

УДК 629.424.1-82:004.318

И. В. ЖУКОВИЦКИЙ^{1*}, И. А. КЛЮШНИК^{2*}

^{1*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, эл. почта ivzhuk@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-5976

^{2*}Каф. «Электронные вычислительные машины», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, эл. почта klugran@i.ua, ORCID 0000-0001-9939-0755

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛООВОЗА

Цель. Статья предусматривает рассмотрение процесса разработки и усовершенствования средств сбора тахометрических данных информационно-измерительной системы испытания гидравлических передач тепловозов. Это даст возможность получения исходных данных для проведения дальнейших исследований по определению технического состояния гидравлических передач тепловозов. Предполагается найти решение задачи разработки и усовершенствования средств измерения тахометрических данных ранее созданной информационно-измерительной системы испытаний гидравлических передач тепловозов. При этом отталкиваться необходимо, в первую очередь, от возможности модификации уже существующего стенда испытаний гидравлических передач тепловозов на Днепропетровском заводе по ремонту тепловозов «Промтепловоз».

Методика. В работе исследователями была предложена методика модификации существующего тахометрического датчика микропроцессорной автоматизированной системы стендовых испытаний гидравлических передач тепловозов в условиях тепловозоремонтного завода. Она действует путем обоснования выбора необходимого способа измерения тахометрического датчика, а также применения необходимых аппаратных и программных средств для реализации поставленной цели с возможностью интеграции в информационно-измерительную систему испытаний гидравлических передач тепловозов.

Результаты. Авторами спроектирован и изготовлен действующий прототип датчика частоты вращения оптического типа на основе уже существующего датчика Д-2ММУ-2. После заводских испытаний с применением прототипа датчика было установлено необходимое и достаточное время опроса управляющего микроконтроллера датчика.

Научная новизна. На имеющемся оборудовании стенда испытаний гидравлических передач тепловозов был спроектирован датчик частоты вращения оптического типа на основе уже существующего датчика Д-2ММУ-2. Были разработаны алгоритмы работы микроконтроллера, обрабатывающего сигналы от этого датчика. Проведены заводские испытания датчика. По выборке данных, полученных при испытаниях, показана возможность уменьшения частоты съема информации с датчика.

Практическая значимость. Усовершенствованный датчик существенно удешевляет изготовление стенда испытаний гидравлических передач тепловозов, а также может применяться при разработке аналогичных стендов испытаний гидравлических передач другой колесной техники и т. п. механизмов. Разработанный датчик имеет большую точность по сравнению с Д-2ММУ-2 и значительно меньшую, в сравнении с современными тахометрическими датчиками, цену изготовления. Результаты измерений являются исходными данными для выполнения дальнейших исследований с целью определения технического состояния гидравлической передачи УГП750-1200 во время заводских послеремонтных испытаний.

Ключевые слова: тахометрический датчик; Д-2ММУ-2; гидравлическая передача; испытания гидропередач; испытательный стенд; информационно-измерительная система

Введение

В Украине сегодня для выполнения испытаний гидравлических передач, в частности на тепловозоремонтных и заводах по ремонту

военной техники, где применяются гидравлические передачи, применяются морально устаревшие стенды, разработанные еще во времена СССР. Также отсутствует какая-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

либо стандартизация производства данных стендов.

В рамках работы по совершенствованию и модернизации существующего стенда испытания гидравлических передач на заводе ДЗРТ «Промтепловоз» было выявлено, что установленные на нем аналоговые контрольные приборы морально устарели. На первом этапе разработки в соответствии с заводской программой испытаний были выбраны наиболее необходимые и критические 13 технологических параметров, информация о которых, полученная от датчиков, обрабатывается микроконтроллером и ПК [11].

Информация о частоте вращения приводного электродвигателя, генератора, турбинного вала измеряется с помощью тахометрических датчиков Д-2ММУ-2[8], которые передают предварительно обработанный аналоговый сигнал на специальный преобразователь и далее на микроконтроллер фирмы ATMEЛ для его дальнейшей обработки и передачи по интерфейсу USB 2.0 к компьютеру [11].

