

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

$$P_1 = \exp(-\Lambda t), \quad P_2 = 1 - \exp(-\Lambda t), \quad P_{\Sigma}^c = \exp(-\Lambda_{\Sigma} t), \quad (7)$$

где Λ — интенсивность отказа модуля ОК, Λ_{Σ} — суммарная интенсивность отказа СК.

Вероятности P_{10} и P_{Σ} 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_i 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.

БРННПН АСУГ

5. IX 1987

Изв. АН АрмССР (сер. Техн.), 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 ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Определены составляющие относительной погрешности измерения массы жидкости пьезометрическим методом и зависимости от степени заполнения резервуара. Полученные результаты позволяют определять 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 пара жидкости в резервуаре.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

Քրքշվում են հեղուկի զանգվածի չափման հարստերական սխալի բաղադրիչները պիեզոմետրիկ մեթոդով, կախված ջրամբարի լցման աստիճանից: Ստացված արդյունքները թույլ են տալիս որոշել ջրամբարի լցման աստիճանի սահմանները, որի դեպքում հեղուկի զանգվածի փոփոխությունը տեղի է ունենում կանոնակարգված սխալով և այդ զանգված որոշել հեղուկի մակարդակի, շրջակա շերտառնիճանի և հեղուկի պարզի համեմատության անշման 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

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

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

Если резервуар герметичный, то гидростатическое давление жидкости в пьезометре P_{Π} отличается от такового в резервуаре на величину избыточного давления паров жидкости P_v в резервуаре

$$P = P_{\Pi} - P_v, \quad (2)$$

где $P_{\Pi} = \rho g h$, 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 контактном 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

$$\rho = \rho_0 (1 - \beta \Delta T)^{-1}, \quad h_x = h_{x0} (1 + \alpha \Delta T), \quad S(H) = S_0(P) (1 + \epsilon P)^2 (1 + \gamma \Delta T), \quad (3)$$

где $\Delta T = T - T_0$, $\epsilon = \frac{D_0}{2\delta E}$, $\gamma = \frac{1}{h_0}$, $S_0(P)$ — 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_{Π} и T . Если при этом допускаются абсолютные погрешности Δh_x , ΔP_{Π} и ΔT , то абсолютная погрешность при вычислении массы будет

$$\Delta m = \frac{dm}{dh_x} \Delta h_x + \frac{dm}{dP_{\Pi}} \Delta P_{\Pi} + \frac{dm}{dT} \Delta T.$$

где производные определяются следующим образом:

$$\begin{aligned}\frac{dm}{dh_x} &= \frac{\partial m}{\partial P} \cdot \frac{dP}{dh_x}; & \frac{dm}{dT} &= \frac{\partial m}{\partial P} \cdot \frac{dP}{dT} + \frac{\partial m}{\partial T}; \\ \frac{dm}{dP_u} &= \frac{\partial m}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial P_u}.\end{aligned}\quad (4)$$

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

$$\begin{aligned}\delta m_h &= f(\lambda) (1 + k_h) \delta h, & \delta m_T &= (f(\lambda) a_T + a_{TS}) T_m \delta T, \\ \delta m_P &= -f(\lambda) k_P \delta P_u,\end{aligned}\quad (5)$$

где $f(\lambda) = \left(\frac{1}{\lambda} + a_s \frac{\partial S_u(P)}{\partial h} + r a_s \right) k_P k_S(P)$; $\lambda = \frac{m}{m_n}$; m_n — масса жидкости в резервуаре, соответствующая уровню h_n пьезометра;

$$\begin{aligned}a_s &= \frac{h_n (1 + \alpha \Delta_T)}{k_P^2 k_S^2(P) (1 + R_1) S_u(P_u)}, & a_s &= \frac{P_u}{k_P k_S(P) (1 + r P_u)}; \\ a_T &= \frac{(1 + k_h)(2 - \beta) + \beta(1 + \alpha \Delta_T) \left(1 - \frac{\lambda}{k_P k_S(P)} \right)}{(1 + \alpha \Delta_T)(1 + \beta \Delta_T)}, & a_{TS} &= \frac{2\alpha}{1 + \alpha \Delta_T}; \\ k_h &= \frac{P_u}{P_s}; & k_S(P) &= \frac{S_u(P)}{S_u(P_u)}; & k_P &= \frac{1 + r P_u}{1 + r P_s}; & P_s &= \rho g h_n + P_a;\end{aligned}$$

δh_x , δT и δP_u — погрешности измерений, отнесенные к максимальным значениям соответственно высоты пьезометра h_n , температуры T_m и избыточного давления P_{um} , 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 $\delta m_{\Sigma} = \sqrt{\delta m_h^2 + \delta m_T^2 + \delta m_P^2}$. Верхнюю границу погрешности измерения массы жидкости в резервуаре можно определить как сумму абсолютных значений составляющих

$$\delta m_{\Sigma} = |\delta m_h| + |\delta m_T| + |\delta m_P|.$$

Если принять за m_n 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:

$$D_0 = 10 \text{ м}, \quad h_n = 10 \text{ м}, \quad \beta = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2.$$

$$k_{Smax} = 1.02, \quad \frac{\partial S}{\partial h} \approx \frac{\Delta S}{\Delta h} \Big|_{m, \lambda} = 0.008, \quad z = 0.012 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}.$$

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

Для измерительной аппаратуры приняты следующие параметры:

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

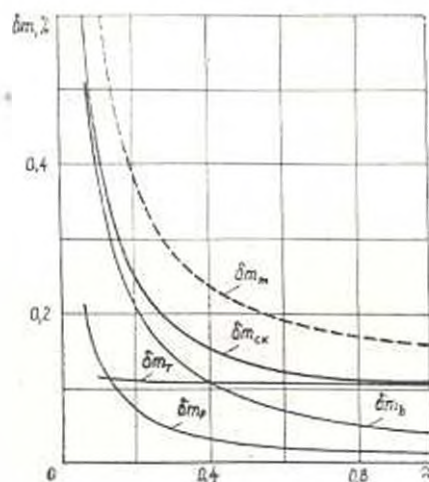


Рис.

Согласно [3] погрешность измерения массы нефтепродуктов не должна превышать 0,5%. Это накладывает определенные требования на точность измерения h , T и P_m . Для принятых в расчете погрешностей измерения δh , δT и δP_m 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 Г. М., Тер-Хачатуров А. А. Измерительно-вычислительные системы количественного учета нефтепродуктов.—М.: Недра, 1984.—322 с.
2. Мовсесян Р. А., Бархударян А. М. Теоретические основы гидродинамического моделирования // 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.