

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ФУНКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛАЗЕРНО-ТЕЛЕВИЗИОННОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

© 2014 Б.В. Скворцов, С.А. Борминский, Д.И. Блинов, Д.М. Живоносная

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 21.11.2014

В настоящей статье предлагается теоретическое обоснование и разработка математической модели лазерно-телевизионного метода измерения уровня по меткам, создаваемым на контролируемой поверхности одним или группой лазерных лучей с последующей обработкой изображения.

Ключевые слова: математическая модель, функция преобразования, лазерно-телевизионный метод, контроль уровня жидкости, лазерное излучение.

В настоящее время во всём мире наблюдается рост количества измерительных устройств, в которых применяется лазерное излучение. Измерения, проводимые с помощью лазерного излучения, содержат в себе ряд преимуществ. Использование лазерного излучения позволяет выполнять измерения с высокой чувствительностью, поскольку вследствие высокой энергетической яркости лазерного луча улучшаются энергетические соотношения в приёмных устройствах. Также, важным фактором в пользу применения лазерного излучения является то, что лазерный луч представляет собой направленное электромагнитное излучение, а скорость распространения электромагнитной волны мало зависит от окружающих факторов, таких как плотность среды, температура, влажность, давление. Известен ряд устройств [1, 2, 3, 4] для измерения уровня жидкости с помощью лазерного луча (одного или нескольких).

Выделим основные параметры измерительного лазерного луча, зависящие от контролируемого уровня жидкости:

- время распространения сигнала от поверхности до приёмника.
- амплитуда и фаза пришедшего на фотоприёмник сигнала.
- спектральный состав сигнала.
- позиция отражённого сигнала на изображении, регистрируемом фоточувствительной матрицей приёмника (определение данного па-

раметра с последующей обработкой используется в лазерно-телевизионном методе контроля уровня жидкости).

В данной статье предложены несколько вариантов реализации лазерно-телевизионного метода контроля уровня жидкости, а именно:

- по одной лазерной метке;
- по двум лазерным меткам, расстояние между которыми заведомо известно;
- по N лазерным меткам, расстояние между которыми заведомо известно.

Для пояснения рассматриваемого метода рассмотрим лазерно-телевизионный уровнемер, представленный на рис. 1. Данный уровнемер содержит: телевизионную камеру 1, цифровое вычислительное устройство 2, источники лазерного излучения 3, 4, 5, 6, блок управления 7, блок индикации 8. По команде блока управления активируются источники лазерного излучения, на контролируемой поверхности появляются метки лазерных лучей, а фотоприёмная матрица регистрирует изображение контролируемой поверхности, которое поступает в цифровое вычислительное устройство, где по формулам определяется искомое расстояние H .

Сущность измерительной процедуры в самом общем случае иллюстрируется рис. 1, 2 и состоит в том, что на поверхности жидкости, уровень которой контролируется, с помощью лазерных лучей создаются метки $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$.

Каждая из этих меток имеет координаты в пространстве $A_i(X_i; Y_i; Z_i)$. Известно, что все эти точки принадлежат одной плоскости, уравнение которой можно определить через три произвольные точки A_{i-1}, A_i, A_{i+1} по формуле [5].

$$\begin{vmatrix} X - X_{i-1} & Y - Y_{i-1} & Z - Z_{i-1} \\ X_i - X_{i-1} & Y_i - Y_{i-1} & Z_i - Z_{i-1} \\ X_{i+1} - X_{i-1} & Y_{i+1} - Y_{i-1} & Z_{i+1} - Z_{i-1} \end{vmatrix} = 0. \quad (1)$$

Скворцов Борис Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехника», научный руководитель НИИ «Аналитические приборы и системы».

E-mail: aps@ssau.ru.

Борминский Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника».

E-mail: aps@ssau.ru.

Блинов Дмитрий Игоревич, аспирант кафедры «Электротехника». E-mail: SchumerBlin@yandex.ru.

