

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПОЛОГИИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РВС**

**Аннотация.** В статье рассмотрен способ повышения эффективности работы системы определения топологии внутренней поверхности РВС путем изменения конструкции измерительного блока. Выведена формула зависимости продолжительности сканирования РВС от параметров РВС и системы сканирования, в среде Matlab смоделированы режимы сканирования РВС при различных параметрах измерительного блока.

**Ключевые слова:** система, топология РВС, измерительный блок, лазерный источник, лазерный приемник, Matlab.

В настоящее время актуальна задача разработки системы определения топологии поверхности различных технических объектов [1], в том числе резервуаров вертикальных стальных (РВС), которая обладала бы высокой точностью измерений, высокой степенью автоматизации и могла бы применяться при обследовании РВС на предмет наличия геометрических несовершенств [2-4].

Известна система определения топологии поверхности РВС, в которой в качестве измерительных устройств в зависимости от заданной точности применяются ультразвуковой или лазерный дальномер [5]. Структура такой системы представлена на рис. 1.

Ключевым элементом системы является измерительный блок 1, состоящий из блока сканирования 2, содержащего ультразвуковой и лазерный дальномеры, и микроконтроллера 3, жестко прикреплен к механизму 4 металлической телескопической штангой 5. Механизм 4 состоит из двух шаговых двигателей, один из которых вращает штангу 5 вокруг своей оси, а другой перемещает ее по вертикали, с блоком управления шаговыми

двигателями, напрямую соединенным с компьютером (ПК) 6. Измерительный блок 1 также соединен с ПК 6 по беспроводному каналу связи.

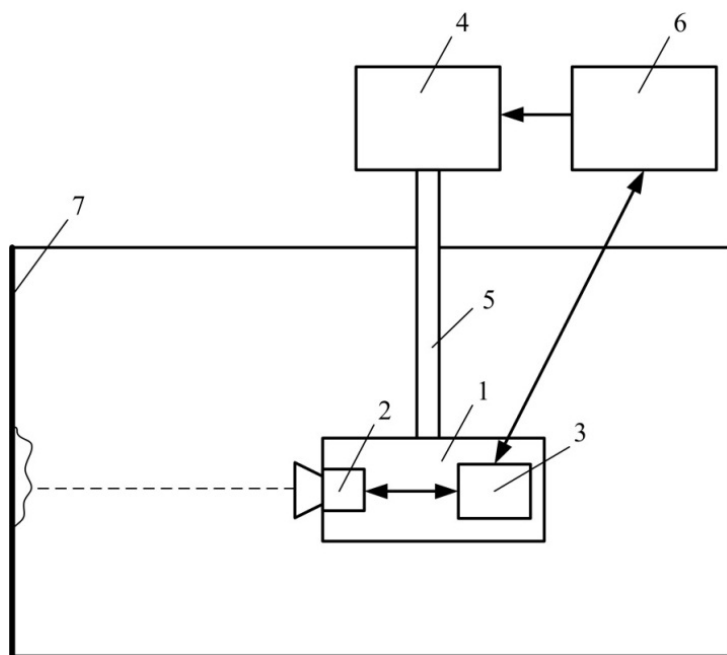


Рис.1. Структурная схема системы

Алгоритм работы такой системы приведен в работе [5]. Согласно этому алгоритму, в начале работы системы проходит процесс формирования карты сканирования РВС, изображенной на рис. 2 и отражающей местоположение всех точек внутренней поверхности РВС, расстояние до которых будет замеряться в ходе сканирования.

