчетах.

Корректировки показаний "как можно ближе к правильному" могут выполняться одновременно с калибровкой, но тогда это будет чем-то

дополнительным. Кроме того, если выполняется настройка, рекомендуется выполнить калибровку дважды, до и после настройки. Во многих отчетах о калибровке эти два значения помечаются как "найденные" и "оставленные".

Дело в том, что калиброванный инструмент не является какой-то гарантией "хорошего" инструмента. Однако документально подтверждено, насколько это точно.

Чтобы определить, насколько велика погрешность измерения, необходимо лучшее устройство или метод (или, по крайней мере, устройство с известной погрешностью). Это образец. Точность, стабильность и достоверность эталона очень важны. Все калибровки должны регистрироваться в отчетах о калибровке (или сертификатах). Эти документы должны включать не только результат калибровки (отклонение между указанием эталона и испытываемым прибором, иногда называемым испытываемым устройством, или DUT), но и используемый метод, условия окружающей среды, используемые эталоны и оценочную погрешность при калибровке. Должна быть также обеспечена возможность отслеживания калибровки использованных эталонов [она не должна указываться в самом отчете, но может быть показана в системе обеспечения качества (ОК) лаборатории или аналогичной системе]. Поскольку эталон, используемый в калибровке, также должен быть откалиброван, вы можете следовать этому способу калибровки вплоть до международного стандарта для данной конкретной единицы. Вот что такое прослеживаемость, а калибровка без прослеживаемости не имеет никакой ценности!

Таким образом, калибровочная этикетка на приборе сама по себе не является знаком качества для этого прибора. Ценность заключается в прилагаемом документе, где данные и цифры могут быть использованы для уверенности в будущем использовании этого конкретного инструмента. Отчет о калибровке также является хорошей отправной точкой для оценки погрешности измерения.

Если в измерении допущены ошибки, они могут привести к возникновению проблем с продуктом, партией или аналогичным продуктом. Если во время калибровки была допущена ошибка, проблема часто становится намного серьезнее, так как это часто вызывает проблемы в течение более длительного периода. Если при калибровке эталона допущена ошибка, проблемы могут стать огромными. В этом случае ошибка может быть продублирована на многие другие инструменты, используемые во многих приложениях в течение длительного времени. Поэтому крайне важно быть осторожным при выполнении калибровок, и важно выбрать известных субпоставщиков и партнеров, если давать эту работу другим. Один из способов получить некоторое дополнительное спокойствие может быть нанять аккредитованную лабораторию. Аккредитация гарантирует прослеживаемые эталоны, проверенные методы и квалифицированный персонал, и есть международные стандарты, указывающие, как это должно быть сделано. Одним из популярных стандартов для аккредитованных калибровочных лабораторий является ISO 17025, и в большинстве стран существуют технические советы, организующие оценку и сертификацию таких лабораторий.

Калибровка обычно не является одноразовой деятельностью. Вместо этого

калибровку необходимо повторять через регулярные промежутки времени. Сложный вопрос заключается в том, как долго эти интервалы должны быть. На это нет простого ответа, даже если очень многие люди используют этот прибор 1 год по умолчанию.

ТАБЛИЦА 10.1

Общий план проверки и повторной калибровки

	Проверка	Тест	Калибровка
Количество точек данных	Один	Несколько моментов	Полный диапазон
Интервал	Перед использованием	Недели / месяцы	Месяцы / годы
В исполнении	Пользователя	Отдела технического обслуживания	Отдела калибровки
Документация	Отсутствует	Журнал / примечание	Отчет

Нет никаких технических причин для этого конкретного периода, но это может быть удобно и практично, так как системы могут быть легко настроены на повторение в течение 1 года. Для более технического подхода в основном необходимо учитывать две вещи: дрейф инструмента и серьезность риска возникновения ошибок в измерении. Если возможно, хороший способ – найти индивидуальные интервалы калибровки. Когда инструмент новый, это может быть выполнено следующим образом: После 6 месяцев (или в любое подходящее время), прибор калибруется. Если результаты равны тем результатам, когда прибор был новым, интервал может быть продлен и следующая калибровка может быть выполнена через год. Однако, если результаты изменились, и инструмент, кажется, отдаляется или каким – либо другим образом зависит от применения и окружающей среды, следующее вычисление должно быть выполнено раньше и в течение более короткого интервала. Используя этот метод, для каждого измерительного прибора будет создана "история", которая является хорошей базой при определении периодов повторной калибровки (таблица 10.1).

Протокол калибровки

После выполнения калибровки необходимо подготовить отчет или сертификат. Во-первых, калиброванный прибор должен быть идентифицирован: государственный изготовитель, тип, размер, серийный номер версии и номер метки, если таковой имеется. Затем запишите не только результаты измерений (показания эталона и DUT, включая то, какие сигнальные выходы были использованы), но и то, какое оборудование и методы вы использовали, а также различные условия, такие как давление, температура, температура окружающей среды, местоположение, время и дата, оператор и все, что может быть использовано позже. Не забудьте указать информацию обо всех используемых эталонных приборах, в том числе

информацию (идентификатор документа) об их калибровке. Наконец, укажите оценочную погрешность.

Отслеживание

Как уже неоднократно отмечалось в этой книге, прослеживаемость является обязательным для всех измерений и калибровок. В каждом отчете о калибровке прослеживаемость должна быть указана в виде ссылок на отчеты о калибровке для этих приборов для получения "истинных" значений в отчете.

Это может привести к длинным цепочкам ссылок, и если это будет сделано правильно, эти цепочки свяжут каждый отдельный документ с международными стандартами. Как вы, вероятно, можете себе представить, это может привести к довольно сложной системе, которую совсем не легко проверить и поддерживать. По этой причине, есть местные, национальные и международные организации, чтобы поддержать вас. Некоторые организации выполняют калибровочную работу самостоятельно (например, национальные лаборатории), а другие только наблюдают, выдают аккредитации и оценивают калибровочные лаборатории. Вся эта работа берет начало в BIPM (Международное бюро мер и весов) в Париже, где можно найти мировые стандарты для многих измерений и единиц измерения. В Соединенных Штатах обычно делают заявление, что измерение «прослеживается до NIST». Поскольку NIST (Национальный институт стандартов и технологий) прослеживается до BIPM, это имеет в основном то же значение.

Концепция

Разъяснения, помощь и рекомендации содержатся как в национальных, так и в международных стандартах (например, в руководстве ИСО 99). Определения и выражения иногда используются с различными значениями в "реальном мире". Например, существует несколько книг и словарей, объясняющих значение слова "калибровка" как "действия по повышению производительности". Кроме того, это неверно, если речь идет об измерительных стандартах. Кроме того, другие слова и понятия могут иметь несколько значений, поэтому будьте осторожны. Что на самом деле означает информация, указанная на обратной стороне листа данных? Что означает производитель с "точностью" или "временем отклика"? Даже если существуют стандарты, объясняющие это, нельзя быть уверенным, что автор использовал эти стандарты.

Ошибка

Согласно стандартам, погрешность измерения – это то, что известно: число, часто в процентах, говорит нам, как далеко от истинного значения

измерения. Это означает, что ошибка имеет знак: положительный или отрицательный. Если ошибка действительно известна, то ее можно исправить и исправление равно ошибке с противоположным знаком. На практике, однако, довольно часто ошибка *не* известна. Например, в большинстве спецификаций указывается предел погрешности; продукт гарантированно остается в пределах определенного предела погрешности (например, $\pm 1\%$). Тогда в этом случае вы не знаете ошибку подробно, и вы не можете ее компенсировать, но вы знаете, что она не превышает 1%. Одним из распространенных способов является выражение ошибки в процентах от считанного, что означает конкретное измеренное значение, в котором наблюдалась ошибка. Другим способом является выражение погрешности в процентах от полной шкалы, что означает максимально возможное значение калибруемого прибора.

Давайте рассмотрим пример. Датчик давления с диапазоном измерения 0-10 бар калибруется. Когда применяется 5 бар, датчик показывает 4,9 бар. Ошибка тогда -0,1 бар. В процентах, ошибка может быть задана как -22% от показания или -1% от диапазона.

Повторяемость

Повторяемость – неплохой показатель качества инструмента. Если инструмент обладает хорошей воспроизводимостью, он может воспроизводить результаты его измерения, а это значит, что вы можете быть уверены, что вы получите одно и то же значение много раз при измерении на одном и том же продукте. Однако хорошая повторяемость не равна правильному измерению. В большинстве случаев, инструмент с хорошей воспроизводимостью может быть скорректирован, чтобы дать правильный ответ. Типичным примером такого случая является прибор хорошего качества, который никогда не калибровался.

Точность

Другое часто используемое слово – “точность”. Это можно объяснить сочетанием погрешности и повторяемости.

Погрешность

Погрешность измерения подробно объясняется в главе 11, но краткое описание было бы окончательной ошибкой результата измерения, серой зоной вокруг значения, которое (в противоречии с ошибкой) никогда не известно.

Сравнение

При тесной связи с калибровочной деятельностью и аккредитацией взаимное сравнение является широко используемой процедурой для обеспечения того, чтобы калибровочная лаборатория обеспечивала результаты хорошего качества. Иногда это упражнение называется циклическим тестом. Идея состоит в том, чтобы взять хороший и воспроизводимый инструмент и отправить его в группу лабораторий. Все они должны выполнять одну и ту же

калибровку, а затем все результаты сравниваются организатором. Если, например, в сопоставлении давления участвуют восемь лабораторий и семь из них сообщают об ошибке измерения около 0,2 кПа, а одна – о 0,8 кПа, это, вероятно, указывает на то, что лаборатория № 8 имеет проблему. Все результаты должны быть сопоставлены с заявленными погрешностями, и если одна лаборатория все еще "вне" общих результатов, что-то может быть неправильно. По крайней мере, это повод для дальнейшего расследования. Если для сравнения используются два одинаковых прибора, измеряющих одинаковые данные, это позволит еще глубже проанализировать лабораторное оборудование. Одним из способов использования двойных измерений, например, двух датчиков давления параллельно или двух расходомеров последовательно, является кросс-корреляционный анализ (или график Юдена), очень информативный способ представления результатов лабораторных испытаний. Идея заключается в том, что оба документа должны быть откалиброваны вместе с несколькими повторениями.

Если оба сигнала следуют друг за другом таким образом, что в калибровке № 1 оба являются низкими, в калибровке № 2 оба высоки, в калибровке № 3 оба между и так далее, то это корреляция. Это требует исследования калибровочного оборудования. Если все результаты случайны (что предпочтительнее), результаты калибровки на графике образуют круг. Сильная корреляция приведет к 45-градусной линии на диаграмме.

Оценка соответствия

Это процесс или действие, часто осуществляемое властями или независимыми организациями. Однако это может быть и внутреннее решение, основанное на одном или нескольких измерениях. Цель состоит в том, чтобы выяснить, находится ли продукт (или действие) в установленных пределах. Одним из примеров является полиция, осуществляющая контроль скорости на шоссе. Тогда они будут измерять скорость проезжающих автомобилей, и если кто-то едет слишком быстро, возможно, водитель должен заплатить штраф. При принятии решения о том, является ли скорость слишком высокой, полиция должна провести оценку соответствия. Это должно включать не только само измерение, но и погрешность измерений. Обычная процедура заключается в уменьшении измеренной скорости с погрешностью, чтобы сделать справедливое суждение.

Риск

Что касается оценки соответствия, то существует три способа справиться с погрешностью при принятии решения на основе измерения. "Продавец" может взять на себя риск, "покупатель" может взять на себя риск, или они оба могут разделить риск. В Примере с полицией, он или она будет рисковать и уменьшит его или ее измерения с погрешностью. В приложении безопасности, вероятно, клиент должен рискнуть и увеличить свое измерение, например, температуру, чтобы оставаться в пределах и гарантировать безопасную работу. В магазине, например, покупая овощи и оплачивая вес, покупатель и продавец

разделяют риск. Это приводит к плате, соответствующей некорригированной массе.

Сигнальные петли

Если калибруемый датчик или прибор является частью системы или измерительного контура, то, конечно, должна быть откалибрована вся система или контур. По практическим соображениям это обычно делается более чем за один шаг. В качестве примера можно привести датчик температуры:

Сначала датчик калибруется с помощью блочного калибратора. Это обычно делается на месте, но с датчиком, удаленным из процесса. По мере того как передатчик интегрирован внутри датчика, этот компонент был включен в калибровку.

Следующим шагом является калибровка передачи сигнала в систему управления. Это выполняется с помощью генератора сигналов, заменяющего датчик температуры. Выход системы управления (или показания на дисплее) затем сравнивается с моделируемым сигналом. Сейчас вся система калибруется и общая погрешность может быть вычислена на основе двух результатов.

Дополнительная литература

Руководство 99 ISO / IEC – Международный словарь метрологии (VIM). IEC 61298-приборы измерения и контроля процессов.

Погрешность измерения

Лучше быть приблизительно правильным, чем точно ошибаться

Карвет Рид / Джон Мейнард Кейнс

Не все измерения являются правильными. К счастью, в большинстве случаев ошибки настолько малы, что о них можно забыть. Мы можем жить с небольшими ошибками; небольшие отклонения связанные с ошибками в измерениях, скорее всего, не повлияют на производство, качество и подобное. Однако иногда ошибки слишком велики, чтобы не обращать внимания. В таких случаях нам нужно действовать, чтобы повысить точность, меняя приборы или внося изменения в процесс. Проблема в том, что нелегко узнать, когда ошибки малы или велики. Чтобы получить значение погрешности измерения, необходимо выполнить калибрование. Существуют также методы, некоторые из которых используют статистику и математику (пытаясь сбалансировать потребляемую и отдаваемую энергию), чтобы обнаружить возможные погрешности, но на сегодняшний день калибрование является наиболее распространенной процедурой. В любом случае при принятии решений на основе данных измерений важно знать, насколько велика погрешность измеряемых данных. Эта глава даст представление о расчете погрешностей – стандартный способ оценить, насколько хорошо измеренное значение.

Числа

В качестве примера результат измерения можно записать как 18,5. Во многих случаях было бы более целесообразно также указать погрешность и записать $18,5 \pm 0,2$ (в качестве примера). Смысл этого заключается в том, что истинное значение лежит между 18,3 и 18,7. Если погрешность была бы вместо $\pm 0,02$, то было бы более целесообразно записать измеренное значение с еще одним десятичным знаком, 18,50. Напротив, при погрешности ± 2 писать 18,5 нецелесообразно. Писать ‘слишком много’ десятичных дробей действительно вводит в заблуждение! Обычно количество десятичных дробей должно быть связано с погрешностью, но это не всегда так!

