

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X.2022.2-52.47-53>

614.8.013

Мухамедов Ш.Н., Эргашев Н.М.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ГИДРОКОНТРОЛЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ РИСКА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

*Академия Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан,
г. Ташкент*

Рассмотрен метод измерения объема продукта для емкостей любой формы с автоматической корректировкой по плотности.

Ключевые слова: гидростатический метод, датчик, пищевая промышленность, тарировочные таблицы

Sh.N. Mukhamedov, Sh.E. Ergashev

USING OF HYDRO-CONTROL SYSTEMS AT PRODUCTION FACILITIES TO REDUCE THE RISK OF EMERGENCIES

*Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Uzbekistan,
Tashkent*

The method for measuring the volume of a product for containers of any shape, with automatic adjustment for density, is considered.

Keywords: hydrostatic method, sensor, food industry, calibration tables

Практически на любых предприятиях, производящих жидкие пищевые продукты (молоко, пиво, соки, квас и другие), для хранения или обработки сырья, жидких компонентов или готового продукта используются различные емкости. В процессе автоматизации производства и мониторинга зачастую требуется непрерывный контроль уровня жидкого продукта в этих емкостях. Существует несколько различных методов измерения уровня, однако в пищевой промышленности наибольшее распространение получил гидростатический метод измерения. Для его реализации используются специализированные датчики давления в санитарном исполнении.

При этом по измеренному уровню продукта можно производить вы-

числение его объема, основываясь на геометрической форме емкости и плотности самого продукта. Например, на молочном заводе контроль объема требуется для учета всего поступающего на предприятие молока (в приемных молочных емкостях) или для сличения с показаниями объемных расходомеров в процессе транспортировки продукта между технологическими цехами. Однако измерение объема может стать нетривиальной задачей, если емкость имеет сложную форму либо если плотность продукта изменяется.

Для реализации гидростатического метода измерения применяются датчики давления, которые устанавливаются в нижнюю часть емкости (рисунок 1) и измеряют гидро-

статическое давление столба жидкости.

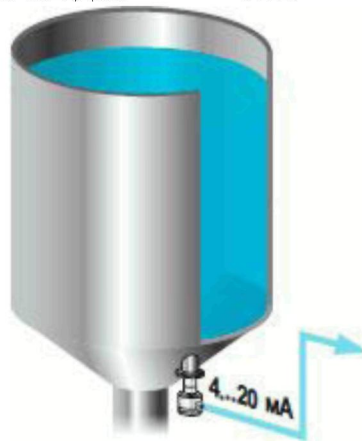


Рисунок 1. – Реализация гидростатического метода измерения

1.1 Погрешность измерения

Чем выше точность измерения датчика, тем больше рассчитываемый объем будет соответствовать реальному. А в случае использования датчика с классом точности 0,1 % погрешность составит 4 литра, то есть в 5 раз меньше. Однако из-за особенностей производства жидких пищевых продуктов (молока, пива, вина и прочих) зачастую при измерении появляются дополнительные погрешности.

В пищевой промышленности из-за непосредственного контакта со средой применяются датчики давления с разделительной мембраной. Пространство под мембраной в датчике заполнено силиконовым пищевым маслом (утечка этого масла при повреждении мембраны не приводит к порче продукта). Сама мембрана имеет омываемую конструкцию, и таким образом продукт не имеет возможности застаиваться в датчике и со временем портиться. При этом емкости и технологическое оборудование, на которых установлены датчики, подвергаются высокотемпературной безразборной CIP-(Cleaning-in-place) или SIP-(Sterilization-in-

place) мойке для устранения остатков продукта.

Из-за нагрева всего датчика масло под разделительной мембраной расширяется и создает микродеформации конструкции мембраны и сенсора, оказывающие влияние на метрологические характеристики. После окончания мойки и остывания датчика объем масла возвращается к первоначальной величине, однако метрологические характеристики измерительной системы полностью не восстанавливаются. В результате образуется так называемый «дрейф нуля» – показания датчика смещаются на определенную величину. Результирующая погрешность уровня и объема существенно возрастает и для ее компенсации требуется дополнительно производить «подстройку нуля» датчика после каждого цикла мойки. Эту особенность очень сложно устранить, однако можно свести к минимуму, снизив объем заполняемого масла.

