

С другой стороны, вероятности P_1 , P_2 и P_n^c можно определить, исходя из предположения, что интенсивности отказов в СС распределены по экспоненциальному закону. Тогда P_1 , P_2 и P_n^c определяются как [1]

$$P_1 = \exp(-\Lambda t), \quad P_2 = 1 - \exp(-\Lambda t), \quad P_n^c = \exp(-\Lambda_c t), \quad (7)$$

где Λ — интенсивность отказа модуля ОК, Λ_c — суммарная интенсивность отказа СК.

Вероятности P_{10} и P_{20} можно определить по известным соотношениям [3, 2]. На этой основе можно определить вероятность сохранения P_{11} , либо перехода P_{21} модулей ОК в работоспособное состояние. Остальные P_{ij} равны нулю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин Б. Р. Теория надежности радиотехнических систем.—М.: Сов. радио, 1978.—263 с.
2. Смирнов Н. В., Боровков А. И. Таблицы для вычисления функции двумерного распределения.—М.: Изд-во АН СССР, 1962.—204 с.
3. Коротков В. П., Тайц Б. А. Основы метрологии и теории точности измерительных устройств.—М.: Изд-во стандартов, 1978.—217 с.

ЕрНИИИ АСУГ

5. IX. 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XLII, № 3, 1989, с. 129—132

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 621.317.7.62—52

С. Г. КЮРЕГЯН, Р. А. АКОПЯН, А. М. БАРХУДАРЯН

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ ЖИДКОСТИ В ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ ПЬЗОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Определены составляющие относительной погрешности измерения массы жидкости пьезометрическим методом в зависимости от степени заполнения резервуара. Полученные результаты позволяют определить диапазон степени заполнения резервуара, при котором измерение массы жидкости производится с регламентированной погрешностью, и определить при этом допустимую погрешность измерения уровня жидкости окружающей температуры и избыточного давления паров жидкости в резервуаре.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

Սրտչվում են հեղուկի զանգվածի չափման հարսերիտիան սխալի բաղադրիչները պիեզո-
չափական մեթոդով, կախված ջրամբարի լցման աստիճանից: Ստացված արդյունքները թույլ
են ապրիս որոշել ջրամբարի լցման աստիճանի սահմանները, որի դեպքում հեղուկի զանգ-
վածի փոփոխությունը տեղի է ունենում կանոնակարգված սխալով և այդ դեպքում որոշել
հեղուկի մակարդակի, շրջակա ջերմաստիճանի և հեղուկի գազերի հավելարդային մնշման
փոփոխման սխալը:

Пьезометрический метод измерения количества жидкости в резервуарах заключается в определении массы m по гидростатическому давлению жидкости в резервуаре P , определяемому с помощью сообщающейся с резервуаром трубки-пьезометра, имея среднюю площадь сечения резервуара $S(H) \approx S(P)$ [1], по формуле

$$m = \frac{1}{g} \rho S(P), \quad (1)$$

где H —уровень жидкости в резервуаре, g —ускорение свободного падения.

Если резервуар герметичный, то гидростатическое давление жидкости в пьезометре P_n отличается от такового в резервуаре на величину избыточного давления паров жидкости P_n в резервуаре

$$P = P_n - P_n, \quad (2)$$

где $P_n = \rho g h$, ρ — плотность, h — уровень жидкости в пьезометре.

Установив на уровне максимальной высоты жидкости в пьезометре h_k контактный датчик и опустив его до соприкосновения с поверхностью жидкости, определим перемещение h_x и уровень жидкости в пьезометре $h = h_k - h_x$. Перемещение h_x можно определить и при неподвижном контактом датчике, поднимая уровень жидкости в пьезометре нагнетанием дополнительной жидкости [2].

Учтем влияние окружающей температуры T на изменение плотности жидкости ρ , высоты уровня в пьезометре h_x и среднего сечения резервуара S , а также влияние на последнее давление жидкости на стенки резервуара

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta \Delta T)^{-1}, \quad h_x = h_{x_0} (1 + \alpha \Delta T), \\ S(P) = S_0(P) (1 + \alpha \Delta T)^2 (1 + cP), \quad (3)$$

где $\Delta T = T - T_0$; $c = \frac{D_0}{2\delta E}$; ρ_0 , h_{x_0} , $S_0(P)$ — параметры при температуре T_0 ; β — объемный коэффициент расширения жидкости; α — линейный коэффициент расширения материала пьезометра; D_0 — диаметр резервуара при температуре T_0 ; δ , E — толщина стенки и модуль упругости материала резервуара.

Для вычисления массы жидкости по (1) необходимо измерить следующие величины: h_x , P_n и T . Если при этом допускаются абсолютные погрешности Δh_x , ΔP_n и ΔT , то абсолютная погрешность при вычислении массы будет

$$\Delta m = \frac{dm}{dh_x} \Delta h_x + \frac{dm}{dT} \Delta T + \frac{dm}{dP_n} \Delta P_n,$$

где производные определяются следующим образом:

$$\frac{dm}{dh_x} = \frac{\partial m}{\partial P} \cdot \frac{dP}{dh_x}; \quad \frac{dm}{dT} = \frac{\partial m}{\partial P} \cdot \frac{dP}{dT} + \frac{\partial m}{\partial T};$$

$$\frac{dm}{dP_u} = \frac{\partial m}{\partial P} \cdot \frac{\partial m}{dP_u}.$$
(4)