Живоносная Дарья Михайловна, студентка.

E-mail: aps@ssau.ru

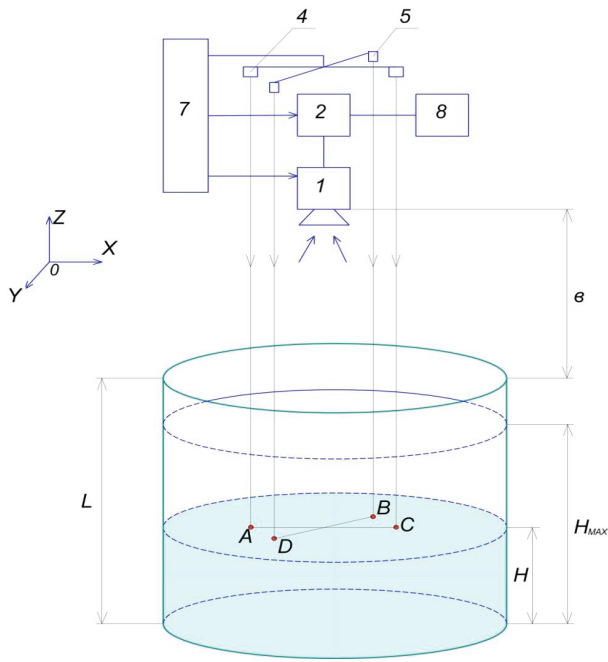


Рис. 1. Структурная схема лазерно-телевизионного уровнемера

Выражение (1) преобразуется к виду

$$GX + QY + TZ + P = 0, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} G &= (Y_i - Y_{i-1})(Z_{i+1} - Z_{i-1}) - (Y_{i+1} - Y_{i-1})(Z_i - Z_{i-1}), \\ T &= (X_i - X_{i-1})(Y_{i+1} - Y_{i-1}) - (X_{i+1} - X_{i-1})(Y_i - Y_{i-1}), \\ Q &= -((X_i - X_{i-1})(Z_{i+1} - Z_{i-1}) - (X_{i+1} - X_{i-1})(Z_i - Z_{i-1})), \\ P &= -GX_{i-1} - QY_{i-1} - TZ_{i-1} \end{aligned} \quad (3)$$

Предположим, что расстояние между всеми точками известно и определяется по формуле

$$\begin{aligned} L_m &= \sqrt{(X_n - X_i)^2 + (Y_n - Y_i)^2 + (Z_n - Z_i)^2} = \\ &= \sqrt{\Delta X_{ni}^2 + \Delta Y_{ni}^2 + \Delta Z_{ni}^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Контролируемая поверхность снимается теле(фото)камерой.

Выбранные точки имеют координаты на изображении

$$A_{i-1}(\mu_{i-1}; \eta_{i-1}), A_i(\mu_i; \eta_i), A_{i+1}(\mu_{i+1}; \eta_{i+1}).$$

Из законов геометрической оптики, по правилам сохранения пропорций, при съёмке со стороны Z (центр линзы находится на оси Z) между координатами точек в пространстве X, Y, Z и на фотоматрице μ, η справедливы следующие соотношения [6] (при $Z > f$)

$$\mu = \frac{Xf}{Z-f}, \quad \eta = \frac{Yf}{Z-f}, \quad (5)$$

где f – внешнее фокусное расстояние объектива, для стандартных объективов это величина известная, либо определяется экспериментально. Здесь Z – расстояние от контролируемой повер-