Поэтому, пожалуйста, ведите наблюдение! Прибор с дисплеем, отображающим три десятичных знака (0,000), по определению *не* имеет меньшей погрешности измерения, чем прибор с двумя десятичными знаками (0,00).

Также разрешение дисплея не всегда совпадает с последней цифрой. Между самым маленьким ‘шагом’ может быть две цифры (или любой размер), то есть 0,00 – 0,02 – 0,04 – 0,06 и так далее.

Оценка соответствия

Нередко результаты измерений используются для проверки и подтверждения. Это может быть какая-то форма правоохранительных органов (например, полиция, контролирующая скорость на дороге), но это также может быть внутренняя проверка качества для проверки некоторых аспектов продукта. Важно корректировать погрешность измерения при выполнении такой деятельности как оценки соответствия.

По сути, с погрешностью можно справиться тремя различными способами. Либо ‘поставщик’, либо ‘покупатель’ берет на себя риск, либо риск распределяется между ними обоими. Риск здесь означает погрешность. Возьмем пример: вы покупаете 1,55 кг яблок, а Весы в магазине имеют погрешность 0,05 кг. Если вы рискуете, то заплатите за 1,60 кг (измеренное значение *плюс* погрешность). Если магазин пойдет на риск, вы заплатите за 1,50 кг (измеренное значение *минус* погрешность). Однако в магазине используется общий риск, поэтому вы платите за 1,55 кг. Кроме того, существуют правила о предельно допустимой погрешности в магазинах. Когда полиция проверяет скорость, они берут на себя риск, обычно уменьшая погрешность от измеренного значения перед тем, как выписать штраф. При мониторинге пределов загрязнения, максимальной мощности и подобное. В большинстве случаев именно клиент (то есть электростанция) берет на себя риск, так что значения гарантированно будут ниже пределов. Это приводит к тому, что уменьшенная погрешность может обеспечить более высокую производительность, поскольку измеренные значения могут быть ближе к пределам.

Сравнения

Сравнение двух измерений в некотором смысле похоже на оценку соответствия, описанную выше. Если, например, вы поместите два датчика температуры в одну кастрюлю с кипящей водой, вы, вероятно, получите два температурных индикатора. Разница будет зависеть от двух вещей: от того, насколько равномерна температура воды (распределение температуры) и насколько велика погрешность каждого значения температуры. Не зная погрешности показаний каждого датчика, вы не сможете определить, действительно ли существует разница температур в сосуде или нет. Только если разница, которую вы видите, больше погрешности, вы знаете, что существует реальная разница в температуре в разных положениях.

Если быть точным, это следует рассматривать как статистическое событие с двумя нормальными распределениями. Если две области совпадают, оба показания находятся в согласии; если нет совпадения, есть реальная разница.

Если вы можете узнать исхода из другой информации, что не может быть никаких различий (например, два расходомера друг за другом в одной и той же трубе, измеряющие один и тот же поток), метод, описанный выше, можно использовать для оценки того, хороши ли оба измерительных прибора. Если нет совпадения, либо один из инструментов неисправен, либо заявленная погрешность слишком мала. В главе 10 вы также можете прочитать о взаимном сравнении, деятельности по обеспечению качества, выполняемой в лабораториях.

Управление процессом

По сравнению с оценкой соответствия погрешность оказывает аналогичное влияние на процесс контроля; однако в этом случае большая погрешность может привести к необходимости увеличения ‘пределов безопасности производства’. Например, в процессе термообработки может потребоваться нагрев продукта до более высокой температуры, чем потребуются из-за погрешности в управлении температурой. Конечно, мы нагреваем до 75 градусов, даже если нужно всего 70 градусов. Это, конечно, стоит времени и энергии! Иными словами, снижение погрешности измерений может привести к более эффективному производству и снижению затрат энергии.

Погрешность

Как вы знаете, даже откалиброванные инструменты не являются точными; все еще есть источники погрешностей, которых нельзя избежать. Всегда присутствуют дополнительные ошибки, вызванные смещением во времени, эффектами установки, передачей сигнала, пересчетами и подобное. Если ошибки известны, мы можем подстроиться под них, но в большинстве случаев мы не знаем их подробно. Но, возможно, мы можем оценить пределы погрешности или ‘серые зоны’ таким образом, что ошибка, скорее всего, будет в этих пределах. Несколько серых зон (или составляющая погрешности) могут быть объединены с общей зоной, в которой останется конечный результат измерения. Именно эту общую серую зону мы называем погрешностью измерений. Существуют общие правила о том, как объединять различные вклады в общую вычисленную погрешность, рассказывающие, как добавлять случайные ошибки счетчика к систематическим ошибкам. На практике это часто означает, что вам нужно добавлять яблоки в груши (например, ошибка в градусах по Цельсию с ошибкой в кПа). Настройка измерительной системы обычно требует коэффициента чувствительности. Этот коэффициент показывает, насколько ‘важны’ данные каждого измерения для результата. Например, погрешность в 1% температуры не всегда вызывает в общем

результате погрешность в 1%. Руководство по международному стандарту 98 указывает, как это сделать, подробно.

Существует различие между понятиями ‘ошибка’ и ‘погрешность’. Упрощенно, вы можете сказать, что ошибка – это то, что найдено в инструменте, а погрешность – это результат. Ошибки иногда известны (например, после калибровки), но погрешность никогда не известна (это оценочная зона). Точные определения этих понятий доступны в международных стандартах 98 и 99. Но имейте в виду, что общие определения не всегда используются на практике и что существует необходимость обсудить и объяснить, когда речь идет об этих вещах в деталях.

Случайная или систематическая

Погрешность состоит из двух частей: одна систематическая и одна случайная. Систематическая часть – это ошибка измерения в вашем приборе, значение, которое является довольно постоянным – независимо от того, сколько раз вы повторяете измерение, вы всегда получите одну и ту же ошибку. Различия из-за изменений температуры окружающей среды, положения/выравнивания, источника питания, влажности, личных навыков и прочее приведут к различным результатам при повторении измерения. Эта разница является случайной погрешностью.

Если посмотреть на статистику, то можно попытаться описать, как меняются результаты при повторении измерения несколько раз. В целом произвольные данные приведут к случайному распределению. Если на графике отображаются все результаты, наиболее часто встречаемым значением является среднее значение, и оно становится центром. С обеих сторон есть значения, более или менее далекие от среднего. Чем дальше от центра (и в среднем) вы идете, тем меньше точек данных вы найдете. Расстояние до среднего можно выразить с помощью уровня достоверности. Уровень достоверности 95% обычно используется для измерения результатов, что означает, что в этих пределах вы найдете 95% всех данных. Уровень достоверности 95% также известен как 2σ (две сигмы).

При повторении измерений не все действия приводят к случайному распределению. Два распространенных примера – чтение цифрового дисплея и механическая линейка. Цифровой дисплей не может отображаться между двумя цифрами. Если последняя цифра (не важно, десятичная она или нет), например, показывает 7, вы не знаете, близка ли она к 6,6, близка к 7,0 или близка к 7,4. Истинное значение может быть где угодно в этом диапазоне, и это распределение называется ‘квадратным’. При чтении старого термометра, линейки или чего-то еще с механической шкалой, вы можете оценить значения также между числами. Эта возможность заставляет распределение быть треугольным. Эти три распределения, нормальное (1), треугольное (2) и квадратное (3), мы используем для расчетов погрешности, и в зависимости от того, какое распределение мы используем, значение взвешивается более или менее, когда мы добавляем все вклады погрешности и вычисляем общую погрешность. Весовые коэффициенты, указанные на рис. 11.1, взяты из руководства международных стандартов 98.

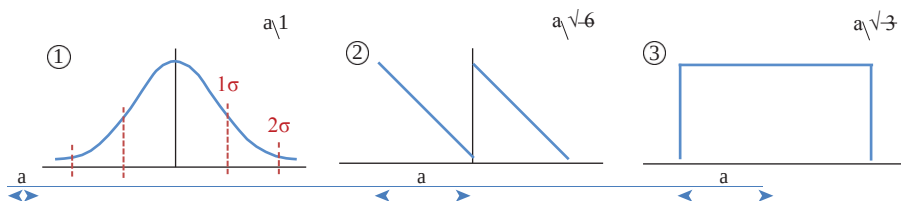


Рис. 11.1
Статистическое распределение.

Объединение результатов

Также количество источников данных будет влиять на распределение; использование многих источников приведет к случайному распределению. Вы можете проверить это сами с помощью простого эксперимента. Бросьте кубик 50 раз и обратите внимание, сколько раз вы получите 1, 2, 3, 4, 5 и 6. Составьте диаграмму, как показано на рис. 11.1, и вставьте цифры (по одному столбику для каждого результата). Возможно, теперь у вас есть нечто похожее на рисунок справа на рисунке 11.1. Теперь повторите это с помощью двух кубиков. Какое распределение вы получаете сейчас? И что произойдет, если вы используете три кубика?

Бюджет погрешности

Общая погрешность измерительной системы (или внутри прибора с несколькими датчиками) может быть оценена путем составления бюджета погрешности. Кроме того, такой бюджет может также служить инструментом содействия совершенствованию системы, поскольку размер каждого вноса будет четко виден. Слово “бюджет” также указывает на то, что речь идет об оценке, при этом данную оценку можно считать примерной, тем не менее она делается с обоснованно и ее можно считать более или менее достоверной.

Для суммирования всех взносов существуют руководящие принципы. Первым шагом является использование опыта, навыков и воображения, чтобы выяснить все параметры, которые могут способствовать погрешности. Второй шаг – выяснить, насколько велик каждый взнос. Используя комбинацию листов данных, отчетов о калибровке, изделий и опыта, можно задать значение для каждой детали. Третий шаг касается статистики и корректировки значений в соответствии с их важностью. Все добавления должны быть сделаны с доверительной вероятностью в одну сигму, поэтому, если значения указаны в двух сигмах (которые они обычно есть), их следует разделить на 2. Если распределения являются квадратными или треугольными, можно использовать делители, показанные на рисунке 11.1. Шаг № 4 состоит в том, чтобы отрегулировать чувствительность, чтобы каждая часть влияла на конечный результат измерения, как это было бы во время работы.

Пятый шаг – добавить все, и это делается путем квадратичного сложения. Поскольку большинство стандартов требуют, чтобы мы объявляли погрешность с уверенностью 95%, нам наконец нужно скорректировать результат до двух сигм умножением на 2.

Описанный выше метод использовался в течение многих лет, но все же это не единственный способ выразить погрешность. Вы могли бы, например, просто добавить все вклады, что приводит к несколько более высокой погрешности. Во всяком случае, в большинстве случаев важной частью является то, как вы оцениваете каждый вклад. И когда вы можете определить, кто вносит наибольший вклад в общую погрешность, вы также знаете, где улучшение окажет наибольшее влияние.

В некоторых случаях более ‘понятно’ использовать процент при указании погрешности. Например, поток может быть выражен следующим образом: 500 л/с $\pm$ 5 л/с или 500 л/с $\pm$ 1%. Использование процентов облегчает оценку, являются ли данные измерений хорошими или нет, по крайней мере, для опытного техника. Погрешности, выраженные в процентах, могут использоваться для всех типов данных, но они обычно не используются для показаний температуры или других данных, которые могут быть близки к нулю.

И Национальный институт по стандартизации и технологии в США, и Национальная физическая лаборатория в Великобритании опубликовали руководства по оценке погрешности на английском языке.

Образец

Мы хотим измерить уровень в резервуаре с помощью датчика давления, расположенного внутри резервуара, внизу. При установке датчика бак уже работает и заполнен жидкостью. Поэтому датчик устанавливается, просто опуская его сверху, позволяя ему опуститься и оставаться в любом положении внизу. Итак, как мы можем рассчитать погрешность уровня чтения в этом приложении? Во-первых, мы должны понимать используемые измерения и расчеты. Во-вторых, мы должны выяснить, какие факторы и проблемы могут повлиять на наши результаты, и найти разумные цифры для каждого фактора, который вносит свой вклад. Наконец, все эти вклады должны быть объединены в общую погрешность.

Что может повлиять на результат этого измерения? Ну и, конечно, ошибка самого датчика является отправной точкой. В этом случае этот инструмент не был откалиброван, поэтому у нас есть только технические данные (с указанием, что максимальная ошибка составляет 100 Па). Следующим шагом будет посмотреть на установку. Поскольку мы только что сбросили устройство с поверхности, мы не знаем его положения. Глядя на чертеж, мы видим, что датчик имеет четыре стороны, но он не квадратный. Одна сторона имеет ширину 40 мм, а другая-60 мм. Это дает нам информацию о том, что центр устройства может находиться на расстоянии 20 или 30 мм от дна резервуара. Высота резервуара составляет 2 метра, но обычно максимальный уровень составляет 1 метр, и мы должны оценить погрешность на нормальном уровне. Из-за размеров датчика нам нужно уменьшить диапазон на 20 или 30

мм. Мы выбираем, чтобы установить диапазон до 975 мм.

Поскольку мы используем датчик давления для измерения уровня, нам нужно вычислить измеренное значение, чтобы получить желаемый уровень. В этом расчете мы используем измеренное давление в качестве входных данных, а затем нам нужно отрегулировать плотность жидкости в резервуаре. Мы можем рассчитать плотность по таблице, если знаем температуру. Для расчета погрешности нам также нужны температурные пределы. Каковы температуры самой холодной и самой теплой жидкости, которая может храниться в этом резервуаре? Если мы знаем это, мы можем проверить, какой плотности соответствуют эти температуры, и таким образом найти вклад в погрешность.