Вычислив (4) с учетом (1)–(3), определим значения составляющих относительной погрешности $\delta_m = \frac{\Delta m}{m} \cdot 100\%$

$$\delta_{m_h} = -f(\lambda)(1+k_u)\delta h, \quad \delta_{m_T} = (f(\lambda)a_T + a_{TS})T_m\delta T,$$

$$\delta_{m_P} = -f(\lambda)k_u\delta P_u,$$
(5)

где $f(\lambda) = \left(\frac{1}{\lambda} + a_s \frac{dS_0(P)}{dh} + ca_c \right) k_P k_S(P)$; $\lambda = \frac{m}{m_u}$; m_u — масса жидкости в резервуаре, соответствующая уровню h_x пьезометра;

$$a_s = \frac{h_{k_u}(1+\alpha\Delta_T)}{k_P^2 k_S^2(P)(1+k_u)S_0(P_u)}; \quad a_c = \frac{P_u}{k_P k_S(P)(1+icP_u)};$$

$$a_T = \frac{(1+k_u)(\alpha-\beta) + \beta(1+\alpha\Delta_T) \left(1 - \frac{\lambda}{k_P k_S(P)} \right)}{(1+\alpha\Delta_T)(1+\beta\Delta_T)}; \quad a_{TS} = \frac{2\alpha}{1+\alpha\Delta_T};$$

$$k_u = \frac{P_u}{P_k}; \quad k_S(P) = \frac{S_0(P)}{S_0(P_u)}; \quad k_P = \frac{1+icP_k}{1+icP_u}; \quad P_k = \rho g h_k - P_u;$$

δh_x , δT и δP_k — погрешности измерений, отнесенные к максимальным значениям соответственно высоты пьезометра h_{k_u} , температуры T_m и избыточного давления P_{nm} , выраженные в процентах.

Если составляющие погрешности в определении массы жидкости в резервуаре носят случайный характер, то, учитывая независимость друг от друга этих составляющих, результирующую погрешность можно оценить как $\delta_{m_{св}} = \sqrt{\delta m_h^2 + \delta m_T^2 + \delta m_P^2}$. Верхнюю границу погрешности измерения массы жидкости в резервуаре можно определить как сумму абсолютных значений составляющих

$$\delta m_m = |\delta m_h| + |\delta m_T| + |\delta m_P|.$$

Если принять за m_k массу жидкости полного резервуара, то выражения (5) позволяют определить величины погрешностей в зависимости от степени заполнения резервуара λ . На рисунке показаны соответствующие графики, полученные для нефтепродуктов в резервуаре со следующими данными:

$$D_0 = 10 \text{ м}, \quad h_{k_u} = 10 \text{ м}, \quad \lambda = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \quad E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н·м}^2,$$

$$k_{S_{\max}} = 1,02, \quad \frac{\partial S_0}{\partial h} \approx \frac{\Delta S}{\Delta h} \Big|_{\max} = 0,008, \quad \alpha = 0,012 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C},$$

$$\beta = 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}, \quad \rho_0 = 790 \text{ кг/м}^3, \quad \Delta T = 30^{\circ}\text{C}, \quad P_{\text{атм}} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Для измерительной аппаратуры приняты следующие параметры:

$$\Delta h_x = 4 \text{ мм}, \quad T_m = 100^{\circ}\text{C}, \quad \Delta T = 1^{\circ}\text{C}, \quad \Delta P_{\text{и}} = 10 \text{ Па.}$$

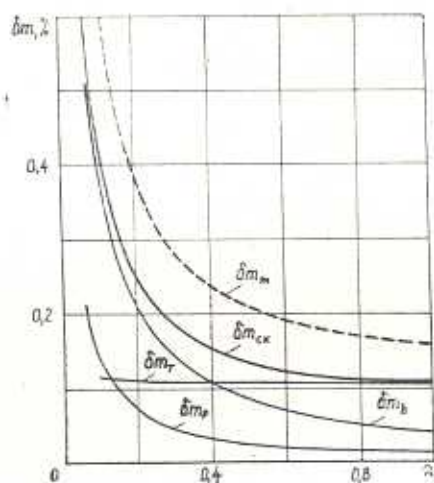


Рис.

Согласно [3] погрешность измерения массы нефтепродуктов не должна превышать 0,5%. Это накладывает определенные требования на точность измерения h , T и $P_{\text{и}}$. Для принятых в расчете погрешностей измерения δh , δT и $\delta P_{\text{и}}$ требуемая точность измерения массы нефтепродуктов в резервуаре обеспечивается в диапазоне $\lambda = 0,1-1,0$ (рис.), что выгодно отличает описанный метод измерения массы от существующих. Дальнейшее ощутимое расширение диапазона измерения массы с требуемой точностью возможно за счет значительного уменьшения погрешности измерения уровня δh , что может быть ограничено техническими возможностями.

Полученные результаты могут быть использованы для определения классов точности измерительной аппаратуры, если задан допустимый диапазон измерения массы жидкости в резервуаре с требуемой погрешностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А. Измерительно-вычислительные системы количественного учета нефтепродуктов.—М.: Недра, 1984.—232 с.
2. Мовсесян Р. А., Бархударян А. М. Теоретические основы гидродинамического nivelирования // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка.—1976.—№ 1.—С. 9—14.
3. ГОСТ 26976—86. Нефть и нефтепродукты. Методы измерения массы.—М.: Изд-во стандартов, 1986.—14 с.