

Введение На Государственном специальном эталоне единицы длины (уровня) 1-го разряда с диапазоном измерений 0,1-20 м [1] (далее- эталон) в качестве чувствительного элемента используется поплавков 1 Рис.1 поплавкового уровнемера [2]. На эталоне поверяются средства измерений уровня, применяемые для определения массы жидких веществ в нефтегазохимическом комплексе Российской Федерации [3]. Для определения влияния атмосферного давления и относительной влажности воздуха на глубину погружения поплавок уровнемера проведены исследования с целью определения влияния указанных факторов на точность измерений уровня. В качестве жидкости использована вода по ГОСТ 2874-82 [4]. В качестве объекта исследования рассмотрен поплавков (без гибкой механической связи с основной частью уровнемера) плавающий на поверхности жидкости при неизменном ее уровне в эталоне (рис 1). 1 - поплавков, 2 нулевые стойки, 3 - поверяемый уровнемер, 4 - направляющая труба Рис. 1 - Функциональная схема эталона Поплавков имеет цилиндрическую форму, геометрические характеристики которого приведены на рис. 2. Объёмная плотность поплавок равна 500 кг/м<sup>3</sup> и масса поплавок составляет 3,150 кг. Рис. 2 - Схема поплавок УНКР.305446.036 Расчетная часть В данной статье сначала проведен расчет глубины погружения поплавок в жидкость без учёта выталкивающей силы воздуха. На поплавков в этом случае действуют две силы: сила тяжести и выталкивающая сила Архимеда, условие равновесия поплавок описывается выражением  $F_A = \rho_{ж} g V_{пчт}$ , где  $F_A$  - выталкивающая сила Архимеда, Н;  $\rho_{ж}$  - плотность жидкости (воды), кг/м<sup>3</sup>;  $V_{пчт}$  - объём погруженной части поплавок, м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>. Так как на поплавков действует только две силы: выталкивающая сила Архимеда  $F_A$  и сила тяжести поплавок  $mg$ , имеет место равенство:  $F_A = mg$ . Формула (1) с учетом равенства (2) получает вид  $mg = \rho_{ж} g V_{пчт}$ . Отсюда получаем формулу для вычисления объёма погруженной части поплавок  $V_{пчт}$  в виде , где  $m$  - масса поплавок, значение которой равно 3,150 кг;  $\rho_{ж}$  - плотность жидкости (воды), значение которой принято равным 1000 кг/м<sup>3</sup>. Значение объёма погруженной части поплавок  $V_{пчт}$  с учетом вышеуказанных данных равно: Поплавков имеет цилиндрическую форму и, следовательно, объём погруженной части поплавок  $V_{пчт}$  можно вычислить по формуле  $V_{пчт}$ , где  $\pi=3,1415926$ ;  $l$  - глубина погружения поплавок;  $D$  - наружный диаметр поплавок. В соответствии с формулой (3) значение глубины погружения поплавок (без учета выталкивающей силы воздуха)  $l_1$  при значении диаметра поплавок  $D$ , равном 400 мм, равно: или Далее, приведем расчет глубины погружения поплавок с учетом выталкивающей силы воздуха. При этом, значение плотности воздуха при нормальных условиях равна 1,2 кг/м<sup>3</sup>. Полный объём поплавок  $V$  вычисляется по формуле  $V$ , где  $D$  - диаметр поплавок;  $h$  - высота поплавок. Значение величины  $V$  при исходных данных:  $D=400$ мм,  $h=54$ мм в соответствии с формулой (4) равно:  $V=$  м<sup>3</sup>. В этом случае на поплавков действуют три силы: сила тяжести поплавок, выталкивающая сила жидкости и