ТАБЛИЦА 11.1

Пример погрешности

Вклад	Расчетная стои- мость	Вероят-ность	Норматив-ный вклад	Коэфф. чувствител ь-ности	Резу- льтат (%)	Резу- льтат ²
Датчик (спецификация)	±100 Па	Квадрат	/1,73	1/9000	0,64	0,41
Считывание (разрешение дисплея. /2)	±1 па	Квадрат	/1,73	1/9000	0,01	0,00
Положение датчика (высота над дном резервуара)	±5 мм	Квадрат	/1,73	10/9000	0,32	0,10
Температура измерение	±2°C	Квадрат	/1,73	0,001	0,12	0,01
Влияние температуры на датчик уровня	±2 Па	Нормальный (2σ)	/2	1/9000	0,01	0,00
Плотность (расчет уровня)	±0,4%	Нормальный (2σ)	/2	1	0,2	0,04
Отклонение (1 год)	±150 па	Нормальный (2σ)	/2	1/9000	0,83	0,69
√ Сумма						1,12
Сумма скорректирована до уровня достоверности 95% (= сумма × 2)						2,2

4

Может ли температура иметь какое-либо другое влияние? При проверке таблицы данных датчика, мы находим температурную характеристику для зависимости точности. Это также должно быть добавлено. Какие еще воздействия мы можем найти? Если резервуар не полностью открыт в верхней части, может возникнуть избыточное давление, которое может повлиять на измерение. В этом случае резервуар имеет широкое отверстие, поэтому нам не нужно учитывать это. Есть ли дополнительные ошибки при передаче сигнала от счетчика? Не в этом случае 1. Из таблицы данных видно, что разрешение

дисплея не является ‘действительным’, и вместо этого разрешение равно значению, соответствующему двум последним цифрам дисплея. Наконец, нам нужно оценить дрейф во времени. Поскольку у нас есть аналогичные приборы, установленные на другом заводе, мы можем проверить их историю. Средняя разница между калибровками дает нам хорошую информацию о дрейфе. Если такая история недоступна, возможно, можно найти заявление производителя. Теперь мы думаем, что нашли все неконкретные вклады, и они могут быть добавлены, как в таблице 11.1. Чтобы все было легко сравнивать, мы можем рассчитать результат в процентах, где 100% равно 1000 мм, что (при плотности жидкости 900 кг/м^3) соответствует 9000 Па. Возможно также использовать 975 мм вместо 1000 мм. Фактическая плотность используется из измеренной температуры и таблицы. Температура измеряется с максимальной погрешностью 2°C , а плотность жидкости будет меняться примерно на 0,1% на градус Цельсия. Также из-за примесей и изменения концентрации номинальное значение плотности будет меняться изо дня в день. Это изменение оценивается в 0,4%.

Погрешность оценивается в 2,2%, что означает, что измеренный уровень можно ожидать в пределах $\pm 2,2\%$ от ‘истинного’ уровня.

126 Измерительные технологии для процесса автоматизации

Улучшения

Погрешности бюджета также может помочь нам найти лучшие действия для улучшений. Этот расчет показывает, что два самых больших вклада – это начальная ошибка (заданная точность) и долгосрочная стабильность (дрейф). Если была проведена первоначальная калибровка и показания были скорректированы в соответствии с погрешностью измерения, обнаруженной в ходе этой калибровки, то значение из спецификации ($\pm 100 \text{ Па}$) может быть заменено погрешностью калибровки. Это, вероятно, будет гораздо меньшее значение. Более частая повторная калибровка может снизить долговременное значение стабильности (в настоящее время обозначаемое как $\pm 150 \text{ Па / год}$) и, таким образом, также может уменьшить этот вклад.

Дополнительная литература

Бевингтон, П. Р. 1969. *Сокращение данных и анализ погрешности для физических наук*. Макгроу-Хилл. Международный стандарт 99 (Руководство по погрешностям в измерении). <http://www.bipm.org/en/publications/guides/#gum>. Национальный институт стандартов технологии. <http://physics.nist.gov/cuu/Uncertainty/>.

Основы метрологии

История

Измерения и прослеживаемые измерения проводились в течение тысяч лет. Среди самых древних упоминаний, которые мы знаем сегодня, египетский локоть (эталон длины, равный длине руки царя фараона). Локти использовались для измерения зданий, земель и уровней воды. Трудно сказать, какие юридические требования они предъявляли 4000 лет назад, но правила, включая наказания для тех, кто не следовал им, существовали.

Природные объекты, такие как семена или части тела, оставались обычным способом установления эталонов измерений на протяжении тысячелетий. Тем не менее, поскольку части тела различаются по размеру у людей, также необходимо выбрать референтное лицо. Обычно это был бы король, император или подобное, но как тогда организовывать международную торговлю? Когда другой король в другой стране имеет, например, более длинные ноги, 'реальная' длина чего-то, измеренная в футах (и стоимость), может быть причиной для больших дискуссий. Нужна была другая система, и в конце 1800 года группа французских ученых нашла новую систему: систему без королей и частей тела. Вместо этого они решили использовать нашу планету в качестве эталона. Система, которую они изобрели, была метрическая система, хорошо известная на сегодняшний день. Один метр-это окружность мира, разделенная на 40 000 000. Они измерили это расстояние лишь частично, от Барселоны до Дюнкера, и рассчитали остаток с очень хорошим результатом.

Сегодня метрическая система распространяется на многие подразделения, известные как *Système International d'Unités* (СИ). Единицы СИ охватывают все, но не везде принимаются. Единицы, отличные от единиц СИ, используются, например, как в Соединенных Штатах, так и в Соединенном Королевстве (иногда их называют имперскими единицами). Тем не менее, обе эти страны приняли единицы СИ.

Веса и меры

При торговле, например, продовольствием и топливом, цена устанавливается по массе или объему. Поэтому весы и мерные стаканы часто используются в магазинах и на рынках.

Для некоторых продавцов доставка небольшого количества, чем обещано,

может быть искушением, которому трудно сопротивляться. Клиенту трудно это заметить, и даже если это наблюдается, нелегко предоставить какие-либо доказательства. Это может привести к бесконечным дискуссиям и спорам. Чтобы людей не обманывали, уже давно назначены специальные чиновники для проверки измерительных приборов, используемых в бизнесе. Например, в Греции офис был построен уже 1500 лет назад- Толос. Здесь местные бизнесмены должны были получить одобрение своих измерительных приборов. К инструменту была прикреплена печать, чтобы указать клиентам, что они могут чувствовать себя в безопасности. То, что мы делаем сегодня в магазинах и на автозаправках, более или менее схоже с этим старым методом. Сегодня большинство стран также требуют одобрения типа (сертификации) для измерительных приборов, используемых в торговле. Помимо максимально допустимых ошибок, сертификационные требования включают устойчивость к воздействиям окружающей среды, таким как жара, холод, влажность и электромагнитные помехи. Там также должны быть четко видны дисплей и разумные меры для защиты от мошенничества. Детали этих требований варьируются от региона к региону. Международные рекомендации выдаются организацией International du Metrologie Legal (Международная организация по законодательной метрологии). В Европе общие правила изложены в Директиве по измерительным приборам. В Соединенных Штатах более подробную информацию о правилах можно найти в Национальном институте стандартов и технологий, где Справочник № 130 – хорошая отправная точка. Адреса и информацию о других странах см. в главе 13.

В целях содействия развитию международной торговли в 1999 году несколько стран подписали соглашение о взаимном признании, касающееся измерений и аккредитованных калибровок. Если экспортная торговля (и счет-фактура) основаны на измерительном приборе, имеющем аккредитованную калибровку, измеренные значения должны быть приняты всеми странами, подписавшими соглашение о взаимном признании.

В большинстве стран сегодня создаются государственные учреждения для контроля над использованием применяемого весового и измерительного оборудования. Само измерение может быть названо фискальным измерением или, без учета каких-либо правительственных органов, включенных в инспекцию, измерением передачи. Деятельность правительства часто называют законами о мерах и весах. Существуют аналогичные требования к измерительному оборудованию, используемому для упаковки. Если вы покупаете бутылку или упаковку с определенным содержанием, например, 1 кг или 1 литр, существуют требования к точности этих этикеток и 'действительному' количеству каждой упаковки. Эти требования основаны на статистическом подходе, и в среднем среднее значение в ряде упаковок не должно быть слишком низким.

Международная система единиц

Международное Бюро исследований и измерений, созданное в 1875 году, работает над созданием единой системы измерений, которая будет использоваться во всем мире.

ТАБЛИЦА 12.1

Базовые величины и базовые единицы, используемые в СИ

Базовые величины	Символ	Базовая единица	Символ
Длина	l, h, r, x	Метр	м
Масса	m	Килограмм	кг
Время	t	Второй	s
Электрический ток	I, i	Ампер	A
Термодинамическая температура	T	Кельвин	K
Количество вещества	n	Моль	моль
Сила света	Iv	Кандела	кд

ТАБЛИЦА 12.2

Производные величины и единицы измерения (примеры)

Количество	Символ	Единица	Символ
Область	A	Квадратный метр	м ²
Объем	V	Кубометр	м ³
Скорость	v	Метр в секунду	м/с
Ускорение	a	Метр в секунду в квадрате	м/с ²
Плотность	ρ	Килограмм на кубометр	кг/м ³
Частота		Герц	Гц
Сила		Ньютон	Н
Давление		Паскаль	Па
Энергия		Джоуль	Дж
Электрический потенциал		Вольт	В
Электрическое сопротивление	Ом		Ω
Электропроводность	Сименс		S

ТАБЛИЦА 12.3

Примеры обычно используемых единиц, отличных от Си

Количество	Единица	Символ
Время	Минута	мин (= 60 сек.)
Время	Час	час (=3600 сек.)
Объем	Литр	Л или л (= 1 дм ³)
Давление	Бар	бар (= 100 кПа)
Давление	Миллиметр ртутного столба	мм рт. ст. (= 133 Па)
Длина	Морская миля	М (= 1852 м)

ТАБЛИЦА 12.4

Префикс Си

Индекс	Префикс	Символ
10^{24}	иотта	Год
10^{21}	зетта	Z
10^{18}	экса	E
10^{15}	пета	P
10^{12}	тера	T
10^9	гига	G
10^6	мега	M
10^3	кило	k
10^2	гекто	h
10^1	дека	да
10^{-1}	деци	d
10^{-2}	санتي	c
10^{-3}	милли	m
10^{-6}	микро	μ
10^{-9}	нано	n
10^{-12}	пико	p
10^{-15}	фемто	f
10^{-18}	атто	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	иокто	год

Основой является Метрическая конвенция, но система сложилась таким образом, что теперь она включает семь базовых единиц. В 1960 году была введена международная система единиц (СИ). Более подробную информацию можно найти по адресу www.bipm.org (таблицы 12.1-12.4).

Другие часто используемые единицы

Масса

Драм (Великобритания) = 1,77 г

Карат = 0,2 г

Унция (Великобритания) = 28,3 г фунт (Великобритания) = 453,59 г Камень (Великобритания) = 6,35 кг

Тонна, длинная тонна (Великобритания) = 1016 кг тонна, короткая тонна (США) = 907 кг

Объем

Баррель (Великобритания) = 164 литра

Баррель (США) = 115-119 литров

Баррель, нефтяной (США) = 159 литров кубический фут = 28,3 литра

Кубический Ярд = 765 литров

Жидкая унция = 0,028 литра

Галлон (Великобритания) = 4,55 литра

Галлон (США) = 3,79 л

Длина и площадь

Акр (Великобритания) = 4047 м²

Фут (Великобритания) = 30,48 см дюйм (Великобритания) = 2,54 см линия (Великобритания) = 2 мм

Миля, статуя (Великобритания) = 1609 м

Ярд (Великобритания) = 91,44 см

Сила, мощность и энергия

Фунт-сила-фунт = 4,44822 Н

Килопонд, КП = 9,80665 Н

Лошадиная сила (метрическая) = 735 Вт

Лошадиная сила (Великобритания) = 746 Вт

Килокалорий, ккал = 4,19 кДж

Киловатт-час, кВтч = 3600 кДж

Британская тепловая единица, БТЕ = 1055 Дж

Мир метрологии

Большинство видов деятельности, методов и действий, описанных в этой книге, одинаковы, где бы вы ни работали. Однако детали могут отличаться, а стандарты иногда имеют разные названия. В большинстве стран существуют органы власти и организации, которые поддерживают вашу деятельность. В этой главе перечислены несколько организаций, работающих в области измерения процессов. К сожалению, этот список не охватывает все регионы, но, связавшись с какой-либо из этих организаций, они, вероятно, смогут направить вас к правильному месту назначения.

Организации

Существует три различных типа международных организаций, занимающихся измерениями процессов:

1. Общие органы стандартизации (например, международный стандарт)
2. Сообщества (как Германская ассоциация стандартизации для технологий измерения и управления в химической промышленности)
3. Головные организации по законодательной метрологии и отслеживаемости (такие как МОЗМ)

Кроме того, в каждой стране обычно имеется Национальная метрологическая лаборатория (таблица 13.1). Ниже приведен список различных организаций, включая краткое введение и контактную информацию. Часто это хорошая отправная точка для дальнейших контактов и консультаций.

Внутриафриканская метрологическая система

Внутриафриканская метрологическая система обеспечивает стандарты и поддержку государствам-членам на африканском континенте. www.afrimets.org

Национальный институт стандартизации США

Американский национальный институт стандартов – это сообщество по стандартизации в США. Существуют стандарты измерений и расчетов, а также ‘схемы испытаний’, например, для испытания и проверки машин и систем. Трубы, фитинги и фланцы со стандартами Национального Института Стандартизации США широко используются во всем мире. www.ansi.org

АНИ

Американский институт нефти является важной организацией в нефтегазовой промышленности. Многие стандарты, связанные с измерениями, были опубликованы, и соответствующую информацию, такую как таблицы плотности, можно найти здесь. www.api.org

Ассоциация государств Юго-Восточной Азии

Ассоциация государств Юго-Восточной Азии является паназиатской организацией по отслеживанию и калибровке. www.asean.org

Американское общество инженеров-механиков

Американское общество инженеров-механиков – это сообщество стандартизации в США. АОИМ хорошо известен стандартами безопасности механического оборудования, особенно котлов и сосудов под давлением. Существуют стандарты измерений и расчетов, а также ‘схемы испытаний’ и аналогичные, например, для испытания и проверки различных машин и систем. www.asme.org

Международное бюро весов и мер

Международное бюро мер и весов является родиной метрической системы и основой для отслеживаемых измерений. Здесь вы можете найти информацию, рекомендации и консультации, а также контактную информацию для всех государств-членов. www.bipm.org

Британская ассоциация измерения и испытания

Британская ассоциация измерения и испытания занимается проблемами членов в отношении измерений. www.bmta.co.uk

Колорадская инженерная экспериментальная станция

Колорадская инженерная экспериментальная станция является американской калибровочной лабораторией для расходомеров, также предлагает множество полезных публикаций и документов. www.ceesi.com

Немецкий институт стандартов

Немецкие национальные стандарты во многих случаях преобразованы в европейские стандарты. www.din.de

ЕА – Европейский совет по аккредитации

Надзор за местными и национальными органами по аккредитации с прикладной аккредитацией и оценкой аккредитованных лабораторий. www.european-accreditation.org

Европейский совет по стандартизации, метрологии и сертификации

Евразийский межгосударственный совет занимается вопросами стандартизации, метрологии и сертификации. www.easc.org.by

МО – международная оценка

Сотрудничество между Францией, Нидерландами и Великобританией. Члены (компании) каждый год организуют оценки различных измерительных приборов, чтобы помочь в выборе и покупке новых инструментов. www.evaluation-international.com

ЕКС

Европейский комитет по стандартизации является центром стандартов в целом и электрических устройств в частности. www.cen.eu

