

УДК 53.082.2+681.26.751

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА МАЗУТА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРАХ

Кандидаты техн. наук ЯКОВЛЕВ Г. В., ЦАРЕНКО Ю. В.,  
инженеры ХОДУНОВ М. Г., БОБРОВ В. П., ТЕЛЕПНЕВ С. Н.

*РУП «Витебскэнерго»,  
Институт технической акустики НАН Беларуси*

В настоящее время на большинстве теплоэлектроцентралей и котельных Республики Беларусь применяется в основном метод учета массы мазута в резервуарах, основанный на измерении уровня с помощью длинной линейки или рулетки и расчете массы с использованием специальных градуировочных таблиц. Кроме того, для расчета массы мазута необходимо измерение плотности и температуры в нескольких точках [1]. Данная методика не позволяет вести оперативный контроль массы топлива, имеет высокую трудоемкость и погрешность измерения, не безопасна для обслуживающего персонала и окружающей среды.

В зависимости от характера технологических операций и размеров учитываемых партий мазута пользуются различными методами измерений. Они выбираются исходя из необходимой точности измерений в определенной технологической операции с учетом технической возможности реализации данного метода и требований соответствующих стандартов и нормативно-технической документации.

При количественном учете мазута определяют количество мазута:

- полученного при приеме, отпущенного при отгрузке или израсходованного предприятием;
- находящегося в резервуарах (при хранении и инвентаризации).

Методы измерения массы мазута при проведении учетно-расчетных операций подразделяют на прямые и косвенные. Прямыми методами пользуются при измерении количества продукта с помощью весов, весовых дозаторов и устройств, массовых счетчиков или массовых расходомеров с интеграторами непосредственно в единицах массы. Косвенными методами массу продукта определяют косвенным путем, через измерения других физических параметров, связанных с массой математической зависимостью, в связи с чем они подразделяются на объемно-массовый и гидростатический.

Операции количественного учета мазута делятся на две группы: товарно-учетные и контрольно-оперативные. Они различаются по методу обработки и использования информации, а также точностью, скоростью получения и обработки.

Товарно-учетная информация необходима для создания объективной документации: коммерческой, бухгалтерской и учетной. Эта информация используется для расчетов между поставщиками и потребителями (покупателями). Такую группу операций называют коммерческим учетом.

Широкое применение в системах коммерческого учета нефтепродуктов получили комплексы, основанные на использовании гидростатического метода. Они обеспечивают высокую точность измерений и имеют длительный срок службы. Для коммерческого учета нефтепродуктов разработаны и серийно выпускаются за рубежом автоматизированные программируемые комплексы: TCIM фирмы WHESOE VARES (Великобритания), VISION 2002 фирмы MEASUREX (США), OIS 1200 с программируемым контроллером PROSEC фирмы TOSHIBA, SAAB TRL/2 фирмы SAAB Tank Control (Швеция) и др.

Эти системы позволяют, кроме массы нефтепродуктов, измерять температуру, плотность и уровень подтоварной воды. Они работают в комплексе с проблемно-ориентированными программными пакетами, например Fuels Manager. Эти измерительные системы достаточно дороги.

Для вычисления массы мазута использована величина избыточного давления, создаваемого столбом мазута в резервуаре.

Известно, что мазут в резервуаре находится под действием силы тяжести.

Основное уравнение гидростатики имеет вид

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz),$$

где  $\rho$  – плотность мазута.

Направим координатную ось  $z$  вертикально вверх и, учитывая, что  $X = 0$ ;  $Y = 0$ ;  $Z = -g$ , получим следующее выражение:

$$dp = -\rho g dz,$$

после интегрирования получим уравнение

$$\frac{p}{\rho g} + z = C = \text{const}.$$

Постоянную интегрирования  $C$  находим из граничных условий:

$$p = p_0; \quad z = h,$$

где  $p_0$  – атмосферное давление;  $h$  – высота мазута в резервуаре.