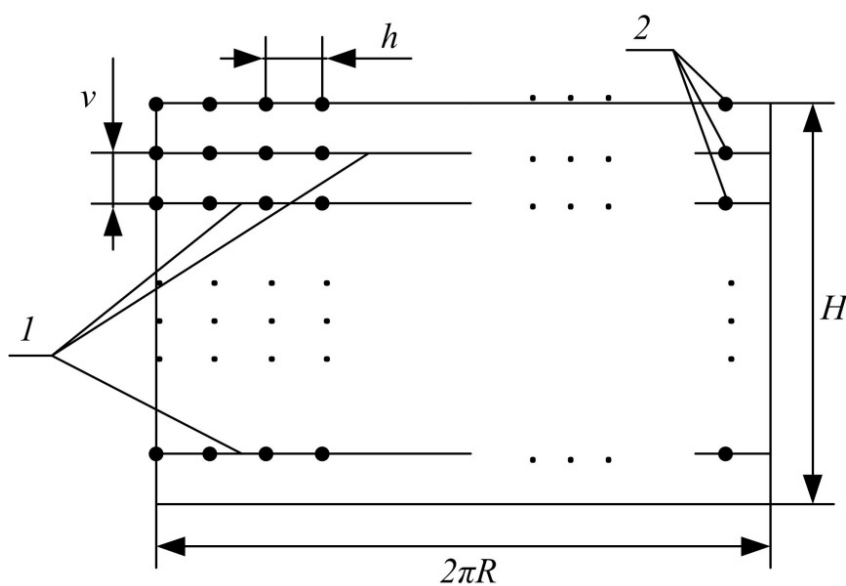


Рис. 2. Сформированная карта сканирования РВС

Точки сканирования чередуются с шагом горизонтального сканирования  $h$  и расположены на горизонтальных уровнях сканирования, расстояние между которыми соответствует шагу вертикального сканирования  $v$ .

Поскольку одновременно данные о расстоянии до сканируемой области могут считываться только с ультразвукового (для обеспечения низкой точности измерений) или лазерного (для обеспечения высокой точности) дальномера, то за одно измерение может быть произведен замер расстояния только до одной точки поверхности РВС.

Согласно [5], время полного сканирования РВС-100 с использованием системы определения топологии РВС, в состав которой входит описанный измерительный блок, составит 10 ч.

Исходя из приведенных результатов расчета времени полного сканирования РВС, ставится задача повышения эффективности работы системы путем снижения времени, затрачиваемого на сканирование.

Поставленная задача решается следующим способом: предлагается внести конструктивные изменения в состав измерительного блока. Предлагаемая структурная схема измерительного блока показана на рис. 3.

Измерительный блок имеет цилиндрический корпус 1 и представляет собой совокупность чередующихся с установленным шагом  $v_d$  плоскостей сканирования 2, содержащих источники и приемники лазерного сигнала  $LE_{11}-LE_{NM}$ , которые располагаются через равные шаги  $h_d$ . Количество источников и приемников на всех плоскостях сканирования одинаково. Все источники и приемники сигнала соединены с микроконтроллером, входящим в состав измерительного блока.

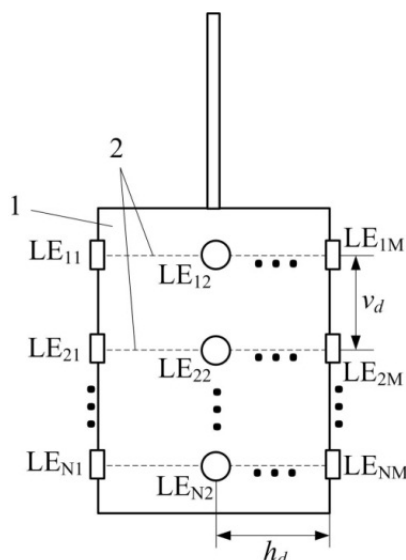


Рис. 3. Структурная схема измерительного блока

Ввиду того, что при таком устройстве измерительного блока одновременно осуществляется измерение расстояния до точек сканирования (рис. 2), расположенных на разных уровнях сканирования (принимается, что величина шага вертикального сканирования  $v$  равна шагу между плоскостями сканирования измерительного блока  $v_d$ ), то вводится понятие полосы сканирования.

Таким образом, полоса сканирования является совокупностью уровней сканирования (рис. 2), расстояние до точек которых одновременно измеряется в случае использования описанного измерительного блока.

Для оценки эффективности работы системы определения топологии РВС, оснащенной описанным измерительным блоком, выведем формулу зависимости времени сканирования РВС от количества источников и приемников лазерного сигнала в составе измерительного блока и других параметров системы.

При фиксированной величине горизонтального шага сканирования  $h$  [мм] расстояние между точками сканирования, равное величине дуги между точками сканирования, составит

$$h_c = \frac{360^\circ h}{2\pi R \cdot 1000} [\text{град}], \quad (1)$$

где  $R$  – радиус РВС.