Европейская ассоциация национальных метрологических институтов

Европейская метрологическая программа по инновациям и исследованиям синхронизирует части Европейской исследовательской работы, главным образом связанные с национальными метрологическими институтами. www.euramet.org

Совет по сотрудничеству стран Персидского залива – Всемирная организация по стандартизации

Организация по стандартизации является организацией по стандартизации для государств-членов Совета сотрудничества стран Залива, и портал для стандартов, включая метрологию и измерения, доступен на их домашней странице. www.gso.org.sa

ГОСТ

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации, являющееся центром российской стандартизации и законодательной метрологии, публикует стандарты, рекомендации и юридически обязательные документы. www.gost.ru

Международная организация по сотрудничеству в области аккредитации лабораторий

Международное сотрудничество в области аккредитации лабораторий помогает национальным органам по аккредитации проводить прикладную аккредитацию и оценку аккредитованных лабораторий. www.ilac.org

Международная конференция по измерениям

Международная конференция по измерениям имеет подразделения для различных областей измерения, таких как температура (ТЕМПМЕКО) и расход (ФЛОМЕКО). Новые результаты и исследовательская работа представляются на ежегодных совещаниях и конференциях. www.imeko.org

Международная организация по стандартизации

Всемирная организация стандартов всех видов. Несколько стандартов, связанных с измерениями, перечислены в других местах этой книги. Что касается расходомеров, то одним из важных примеров является международный стандарт 5167, касающийся диафрагм и трубок Вентури. www.iso.org

Германская ассоциация по стандартизации для технологий измерения и управления в химической промышленности

Германское / европейское сообщество по различным техническим вопросам. Два примера в области измерений – это уровни сигналов и взрывозащищенная конструкция, где обычно используются стандарты Германской ассоциации стандартизации для технологий измерения и управления в химической промышленности. www.namur.net

Национальный институт по стандартизации и технологиям

Национальный институт стандартов и технологий – это измерительный центр США, расположенный недалеко от Вашингтона, округ Колумбия. Национальный институт по стандартизации и технологии-дом американских измерительных позиций, и выражение ‘прослеживаемый к Национальному институту по стандартизации и технологиям’ известно. www.nist.gov

Международная организация по законодательной метрологии

Международная организация законодательной метрологии является дочерней организацией МБМВ, но с упором на законодательную метрологию (главным образом, измерения, связанные с платежами, налогами и аналогичными процессами). www.oiml.org

Межамериканская метрологическая система

Межамериканская метрологическая система охватывает вопросы измерений и метрологии для государств-членов Организации Американских Государств (ОАГ). www.sim-metrologia.org.br

Западноевропейское сотрудничество по законодательной метрологии

Члены большинства европейских институтов законодательной метрологии сосредоточены на создании единого подхода как к национальным законам, так и к законам ЕС, связанным с законодательной метрологией. www.welmec.org

Рабочая группа по потокам жидкости

Рабочая группа по потокам жидкости является рабочей группой в рамках МПМР. В рамках МБМВ существуют рабочие группы, выполняющие различные задачи, связанные с практическими измерениями и другими действиями по обеспечению международной прослеживаемости. Одной из важных задач является организация международных сопоставлений измерений (‘ круговых ’ калибровок).

ТАБЛИЦА 13.1

Национальные метрологические лаборатории

Страна / регион	Национальная метрологическая лаборатория	Сайт
Австрия	Цифровое кадастроое агенство	www.bev.gt.at
Китай	Национальный институт метрологии Китая	www.nim.ac.cn
Китай	Шанхайский инспекционно-испытательный институт приборов и автоматических систем	www.sitiias.cn
Чешская Республика	Чешский метрологический институт	www.cmi.cz
Финляндия	Центр метрологии и аккредитации/Финское агенство по безопасности и химии	www.mikes.fi
Франция	Национальная испытательная лаборатория	www.lne.fr
Германия	Немецкий национальный метрологический институт	www.ptb.de
Греция		www.eim.gr
Италия	Организация итальянской метрологии	www.inrim.it
Япония	Национальный метрологический институт Японии	www.nmij.jp
Нидерланды	Голландский национальный метрологический институт	www.vsl.nlwww.nmi.nl
Норвегия	Норвежская метрологическая служба	www.justervesenet.no
Россия	Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии	www.vniim.ru
Южная Корея	Национальный метрологический институт, представляющий Республику Корея	www.kriss.re.kr
Швеция	Национальный институт метрологии Швеции	www.sp.se
Швейцария	Федеральный институт метрологии Швейцарии	www.metas.ch
Тайвань	Научно-исследовательский институт промышленных технологий Тайваня	www.itri.org.tw
Великобритан ия	Национальный институт измерений	www.npl.co.ukwww.tuvnel.com
США	Национальный институт по стандартизации и технологии	www.nist.gov
<i>Примечание:</i> дополнительные ссылки и обновленную информацию можно найти на www.measurement.academy .		

Глоссарий

Привод

Привод-это компонент, который отвечает за перемещение механизма или составной части – своего рода двигатель. Привод на клапане автоматически открывает или закрывает клапан. Он может быть гидравлическим, пневматическим или электрическим.

Аналог

Аналоговый (или моделирующая система) сигнал-это сигнал без ‘шагов’. В некотором смысле, аналог является противоположностью цифровому. Однако на практике большинство аналоговых сигналов все равно являются цифровыми, поскольку они вырабатываются в цифровом преобразователе. С преобразователем высокого разрешения, есть много шагов и качество сигнала хорошее.

Произвольный

Метод или данные, согласованные (или обычно используемые), но не основанные на фиксированном стандарте или законе.

Автоклав

Автоклав представляет собой камеру под давлением, которая может быть использована для высокотемпературной очистки (стерилизации) различных инструментов и компонентов.

Партия

Партия означает ‘доза’, ‘объем’ или ‘часть’ в производственном процессе, в котором компоненты или товары производятся партиями (группами), а не в непрерывном потоке.

Обход

Обход в основном означает способ обойти. В перерабатывающей промышленности это в основном относится к клапану, который (если он открыт) пропускает жидкость через определенный компонент (например, фильтр). В насосе перепускной клапан позволяет некоторому потоку течь из выпускного отверстия обратно к впускному отверстию, и это приведет к возможному способу регулирования давления, создаваемого насосом.

Вместимость

Емкость бака или контейнера равна общему объему пространства. Когда резервуар частично заполнен, *объем* относится к содержанию в резервуаре (количество хранимого продукта), а *незаполненный объем* – это оставшееся пространство.

Коаксиальный

Коаксиальный кабель представляет собой один проводник с экраном вокруг. Коаксиальная труба похожа, стержень внутри трубы. Коаксиальные кабели обычно используются для передачи сигналов с высокой частотой.

Коэффициент

Коэффициент – это мультипликативный фактор, число, описывающее влияние определенного эффекта. Например, коэффициент трения характеризует отношение силы трения между двумя телами.

Конденсация

Если воздух или газ охлаждается, в нем нет места для того же количества воды, что и в горячем воздухе или газе. Вода затем сгущается и образует жидкость. Следует избегать образования конденсата внутри трубы или инструмента, так как это может вызвать проблемы. Поскольку минералы и другие части обычной водопроводной воды не будут следовать, конденсат обладает другими свойствами, например, очень низкая проводимость.

Загрязнение

Загрязненное устройство примерно равно грязному устройству, но в большинстве случаев загрязненное устройство разрушается, поскольку его невозможно очистить.

Дифференциал

Используя “дифференциальную технику”, можно избежать многих проблем, связанных с измерением. Для примера возьмем датчик давления, на который влияет температура окружающей среды, то есть погрешность измерения больше при 30 °С, чем при 20 °С. Если мы сейчас установим два таких датчика, где только один подключен к процессу, а другой к атмосфере, мы можем вместо этого посмотреть на разницу между двумя показаниями давления. Делая это, теперь у нас есть значение, не зависящее от температуры! Это предполагает, что температурная зависимость является повторяемой и систематической.

ЕС

Государствами-членами Европейского союза (ЕС) являются Австрия, Бельгия, Болгария, Венгрия, Германия, Греция, Дания, Ирландия, Испания, Италия, Кипр, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Польша, Португалия, Румыния, Словакия, Словения, Соединенное Королевство, Финляндия, Франция, Хорватия, Чешская Республика, Швеция и Эстония (2016).

Жидкая среда

Жидкая среда может быть жидкостью или газом. В Газе молекулы находятся далеко друг от друга, что делает газ сжимаемым, и он будет расширяться, если внешний при удалении внешнего давления.

В жидкости молекулы находятся ближе друг к другу, и жидкость не будет расширяться, если будет снято внешнее давление. Также жидкость может быть сжата, но только незначительно. Температура и давление будут влиять на эти свойства и даже могут превратить газ в жидкость или наоборот. *Пар* – это газ, свойства которого близки к жидкости.

Измерительный прибор

Манометр может не только относиться к шкале измерения (чаще всего давления), но также может быть устройством для измерения давления, температуры или потока.

Полное сопротивление

Внутреннее сопротивление и емкость или индуктивность приводят к полному сопротивлению. Например, громкоговоритель в системе HIFI маркируется полным сопротивлением. Также другие электрические системы (входы/выходы) имеют указанные пределы сопротивления.

Ионизация

Ионизация – это процесс, который удаляет электроны из атомов. Атомы становятся положительно заряженными и называются ионами.

Кинетическая энергия

Кинетическая энергия объекта – это энергия, которой он обладает благодаря своему движению.

Линейный

Линейное отношение – это отношение, которое можно проиллюстрировать на диаграмме прямой линией. В измерительном приборе хорошо, если вход (например, температура) и выход (например, сигнал мА) имеют линейную зависимость.

Магнетит

Магнетит является минералом и содержится в железной руде. Тем не менее, это также название отложений, обнаруженных внутри труб в системе отопления. Поскольку он содержит железо, он будет проводить электрический ток и, таким образом, действовать как короткое замыкание, например, в индуктивном расходомере.

Метролог

Метеоролог- это человек, который работает или изучает метрологию, измерительную технику и/или веса и меры. Обратите внимание, что метеорология отличается, поскольку это относится к атмосфере и погодным явлениям.

Макет

Масштабная или в натуральную величину копия трубопровода (или любой конструкции), созданная с целью испытания или демонстрации функций и характеристик.

Молекула

Молекула- это группа атомов, обладающая определенным свойством. Существуют небольшие группы, такие как водород с двумя атомами, или большие группы, такие как нефтепродукты. Именно молекулы позволяют нам воспринимать как температуру, так и давление.

Сиюминутный

Сиюминутное означает длящееся очень короткое время, кратко. Мгновенный сигнал всегда будет следовать за значением процесса, например, давлением или температурой. Сумматор отличается, и вместо этого он будет добавлять больше к общей сумме с увеличением стоимости процесса. Когда значение процесса становится равным нулю, мгновенное значение также становится равным нулю, и сумматор останавливается на текущем значении.

Сдвиг фазы

При сравнении двух сигналов можно наблюдать фазовый сдвиг (или разницу), и время задержки для одного из них становится больше или меньше.

Трубка Пито

Трубка Пито – это своего рода расходомер, труба с открытым концом, направленным против движущейся жидкости. Существует также еще одно отверстие, не подверженное движению. Из-за энергии импульса, будет

разница в давлении. Трубка Прандтля представляет собой аналогичное устройство, но со множеством отверстий, подверженных воздействию жидкости в движении, что приводит к эффекту усреднения.

Пневматический

Энергия (или сигнал) передается сжатым воздухом. Многие инструменты являются пневматическими и приводятся в движение сжатым воздухом.

Точный

Точная мера близка к совершенно точной мере. В повседневном языке точное используется для устройств с небольшими ошибками, например, линейка с небольшими делениями (например, миллиметры). Слово драгоценный-другое, со значением ценный.

Прессовое оборудование

Прессовое оборудование означает паровые котлы, резервуары, трубопроводы, предохранительные клапаны и другие компоненты, подверженные нагрузке под давлением. Все такие устройства должны производиться под контролем в соответствии с утвержденным проектом. Мелкие предметы и предметы, подверженные ограниченному давлению, не включены.

Пульсация

Пульсация – это периодическое увеличение и уменьшение давления, температуры, объема или тому подобное. В процессе, это главным образом (но не всегда) что-то нежелательное, создающее проблемы как для инструментов, так и для других компонентов.

Избыточный

Резервная система подготовлена для неисправности. Это могут быть, например, два микропроцессора, один из которых находится в режиме ожидания и готов к запуску, если главный узел перестанет работать. Резервные системы с двойными датчиками или исполнительными механизмами широко распространены в приложениях по безопасности.

Исходная величина

Здесь исходное значение относится к ‘истинному’ значению. Прочитав эту книгу, вы поймете, что вряд ли что-то является абсолютно верным, поэтому, если быть точным, эталонное значение – это то, что ‘в целом считается верным’. Это очень фундаментальное объяснение, как правило не нужное в обычной работе.

Воспроизводимый

Если делать одно и то же снова и снова с одним и тем же результатом, процесс повторяется. В измерениях это очень хорошо. Если вы, например, ставите один и тот же вес на весы много раз, конечно, вы хотите, чтобы дисплей всегда показывал одну и ту же массу. Весы с хорошей воспроизводимостью сделают это.

RH – Относительная влажность

Влага в воздухе и других веществах измеряется в относительной влажности. 100% относительной влажности воздуха равно максимальному содержанию воды без конденсации (образуя капли).

Это зависит от температуры, и при 20 °C максимальное содержание воды в воздухе составляет около 18 г/м³.

Оценка риска

Оценка риска- это обзор того, что может пойти не так, и возможных последствий. Этот анализ может быть проведен несколькими способами, и все они имеют общий смысл. Тем не менее, некоторые специально разработанные модели доступны, которые помогают ничего не упускать из виду.

Печать

Маркировка или клеймо, сделанные инспектором мер и весов, чтобы показать, что прибор испытан и утвержден. В программируемых устройствах печать также может быть в виде пароля.

Норматив

Слово стандарт может относиться к нескольким вещам. Документ, описывающий общий метод или конструкцию, является стандартом. Установленная мера, которая действует как исходная (или 'верная') при измерении, например, длины, объема и массы, также является стандартом.

Систематический

Систематический в общих чертах означает в соответствии с установленной процедурой или принципом. Систематическая ошибка имеет аналогичное определение и может произойти из-за того, что что-то не так с инструментом или потому, что инструмент неправильно используется. Другие типы ошибок непредсказуемы и случайны.

Фальсификация

Подделка инструмента не допускается, так как это означает вмешательство или подделку данных.

Тепловой

Энергия передается горячей или холодной жидкостью. Одним из примеров является паровая турбина, в которой горячий пар используется для выработки механической энергии. Другим примером является центральное отопление, когда дома отапливаются от центральной тепловой станции.

