Точный учет в молочной промышленности: электромагнитный или кориолисовый метод?

В статье анализируется применение кориолисовых и электромагнитных расходомеров для задач молочной индустрии. На примере расходомеров линейки Streamlux показаны особенности и физические принципы этих методов измерения. Даны рекомендации по выбору и внедрению расходомеров в технологические процессы.

ООО «Энергетика», г. Москва

В современной молочной индустрии измерение расхода технологических жидкостей является критически важным звеном, напрямую определяющим рентабельность, стабильность рецептуры и безопасность готовой продукции. Переработка молока сопряжена с жесткими санитарными требованиями (CIP/SIP-мойка), широким разнообразием вязкостей сред (от сыворотки и молока до сгущенных смесей и сливок), а также присутствием аэрированных включений и температурных колебаний.

На молочных заводах учет сырья традиционно ведется в килограммах (по массе), в то время как транспортировка по трубопроводам осуществляется в объемных единицах, плотность которых меняется в зависимости от температуры и жирности. При объемах переработки крупного предприятия в сотни тонн сырого молока в сутки даже погрешность в 1% оборачивается миллионными финансовыми потерями за год. В связи с этим перед инженерами и технологами встает задача грамотного подбора приборов учета. Надо решить вопрос: когда достаточно надежного и доступного электромагнитного расходомера, а когда технологический процесс требует применения высокоточного кориолисового массомера.

Рассмотрим на примере специализированного оборудования линейки Streamlux особенности, физические принципы и границы применимости двух ключевых методов измерения.

Технологические вызовы и специфика измерений в молочной отрасли

Технологические линии молокозаводов предъявляют к контрольно-измерительным приборам комплекс строгих требований. Большие погрешности измерений здесь недопустимы сразу по нескольким причинам.

Во-первых, коммерческий и межоперационный баланс сырья опирается на массу базисного молока с учетом содержания жира и белка. Если прибор измеряет только объем, любое изменение температуры потока (например, с +4 °C при приемке до +65...+72 °C при пастеризации) или изменение плотности продукта приводит к систематической ошибке объемного учета.

Во-вторых, жесткие гигиенические регламенты требуют гладких измерительных участков без зон застоя, стойкости к агрессивным моющим растворам (щелочи, кислоты) и регулярной стерилизации острым паром при температурах до +130...+150 °C. Оборудование должно оснащаться быстросъемными санитарными соединениями – резьбой по стандарту DIN 11851 (молочная муфта) или кламповыми зажимами (tri-clamp), позволяющими оперативно проводить инспекцию и обслуживание.

В-третьих, спектр сред в молочном производстве неоднороден: применяется сырое и нормализованное молоко, пахта, обрат, вязкие кисломолочные продукты (кефир, ряженка, йогурты, мягкий творог), а также растительные масла, фруктово-ягодные наполнители, сахарные сиропы и карамель при производстве десертов и мороженого. Для каждой группы продуктов требуется обоснованный выбор физического метода измерений.

Анализ методов измерения: физические принципы и конструктивные особенности

Электромагнитный метод: санитарный расходомер Streamlux MagFlow 1300

Электромагнитный расходомер Streamlux MagFlow 1300 (рис. 1) работает на основе закона электромагнитной индукции. В электропроводящей жидкости, движущейся через создаваемое катушками прибора однородное магнитное поле, наводится электродвижущая сила (ЭДС). Эта ЭДС снимается электродами из нержавеющей стали, титана или хастеллоя, она прямо пропорциональна средней скорости потока.

Поскольку молоко, кисломолочные продукты, солевые растворы и сыворотка обладают высокой электропроводностью (существенно выше требуемого порога в 5 мкСм/см), расходомер MagFlow 1300 обеспечивает стабильную работу с погрешностью 0,5% (с возможностью калибровки до 0,25% по спецзаказу).