Эта идея реализована в датчиках, выпускаемых одним из ведущих в мире производителей датчиков давления с разделительной мембраной - компанией Klay Instruments

(Нидерланды). В датчиках применяется специальная технология Flush

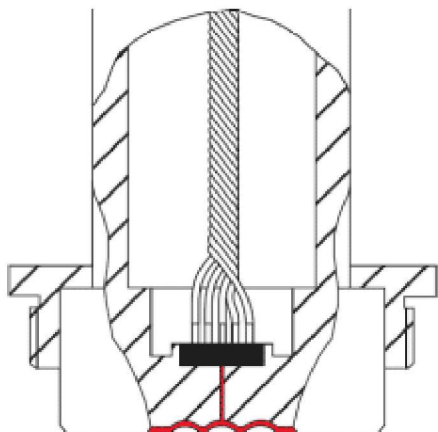


Рисунок 2. – Технология FDT (красным обозначен объем масла)

Ее отличительные особенности: в датчике используется минимальное количество масла среди большинства датчиков, представленных на рынке, — всего 1 капля. Это достигается за счет повторения волнистой формы мембраны подложкой, а также за счет малого диаметра (менее 0,5 мм) масляного канала и его малой длины, поскольку измерительный сенсор расположен максимально близко к процессу. Именно по этой причине в датчиках Klay Instruments эффект «дрейфа нуля» сведен к минимуму, как и итоговая погрешность измерения объема; мембрана датчика выполнена из химически стойкой нержавеющей стали AISI316L и приварена напрямую к корпусу без дополнительных уплотнений (рисунок 3). Таким образом обеспечивается санитарность присоединения к процессу без «мертвых зон», а также высокая химическая стойкость (при необходимости мембрана может покрываться дополнительным защитным слоем).

Diaphragm Technology (FDT), которая представлена на рисунке 2.



Рисунок 3. – Внешний вид приваренной мембраны

Диаметр мембраны очень маленький, она обладает высокой жесткостью, что значительно повышает перегрузочную способность.

Помимо специализированной технологии изготовления мембраны, датчики обладают еще несколькими особенностями, очень важными для пищевой промышленности:

в датчиках применяется активная температурная компенсация в диапазоне температур от -20 до 100 °С. При этом датчики выдерживают стерилизацию паром с температурой до 145 °С в течение 45 минут в процессе SIP мойки;

датчики имеют прочный корпус из нержавеющей стали со степенью защиты IP66, при этом атмосферный канал защищен специальной дышащей мембраной Gore-Tex®, что препятствует проникновению влаги внутрь корпуса из-за повышенной влажности окружающего воздуха или при мойке оборудования.

1.2 Геометрические особенности

Разумеется, рассмотренный выше пример с идеальной цилиндрической емкостью редко можно встретить на практике. Чаще на пищевых предприятиях применяют вертикальные емкости со сферическим или конусным дном (так называемые цилиндро-конические танки, или ЦКТ), а также горизонтальные

цилиндрические емкости. Если емкость достаточно близка по форме к идеальному геометрическому телу, то ее объем можно рассчитать при помощи геометрических формул. Например, для распространенных в пивоварении и виноделии ЦКТ (рисунок 4) расчет объема представлен ниже.

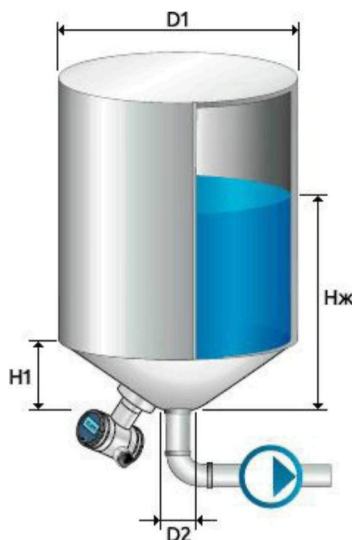


Рисунок 4. – Измерение объема в ЦКТ

Рассмотренные выше расчеты можно производить программно на ПЛК либо воспользоваться возможностями интеллектуальных датчиков давления. Например, в датчиках давления Klay Instruments серии 2000-SAN есть функция расчета объема по измеренному гидростатическому давлению для трех типов стандартных емкостей: вертикальных емкостей со сферическим дном, ЦКТ или горизонтальных емкостей круглой или овальной формы. После ввода требуемых геометрических

размеров и текущей плотности жидкости датчик будет выдавать аналоговый сигнал 4...20 мА, пропорциональный объему в емкости (также возможна передача по HART-протоколу в цифровом виде).

Однако зачастую емкости имеют нестандартную форму или индивидуальные особенности. Например, если горизонтальная емкость имеет наклон (рисунок 5) либо в емкости есть перемешивающие устройства, технологические окна или люки (рисунок 6).



Рисунок 5. – Наклоненная емкость



Рисунок 6. – Емкость с люком

В этом случае необходима дополнительная процедура, называемая проливкой. Емкость последовательно заполняют фиксированными объемами воды (например, по 100 литров) известной плотности и на каждом шаге наполнения фиксируют уровень по показаниям датчика давления. Тем самым формиру-

ется функциональная зависимость между уровнем и пролитым объемом, индивидуальная для каждой емкости. Результаты проливки записываются в специальные проливочные или тарифовочные таблицы (пример таблицы представлен на рисунке 7).