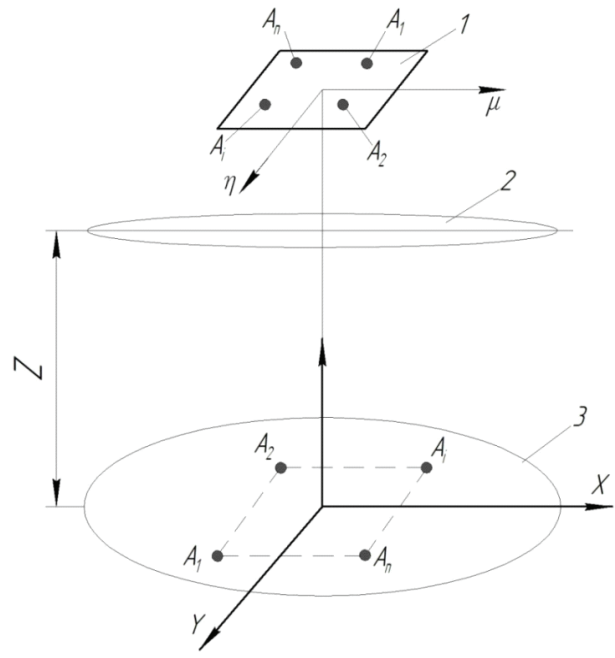


Рис. 2. Иллюстрация к математической модели лазерно-телевизионного метода контроля уровня жидкости:

1 – фотоматрица, 2 – оптическая система, 3 – контролируемая поверхность

хности до главной плоскости оптической системы, которое связано с контролируемым уровнем H и другими конструктивными параметрами формулой (см. рис. 1)

$$Z = L + b - H = Z_m - H, \quad (6)$$

где $Z_m = L + B$ – высота установки центра оптической системы над нулевым уровнем жидкости, то есть при $H = 0, Z = Z_m$.

Тогда выражения, связывающие координаты точек поверхности и их изображения на фотоматрице будут иметь вид

$$\mu = \frac{Xf}{Z_m - H - f}, \quad \eta = \frac{Yf}{Z_m - H - f}. \quad (7)$$

Рассмотрим варианты реализации лазерно-телевизионного метода контроля уровня жидкости.

1. *Контроль по одной метке.* Это возможно, если метка создаётся лазерным лучом, строго параллельным главной оптической оси телекамеры и перпендикулярным контролируемой поверхности. При этом фокусное расстояние известно. В этом случае при смещении уровня вдоль оси Z координаты метки X_i и Y_i не изменяются. Тогда уровень и координаты метки будут связаны соотношениями

$$\mu = \frac{X_i f}{Z_m - H - f}, \quad \eta = \frac{Y_i f}{Z_m - H - f} \quad (8)$$

$$H = Z_m - f \cdot \left(1 + \frac{X_i}{\mu}\right), \quad (9)$$

$$H = Z_m - f \cdot \left(1 + \frac{Y_i}{\eta}\right). \quad (10)$$

Из формул (8), (9) видно, что измерения можно проводить по любой координате метки. Для проведения процедуры измерений нужно при известных значениях X_i, Y_i, f , задаться начальным значением координаты метки

$$\mu_0 = \frac{X_i f}{Z_m - H_0 - f}, \quad \eta_0 = \frac{Y_i f}{Z_m - H_0 - f}. \quad (11)$$

При изменении уровня координаты метки $A_i(\mu_i; \eta_i)$ на изображении будут смещаться по фотоматрице (рис. 3).

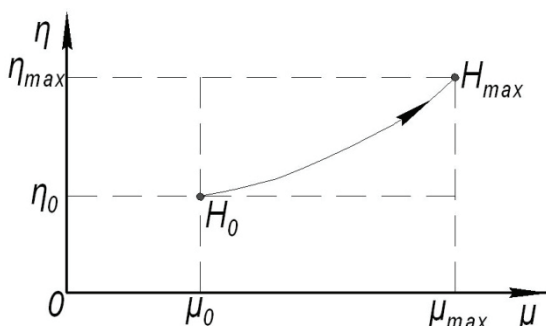


Рис. 3. Смещение координаты метки на фотоматрице в зависимости от уровня

При этом каждому значению уровня будет соответствовать точка на фотоматрице. Единственным условием применения метода является захват телекамерой метки на контролируемой поверхности при минимальном и максимальном значениях уровня, текущее значение которого определяется по формулам (9), (10). Очевидно, что измерения будут более точными, если мы сделаем отсчёт по отдельным координатам, но результат усредним