Найдем  $C$

$$C = \frac{p_0}{\rho g} + h,$$

следовательно,

$$\frac{p}{\rho g} + z = \frac{p_0}{\rho g} + h = \text{const}$$

или

$$p = p_0 + \rho g(h - z).$$

Эта формула получена в приближении, что жидкость, находящаяся в резервуаре, однородна и неподвижна.

В реальных условиях важным физическим процессом, определяющим тепловой режим мазута в резервуаре, является гравитационная конвекция [2]. Она приводит к появлению вертикального температурного расслоения, обусловленного тем, что прогретая часть мазута, и, следовательно, более легкая, перемещается в верхнюю часть резервуара. Таким образом, в реальных условиях в резервуаре всегда присутствует некоторое распределение плотности мазута по высоте, которое невозможно полностью учесть при проведении измерений с использованием уровнемера.

Известно, что масса нефтепродуктов в цилиндрических вертикальных резервуарах по измеряемому избыточному давлению может быть представлена в виде

$$m = \frac{pS}{g},$$

где  $p$  – избыточное давление столба мазута;  $S$  – площадь поперечного сечения резервуара;  $g$  – ускорение свободного падения.

Схемное решение представлено на рис. 1. Труба 7, соединенная с резервуаром 1, действует по принципу «сообщающихся сосудов». При открытом клапане 5 уровни мазута в резервуаре и трубе одинаковы. При оперативном контроле расхода мазута (клапан 5 закрыт) датчиком 4 фиксируется разница давлений, создаваемых столбами мазута в трубе и резервуаре.

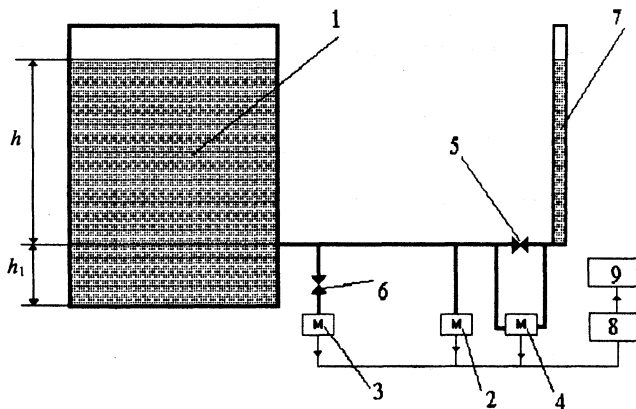


Рис. 1. Схема устройства для измерения массы мазута в резервуаре: 1 – цилиндрический резервуар; 2, 3, 4 – измерительные преобразователи давления, установленные на высоте  $h_1$ ; 5, 6 – клапаны; 7 – вертикальная труба, соединенная с резервуаром на высоте  $h_1$ ; 8 – программируемый контроллер; 9 – ПЭВМ;  $h$  – максимальная высота столба мазута без мертвого остатка;  $h_1$  – то же мертвого остатка

При заполнении емкости до максимальной высоты  $h$  избыточное давление фиксируется преобразователем давления 2. Верхний предел измерения преобразователя 2 выбирается близким к значению избыточного давления, создаваемого столбом мазута высотой  $h$ . Масса мазута в емкости, заполненной до максимальной высоты  $h$ , определяется по формуле

$$m = \frac{p_2 - p_a}{g} S,$$

где  $p_2$  – избыточное давление столба мазута высотой  $h$ ;  $p_a = \rho_a g h$  – изменение атмосферного давления на высоте  $h$  относительно уровня мертвого остатка;  $\rho_a$  – плотность воздуха. Так как отношение плотности воздуха к плотности мазута  $\rho_a/\rho_m \approx 0,001$ , значение  $p_a$  можно не учитывать.

Для повышения точности измерения массы мазута при малой высоте налива  $h_2 = h/10$  используется датчик давления 3. Верхний предел измерения преобразователя 3 выбирается близким к значению избыточного давления  $p_3$ , создаваемого столбом мазута высотой  $h_2$ . Масса мазута в емкости, заполненной до высоты  $h_2$ , определяется по формуле

$$m = \frac{p_3}{g} S,$$

при этом клапан 6 должен быть открыт.