Топливомер ПТ-041		Тарировочная таблица № 41									
тс	Гос. Номер	Марка									
Длина		Ширина		Высота		Объем		Полный бак		Пустой бак	
1100	мм.	640	мм.	520	мм.	350	литры	57	мм.	570	мм.
мм	литры	мм	литры	мм	литры	мм	литры	мм	литры	мм	литры
570	0	572	65	374	132	276	199	178	266	80	333
568	1	470	67	372	134	274	201	176	267	78	334
566	1	468	68	370	135	272	202	174	269	76	336
564	3	466	70	368	136	270	203	172	270	74	337
562	4	464	71	366	138	268	205	170	272	72	338
560	5	462	72	364	139	266	206	168	273	70	340
558	7	460	74	362	141	264	207	166	274	68	341
556	8	458	75	360	142	262	209	164	276	66	342
554	10	456	76	358	143	260	210	162	277	64	344
552	11	454	78	356	145	258	212	160	278	62	345
550	12	452	79	354	146	256	213	158	280	60	347

Рисунок 7. – Пример тарировочной таблицы на емкость

Саму процедуру проливки можно реализовать на программируемом логическом контроллере (путем кусочно-линейной аппроксимации) либо использовать функциональные возможности интеллектуального датчика серии 4000-SAN. Эти датчики позволяют произвести проливку и создать проливочную таблицу в реальном времени, используя встроенное программное обеспечение, либо ввести данные из уже имеющейся проливочной таблицы в удобных для пользователя величинах.

Более подробно процесс пересчета объема по измеренному уровню описан в статье «Современные способы измерения объема жидкости».

Для расчета погрешности измерения объема с корректировкой по плотности примем для упрощения, что объем однозначно соответствует уровню (согласно таблице проливки). В этом случае достаточно рассчитать только погрешность уровня.

Очевидно, что погрешность измерения уровня будет зависеть от погрешности измерения давления

нижнего датчика и погрешности расчета плотности на основе показаний верхнего и нижнего датчиков (величину g считаем константой). Исходные данные для расчета возьмем из 2-го примера расчета погрешности.

Результирующая относительная погрешность уровня будет определяться как сумма относительных погрешностей давления и плотности. Относительная погрешность измерения давления для системы из нижнего датчика давления, ПЛК и модуля ввода Z-8AI уже известна и составляет 0,2 %. Соответственно, для расчета относительной погрешности плотности упрощенно примем, что максимально возможная плотность составит 1050 кг/м^3 .

Результирующая относительная погрешность уровня составит 0,54 %. В свою очередь абсолютная погрешность при высоте жидкости 4 метра составит 2,16 см.

Чтобы оценить результирующую абсолютную погрешность измерения объема, примем, что емкость имеет цилиндрическую форму с диаметром дна 2 метра.

Подставляя диаметр емкости D и рассчитанную абсолютную погрешность Δh (равную 2,16 см), получим абсолютную погрешность объема 67,8 литров с учетом автоматической корректировки по плотности.

В свою очередь, рассмотрим алгоритм расчета абсолютной погрешности объема для емкости нестандартной формы. Для текущего рассчитанного уровня ($400 \pm 2,16$) см определяются объемы, соответствующие уровням 397,84 и 402,16 см, исходя из результатов кусочно-линейной аппроксимации, реализованной в программе контроллера.

Заключение

В данной статье рассмотрен метод измерения плотности жидких пищевых продуктов на основе показаний двух гидростатических датчиков давления в санитарном исполнении. Данный метод может успешно применяться в таких технологиях, как производство сока, вина, сахара, переработка молока, пивоварение, производство сыра. При этом на основе этого метода может производиться измерение объема продукта в емкости с корректировкой показаний по усредненной плотности в автоматическом режиме.

Однако для корректного вычисления плотности в данном методе необходимо осуществлять заполнение емкости продуктом в рабочем

режиме до уровня выше места монтажа верхнего датчика. Также результирующая погрешность измерения данным методом будет хуже, чем в случае использования специализированных плотномеров, имеющих абсолютную погрешность измерения 0,2-0,5 кг/м³. Однако для многих технологических процессов столь малая погрешность не требуется, при этом стоимость системы из двух гидростатических датчиков давления существенно ниже, чем специализированных пищевых плотномеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Преобразователь частоты EMD-PUMP. Руководство по эксплуатации. – 160 с.
2. Промышленная автоматика: приборы КИПиА, АСУ ТП: [Электронный ресурс] // ООО «КИП-Сервис». URL: <https://kipservis.ru/>. (Дата обращения: 05.05.2020).

REFERENCES

1. Preobrazovatel' chastoty EMD-PUMP. Rukovodstvo po eks-pluatacii. – 160 s.
2. Promyshlennaya avtomatika: pribory KIPiA, ASU TP: [Elektronnyj resurs] // ООО «KIP-Servis». URL: <https://kipservis.ru/>. (Data obrashcheniya: 05.05.2020).