$$H = 0,5(H_\mu + H_\eta), \quad (12)$$

где H_μ, H_η – уровень, определённый по формулам (9), (10) через соответствующие координаты. Контроль уровня по одной метке требует безусловного знания конструктивных параметров – фокусного расстояния f и высоты Z_m , что не всегда возможно.

2. *Контроль уровня по двум меткам, расстояние между которыми известно.* Это возможно, если метки создаются лазерными лучами, строго параллельным главной оптической оси телекамеры и ортогональными контролируемой поверхности. В этом случае также при смещении уровня вдоль оси Z координаты X_i, Y_i меток не изменяются, $Z_i - Z_n = 0$. В этом случае при изменении уровня будет изменяться расстояние между метками, (рис. 4).

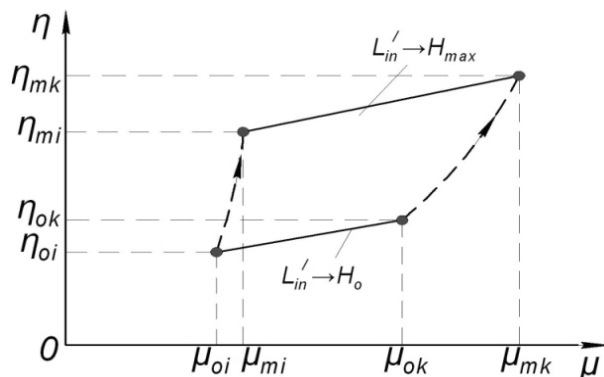


Рис. 4. Перемещение меток на фотоматрице при изменении уровня

Уровень и координаты меток связаны соотношениями (8). Тогда уровень можно найти из системы уравнений

$$\begin{cases} \mu_i = \frac{X_i f}{Z_m - H - f}, \eta_i = \frac{Y_i f}{Z_m - H - f} \\ \mu_n = \frac{X_n f}{Z_m - H - f}, \eta_n = \frac{Y_n f}{Z_m - H - f} \\ L_{in}^2 = (X_n - X_i)^2 + (Y_n - Y_i)^2 \end{cases}, \quad (13)$$

где $\mu_i, \eta_i, \mu_n, \eta_n$ – текущие координаты на изображении i -ой и n -ой меток соответственно. Из (13) получаем

$$\mu_n - \mu_i = \frac{(X_n - X_i)f}{Z_m - H - f}, \quad \eta_n - \eta_i = \frac{(Y_n - Y_i)f}{Z_m - H - f};$$

$$X_n - X_i = \frac{(\mu_n - \mu_i)(Z_m - H - f)}{f},$$

$$Y_n - Y_i = \frac{(\eta_n - \eta_i)(Z_m - H - f)}{f},$$

$$L_{in} = \frac{(Z_m - H - f)}{f} \sqrt{(\mu_n - \mu_i)^2 + (\eta_n - \eta_i)^2}, \quad (14)$$

Отсюда контролируемый уровень определяется из выражения

$$H = Z_m - f \left[1 + \frac{L_{in}}{\sqrt{(\mu_n - \mu_i)^2 + (\eta_n - \eta_i)^2}}\right] = Z_m - f \left(1 + \frac{L_{in}}{L'_{in}}\right), \quad (15)$$

где $L'_{in} = \sqrt{(\mu_n - \mu_i)^2 + (\eta_n - \eta_i)^2}$ – расстояние между метками на фотоматрице.

Выражение (15) является функцией преобразования прибора, позволяющей определять уровень по координатам метки.