Постоянная времени

Все приборы имеют внутреннее время обработки, что приводит к задержке между фактическим изменением условий процесса и изменением выходного сигнала. Эту задержку можно описать и сформулировать многими способами. Время действия в техническом паспорте может быть временем между 10% и 90% изменения сигнала при внезапном изменении ввода. Это также может быть время от 0% до 100% или от 0% до 63% (обычно для механических систем).

Отслеживание

Отслеживание очень важно для всех измерительных приборов. Отслеживаемые измерения надежно связаны с исходными и международными стандартами. Без измерения отслеживаемости результаты нельзя сравнивать с измерениями, выполненными другими приборами.

Допустимое отклонение

Допуск-это допустимая ошибка или допустимое отклонение.

Проверить

Если ваша работа заключается в проверке инструмента, вы должны проверить, что он работает и в хорошем состоянии. Также вы должны проверить, правильно ли он измеряет; то есть вы должны откалибровать его и убедиться, что погрешности измерений находятся в установленных пределах. Проверка также может включать проверку серийного номера, версии программного обеспечения и настроек конфигурации.

Приложение: Физические данные и свойства материалов

Все таблицы содержат только ориентировочные общие данные (Таблицы А.1 – А.30). Для получения проверенной и отслеживаемой информации вам необходимо связаться с поставщиком конкретного продукта, используемого в вашем процессе.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: Несоблюдение этого требования может привести к серьезным травмам.

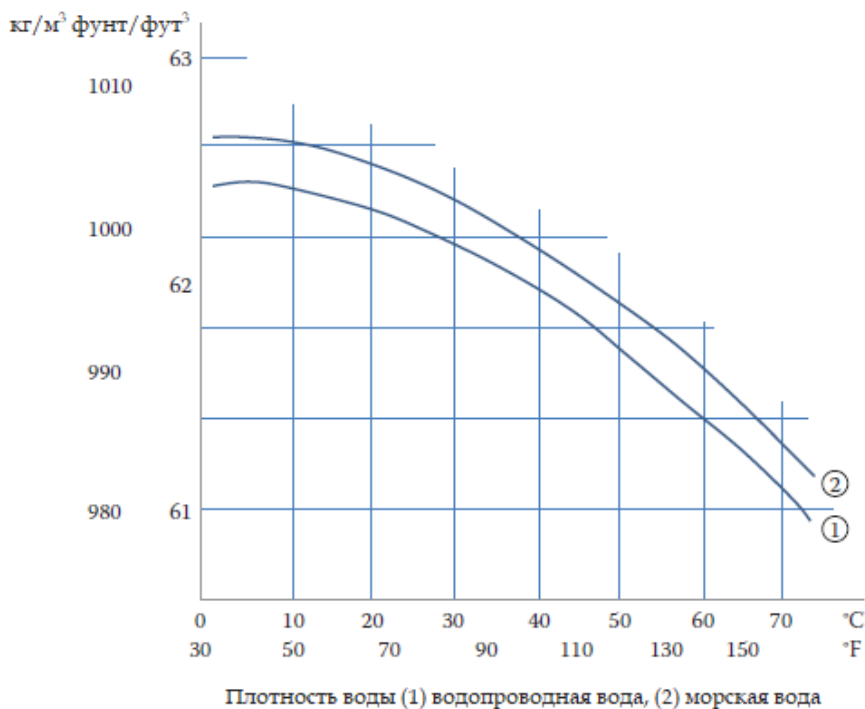


ТАБЛИЦА А.1

Плотность и вязкость воды					
Температура		Плотность ^а		Плот-ность ^б	Вязкость
°C	°F	г/см ³	фунты/ фут ³	г/см ³	сСт
0,0	32,0	0,99987	62,416	0,99984	
4,0	39,2	1,00000	62,424	0,99976	1,6
4,4	40,0	0,99999	62,423	0,99974	
10,0	50,0	0,99975	62,408	0,99970	1,3
15,6	60,0	0,99907	62,366	0,99901	
21,0	70,0	0,99802	62,300	0,99799	1,0
26,7	80,0	0,99669	62,217	0,99660	
32,1	90,0	0,99510	62,118	0,99500	0,8
37,8	100	0,99318	61,998	0,99305	
48,9	120	0,98870	61,719	0,99854	0,6
60,0	140	0,98338	61,386	0,98321	
71,1	160	0,97729	61,006	0,97715	0,4
82,2	180	0,97056	60,586	0,97042	
93,3	200	0,96333	60,135	0,96307	0,3
100	212	0,95865	59,843	0,95835	

^а Чистая» вода (в зависимости от качества и минерального состава). Морская вода содержит соль и имеет плотность, которая примерно на 2,7% выше.

^б Дистиллированная вода (справочные данные Международной ассоциации по свойствам воды и пара).

ТАБЛИЦА А.2

Плотность и вязкость воздуха при атмосферном давлении

Температура		Плотность, сухой воздух (0%)		Влажный воздух		Вязкость
°C	°F	кг/м ³	фунты/фут ³	(50% RH) г/см ³	(100% RH) г/см ³	сСт
-10	14	1,341	0,084	1,340	1,340	12,3
0	32	1,292	0,081	1,291	1,289	13,2
10	50	1,247	0,079	1,244	1,241	14,0
15	59	1,225	0,076	—	—	18,0
20	68	1,204	0,075	1,199	1,193	15,0
30	86	1,164	0,073	—	—	16,1

ТАБЛИЦА А. 3

Плотность и вязкость выбранных жидкостей (при 20 °С)

Вещество	Плотность (кг/м ³)	Вязкость (ССТ)
Ацетон	790	0,5–1,3
Этиловый спирт	850	1–2
Аммиак 10%	900	1
Бензальдегид 0,1%	1050	1
Кровь	1060	5–10
Бром	3100	0,3
Бутан	580	0,1
Бутанол	810	1,2
Циклогексанол	960	70
Дизельное топливо	830	5
Этанол	790	5
Эфир	710	1
Этиленгликоль	1110	95
Фенол	1070	10
Рыбий жир (печень)	930	35
Керосин	780	2,5
Глицерин	1260	500–1000
Гептан	680	15
Гексан	660	0,6
Мед	1400–1600	1000–2000
Изобутанол	810	12
Изопропанол	780	3
Арахисовое масло	910	45
Хлороформ	1480	0,4
Кокосовое масло	930	60
Льняное масло	930	30–50
Майонез	900–1100	5000–6000
Метанол	790	0,8
Молоко	1003–1040	2–4
Муравьиная кислота	1220	1,5
Гидроксид натрия 20%	1220	0,8
Гидроксид натрия 40%	1430	14
Гидроксид натрия 50%	1530	25
Гидроксид натрия 100%	2130	–
Пропиленгликоль	1040	55
Азотная кислота 10%	1050	5
Азотная кислота 100%	1510	–
Соляная кислота 20%	1100	1

(Продолжение)

Таблица А. 3 (Продолжение)

Плотность и вязкость выбранных жидкостей (при 20 °С)

Вещество	Плотность (кг/м ³)	Вязкость (ССТ)
Сироп темный при 20 °С	1300–1400	7800
Сироп темный при 20 °С	1300–1400	900
Сливочное масло	860	100000
Серная кислота 96%	1840	50
Серная кислота 98%	1840	16
Уксусная кислота	1050	2
Пиво	1010	2
Мазут (дистиллят)	850–950	2–15

Таблица А.4

Плотность, вязкость и изэнтропический коэффициент
выбранных газов (при 0 °С и 0 бар г)

Вещество		Плотность (кг/м ³)	Вязкость (сП)	K ^a (C _p / C _v)
Ацетилен	C ₂ H ₂	1,17	0,009	1,2
Аммиак	NH ₃	0,77	0,009	1,4
Аргон	Ar	1,78	0,021	1,6
Азот	N ₂	1,25	0,017	1,4
Бутан	C ₄ H ₁₀	2,67	0,008	1,1
Этан	C ₂ H ₆	1,36	0,008	1,2
Этилен	C ₂ H ₄	1,26	0,010	1,2
Гелий	He	0,18	0,019	1,7
Хлор	Cl ₂	3,22	0,012	1,4
Кислород	O ₂	1,43	0,020	1,4
Метан	CH ₄	0,72	0,010	1,3
Озон	O ₃	2,14	0,030	1,7
Пропан	C ₃ H ₈	2,02	0,008	1,1
Углекислый газ	CO ₂	1,98	0,014	1,3
Моноксид углерода	CO	1,25	0,017	1,4
Водород	H ₂	0,09	0,008	1,4

Коэффициент изэнтропии / коэффициент теплоемкости.

Таблица А.5

Электропроводность выбранных жидкостей

Вещество	Температура (°C)	Электропроводность (μS/cm)
Уксусная кислота (1%)	18	300
Ацетон	18	0,02
Чёрный щёлок	90	5000
Этиловый спирт	25	0,001
Гликоль, этилен	20	1
Нефть		<0,001
Вода, город	25	10–500
Вода, расстояние		<0,04

Таблица А.6

Проводимость некоторых твердых материалов (при 20 °C)

Вещество	Проводимость (S/m)
Серебро	$6,3 \times 10^7$
Медь	$6,0 \times 10^7$
Золото	$4,1 \times 10^7$
Алюминий	$3,5 \times 10^7$
Платина	$0,9 \times 10^7$
Сталь	$1,4 \times 10^7$
Ртуть	$0,1 \times 10^7$
Силиконовый каучук	$1,6 \times 10^{-3}$
Резина	1×10^{-14}
Фторопласт	1×10^{-24}
Воздух	5×10^{-15}

Таблица А.7

рН выбранных жидкостей

	рН	Вещество
3	Лимонный сок	Кислый
5	Кофе	
7	Вода	Нейтральная
9	Мыло	Основное
11	Бытовая химия	

Таблица А.8

Диэлектрическая проницаемость выбранных материалов

Вещество	ε
Ацетон	1
Воздух	1
Гидроксид алюминия	2,2
Аммиак	16–25
Зола	1,5–2,5
Асфальт	2,5–3,5
Бутан	1,4
Бутанол	18
Кальций	3
Углекислый газ	1,6
Хлор	1,5
Этанол	24
Бензин	2
Стекло	4–14
Соляная кислота	4,6
Водород	1–2
Кевлар	3,4–4,5
Сжиженная пропан-бутановая смесь	1,6–1,9
Метан	1,7
Неопрен	4–7
Оливковое масло	3
Бумага	1–3
Парафин	2–3
Нефть	1,5–2,5
Полиэтилен	2–3
Кварц	4–5
Резина	2–7
Песок	4–6
Силикон	3–5
Диоксид серы	16
Фторопласт	2
Вода дистиллированная	30–80
Пшеничная мука	3–5
Древесина (сухая)	1–6

Таблица А.9

Скорость звука при 20–25 °С

Материал	v (м/с)	Жидкость	v (м/с)	Газ	v (м/с)
Медь	3000–6000	Вода	1495	Воздух –10 °С	325
Сталь	5000–6000	Вода, море	1534	Воздух 0 °С	331
Алюминий	3000–6000	Дизельное топливо	1324	Воздух 10 °С	337
Стекло	4000–5000	Этанол	1207	Воздух 20 °С	343
Пробка	300–500	Бензин	1171	Воздух 30 °С	349
Бетон	3000–4000			Гелий	965
Золото	3200			Водород	1270
Резина	3000–4000 100–1800				

Таблица А.10

Теплоемкость воды

Температура (°С)	Теплосодержание (Дж/кг °С)	Давление (кПа) (а)
0,01	4218	100
10	4192	100
20	4182	100
30	4178	100
40	4179	100
50	4181	100
100	4216	101
150	4342	476
200	4497	1550

Таблица А.11

Коэффициент излучения

Материал	ε
Совершенный излучатель	1,00
Кожа человека	0,98
Вода	0,95
Металл, окрашенный в черный цвет	0,9
Бумага, картон	0,8
Медь окисленная	0,7
Нержавеющая сталь	0,6
Оцинкованная сталь	0,5–0,3
Нержавеющая сталь, полированная	0,1

Таблица А.12

Номинальное сопротивление PRT (IEC 60751)

Температура		Сопротивление (Ом)		
°C	°F	Pt-100	Pt-500	Pt-1000
-20	-4	92,160	460 8	921 6
-10	14	96,086	480 4	960 9
0	32	100 00	500 0	1000,0
10	50	103 90	519 5	1039,0
20	68	107 79	539 0	1077,9
50	122	119 40	597 0	1194,0
100	212	138 51	692 5	1385,1

Таблица А.13

Прецизионные классы датчиков Pt-100 (IEC 60751)

Температура (°C)	Максимальное Отклонение (°C)				
	Класс				
	A	B	1/3 B	1/6 B	1/10 B ^a
0	±0,15	±0,3	±0,1	±0,05	±0,03
100	±0,35	±0,8	±0,6	±0,55	±0,53
200	±0,55	±1,3	±1,1	±1,05	±1,03
400	±0,95	±2,3	±2,1	±2,05	±2,03

^a 1/10 класса B, как правило, не может быть гарантировано в прикладной процесс.