Частота передачи данных от ИУ в микроконтроллер равна  $\delta$  [Гц], в таком случае время перемещения источника и приемника лазерного сигнала от одной точки к другой равно  $t_1 = \delta^{-1}$ , при этом скорость угловая скорость поворота измерительного блока

$$\omega = \frac{h_c}{t_1} = \frac{h\delta}{2\pi R \cdot 1000} [\text{об/сек}]. \quad (2)$$

Время на один оборот измерительного блока вокруг своей оси для считывания данных со всей полосы сканирования с учетом (2) составляет  $T_1 = \frac{2\pi R}{h\delta}$ . Учитывая, что количество источников и приемников лазерного сигнала в одной плоскости сканирования равно  $K_d^h$ , время обследования одной полосы сканирования составит

$$T_1 = \frac{2\pi R \cdot 1000}{K_d^h h \delta} [\text{сек}]. \quad (3)$$

При фиксированной величине вертикального шага сканирования  $v$ , учитывая, что  $v_d = v$  и число плоскостей сканирования равно  $K_d^v$ , расстояние, на которое должен сместиться измерительный блок вниз после того, как была пройдена полоса сканирования, равно

$$l = K_d^v \cdot v [\text{мм}]. \quad (4)$$

Принимая линейную скорость перемещения измерительного блока между двумя полосами сканирования вниз за  $v_b$ , получаем выражение для расчета времени перемещения измерительного блока между двумя полосами сканирования

$$T_{12} = \frac{K_d^v \cdot v}{v_b} [\text{мм/сек}]. \quad (5)$$

Полное время сканирования РВС, карта сканирования которого представляет совокупность полос сканирования, зависит от количества полос сканирования, вычисляемого по формуле

$$K_1 = \frac{H}{K_d^v \cdot v}, \quad (6)$$

где  $H$  – высота РВС.

Отметим, что в случае, если величина  $H$  не кратна  $K_d^v \cdot v$ ,  $K_1$  принимается равным  $\frac{H}{K_d^v \cdot v} + 1$ .

Тогда количество перемещений измерительного блока между полосами сканирования равно  $K_1 - 1$ .

Полное время сканирования РВС составляет

$$T = T_1 \cdot K_1 + T_{12} \cdot \frac{K_1 - 1}{3} \text{ [сек];}$$

$$T = \frac{2\pi R \cdot 1000}{K_d^h h \delta} \cdot \frac{H \cdot 1000}{K_d^v \cdot v} + \frac{K_d^v \cdot v}{v_b} \cdot \left( \frac{H}{K_d^v \cdot v} - 1 \right) \text{ [сек]}, \quad (7)$$

где  $R$  – радиус РВС [м],  $H$  – высота РВС [м],  $K_d^h$  – количество плоскостей сканирования в составе измерительного блока,  $K_d^v$  – количество источников и приемников лазерного сигнала в плоскости сканирования,  $h$  – шаг горизонтального сканирования [мм],  $v$  – шаг вертикального сканирования [мм],  $\delta$  – частота считывания данных [Гц],  $v_b$  – скорость перемещения измерительного блока по вертикали [мм/сек].

В соответствии с выражением (7) в среде Matlab были смоделированы различные режимы и построены графики зависимости времени сканирования РВС для различных объемов от количества источников и приемников лазерного сигнала в составе измерительного блока. В качестве исходных данных были приняты параметры РВС следующих типов: РВС-100 (радиус 2365 мм, высота 6000 мм), РВС-500 (радиус 4225 мм, высота 9250 мм), РВС-1000 (радиус 5215 мм, высота 12000 мм), РВС-5000 (радиус 11400 мм, высота 12000 мм), РВС-10000 (радиус 17100 мм, высота 12000 мм).

При построении графика зависимости времени сканирования перечисленных РВС от количества источников и приемников лазерного сигнала в одной плоскости сканирования измерительного блока было принято:  $v = h = 5$  мм,  $\delta = 100$  Гц,  $v_b = 50$  мм/сек,  $K_d^v = 1$ .

График зависимости времени сканирования РВС от количества источников и приемников лазерного сигнала в одной плоскости сканирования приведен на рис. 4.