Оперативный контроль расхода мазута массой от 0 до  $M$  кг осуществляется преобразователем разности давлений 4. Верхний предел измерений этого датчика выбирается близким к значению избыточного давления  $p_4$ , создаваемого количеством мазута  $M$  кг. Оперативный контроль расхода мазута осуществляется при закрытом клапане 5. При достижении давления  $p_4$  производится сброс значений датчика 4 открыванием клапана 5. При контроле массы мазута в емкости преобразователями 2, 3 электромагнитный клапан 5 должен быть открыт.

В качестве датчиков давления могут быть использованы измерительные преобразователи давления типа «Сапфир», «Метран» или их импортные аналоги, обеспечивающие значение выходного сигнала постоянного тока 4...20 мА с пределом основной допустимой погрешности не более 0,25 %. Дополнительным требованием к датчикам давления является их взрывозащищенность.

Последующая обработка выходного сигнала постоянного тока 4...20 мА осуществляется универсальным измерительным контроллером (например, Щ711/1, ЦР 9006, ADAM и др.) с пределом основной допустимой погрешности по постоянному току не более 0,15 %. Окончательный расчет массы мазута выполняется контроллером по программе, учитывающей данные градуировочной таблицы резервуара.

Предлагаемая система контроля массы мазута содержит: микроконтроллер с оригинальным программным обеспечением; устройство регистрации избыточного давления; устройство регистрации перепада давлений;

блок управления защитно-коммутирующими элементами; датчики давления и температуры.

Автоматизированная система измерения массы мазута обеспечивает следующие характеристики:

- относительную погрешность измерения массы не более 0,5 %;
- возможность оперативного контроля расхода мазута;
- возможность контроля температуры мазута в трех точках емкости;
- контроль и управление процессом с помощью микроконтроллера;
- статистический учет, хранение и воспроизведение результатов измерений в режиме защиты от несанкционированного доступа в течение не менее ста суток;
- фиксацию фактов включения/отключения насосов на откачку мазута и его времени;
- передачу данных на ПЭВМ по протоколу MODBUS.

Для полного учета баланса топлива в резервуаре необходимо определение мертвого остатка мазута. Учет массы мертвого остатка производится по формуле

$$M = \rho_p V ,$$

где  $\rho_p$  – расчетная плотность мазута;  $V$  – объем мертвой полости, определяемый из градуировочных таблиц.

Плотность мазута при 20 °С ( $\rho_{20}$ ) определяется либо экспериментально (отбор пробы в зоне мертвого остатка), либо выбором максимального значения плотности из данных товарно-транспортной документации на мазут. Расчетная плотность определяется по формуле

$$\rho_p = \rho_{20} \beta(t - 20) ,$$

где  $\beta$  – коэффициент температурной поправки [3];  $t$  – температура мазута в зоне мертвого остатка, измеренная системой.

Суммарная погрешность определения массы мазута при использовании контроллера ЦР 9006 с погрешностью 0,25 % не превышала 0,5 %, с погрешностью 0,1 % – не превышала 0,3 %. Информация об измеряемых величинах отображается на жидкокристаллическом индикаторе контроллера и передается на ПЭВМ с помощью его интерфейса.

В настоящее время автоматизированная система учета массы мазута прошла метрологическую аттестацию и эксплуатируется на Полоцкой ТЭЦ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П р а в и л а учета топлива на электростанциях. РД 34.09.105-88. – М.: Союзтехэнерго, 1988. – 109 с.
2. А д а м с о н А. Физическая химия поверхностей. – М.: Мир, 1979. – 568 с.
3. Т а б л и ц ы калибровки железнодорожных цистерн. – М.: Транспорт, 1972. – 25 с.

Поступила 16.04.2003