Таблица А.14

Калибровочные точки ITS-90 (CIPM)

Материал	Температура			Тип
	К	°C	°F	
Водород (H)	13,8033	−259,3467	−434,8241	Тройная точка
Неон (Ne)	24,5561	−248,5939	−415,4690	Тройная точка
Кислород (O)	54,3584	−218,7916	−361,8249	Тройная точка
Аргон (Ar)	83,8058	−189,3442	−308,8196	Тройная точка
Ртуть (Hg)	234 3156	−38,8344	−37,9019	Тройная точка
Вода (H ₂ O)	273,16	0,01	32,02	Тройная точка
Галлий (Ga)	302 9146	29,7646	85,5763	Температура плавления
Индий (In)	429 7485	156 5985	313 8773	Точка замерзания
Олово (Sb)	505 078	231 928	449 470	Точка замерзания
Цинк (Zn)	692 677	419 527	787 149	Точка замерзания
Алюминий (Al)	933 473	660 323	1220,581	Точка замерзания
Серебро (Ag)	1234,93	961 78	1763,20	Точка замерзания
Золото (Au)	1337,33	1064,18	1947,52	Точка замерзания
Медь (Cu)	1357,77	1084,62	1984,32	Точка замерзания

Таблица А.15

Термическое расширение выбранных материалов

Вещество	Удлинение (%/°C)	Расширение объема (%/°C)
Сталь	0,0011	0,0034
Нержавеющая сталь	0,0017	0,0051
Медь	0,0017	0,0050
Стекло	0,0007	0,0021
Пластик (PVC)	0,0052	0,0156

Таблица А.16

Свойства пара

Давление (барг)	Температура (°C)	Плотность (кг/м³)	Вязкость (сР)	Коэффициентиз энтропии	Сжимаемость
1,0	120	1,14	0,013	1,31	0,98
2,0	134	1,66	0,013	1,31	0,97
3,0	145	2,17	0,014	1,31	0,96
4,0	152	2,67	0,014	1,31	0,96
5,0	159	3,17	0,014	1,30	0,95
6,0	165	3,67	0,015	1,30	0,94
7,0	171	4,17	0,015	1,30	0,94
8,00000	175	4,66	0,015	1,30	0,93
9,00000	180	5,15	0,015	1,30	0,93
10,0000	184	5,64	0,015	1,30	0,92
11,0000	188	6,13	0,015	1,30	0,92
12,0000	192	6,62	0,015	1,30	0,92
13,0000	195	7,11	0,016	1,30	0,91
14,0000	198	7,60	0,016	1,29	0,91
15,0000	201	8,09	0,016	1,29	0,90
16,0000	204	8,58	0,016	1,29	0,90

Таблица А.17

Поток и скорость

Измерение		Поток				
Немец-кий инсти-тут стан- дартов	Нац. инсти- тут стандар- тизации США	l/min	м³/ч	l/s	Великобритания галлоны/ч	США галлоны/ч
10	3/8"	4,71	0,28	0,078	62,2	74,7
15	1/2"	10,6	0,64	0,177	139,9	168 0
25	1"	29,4	1,77	0,491	388 0	466 0
40	1 ½"	75,4	4,52	1,257	995 1	1195
50	2"	118	7,07	1,964	1557	1870
80	3"	302	18,1	5,026	3986	4787
100	4"	471	28,3	7,854	6216	7466

Таблица А.18

Электрические кабели / Типичное сопротивление кабеля (Cu)

Площадь (мм ²)	AWG ^a средн.	Сопротивление (мΩ/м)	Приблизительно. Максимальная нагрузка (А) ^b
0,5	20	35	1,5–3
0,75		22	3–6
1	17	17	5–10
1,5		11	8–16
2,5	13	7	
4		4	

^a Американский датчик провода.

^b Соблюдайте местные правила.

Таблица А.19

Электрические кабели / Цветовые коды кабелей

Цвет	Код
Синий	БУШЕЛЬ
Коричневый	BN
Зеленый	GN
Желтый	YE
Красный	RD
Черный	BK

Таблица А.20

Действие выталкивающей силы воздуха

Материал	Плотность (кг/м ³)	Поправка
Золото	19300	–0,1%
Сталь	8000	±0,0%
Вода	1000	+0,1%
Дерево	500	+0,2%
Пенопласт	30	+4,2%

Таблица А.21

Размеры трубы – Наружный диаметр

Номиналь-ный размер	Наружный диаметр			
	Междуна-родная организа-ция по стандар-тизации	Немецкий институт стандартов	АОИМ	ЕН
1/2" (DN15)	21,3	20,0	21,3	21,3
3/4" (DN20)	26,9	25,0	26,7	26,9
1" (DN25)	33,7	30,0	33,4	33,7
1 ½" (DN40)	48,3	44,5	48,3	48,3
2" (DN50)	60,3	57,0	60,3	60,3
3" (DN80)	88,9	88,9	88,9	88,9
4" (DN100)	114,3	108,0	114,3	114,3
6" (DN150)	168,3	159,0	168,3	168,3
8" (DN200)	219,1	216,0	219,1	219,1
10" (DN250)	273,0	267,0	273,0	273,0
12" (DN300)	323,9	318,0	323,9	323,9

Таблица А.22

Размеры трубы – внутренний диаметр EN^a

Номинальный размер	Класс					
	1	2	3	4	5	6
1/2" (DN15)		17,3	16,1	14,9	13,3	21,3
3/4" (DN20)		22,3	21,7	20,5	18,9	17,9
1" (DN25)		28,5	27,3	25,7	24,7	22,5
1 ½" (DN40)		43,1	41,1	40,3	38,3	35,7
2" (DN50)		54,5	53,1	52,3	49,1	46,1
3" (DN80)		82,5	80,9	77,7	72,9	71,3
4" (DN100)		107,1	105,3	101,7	96,7	92,3
6" (DN150)	160,3	159,3	157,1	154,1	146,3	139,9
8" (DN200)	210,1	206,5	204,9	203,1	194,1	187,1
10" (DN250)	263	260,4	255,4	253	248	241
12" (DN300)	312,7	309,7	306,3	303,9	298,9	288,9

^a DIN EN 10253–2.

Таблица А.23

Размеры трубы – Внутренний диаметр ISO^a

Номинальный размер	Класс				
	1	2	3	4	5
1/2" (DN15)	18,1		17,3	14,9	13,3
3/4" (DN20)	23,7		22,3	20,5	18,9
1" (DN25)	29,7		28,5	27,3	25,7
1 1/2" (DN40)	44,3		43,1	40,3	38,3
2" (DN50)	56,3		54,5	51,5	49,1
3" (DN80)	84,3		82,5	77,7	72,9
4" (DN100)	109,1		107,1	101,7	96,7
6" (DN150)	163,1	160,3	159,3	154,1	146,3
8" (DN200)	213,3	210,1	206,5	203,1	194,1
10" (DN250)	267,2	263	260,4	255,4	244,6
12" (DN300)	318,1	312,7	309,7	303,9	291,9

^a ISO 1127.

Таблица А.24

Размеры трубы – Внутренний диаметр ASME^a

Номинальный размер	Класс					
	20	40/STD	80/XS	120	160	/XXS
1/2" (DN15)		15,8	13,9		11,8	6,4
3/4" (DN20)		20,9	18,8		15,5	11,0
1" (DN25)		26,6	24,3		20,7	15,2
1 1/2" (DN40)		40,9	38,1		34,0	27,9
2" (DN50)		52,5	49,3		42,9	38,1
3" (DN80)		77,9	73,7		66,7	58,5
4" (DN100)		102,3	97,1	92,1	87,5	80,1
6" (DN150)		154,1	146,3	139,7	131,7	124,3
8" (DN200)	206,3	202,7	193,7	182,7	173,1	174,7
10" (DN250)	260,2	254,4	242,8	230,2	215,8	222,3
12" (DN300)	311,1	303,3	288,9	273,1	257,3	

^a ASME B 36.10– 19.

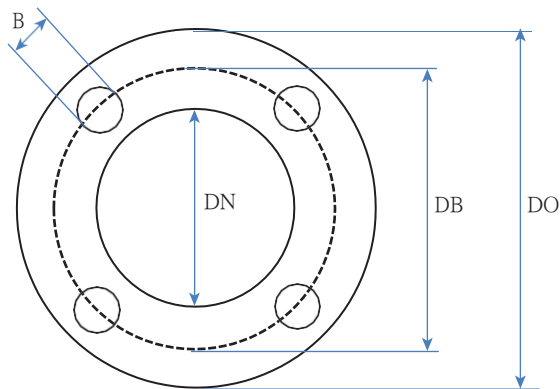


Диаграмма A.1

Номинальные размеры фланца (таблицы A.25–28).

Таблица A.25

Размеры фланца – DIN, PN6, PN10 и 16^a

Немец-кий институт стандар-тов	PN6			PN10			PN16			
	DN	DO	DB	BOLTS	DO	DB	BOLTS	DO	DB	BOLTS
	10	75	50	4 × 11	90	60	4 × 14	90	60	4 × 14
	15	80	55	4 × 11	95	65	4 × 14	95	65	4 × 14
	20	90	65	4 × 11	105	75	4 × 14	105	75	4 × 14
	25	100	75	4 × 11	115	85	4 × 14	115	85	4 × 14
	40	130	100	4 × 14	150	110	4 × 18	150	110	4 × 18
	50	140	110	4 × 14	165	125	4 × 18	165	125	4 × 18
	80	190	150	4 × 18	200	160	4 × 18	200	160	8 × 18
	100	210	170	4 × 18	220	180	8 × 18	220	180	8 × 18
	150	265	225	8 × 18	285	240	8 × 22	285	240	8 × 22
	200	320	280	8 × 18	340	295	8 × 22	340	295	12 × 22
	250	375	335	12 × 18	395	350	12 × 22	405	355	12 × 26
	300	440	395	12	445	400	12 × 22	460	410	12 × 26

^a Номинальные размеры в дюймах, другие размеры в мм, включая количество и размер болтов в мм. (размер, DO, DB – см. рисунок A.1) а) номинальное давление в барах.

Таблица А.26

Размеры фланца – DIN, PN25 и PN40^a

Немецкий институт стандартов	PN25				PN40		
	DN	DO	DB	BOLTS	DO	DB	BOLTS
	10	90	60	4 × 14	90	60	4 × 14
	15	95	65	4 × 14	95	65	4 × 14
	20	105	75	4 × 14	105	75	4 × 14
	25	115	85	4 × 14	115	85	4 × 14
	40	150	110	4 × 18	150	110	4 × 18
	50	165	125	4 × 18	165	125	4 × 18
	80	200	160	4 × 18	200	160	8 × 18
	100	235	190	8 × 22	235	190	8 × 22
	150	300	250	8 × 26	300	250	8 × 26
	200	360	310	12 × 26	375	320	12 × 30
	250	425	370	12 × 30	450	385	12 × 33
	300	485	430	16 × 30	515	450	16 × 33

^a Номинальные размеры, включая количество и размер болтов в мм (размер, DO, DB - см. рисунок А. 1) а) номинальное давление в барах.

Таблица А.27

Размеры фланца – ANSI^a

Национальный институт стандартизации США	150 фунтов			300 фунтов			600 фунтов		
	АЭС	DO	DB BOLT S	DO	DB	BOLTS	DO	DB	BOLTS
1/2"	89	60	4 × 16	95	67	4 × 16	95	67	4 × 16
3/4"	99	70	4 × 16	117	83	4 × 20	117	82	4 × 19
1"	108	80	4 × 16	124	89	4 × 20	124	89	4 × 19
1 ½"	127	98	4 × 16	156	114	4 × 23	156	114	4 × 22
2"	152	121	4 × 20	165	127	8 × 20	165	127	8 × 19
3"	190	152	4 × 20	210	168	8 × 23	210	168	8 × 23
4"	229	190	8 × 20	254	200	8 × 23	273	216	8 × 26
6"	279	241	8 × 23	318	270	12 × 23	355	292	12 × 29
8"	343	298	8 × 23	381	330	12 × 23	419	349	12 × 32
10"	406	362	12 × 26	445	387	16 × 32	508	432	16 × 35
12"	482	431	12 × 26	520	450	16 × 35	558	489	20 × 35

^a ANSI/ASME B16.5.

На заметку: Номинальные размеры в дюймах, другие размеры в мм, включая количество и размер болтов в мм (размер, DO, DB – см. рисунок А.1): а) номинальное давление в барах.

Таблица А. 28

Размеры Фланца – JIS^a

JIS		10 кгс/см ²		16 кгс/см ²		40 кгс/см ²			
10	90	65	4 × 15	90	65	4 × 15	110	75	4 × 19
15	95	70	4 × 15	95	70	4 × 15	115	80	4 × 19
20	100	75	4 × 15	100	75	4 × 15	120	85	4 × 19
25	125	90	4 × 19	125	90	4 × 19	130	95	4 × 19
40	140	105	4 × 19	140	105	4 × 19	160	120	4 × 23
50	155	120	4 × 19	155	120	8 × 19	165	130	8 × 19
80	185	150	8 × 19	200	160	8 × 23	210	170	8 × 23
100	210	175	8 × 19	225	185	8 × 23	250	205	8 × 25
150	280	240	8 × 23	305	260	12 × 25	355	295	12 × 33
200	330	290	12 × 23	350	305	12 × 25	405	345	12 × 33
250	400	355	12 × 25	430	380	12 × 27	475	410	12 × 33
300	445	400	16 × 25	480	430	16 × 27	540	470	16 × 39

^a японский промышленный стандарт B2220.

На заметку: Номинальные размеры, включая количество и размер болтов в мм. (размер, DO, DB-см. рисунок А. 1) а) номинальное давление в кгс/см².

Таблица А. 29

Эквиваленты стального типа

	EN10027	AISI/ ASTM ^a	UNS
Нержавеющая сталь	1,4301	304	S30400
Нержавеющая сталь	1,4401	316	S31600
Нержавеющая сталь	1,4404	316 L	S31603
Нержавеющая сталь	1,4571	316 Ti	S32100
Inconel [®]	2,4816		N06600
Hastelloy [®]	2,4819		N10276
Сталь	1,0460	SA105/C22.8	
Сталь	1.5415/16Mo3	A204 Gr.A	

^a Идентичные или похожие свойства.