Датчик Д-2ММУ-2 представляет собой не что иное как генератор переменного тока, который имеет критический недостаток – при достаточно низких оборотах (экспериментально установлено около 80 мин^{-1}) амплитуда напряжения, производимая генератором, недостаточна для нормального безошибочного измерения (при оборотах около 60 мин^{-1} амплитуда составляет примерно 1В, а при 2000 мин^{-1} – около 40 В). Понятно, что на совсем низких оборотах амплитуда будет составлять порядка нескольких десятков милливольт. Измерить такое низкое напряжение в условиях завода практически невозможно, так как, во-первых, в длинных линиях связи от стенда к измерительному оборудованию возможно гашение низкого напряжения и, во-вторых, на заводе присутствует большое количество источников различных электромагнитных помех, которые могут наводиться в линиях связи и ошибочно фиксироваться как начало вращательного движения на стенде.

Вместо тахометрических генераторов было предложено использовать инкрементальный энкодер [2,4,5,10,13] ХСС 1506PS [12] с избыточной точностью – 2500 импуль-

сов/оборот). Испытания показали его высокую точность и надежность в диапазоне измерения как достаточно низких оборотов (от 0 до 80 мин^{-1}), так и высоких (до 2000 мин^{-1}). Но существенным недостатком данного прибора является трудность его монтажа на стенд и цена, которая является достаточно высокой.

Цель

В качестве альтернативного решения было предложено создать на базе корпуса датчика Д-2ММУ-2 собственный датчик оптического типа. Такое решение имеет три важных предпочтения: низкая цена, возможность измерения низких оборотов (от 0 до 80 мин^{-1}), возможность реализации в корпусе датчика Д-2ММУ-2 (или других тахогенераторов серии), что не требует механической модернизации стенда (которая имела место при использовании энкодера ХСС 1506PS). Также существенным является возможность применения для разработанного устройства незначительной модификации программы управляющего микроконтроллера, созданной для обработки сигналов от преобразователя датчика Д-2ММУ-2.

На начальном этапе разработки датчик состоял из вала, на котором находился выполненный вручную пластиковый диск с зубцами, и инфракрасной оптической оптопары ЕЕ-SX1041 [9]. Испытания показали, что выполненные вручную зубья не позволяют осуществлять измерения с высокой точностью. Поэтому для обеспечения большей точности было изготовлено на промышленном оборудовании лазерным методом диск на 10 зубьев из акрила. Чертеж данного диска показан на рис. 1.

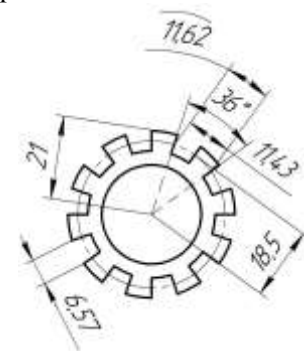


Рис. 1. Чертеж диска

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Схема включения оптопары датчика позволяет практически полностью исключить влияние времени нарастания и спада фронта (порядка нескольких микросекунд). Потому их влияние на работу системы измерения можно опустить при теоретическом расчете измеряемых величин частоты вращения.

В первую очередь нужно учитывать, что технология изготовления измерительного диска является не совершенной и неизбежны отклонения в размерах зубьев. Далее необходимо выполнить расчет зависимости инструментальной погрешности (длины дуги, показанной на рис. 1) от частоты вращения. В первой версии алгоритма измерения частоты

вращения, заложенной в микроконтроллер, фиксируется появление нарастающего фронта каждого нового импульса и, как следствие, выполняется измерение времени периода сигнала. Упрощенная схема такого алгоритма работы микроконтроллера показана на рис. 2. В начале алгоритма выполняется настройка таймера/счетчика, сброс необходимых для работы флагов и обнуление переменных, настройка UART (необходимый для передачи данных в компьютер) и установка разрешения прерываний. Далее выполняется бесконечный цикл, в котором происходит проверка конца измерений. Для появления события конца измерений необходимо появление двух событий, показанных на рис. 3.