3. *Контроль по N меткам, расстояние между которыми известно.* Метки создаются лазерными лучами, параллельным главной оптической оси телекамеры и ортогональными контролируемой поверхности. Для трёх меток i, k, n система (13) будет иметь вид

$$\left\{ \begin{aligned} \mu_{i-1} &= \frac{X_{i-1}f}{Z_m - H - f}, \eta_{i-1} = \frac{Y_{i-1}f}{Z_m - H - f} \\ \mu_i &= \frac{X_i f}{Z_m - H - f}, \eta_i = \frac{Y_i f}{Z_m - H - f} \\ \mu_{i+1} &= \frac{X_{i+1}f}{Z_m - H - f}, \eta_{i+1} = \frac{Y_{i+1}f}{Z_m - H - f} \\ L_{i-1,i}^2 &= (X_{i-1} - X_i)^2 + (Y_{i-1} - Y_i)^2 \\ L_{i,i+1}^2 &= (X_i - X_{i+1})^2 + (Y_i - Y_{i+1})^2 \\ L_{i-1,i+1}^2 &= (X_{i-1} - X_{i+1})^2 + (Y_{i-1} - Y_{i+1})^2. \end{aligned} \right. \quad (16)$$

Здесь значения $L_{i-1,i}, L_{i,i+1}, L_{i-1,i+1}$ – считаются известными. Координаты меток на изображении являются данными измерительной процедуры. Целью решения является определение уровня H . Система (16) путём последовательных подстановок сводится к виду

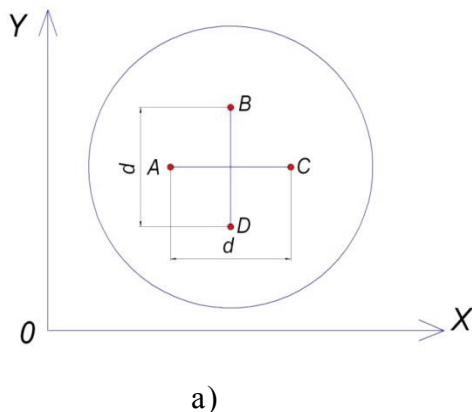
$$\left\{ \begin{aligned} L_{i-1,i} &= \frac{(Z_m - H - f)}{f} \sqrt{(\mu_{i-1} - \mu_i)^2 + (\eta_{i-1} - \eta_i)^2} \\ L_{i,i+1} &= \frac{(Z_m - H - f)}{f} \sqrt{(\mu_i - \mu_{i+1})^2 + (\eta_i - \eta_{i+1})^2} \\ L_{i-1,i+1} &= \frac{(Z_m - H - f)}{f} \sqrt{(\mu_{i-1} - \mu_{i+1})^2 + (\eta_{i-1} - \eta_{i+1})^2} \end{aligned} \right. \quad (17)$$

Система (17) является вырожденной, так как размеры отрезков линейно связаны одним и тем же уравнением (9). По каждому из уравнений можно найти уровень H_i , но результат усреднить

$$H_i = Z_m - f \left[1 + \frac{L_{i,i+1}}{\sqrt{(\mu_i - \mu_{i+1})^2 + (\eta_i - \eta_{i+1})^2}} \right] = Z_m - f \left(1 + \frac{L_{i,i+1}}{L_{i,i+1}} \right). \quad (18)$$

$$H = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i. \quad (19)$$

Усреднённый контроль уровня по нескольким



меткам повышает точность измерений, в том числе компенсирует оптические искажения, если метки разбросаны по противоположным границам оптической системы.

Выражения (15)–(18) пригодны при горизонтальном положении контролируемого уровня, когда он ортогонален оптической оси. Реально оптическая ось может быть не ортогональна контролируемой поверхности, что имеет место быть при колебаниях резервуара, при этом уровень остаётся горизонтальным. Рассмотрим метод, позволяющий исключить влияние на результат измерений колебаний уровня относительно горизонта.