Таблица А.30

Коррозия / Химическая стойкость материалов

Жидкая среда		Углеродистая сталь	Me	St	St	Сплав		Фторопласт		
				Сталь 304	Сталь 316	Хастеллой Титан	Резина	Витон®		
Уксусная Кислота 20%	CH ₃ COOH	D D	B B	B D	A B	A A	A A	B C	C C	B B
Уксусная Кислота 80%	CH ₃ COOH									
Пары уксусной кислоты		–	B	D	D	A	A	A	A	A
Ацетон, 50% вода	CH ₃ COCH ₃	–	–	B	B	A	A	D	D	A
Ацетилен	CH ₂	A	D	A	A	–	–	B	A	A
Хлорид алюминия	AlCl ₃	A	B	B	B	A	B	A	A	A
Хлорид Алюминия 20%	AlCl ₃		–	D	C	A	B	A	A	A
Фторид Алюминия	AlF ₃	D	D	D	D	B	A	B	A	A
Гидроксид алюминия	AlOH ₃	–	D	A	C	B	B	D	A	A
Нитрат алюминия	AlNO ₃	D	–	A	A	–	A	A	A	A
Сульфат Алюминия	Al ₂ SO ₄	D	A	B	B	B	A	A	A	A
Аммиак 10%	NH ₃	–	D	A	A	A	C	D	D	A
Хлорид аммония	NH ₄ F	D	D	C	B	D	B	A	A	A
Гидроксид аммония	NH ₄ OH	D	D	A	A	B	B	D	B	A
Сульфат Аммония	(NH ₄) ₂ SO ₄	D	D	B	B	B	A	A	A	A
Сульфит Аммония	(NH ₄) ₂ S	D	D	B	B	–	–	A	D	A
Антифриз («гликоль»)		–	–	B	A	A	–	A	A	B
Мышьяковая кислота	H ₃ AsO ₄	D	A	A	A	B	B	B	A	A
Асфальт		B	A	B	A	–	–	D	A	A
Карбонат бария	BaCO ₃	–	A	B	B	B	A	–	A	A
Хлорид бария	BaCl ₂	C	B	A	A	B	A	A	A	A

(Продолжение)

Таблица А. 30 (продолжение)

Гидроксид бария	BaOH ₂	A	–	B	B	B	B	A	A	A
Нитрат бария	Ba(NO ₃) ₂	C	B	B	B	–	A	–	A	A
Сульфат Бария	BaSO ₄	A	B	B	B	A	B	A	A	A
Сульфид Бария	BaS	D	D	B	B	–	A	A	A	A
Пиво		C	B	A	A	A	B	A	A	A
Бензол	C ₆ H ₆	A	B	B	B	B	A	D	A	A
Хлорная известь		D	–	A	A	A	A	D	A	A
Борная кислота	H ₃ BO ₃	D	B	B	A	A	A	A	A	A
Бром	Br	D	–	D	D	A	D	D	A	A
Бутан	C ₄ H ₁₀	A	C	A	A	A	A	D	A	A
Бутанол (Бутиловый Спирт)	C ₄ H ₉ OH	B	–	A	A	B	B	A	A	A
Сливочное масло		–	–	C	A	–	–	D	A	A
Бутилен		A	D	A	A	–	–	D	–	A
Бисульфат кальция	Ca(HSO ₄) ²	D	–	B	A	–	–	A	–	A
Карбонат кальция	CaCO ₃	B	–	A	B	B	B	A	A	A
Хлорид кальция (30% в воде)	CaCl ₂	–	B	C	B	A	A	A	A	A
Хлорид кальция (насыщенный)	CaCl ₂	–	B	B	B	A	A	A	A	A
Гидроксид кальция	CaOH ₂	B	B	B	B	A	A	A	A	A
Гидроксид кальция 10%	CaOH ₂	–	B	B	B	B	A	A	A	A
Нитрат кальция	Ca(NO ₃) ₂	B	–	C	B	–	B	A	A	A
Оксид кальция	CaO	–	–	A	A	A	A	B	B	A

(Продолжение)

Таблица А. 30 (продолжение)

Углекислый газ (сухой)	CO ₂	A	–	A	A	A	A	B	B	A
Углекислый газ (влажный)	CO ₂	C	–	A	A	A	A	B	B	A
Моноксид углерода	CO	A	–	A	A	B	–	D	A	A
Углекислая минеральная вода		–	B	A	A	–	–	–	–	A
Углекислота	H ₂ CO ₃	D	–	A	A	A	B	C	A	A
Хлорная кислота	HClO ₃	D	D	D	C	A	–	C	–	A
Хлорная вода	Cl ₂ + H ₂ O	D	D	C	C	A	A	C	B	A
Хромовая кислота 10%	H ₈ CrO ₅	D	D	B	B	A	B	D	B	A
Хромовая кислота 30%	H ₈ CrO ₅	D	D	B	B	D	A	D	A	A
Лимонная кислота	C ₆ H ₈ O ₇	D	D	B	A	A	A	A	A	A
Кофе		–	–	A	A	A	A	A	A	A
Хлорид меди	CuCl ₂	–	–	D	D	–	D	C	A	A
Дизельное топливо		A	A	A	A	B	B	D	A	A
Этан	C ₂ H ₆	–	A	A	A	–	–	D	A	A
Этанол	C ₂ H ₆ O	B	A	A	A	A	A	A	B	A
Этиленгликоль	C ₂ H ₆ O ₂	B	A	B	B	B	A	A	A	A
Жирные кислоты		C	D	B	A	A	B	C	A	A
Хлорид железа	FeCl ₂	D	D	D	D	B	A	A	A	A
Фтор	F	D	C	C	A	B	D	C	C	D
Формальдегид 100%	CH ₂ O	D	A	C	A	A	A	C	D	A
Формальдегид 40%	CH ₂ O	D	B	A	A	B	B	B	A	A

(Продолжение)

Таблица А. 30 (продолжение)

Топливные масла Для фруктовых соков		–	A	A	A	A	A	A	A	B
		A								
Бензин (высоко-ароматический)		B	B	A	A	A	B	D	A	B
Бензин этилированный, Реф.		B	B	A	A	A	A	D	A	A
Бензин неэтилированный		B	B	A	A	A	A	D	A	A
Желатин		D	A	A	A	A	A	A	A	A
Глицерин		A	A	A	A	A	A	A	A	A
Жир		–	A	A	A	A	–	D	A	A
Гептан	C ₆ H ₁₂	A	A	A	A	A	A	D	A	A
Гексан	C ₆ H ₁₄	A	A	A	A	A	A	D	A	A
Гидравлическое масло (нефть)		A	A	A	A	A	–	D	A	A
Гидравлическое Масло (Синтетическое)		A	A		A	A	–	D	A	A
Гидразин	(NH ₂) ₂	D	A	A	A	–	–	C	B	A
Бромистоводородная кислота 20%	HCl	D	D	D	D	A	A	A	A	A
Соляная кислота 20%	HF	D	D	D	D	A	D	B	A	B
Плавиковая кислота 20%	HFl	D	B	D	D	B	D	C	A	A
Газообразный водород	H ₂	A	A	A	A	A	A	B	A	A
Перекись Водорода 10%	H ₂ O ₂	D	D	B	B	A	A	B	A	A
Чернила		–	A	C	C	–	–	D	A	A
Реактивное топливо		A	A	A	A	A	A	D	A	A
Керосин		A	B	A	A	B	A	D	A	A

(Продолжение)

Таблица А. 30 (продолжение)

Растворители лака		A	A	A	A	A	C	D	D	A
Гидроксид кальция	CaOH ₂	D	–	B	B	A	A	B	B	A
Растворители лака	KOH	D	B	B	A	B	D	B	B	A
Гидроксид натрия	NaOH	D	B	B	B	C	B	A	B	A
Меламин		–	–		D	–	–	–	A	A
Ртуть	Hg	C	D	A	A	A	A	A	A	A
Метан	CH ₄	D	–	A	A	A	–	D	A	A
Метанол (Метиловый Спирт)	CH ₃ OH	A	B	A	A	A	X	B	C	B
Молоко		D	D	A	A	A	A	A	A	A
Патока		B	A	A	A	A	A	A	A	A
Моторное масло		A	–	A	A	–	A	–	–	A
Нефть		B	A	A	A	B	B	D	A	B
Природный газ		A	–	A	A	B	–	–	A	A
Азотная кислота (от 5 до 10%)	HNO ₃	D	D	A	A	A	A	D	B	B
Азотная Кислота (Концентрированная)	HNO ₃	D	D	A	A	B	A	D	B	B
Сырая нефть		–	B	D	A	A	A	D	A	A
Дизельное топливо		A	–	A	A	B	B	D	A	A
Горючее		A	A	A	A	A	B	D	B	A
Минеральное масло		B	B	A	A	A	A	D	A	A
Оливковое масло		–	–	A	A	A	A	D	A	A
Пальмовое масло		–	A	A	A	–	A	–	A	A

(Продолжение)

Таблица А. 30 (продолжение)

Сосновое масло		–	–	A	A	–	A	D	A	A
Силиконовое масло		A	A	A	A	A	–	D	A	A
Трансформаторное масло		–	A		A	B	–	D	A	A
Кислород	O ₂			A	A	A	X			
Озон	O ₃	C	A	B	A	–	–	D	A	A
Парафин		A	B	A	A	B	A	B	B	A
Пентан	C ₅ H ₁₂	C	–	A	A	A	–	D	A	A
Хлорная кислота	HClO ₄	D	D	C	C	B	D	–	A	A
Нефть		C	B	A	A	A	A	D	A	A
Фосфорная кислота (<40%)	H ₃ PO ₄	D	D		C	A	C	B	A	B
Фосфорная кислота (> 40%)	H ₃ PO ₄	D	D	B	D	A	C	B	A	B
Хлорат калия	KClO ₃	D	B	B	B	B	A	–	A	A
Хлористый калий	KCl	D	B	B	A	A	A	A	A	A
Растворители лака	KOH	C	B	B		B	D	B	B	A
Пропан (сжиженный)	C ₃ H ₈	B	A	A	A	A	–	D	A	A
Пропиленгликоль	C ₃ H ₈ O ₂	B	A	B	B	B	A	A	A	A
Солевой рассол (насыщенный)	NaCl	D	B	B	A	A	A	B	A	A
Морская вода		D	B	C	C	A	A	A	A	A
Силикон		A	A	A	A	–	–	C	A	A
Мыльный раствор		A	A	A	A	A	A	B	A	A
Карбонат натрия	Na ₂ CO ₃	B	A	A	A	A	A	A	A	B

(Продолжение)

Таблица А. 30 (продолжение)

Гидроксид Натрия (20%)	NaOH	D	A	B	B	B	A	A	C	B
Гидроксид Натрия (80%)	NaOH	D	D	C	B	C	D	A	D	B
Гипохлорит натрия	NaOCl	D	–	D	D	B	C	C	A	A
Сахар (Жидкий)		A	A	B	A	A	–	A	A	B
Хлорид Серы	SCl ₂	D	B	D	D	A	D	D	A	A
Диоксид серы	SO ₂	D	B	D	A	C	A	C	A	A
Серная кислота (<10%)	H ₂ SO ₄	D	–	D	B	B	D	A	A	B
Серная кислота (75–100%)	H ₂ SO ₄	D	D	D	D	B	D	D	A	A
Трихлорэтилен	C ₂ HCl ₃	B	A	B	B	A	A	D	A	A
Скипидар		B	B	A	A	B	B	D	A	A
Мочевина	(NH ₂) ₂ CO	B	–	B	B	B	A	D	A	B
Мочевая кислота		–	A	B	B	B	A	D	–	B
Овощной сок		B	A	A	A	–	–	–	A	A
Уксус		C	B	A	A	A	–	B	A	A
Винилхлорид	C ₂ H ₃ Cl	A	B	B	A	A	A	C	A	A
Вода, деионизированная	H ₂ O	A	B	A	A	A	A	A	A	A
Вода дистиллированная	H ₂ O	D	B	A	A	A	A	A	A	A
Вода Пресная	H ₂ O	D	B	A	A	A	A	A	A	A
Вода, соленая	H ₂ O	D	B	B	B	A	A	A	A	A

На заметку: А = хорошо, В-С = необходимо дальнейшее исследование, D = не рекомендуется всегда подтверждать информацию о сопротивлении с вашим поставщиком материалов!

Индекс

А

шлифовка, 20, 21, 22
абсолютная калибровка, 57
абсолютное давление,
точность 52; *см. Также*
ошибки
калибровка, 115
химические измерения, 73–74
непрерывное смешивание, 5-6
криогенный поток, 23
заполнения, 7-8
гальваническая развязка, 87
термообработка, 9
уровни, 65
манометры, 53
платиновые термометры
сопротивления, 61 измерительный
прибор, 57
турбинные расходомеры, 39
Аналого-цифровые (аналого-
цифровые) преобразователи,
преимущество 80, *см. Конкретный
раздел*
плавучесть воздуха, 69-70
кондиционер / охлаждение, 15–16
содержание спирта, 76
системы переменного тока, амплитуда
35, 17
аналоговые сигналы, 79-81
анализ, функциональная
безопасность, 108–109
противокапельное устройство, 7
пример использования
кондиционирование /
охлаждение, 15-16 покупка и
продажа, 11-13 непрерывное
смешивание, 4-6
криогенный поток, 22–23
передача содержания под стражей, 11-
13
измерение разности, 13–15
заполнения, 6-8

термообработка, 8–9
инвентаризация 9-11
обнаружение
утечки, 13-15 смешивать и
дозировать, 2-4 сетчатые
измерения, 13-15
защита от переполнения, 18-19
обзор, 1
поток целлюлозы и
бумаги, 20 откачка 16–18

поток сточных вод, 24
поток гидросмеси, 21-22
спринклерные системы, 19–20
поток пара, 26-27
тепловая мощность, 24–26
единицы измерения площади, 131
настолько низко, насколько разумно
достижимо / практично (ALARA /
ALARP), 109
ATEX system, 106
'at' (@) symbol, 76

В

шаровые краны, 93
барьер предохранитель, 106
'эффект батареек,' 88
дальномеры, 37
Уравнения Бернулли, 30-31, 40
тело обтекания, 43
система boot-strap, 102
Трубы Бурдона, 53
'Широкая
чувствительность,' 73
датчика давления
барботера, 68
бюджет погрешности, 123–124, 126
объем буфера, 7, 90
дрессельные
заслонки, 93 покупка
и продажа, 11–13

Калибровки; *см. также* абсолютные
Правовые требования, 57

точность, 115
основы, 111-113
понятия, 114-116
оценки соответствия, 116
электрические сигналы, 90
ошибки, 114-115
точность, 111
поток, 45-49
взаимное сравнение, 115-116
изоляторы, 87
измерители уровня, 71
давление, 57-58

повторяемость, 115
отчеты, 113
риск, 116
датчики, 64
сигнальные петли, 116-117
спринклерные системы, 20
стандарты, 111
температура, 63-64
прослеживаемость, 63, 113-114
погрешность, 115, 119
приборы для измерения емкости, 68
емкостные датчики, 54
кавитация, 40, 97
Шкала Цельсия, 63
центробежные насосы, 17, 94, 95
сертификация, 24-25
дымоходы, 43
клещи токоизмерительные, 20
Compensation компенсация холодного спая, '61 уравнения Колебрука- Уайта, 52
цвета, 4, 56, 88
весы компараторного типа, 68-69
сравнения, погрешность, концентрация 120-121, химикаты в потоке, проводимость 76
поточные химикаты, 73, 74-75
датчики, 68
измерение температуры, 63
оценки соответствия, 116
конические трубы, 40
соединения, резьбовые, 96
соображений, *см. конкретную тему* бесконтактных счетчиков, 65

непрерывное смешивание, 4-6
контроллеры, электрические сигналы, расходомеры Кориолиса 84-85
коррозия, 103
криогенный поток, 23
массовые расходомеры, 37-38
пульп, 21
корреляционные методы, 21, 37
коррозия, 103-104
счетчики депозита, 11-13, 46

Д

Уравнения Дарси -Вейсбаха, 52
системы шин данных, 77
'dead' T-connections, 23

тестер собственного веса, 57 десятичных знаков, плотность 119-120
поток, 29-31
действующие химикаты, 76
инвентаризация, 10
тепловое расширение, 89
дизайн, 90-91, 106-107
Описание Устройства, 82
тестируемое устройство (DUT), 47, 112, 113
измерение разности, 13-15
расходомеров
дифференциального давления, 27,
датчики перепада давления, 53, 55-57
цифровые дисплеи *против* механических правителей, 122
системы постоянного тока (DC), 35
централизованное отопление / охлаждение, 24
управления перекрывными клапанами, 47' дайвинг
' датчик, 67
Доплеровский расходомер, 29
поток сточных вод, 24
поток гидросмеси, 21
ультразвуковые измерители прокачки, 37 двойных клапанов