Конструктивно проточная часть расходомера представляет собой прямую полнопроходную трубу из нержавеющей стали с футеровкой из пищевого фторопласта PTFE или FEP.



а *б*

Рис. 1. Электромагнитный расходомер Streamlux MagFlow 1300: *а* – присоединение типа clamp; *б* – присоединение типа молочная муфта

Внутри измерительного канала полностью отсутствуют сужения, выступы и подвижные детали, благодаря чему исключаются гидравлические потери и зоны застоя, не травмируются жировые шарики. Прибор выдерживает рабочее давление до 4,0 МПа, температуру до +180 °С, оснащен санитарными присоединениями (молочная муфта, clamp) и поддерживает степень пылевлагозащиты до IP68 при выносном исполнении преобразователя.

На вязких жидкостях используется ограниченно в связи с возможным налипанием измеряемой среды на электроды, что может привести к искажению либо потере сигнала, а значит, и к потере точности.

Кориолисовый метод: массовые расходомеры Streamlux MassFlow P10 и MassFlow V10

Кориолисовые расходомеры серии Streamlux MassFlow реализуют прямое измерение массы потока, плотности и температуры среды без использования косвенных расчетов.

Внутри сенсора установлены параллельные измерительные трубки из коррозионно-стойкой нержавеющей стали 316L, которые колеблются с резонансной частотой. Движение массы продукта по вибрирующим трубкам порождает кориолисовы силы, вызывающие фазовый сдвиг колебаний на входе и выходе сенсора (Δφ). Этот фазовый сдвиг строго пропорционален массовому расходу, а частота резонансных колебаний позволяет одновременно вычислять плотность жидкости с точностью до 0,002 г/см³.

Линейка MassFlow для молочной отрасли представлена двумя модификациями.

Streamlux MassFlow P10 (DN10–200) – универсальная модель с U-образными трубками (рис. 2*а*) и минимальной базовой погрешностью по массе 0,1 %. Для сред, требующих термостатирования (например, шоколадная глазурь, сливочное масло, маргарины), прибор доступен в исполнении с рубашкой теплообмена (обогрев паром / горячей водой).

Streamlux MassFlow V10 (DN15–50) – специализированная модификация с уменьшенным изгибом трубок (рис. 2*б*) для работы с высоковязкими средами (сгущенное молоко, концен-



а



б

Рис. 2. Кориолисовые расходомеры Streamlux: *а* – MassFlow P10; *б* – MassFlow V10

Таблица 1. Сопоставление технических характеристик и эксплуатационных свойств расходомеров Streamlux

Параметр / Характеристика	Электромагнитный расходомер Streamlux MagFlow 1300	Кориолисовый расходомер Streamlux MassFlow P10 / V10
Измеряемые величины	Объемный расход, скорость потока	Прямой массовый расход, плотность, температура, вычисленный объем
Базовая погрешность	±0,5 % (опционально ±0,25 %)	±0,1 % (масса), ±0,002 г/см³ (плотность)
Зависимость от плотности	Для пересчета в массу требуется знание плотности	Не зависит, массовый расход измеряется напрямую
Зависимость от вязкости	С вязкими средами применяется ограниченно	Широко применяется для измерения вязких сред
Требование к электропроводности среды	Требуется проводящая среда (>5 мкСм/см)	Не требуется (измеряет любые жидкости, включая масла и жиры)
Гидравлическое сопротивление	Ничтожно малое (гладкий полнопроходной канал)	Небольшое/умеренное (зависит от геометрии трубок сенсора)
Требования к прямолинейным участкам	Требуются (стандартно 5 DN до, 2–3 DN после)	Не требуются (0 DN до и после расходомера)
Санитарная обработка (CIP/SIP)	Да, пар до +180 °C, футеровка PTFE/FEP	Да, пар до +200…+300 °C, трубки 316L
Типы присоединений	Молочная муфта, clamp, фланцы	Молочная муфта, clamp, фланцы
Ценовой сегмент и капитальные затраты	Доступный (экономичное базовое решение	Премиальный (высокотехнологичный узел учета)

трированные соки, пасты). Конструкция минимизирует гидравлическое сопротивление, гарантируя отклик за 0,5 с в прецизионных узлах фасовки и дозирования.