Выберем за ноль системы координат центральную точку объектива и оптическая ось объектива чтобы совпадала с осью Z . При выборе за начало координат других точек отсчета математическое описание процедуры формирования изображения сильно усложнится. Метки A_i на контролируемой поверхности формируются параллельными лазерными лучами, ортогональными к контролируемой поверхности (рис. 1). Расстояние между метками известно только при горизонтальной поверхности. При колебаниях уровня относительно оптической оси телекамеры оно изменяется. Из рис. 1 видно, что координаты X_i, Y_i меток $A_i(X; Y; Z_i)$ не зависят от уровня H . Если за начало координат принять центр оптической системы, то их можно считать известными, определяемыми конструктивными размерами прибора. От уровня зависят только координаты Z_i . Причём расстояние от каждой метки до поверхности будет разным и определяться через конструктивный параметр Z_m по формуле

$$Z_i = Z_m - H_i, \quad (20)$$

где H_i – уровень i -ой метки относительно горизонтального дна.

Возьмём четыре точки A, B, C, D , координаты $X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C, X_D, Y_D$ которых будем считать известными (рис. 5).

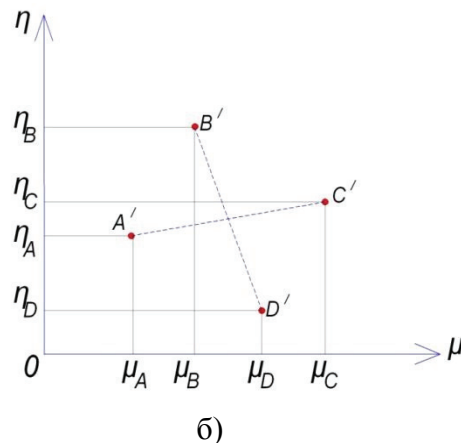


Рис. 5. Расположение лазерных меток:

а – на контролируемой поверхности, б – на фотоприёмной матрице телевизионной камеры

Метки принадлежат одной плоскости, поэтому удовлетворяют уравнениям [5]

$$\begin{cases} P_x \cdot X_A + P_y \cdot Y_A + P_z \cdot Z_A = 1 \\ P_x \cdot X_B + P_y \cdot Y_B + P_z \cdot Z_B = 1 \\ P_x \cdot X_C + P_y \cdot Y_C + P_z \cdot Z_C = 1 \\ P_x \cdot X_D + P_y \cdot Y_D + P_z \cdot Z_D = 1. \end{cases} \quad (21)$$

Здесь коэффициенты $P_x, P_y, P_z, Z_A, Z_B, Z_C, Z_D$, определяющие расположение плоскости в пространстве неизвестны. Однако известно [5], что при такой форме записи уравнения плоскости

$$P_z = \frac{1}{Z_{\Pi}}, \quad (22)$$

где Z_{Π} – отрезок, отсекаемый плоскостью контролируемой поверхности по оси Z от начала координат, он и определяет расстояние от центра оптической системы до контролируемой поверхности и связан с искомым уровнем по формуле

$$H = Z_m - Z_{\Pi}. \quad (23)$$

Учитывая, что оптические метки симметричны относительно начала координат, можно записать также

$$Z_{\Pi} = \frac{1}{4}(Z_A + Z_B + Z_C + Z_D). \quad (24)$$

Обратимся к проекции меток на матрицу (рис. 5, б). Точки проекции будут иметь координаты $A(\mu_A; \eta_A), B(\mu_B; \eta_B), C(\mu_C; \eta_C), D(\mu_D; \eta_D)$. Учитывая (5) для координат проекций каждой точки можно записать

$$\begin{aligned} \mu_A &= \frac{X_A f}{Z_A - f}, & \eta_A &= \frac{Y_A f}{Z_A - f}, \\ \mu_B &= \frac{X_B f}{Z_B - f}, & \eta_B &= \frac{Y_B f}{Z_B - f}, \\ \mu_C &= \frac{X_C f}{Z_C - f}, & \eta_C &= \frac{Y_C f}{Z_C - f}, \\ \mu_D &= \frac{X_D f}{Z_D - f}, & \eta_D &= \frac{Y_D f}{Z_D - f}. \end{aligned} \quad (25)$$