блока и кровотечения, 93
 двухполюсных, 84
 двойной бросок, 84
 просачивание, 7
 протоки, 43
 динамическая вязкость, 31, 75
 обнаружение эха, 66–67
 электрическое соединение, 60-61
 электрические помехи, 100-102
 электрооборудование, 105-107
 электрическое сопротивление, 74-75
 электрическая
 безопасность, 99-
 100 электрических
 сигналов
 аналоговые сигналы, 79-81
 основы, 77-78
 расчеты, 86-90
 калибровка, 90
 контроллеры, 84-85
 чертежи, 90-91
 Ех-барьеры, 87-88
 гальваническая развязка, 87
 Протокол Hart, 77-78, 81-82
 тепловая и паровая тепловая
 мощность, 88–89 линеаризация, 87
 импульсно-частотные сигналы, 82-
 84 импульсно-аналоговое
 преобразование, 87 передача
 сигнала, 78-84
 стандартн объема, 89
 чертежи системы, 90-91
 таблицы и стандарты, 90
 тепловое расширение, 89-
 90
 Электромагнитная совместимость
 (ЭМС), 100-102
 электростатический разряд, 107
 теплоотдача, 61-62
 энергетические единицы, 131
 экологические катастрофы, 14
 оборудование, электрическое, 105-
 107 ошибок; *см. Также* точность
 калибровка, 114-115
 контроллеры, 85
 поток, 29
 минимизации, 2
 переливные системы подачи,
 14–15 потоков целлюлозы и
 бумаги, 20 потоков пульпы, 21
 погрешность, 121-122
 Ethernet, 77
 Европейская система ATEX, 106,
 111
 экс-барьеры, 87-88, 106
 взрывобезопасность, 104-107
 Анализ режимов отказов и
 последствий (FMEA), 109
 анализ дерева отказов (FTA), 109
 FieldbusFoundation, 77
 заполнения, 6-8
 огненный треугольник, 104–105
 фитинги, *см. Трубы и фитинги*
 трубопроводные
 пятиклапанные, 56
 фланцы, 96
 поплавков и поплавковый уровнемер,
 65–66, 70 поток
 основы, 29-31
 калибровка, 45-49
 калибровка и поверка, 48
 криогенная, 22-23
 измерители перепада давления, 40–42
 индуктивные расходомеры, 34–36
 требований к установке, 44–45
 массовых расходомеров, 37–39
 расходомер с положительным
 смещением, 39, 48
 целлюлоза и бумага,
 20 отборочных карт,
 32–33
 канализация, 24
 суспензия, 21–22
 пара, 26–27
 тепловые расходомеры,
 43–44 трассера, 48–49
 турбинные расходомеры, 39–
 40 ультразвуковых
 расходомеров, 36–37
 расходомеров с изменяемой
 площадью, 42 проверки, 45–
 49
 объем стандарт, 47
 вихревых
 расходомеров, 43
 измерения потока, 55–56
 скоростей и метров, 4

силы, весы, 68–69
силовых единиц, 13
частота, 17, 87; *см. Также*
импульсные / частотные сигналы
частотно-модулированная
непрерывная волна (FMCW), 67
функциональная безопасность, 107–109

Г

гальваническая развязка, 87
газ, установка передатчика,
55 манометров, давление,
52–53 управляемые
радарные уровнемеры, 70

Н

HART (протокол взаимодействия с
удалённым датчиком с шинной
адресацией)
протокол, 77–78, 81–82
исследование опасности и
работоспособности (HAZOP), 108–109
опасные зоны, 104–107
напор (насосы), 95
тепловая и паровая тепловая
мощность, 88–89 тепловое
излучение, 61
термообработка, 8–9

176

Гидродинамика, 30

ареометры, 76

гидрофор, 18

М

‘i/i-converters,’ 81

счетчики импеллерного типа, 25

имперские единицы, 127

импульсная линия,

54 индуктивных

расходомера

поток, принципы измерения, 34–36

сточных вод, 24

поток гидросмеси, 21

спринклерные системы, 19

инфракрасные термометры,

встроенный анализ 61–62
инфракрасные термометры,
встроенный анализ 61–62
проводимость, 74–75
плотность, 76

pH, 74

мутность, 75

вязкость, 75

встроенные химические измерения и
анализ, 73–76

установка, 44–45, 55, 62–63

страховые компании, 19

уровень целостности,

безопасность, 108 взаимных

сравнений, 115–116, 121

Международная температурная шкала
(ITS), 63 *Введение в управление*

процессом, 85 инвентарь, 9–11

ионная активность, 74

IP-рейтинг корпусов, 100

запорная арматура, 56

изоляторы, 81, 87

К

кинематическая
вязкость, 31, 75 К,
размерная переменная,
94

Индекс

Л

лазерные доплеровские
счетчики, 29 обнаружение
утечек, 13–15

правовые требования; *см. также*
Калибровка системы

кондиционирования / охлаждения, 16
сертифицированные датчики, 13

криогенный поток, 23

счетчики, 46 опасных зон,
104–107

метрология, 11

защита от переполнения, 18, 19

единицы

длины, 131

метр уровня

плавучесть воздуха, 69–70

основы, 65

калибровка, 71
датчики проводимости, 68
поплавок, 66
принципы измерения, 65–70
обзор, 70
датчики давления, 67–68
РЛС, 67
ультразвуковое эхо, 66–67
проверка, 71
вес 68–70
концевые выключатели, 84
линеаризация, 87
линеаризация, 87
сжиженные
газы, 22
жидкость в
стекле, 59
жидкости, установка
передатчика, 55 калибраторов
петли, 90
'loop supply,' 79
нижнее значение диапазона (LRV), 82

М

магнитные поплавки, 70
магнетит, 25
манометры,
53 массы
плавучесть воздуха, 69
расходомеры, 37–39
единицы, 130
мастер метров,
47–48 материалов
смешивание и
дозирование, 4 давления
безопасности, 103
сила, 103
таблицы, 149–171
M-Bus (MeterBus), 77
погрешность измерения
основы, 119, 121–122
бюджет, 123–124, 126
бюджет, 123–124, 126

оценки соответствия, 120
например, 124–125
улучшения, 126

числа, 119–120
управление
технологическим
процессом, 121
случайные или систематические,
122–124 измерительные очки,
127–128
методы измерения, 53–57, 59–62
принципы измерения, 31–44, 65–70
механические расходомеры, 39
механическая линейка *против*
цифрового дисплея, 122 метрология,
11, 127–131
подразделения МО, 74
смешивание и
дозирование, 2–4
Modbus, 77
монтаж, преобразователи
дифференциального давления, 56
многопараметрические датчики
давления, 54 мю-металл (м-металл),
102

Н

чистое измерение, 13–15
Ньютоновские жидкости, 75
шум, 20, 22, 97
неньютоновские жидкости, 31
нормальное распределение, 123

О

Закон Ома, 79
контроллеры включения/выключения,
85
клапаны включения/выключения, 93
организации, метрология, 133–137
расходомерные диафрагмы, 23
диафрагмы, 40, 41, 45
защита от переполнения, 18–19
переливные устройства,
система перелива 47, 13–
14

Р

PACTware, 82
частей на миллион / миллиард (ppm /

ppb), 76 паст, см. Поток суспензии
проц, 76, 124
рН, 74
таблицы физических данных,
149–171 PID controllers, 85
пьезорезисторы, 54
установка трубы, 62–63
трубы и фитинги, поршневые
насосы 95–97, 94
Трубки Пито, 41
платиновый термометр сопротивления
(PRT), 60–61
расходомеры прямого вытеснения, 39
энергоблоков, 131
предустановленные счетчики и
приводы клапанов, 3, 6 давления
основы, 51–52
калибровка, 57–58
датчик перепада давления, 55–57
манометры, 53
установка, 55
методы измерения, 53–57
единиц измерения давления, 52
датчика, 53–57
проверка, 57–58
измерителей уровня
давления, 70
манометров, 102–104
датчики давления, 67–68
Диаграмма процессов и приборов
(P & ID), 91
управление процессом,
погрешность, 121 процесс
проектирования
кондиционирование /
охлаждение, 15–16 покупка и
продажа, 11–13 непрерывное
смешивание, 4–6
криогенный поток, 22–23
передача содержания под стражей, 11–
13
измерение разности, 13–15
заполнения, 6–8
термообработка, 8–9
инвентаризация 9–11
обнаружение утечки, 13–
15 смешивать и
дозировать, 2–4 сетчатые
измерения, 13–15

защита от переполнения, 18–19
обзор, 1
поток целлюлозы и бумаги, 20
откачка 16–18
поток сточных вод, 24
поток гидросмеси, 21–22
спринклерные системы, 19–20
поток пара, 26–27
тепловая мощность, 24–26
"безопасность производства", 121
PROFIBUS system, 77
проверс 48
Датчики Pt-100, 25, 60–
61, целлюлозно-
бумажный поток, 20
импульсных эхо, 67
импульсные / частотные сигналы,
82–84 импульса в аналоговое
преобразование, 87 насосов и
накачка, 16–18, 94–95
пикнометр, 76

С

Системы обеспечения качества, 103

И

измерители уровня РЛС, 67, 70
случайная погрешность, 122–124
настройка диапазона, датчики
давления, 57 регулятор соотношения, 4
избыточность, 109
ссылки, Подробнее, см. конкретный
раздел
повторяемость, 115
отчеты, калибровка, 113
датчиков температуры
сопротивления
(RTDs), 25
Числа Рейнольдса, 29, 52
риск и оценка риска
оценки соответствия, 116, 120
безопасность, 99, 105

Э

безопасность
анализ, 108–109
коррозия, 103–104

электрические помехи, 100-102
 электрооборудование, 105-107
 электробезопасность, 99-100
 электростатический разряд, 107
 огненный треугольник, 104–105
 функциональная безопасность, 107-109
 опасные зоны, 104–107
 значение, 1
 повышение безопасности, 108-109
 уровень целостности, 108
 IP-рейтинг корпусов, 100
 свойства материала, 103
 система подачи перелива, 14
 обзор, 99
 предохранительное давление, 102–104
 избыточность, 109
 оценка риска, 105
 уровень целостности
 безопасности, 108 поток
 пара, 26
 тепловая мощность, 24
 насыщенный пар, 26
 график выбор, 32-33; *см. Также конкретную тему*,
 полупроводниковые датчики, 54
 коэффициент чувствительности,
 121-122 датчики
 ‘дайвинг ’ 67
 принципы, 54
 температурная калибровка, 63-64
 сервисные клапаны, 41, 56
 поток сточных вод, 24
 форма резервуара, 9–10, 11
 запорная арматура, 6–7, 93
 сигнальные петли, 116–117
 однополюсный, 84
 один бросок, 84
 одиночные клапаны, 56
 SI units (Système International d’Unités),
 127, 128, 130
 калибровка, *см. конкретный раздел*
 поток гидросмеси, 21-22
 звуковые волны, *см.*
 Ультразвуковые счетчики,
 аббревиатура SPDT, 84
 «Удельный» вес / сила тяжести, 76
 спринклерные системы, 19–20
 квадратные
 распределения, 122
 стандарты
 электробезопасность, 99-100
 электрические сигналы, 77, 90
 фланцы, 77
 калибровка / проверка уровня, 71
 трубы и фитинги, 95
 символы, схемы P&ID, 91
 резьбовое соединение, 96
 объем, 89
 нормативных
 документов
 EN10204, 103
 IEC 61508, 108
 IEC 61511, 108
 ISA 5.1, 91
 ISO 2186, 55
 ISO 2975, 49
 ISO 5167, 40–41
 ISO 9001, 103
 ISO 17025, 112
 ISO 50001, 16
 ISO Guide 98, 122
 ISO Guide 99, 114, 122
 статическое электричество, 107
 статические смесители, 5
 пар, установка передатчика, 55 подача
 пара, 26-27
 стерилизующие автоклавы, 9
 тензодатчиков, 54 перегретого
 пара, 26
 символы, схемы P&ID, 91
 симметричный профиль потока, 29
 синхронизированных записей, 47
 систематическая погрешность, 122–
 124
 системные чертежи, 90–91
Ф
 форма бака, 9–10, 11, 18
 тантал,
 температура 104
 основы, 59
 калибровка, 63-64
 проводимость, 74
 инфракрасные термометры, 61–62

установка, 62-63 жидкость в стекле, 59
методы измерения, 59-62
установка трубы, 62-63
Pt-100, 60-61
теплопроводность, 63
тепловое расширение, 89
датчик термопара, 61
проверка, 63-64
измерительные приборы, 57
тепловое расширение, 89-90
тепловых расходомеров, 43-44
тепловой мощности, 24-26
термисторы, 59
датчик термопара, 61
резьбовые соединения, 96
время пролета, 67 титана, 104
трассировщики и прослеживаемость
калибровка и поверка,
калибровки, 48-49, 63, 113-114
химические измерения, 73
взвешивания, уровнемеры, 68
метод транзитного времени, 36
передатчиков, давление, 53-57
ход в метрах, 37
мутность, встроенные
химикаты, 75 турбинных
расходомеров, 39-40
«двухпроводных» петель,
79

У

ультразвуковое
эхо, 66-67
ультразвуковых
счетчиков
криогенный поток, 23
поток, принципы измерения, 36-
37 уровнемеров, 70
спринклерные системы, 19
поток пара, 27
тепловая мощность,
25 погрешность
основы, 119, 121-122
бюджет, 123-124, 126
калибровка, 115
бюджет, 123-124, 126
оценки соответствия, 120

например, 124-125
улучшения, 126
числа, 119-120
управление технологическим
процессом, 121
случайная или
систематическая, 122-124
единицы измерения, 128-131
верхнее значение диапазона (URV), 82
клапаны, 93-94
расходомеры с переменной
площадью, 42 скорости, 21, 29
Системы вентиляции, 43
вентиляционные клапаны, 27
Трубки Вентури, 40, 41,
45 проверки
поток, 45-49
измерители уровня, 71
измерители давления, 57-58
температура, 63-64
вибрация
плотность, 76
массовые расходомеры,
температура 37-38, 59
вязкость, 29-31, 75
объем
буфер, 90
калибровка и поверка, 47 стандартные
условия, 89
тепловое расширение, 89
объемный расходомер, 39
объемные насосы, 17, 18, 94-95
объемные единицы, 131
вихревые расходомеры, 27, 43

В

предупреждения, *см. конкретный
раздел*
вода, 10, 40, 75
весы, уровнемеры, 68-70
весовых емкостей, 47-48
Весов
измерители уровня, 68-70
обзор, 127-128
погрешность, 122
барьер Зенера, 106