Из приведенного графика следует, что задача уменьшения времени сканирования РВС путем увеличения количества источников и приемников лазерного сигнала в одной плоскости сканирования решается эффективно для РВС-100, РВС-500 и РВС-1000. Однако для РВС больших объемов такой способ хоть и позволил значительно сократить время сканирования, но оказался неэффективным.

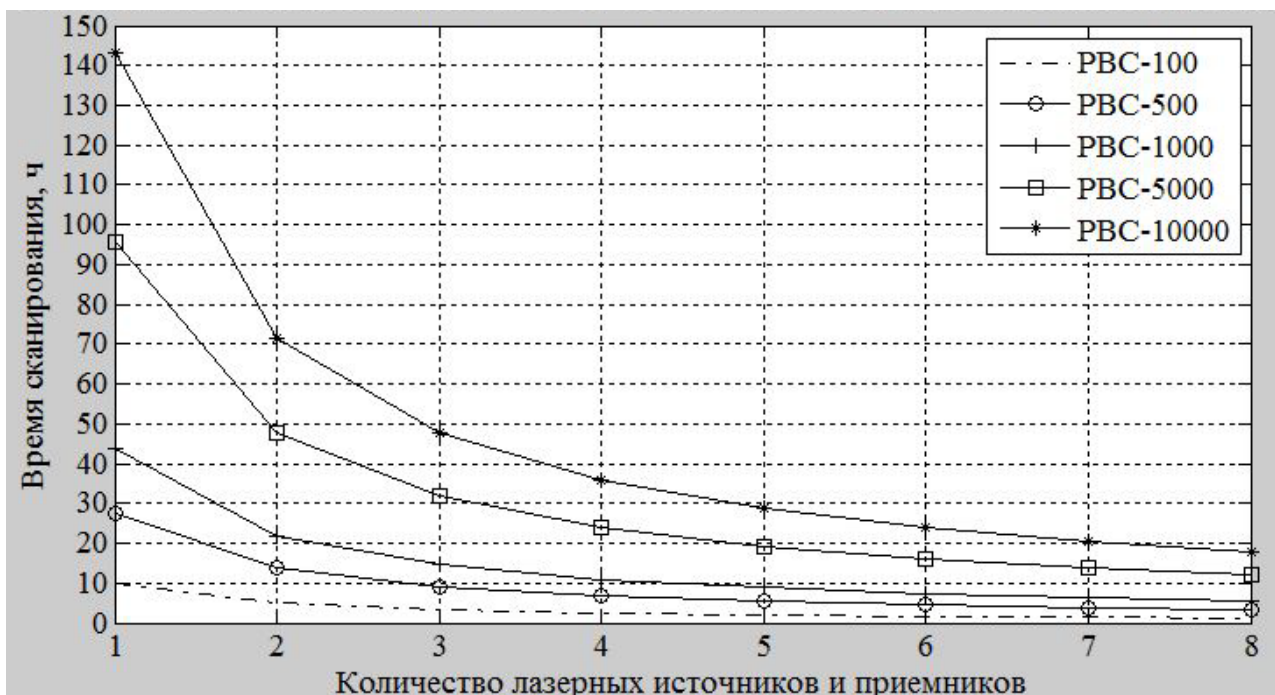


Рис. 4. График зависимости времени сканирования РВС от количества источников и приемников лазерного сигнала на одной плоскости сканирования

Поэтому было решено исследовать, как изменится продолжительность сканирования РВС в случае, если измерительный блок содержит большее число плоскостей сканирования.

При построении графика зависимости времени сканирования перечисленных РВС от количества плоскостей сканирования было принято:  $v = h = 5$  мм,  $\delta = 100$  Гц,  $v_b = 50$  мм/сек,  $K_d^v = 8$ .

График зависимости времени сканирования РВС от количества плоскостей сканирования в составе измерительного блока приведен на рис.5.

Из приведенного графика видно, что применение многоплоскостного способа сканирования эффективно для всех перечисленных типов РВС.

Необходимо отметить, что с помощью формулы (7) возможно проводить расчет параметров измерительного блока, т.е. количества плоскостей сканирования и количества источников и приемников лазерного сигнала, от параметров РВС, скоростей поворота шаговых двигателей, частоты считывания данных, накладываемых на продолжительность сканирования ограничений.