Оптическая система может состоять не из одной линзы, однако главное её назначение – пропорциональная передача изображения. Поэтому соотношения (24) универсальны и применимы для любых сколь угодно сложных оптических систем.

Параметры $\mu_A, \eta_A, \mu_B, \eta_B, \mu_C, \eta_C, \mu_D, \eta_D$ являются данными измерительной процедуры, определяются по изображению и считаются известными.

Из совокупности соотношений (21) – (25) мож-

но набрать нужное количество уравнений для определения неизвестных параметров, среди которых нас интересуют Z_0, Z_A, Z_B, Z_C, Z_D , которые связаны с контролируемым уровнем по формуле (20), (23). Для контроля уровня по четырём точкам всего нам необходимо 9 уравнений. Исключив путём взаимных подстановок из уравнения (21) координату Z , получим систему из 4-х уравнений.

$$\begin{cases} P_x \cdot X_A + P_y \cdot Y_A + P_z \cdot \frac{(\mu_A + X_A)f}{\mu_A} = 1 \\ P_x \cdot X_B + P_y \cdot Y_B + P_z \cdot \frac{(\mu_B + X_B)f}{\mu_B} = 1 \\ P_x \cdot X_C + P_y \cdot Y_C + P_z \cdot \frac{(\mu_C + X_C)f}{\mu_C} = 1 \\ P_x \cdot X_D + P_y \cdot Y_D + P_z \cdot \frac{(\mu_D + X_D)f}{\mu_D} = 1 \end{cases} \quad (26)$$

Неизвестными и искомыми в этой системе являются P_x, P_y, P_z, f .

Система нелинейная. Несмотря на то, система имеет четыре неизвестных, она не имеет решения, так как является вырожденной относительно фокусного расстояния. Для решения проблемы введём обозначение

$$Q = P_z f = \frac{f}{Z_{\Pi}}. \quad (27)$$

Тогда система (25) сводится к трём уравнениям

$$\begin{cases} P_x \cdot X_A + P_y \cdot Y_A + Q \cdot \left(1 + \frac{X_A}{\mu_A}\right) = 1 \\ P_x \cdot X_B + P_y \cdot Y_B + Q \cdot \left(1 + \frac{X_B}{\mu_B}\right) = 1 \\ P_x \cdot X_C + P_y \cdot Y_C + Q \cdot \left(1 + \frac{X_C}{\mu_C}\right) = 1 \end{cases} \quad (28)$$

Это линейная система, в которой нас интересует Q , имеет прямое решение по формулам Крамера.

$$Q = \frac{\Delta_Q}{\Delta}, \quad (29)$$

где

$$\Delta = \begin{vmatrix} X_A & Y_A & 1 + \frac{X_A}{\mu_A} \\ X_B & Y_A & 1 + \frac{X_B}{\mu_B} \\ X_C & Y_C & 1 + \frac{X_C}{\mu_C} \end{vmatrix}, \quad \Delta_Q = \begin{vmatrix} X_A & Y_A & 1 \\ X_B & Y_A & 1 \\ X_C & Y_C & 1 \end{vmatrix}. \quad (30)$$

Дальше при известном фокусном расстоянии из (26) получаем

$$Z_{ц} = \frac{f}{Q}. \quad (31)$$

Отметим, что при известном фокусном расстоянии величина Z_0 может быть найдена из соотношения (24), которое с учётом (25), можно переписать в виде

$$Z_{ц} = 0,25 f \left(4 + \frac{X_A}{\mu_A} + \frac{X_B}{\mu_B} + \frac{X_C}{\mu_C} + \frac{X_D}{\mu_D} \right). \quad (32)$$

Искомый уровень нефтепродукта определяется по формуле (23).