выталкивающая сила воздуха. Условие равновесия поплавок описывается выражением  $F_{\text{Ав}} + F_{\text{Аж}} = mg$ ; где  $F_{\text{Ав}}$  - выталкивающая сила воздуха;  $F_{\text{Аж}}$  - выталкивающая сила жидкости. Величины  $F_{\text{Ав}}$ ,  $F_{\text{Аж}}$  вычисляются по формулам:  $F_{\text{Аж}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{пчт}}$ ;  $F_{\text{Ав}} = \rho_{\text{в}} g (V - V_{\text{пчт}})$ , где,  $\rho_{\text{в}}$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ж}}$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{\text{пчт}}$  - объем погруженной в жидкость части поплавок, вычисляемый по формуле (3), м<sup>3</sup>;  $V$  - полный объем поплавок, вычисляемый по формуле (4), м<sup>3</sup>. Подставим выражения (6), (7) в формулу (5), получим условие равновесия поплавок в виде  $mg = \rho_{\text{в}} g (V - V_{\text{пчт}}) + \rho_{\text{ж}} g V_{\text{пчт}}$ ; или в окончательном виде  $m = \rho_{\text{в}} (V - V_{\text{пчт}}) + \rho_{\text{ж}} V_{\text{пчт}}$ . Подставим в уравнение (8) необходимые значения:  $3,15 = 1,2 \cdot (6,7858344 \cdot 10^{-3} - V_{\text{пчт}}) + 1000 \cdot V_{\text{пчт}}$ ;  $3,15 = 8,1430013 \cdot 10^{-3} - 1,29 \cdot V_{\text{пчт}} + 1000 \cdot V_{\text{пчт}}$ ;  $3,141857 = 998,71 \cdot V_{\text{пчт}}$ ;  $V_{\text{пчт}} = 3,1459152 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>. Высота части поплавок, погруженной в жидкость будет равна:  $l_1$ . Таким образом, разница высот частей поплавок, погруженных в жидкость, с учетом выталкивающей силы воздуха и без неё равна:  $\Delta l = |l_1 - l_2| = 25,03212065 - 25,03216362 = 0,0000429 \text{ м} = 4,29 \cdot 10^{-5} \text{ мм}$ . Для определения максимального интервала изменения глубины погружения поплавок в жидкость рассмотрим несколько случаев. Исследовались максимально крайние точки условий работы эталона. Приведем пример расчета глубины погружения поплавок при изменении относительной влажности воздуха на 50%. При  $t = 20^\circ \text{ C}$  и атмосферном давлении 760 мм. рт. ст. = 101 325 Па = 1013,25 гПа, плотность воздуха можно определить по формуле  $\rho \approx \frac{P}{R \cdot T} \cdot \phi$ , где  $P$  - атмосферное давление, гПа;  $t$  - температура воздуха, °C;  $\phi$  - относительная влажность воздуха, %. При относительной влажности воздуха равной 100%, плотность воздуха будет равна:  $\rho \approx 1,2041 \text{ кг/м}^3$ . Объем погруженной части поплавок в жидкость по формуле (8) будет равен:  $3,15 = 1,1941978 \cdot (6,7858344 \cdot 10^{-3} - V_{\text{пчт}}) + 1000 \cdot V_{\text{пчт}}$ ;  $3,15 = 8,1036285 \cdot 10^{-3} - 1,1941978 \cdot V_{\text{пчт}} + 1000 \cdot V_{\text{пчт}}$ ;  $3,1418964 = 998,8058 \cdot V_{\text{пчт}}$ ;  $V_{\text{пчт}} = 3,1456529 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>. Высота части поплавок погруженной в жидкость при  $t = 20^\circ \text{ C}$ , относительной влажности воздуха 100% и атмосферном давлении 760 мм. рт. ст. будет равна:  $l_1'$  или При относительной влажности воздуха равной 50%, плотность воздуха будет равна:  $\rho \approx 0,60205 \text{ кг/м}^3$ . Объем погруженной части поплавок в жидкость по формуле (8) будет равен:  $3,15 = 1,1992836 \cdot (6,7858344 \cdot 10^{-3} - V_{\text{пчт}}) + 1000 \cdot V_{\text{пчт}}$ ;  $3,15 = 8,1381399 \cdot 10^{-3} - 1,1992836 \cdot V_{\text{пчт}} + 1000 \cdot V_{\text{пчт}}$ ;  $3,1418964 = 998,80072 \cdot V_{\text{пчт}}$ ;  $V_{\text{пчт}} = 3,1456344 \cdot 10^{-3}$  м. Высота части поплавок, погруженной в жидкость при  $t = 20^\circ \text{ C}$ , относительной влажности воздуха 50% и атмосферном давлении 760 мм. рт. ст. будет равна:  $l_2'$ . Таким образом, разница высот частей поплавок погруженных в жидкость при относительной влажности воздуха 100 % и относительной влажности воздуха 50% при прочих равных условиях будет равна:  $\Delta l' = |l_1' - l_2'| = 25,03212065 - 25,03216362 = 0,0000429 \text{ м} = 4,29 \cdot 10^{-5} \text{ мм}$ . Далее, приведем расчет глубины погружения поплавок при изменении атмосферного давления на 20 мм. рт. ст. и относительной влажности воздуха 50% при прочих равных условиях. Плотность воздуха при атмосферном давлении равном 740 мм. рт. ст. = 98658,553 Па = 986,58553 гПа будет равна:  $\rho \approx 0,597 \text{ кг/м}^3$ . Объем

погруженной части поплавка в жидкость по формуле (8) будет равен:  
 $3,15 = 1,1675897 \cdot (6,7858344 \cdot 10^{-3} - V_{пчт}) + 1000 \cdot V_{пчт}$ ;  $3,15 = 7,9230704 \cdot 10^{-3} - 1,1675897 \cdot V_{пчт} + 1000 \cdot V_{пчт}$ ;  $3,1420769 = 998,83241 \cdot V_{пчт}$ ;  $V_{пчт} = 3,1457498 \cdot 10^{-3}$  мЗ.  
 Высота части поплавка, погруженной в жидкость при  $t=20^{\circ}$  С, относительной влажности воздуха 50% и атмосферном давлении 740 мм. рт. ст. будет равна:  $l'' =$  мм. Таким образом, разница высот частей поплавка, погруженных в жидкость, при  $t=20^{\circ}$  С, относительной влажности воздуха 50% и атмосферном давлении 760 мм. рт. ст. и при  $t=20^{\circ}$  С, относительной влажности воздуха 50% и атмосферном давлении 740 мм. рт. ст. будет равна:  $\Delta l'' = l_2' - l_1'' = 25,03216362 - 25,03308194 = -0,00091832$  мм  $= 9,1832 \cdot 10^{-4}$  мм. Заключение Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что для Государственного специального эталона единицы длины (уровня) 1-го разряда в диапазоне 0,1-20 м с пределами допускаемой абсолютной погрешности  $\pm 0,25$  мм, аттестованного по нормативным документам [6], влияние относительной влажности воздуха и атмосферного давления на точность измерения уровня несущественно