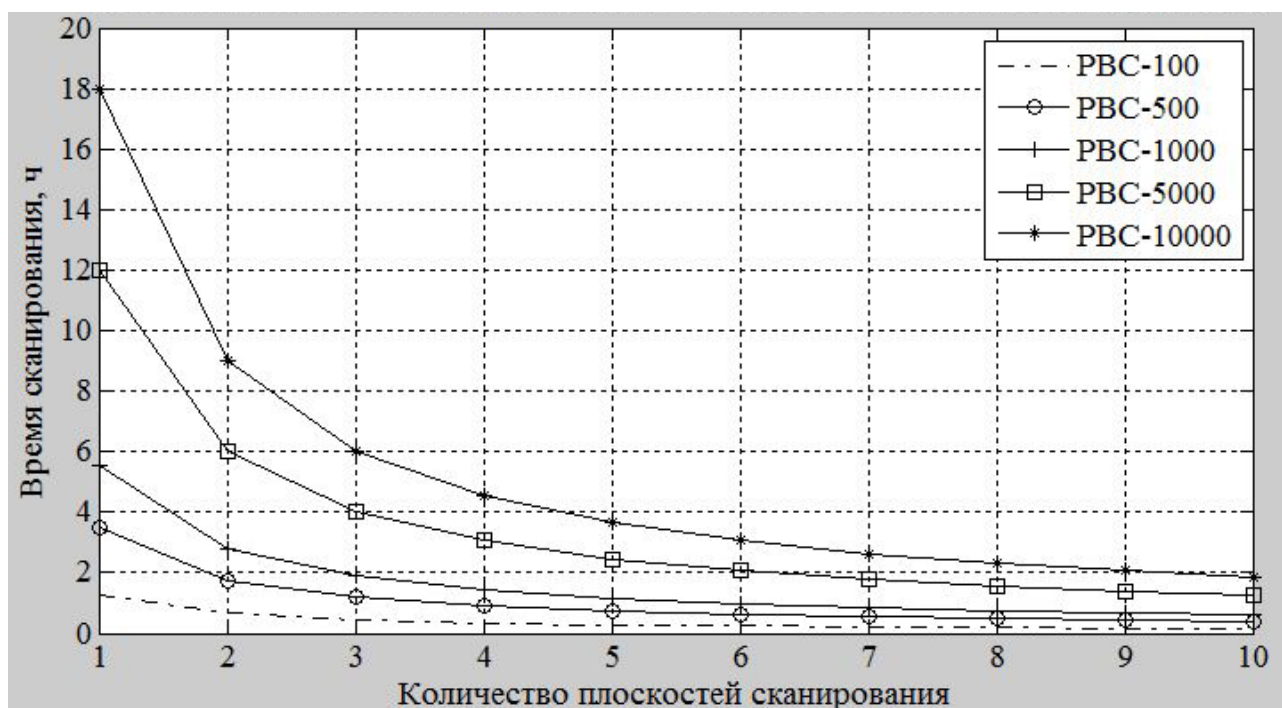


Рис. 5. График зависимости времени сканирования РВС от количества плоскостей сканирования в составе измерительного блока

Таким образом, расчеты времени сканирования РВС с различной емкостью доказали эффективность использования в системе определения топологии внутренней поверхности РВС многоплоскостного измерительного блока. Выведенная формула зависимости продолжительности сканирования может применяться как при расчете времени сканирования РВС, так и при выборе составляющих системы (источники и приемники лазерного сигнала, шаговые двигатели и др.), а также при расчете оптимального количества источников и приемников лазерного сигнала ввиду накладываемых на продолжительность сканирования ограничений.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузяков О.Н., Кучерюк В.И. Методы и средства измерения топологии поверхности, перемещений и деформаций. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2002. – 172 С.
2. РД 19.100.00-КТН-545-06 Ультразвуковой контроль стенки и сварных соединений при эксплуатации и ремонте вертикальных стальных резервуаров
3. РД 153-39.4-078-01 Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз
4. ГОСТ 8.570-2000 ГСИ Резервуары стальные вертикальные цилиндрические. Методика поверки
5. Андреева М.А., Кузяков О.Н. Разработка системы для определения топологии внутренней поверхности резервуаров // Энергосбережение и инновационные технологии в ТЭК: сборник материалов международной научно-практической конференции – Тюмень: ТИУ, 2016. – С.17-21.