Выражения (23), (29) – (32) определяют уровень колеблющейся относительно горизонта поверхности по координатам полученных на фотоматрице оптических меток и в совокупности определяют функцию преобразования прибора. Результаты, полученные по формулам (31), (32) можно усреднить. Выражение (31) предпочтительнее, так как оно не накладывает ограничений на симметричность лазерных меток относительно центра оптической системы и позволяет контролировать уровень по трём произвольным меткам, созданными на поверхности лазерными лучами, параллельными главной оптической оси.

Таким образом, общий алгоритм решения задачи определения уровня жидкости по четырём оптическим меткам в случаях горизонтальных колебаний уровня состоит в следующем:

1. Для конкретных значений координат меток $X_A, Y_A, X_B, Y_B, X_C, Y_C$ решаем систему уравнений (28), из которой находим параметр Q .

2. По выражениям (31) – (32) находим искомый уровень.

3. При необходимости результат усредняем

Описанные в статье оптические методы позволяют повысить точность измерения уровня жидкости, обеспечить контроль за наклоном резервуара, что дает возможность применять данные разработки на железнодорожном, автомобильном транспорте, а также на танкерном флоте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на полезную модель №115886, МПК G 01 F 1/86. Устройство для измерения уровня жидкости в резервуарах / Б.В. Скворцов, Д.И. Блинов, А.В. Солнцева, С.А. Борминский; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва. – №2011151843/28; заявл. 19.12.2011; опубл. 10.05.2012.
2. Патент на полезную модель №135121, МПК G 01 F 1/86. Лазерно – акустический уровнемер. / Б.В. Скворцов, Д.И. Блинов, А.В. Солнцева, С.А. Борминский; заявитель и патентообладатель Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва; опубл. 27.10.2013.
3. Патент на изобретение №2332644, МПК G 01 F 23/292. Способ и устройство для измерения уровня жидкости / Леонидова З.Е., Мукаев Р.Ю.; заявитель и патентообладатель Уфимский государственный авиационный технический университет. №2007111271/28; заявл. 27.03.2007; опубл. 27.08.2008.
4. Патент на изобретение №2338163, МПК G 01 F 23/292. Способ и устройство для измерения уровня жидкости / Леонидова З.Е., Мукаев Р.Ю.; заявитель и патентообладатель Уфимский государственный авиационный технический университет. №2007121235/28; заявл. 06.06.2007; опубл. 10.11.2008.
5. Выходский М.А. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1973. 872 с.
6. Метод многомерных тестовых объектов в оптических измерительных системах / В.Н. Нестеров, В.М. Мухлин, А.В. Мещанов. Самара: СНЦ РАН, 2013. 224 с.

MATH MODEL AND TRANSFORMATION FUNCTION OF THE LASER-TELEVISION LIQUID LEVEL CONTROL METHOD

© 2014 B.V. Skvortsov, S.A. Borminsky, D.I. Blinov, D.M. Zhivonosnovskaya

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The present article contains theoretical substantiation and development of the laser-television liquid level control method by marks, which are generated on the controllable surface by one or more laser beams with subsequent image processing.

Key words: math model, transformation function, laser-television method, liquid level control, laser radiation.

Boris Skvortsov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Electrical Engineering Department, Scientific Supervisor of Scientific Research Laboratory "Analytical Devices and Systems". E-mail: aps@ssau.ru

Sergey Borminsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Electrical Engineering Department. E-mail: aps@ssau.ru

Dmitrij Blinov, Postgraduate Student at the Electrical Engineering Department. E-mail: SchumerBlin@yandex.ru.

Darya Zhivonosnovskaya, Student. E-mail: aps@ssau.ru