Кориолисовые приборы не имеют ограничений по электропроводности среды (могут измерять растительные жиры, масла и деминерализованную воду). Не требуют прямых участков трубопровода для успокоения потока до и после прибора и работают в диапазоне температур от –50 до +300 °C.

Сравнительный анализ и матрица выбора расходомеров для молочного завода

В таблице 1 приведено детальное сопоставление технических характеристик и эксплуатационных свойств приборов.

Рекомендации по выбору и внедрению в технологические процессы

Грамотное проектирование узлов учета молочного завода строится на комбинировании обоих типов расходомеров, что позволяет достичь оптимального баланса между точностью и бюджетом проекта.

Случаи применения электромагнитного расходомера Streamlux MagFlow 1300:

- общезаводской и цеховой учет электропроводных жидкостей – распределение сырого и пастеризованного молока по емкостным паркам, танкерным хранилищам и линиям переработки;
- линии ферментации и розлива кисломолочной продукции – кефира, ряженки, питьевых йогуртов, простокваши, сыворотки (при условии стабильного заполнения трубопровода);
- учет воды и CIP-мойка – мониторинг подачи промывочной воды, возвратных контуров и растворов кислотно-щелочной дезинфекции на моечных станциях;
- магистральные линии приема сырого молока и межцеховой перекачки (DN65–DN150) – полнопроходная конструкция без сужений обеспечивает минимальные гидравлические потери, надежную CIP-мойку и позволяет экономично оснастить приборами все входные и распределительные узлы завода.

Случаи применения кориолисовых расходомеров Streamlux MassFlow P10/V10:

- участки приемки молока и коммерческий взаиморасчет. Высокая точность по массе (0,1 %) исключает финансовые разногласия между поставщиком фермерского молока и переработчиком;
- контроль нормализации и косвенная оценка жирности. Массомер обеспечивает непрерывное измерение плотности потока с погрешностью ±0,002 г/см³, что в сочетании с валидированной расчетной моделью (формулы Фляйшмана или эмпирические калибровочные кривые) и регулярной лабораторной верификацией позволяет оперативно отслеживать отклонения по жирности и корректировать процесс нормализации в реальном времени;
- дозирование дорогих компонентов и непроводящих добавок – высокоточное внесение заквасок, растительных жиров, ароматизаторов, витаминных комплексов, сиропов, сгущенных смесей (в том числе модель V10 для продуктов высокой вязкости);
- узлы фасовки с коротким тактом дозирования. Время отклика 0,5 с и отсутствие требований к прямым участкам позволяют компактно интегрировать MassFlow непосредственно в автоматы розлива.

Заключение

Оба рассматриваемых метода измерения не конкурируют, а гармонично дополняют друг друга в структуре современного молочного предприятия. Электромагнитные расходомеры Streamlux MagFlow 1300 обеспечивают гигиеничный и экономически эффективный учет на транспортных и технологических магистралях, а также на станциях мойки. В свою очередь, кориолисовые расходомеры Streamlux MassFlow P10 и MassFlow V10 подходят для узлов коммерческого приема, систем точной нормализации по плотности и прецизионного дозирования вязких и дорогостоящих ингредиентов.

Расходомеры Streamlux внесены в Государственный реестр средств измерений РФ, что гарантирует юридическую чистоту и метрологическую достоверность на всех этапах молочного производства.

ООО «Энергетика», г. Москва,
тел.: +7 (499) 955-5771,
эл. почта: isup@energetika.ooo,
сайт: www.streamlux.ru

Иллюстрации предоставлены ООО «Энергетика»