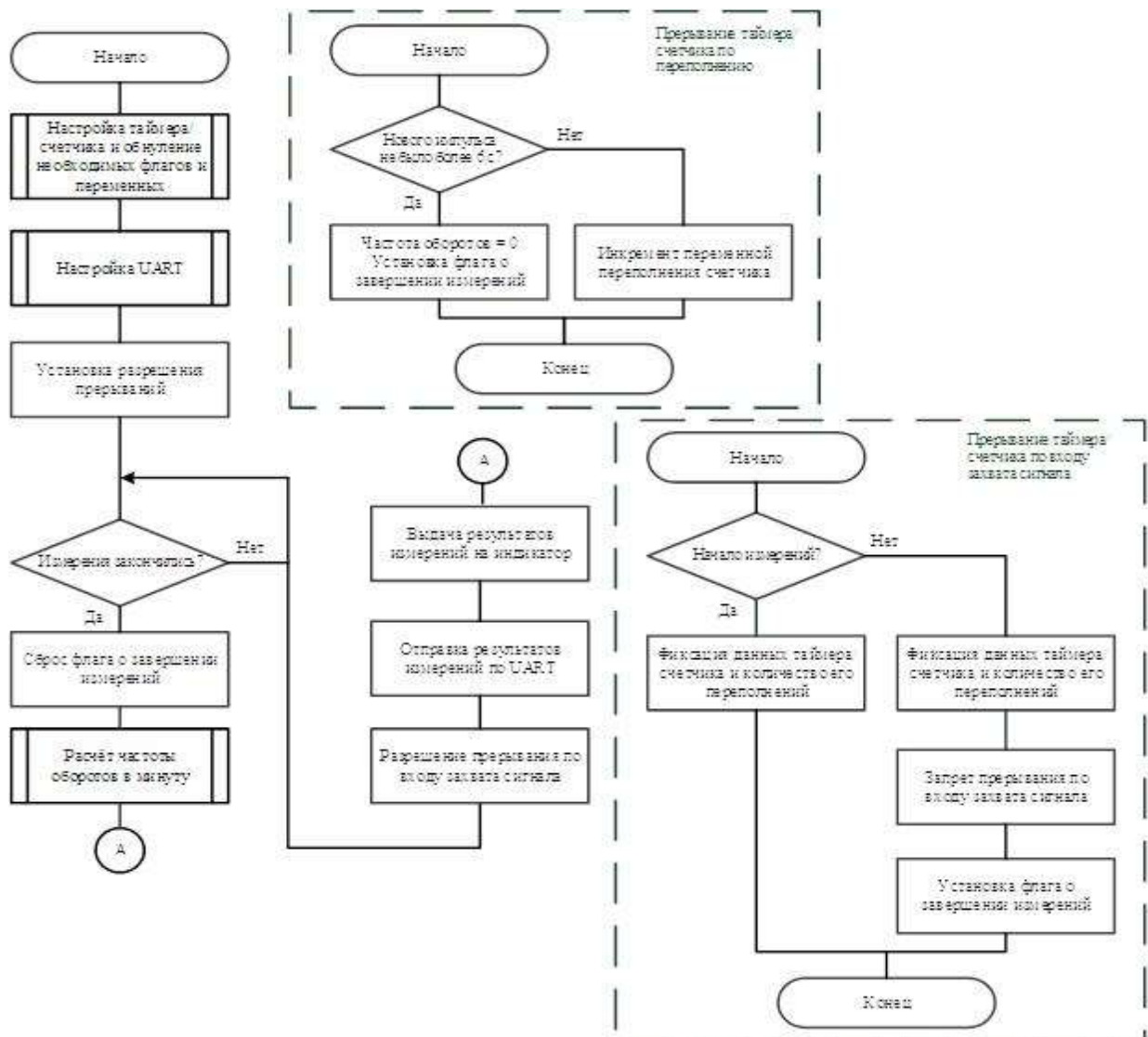


Рис. 2. Упрощенная схема алгоритма работы микроконтроллера

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

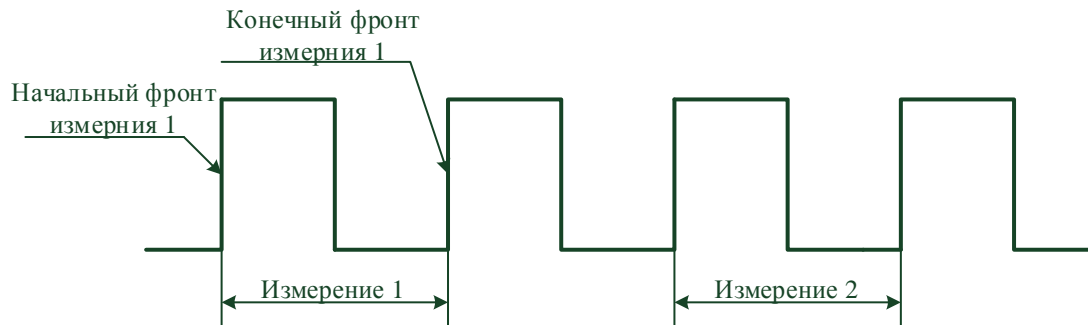


Рис. 3. Принцип обработки сигнала от датчика

При поступлении начального фронта сигнала на вход захвата микроконтроллера воз-

никает прерывание таймера/счетчика по входу захвата сигнала, как показано на рис. 4.

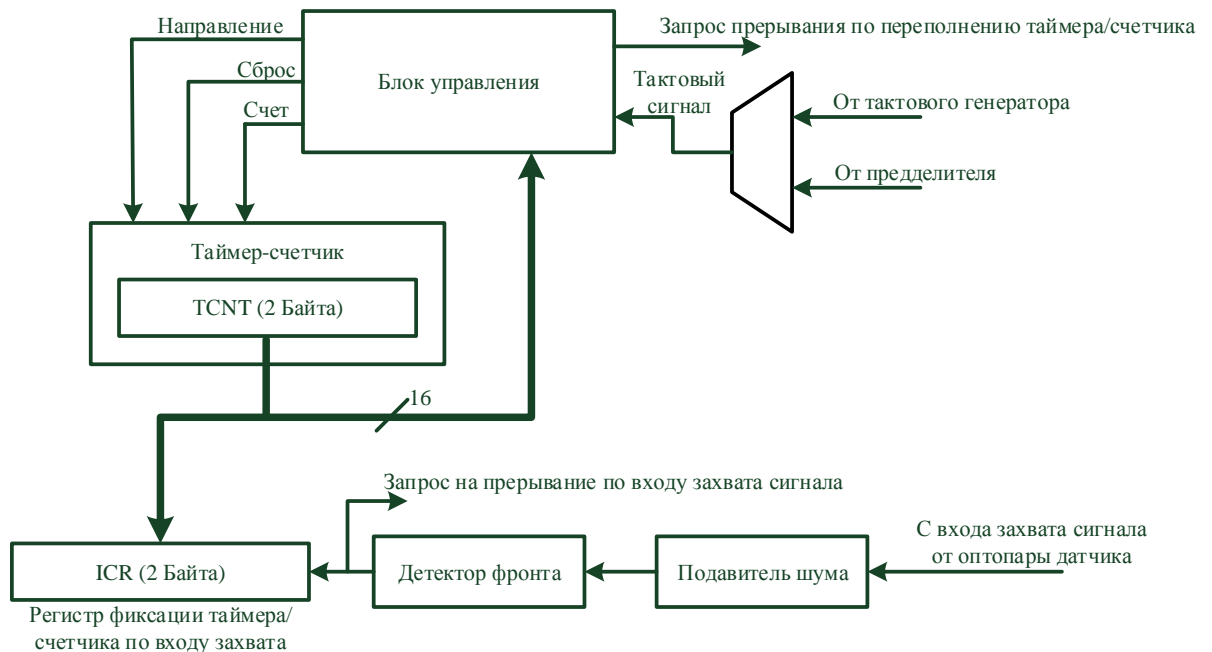


Рис. 4. Упрощенная структурная схема таймера/счетчика

В обработке этого прерывания выполняется фиксация содержимого таймера/счетчика и количества его прерываний по переполнению в специальные переменные. В случае же прерывания по захвату конечного фронта измерения, также фиксируется содержимое таймера/счетчика и количества его прерываний по переполнению в специальные переменные и, далее, запрещается прерывания по входу захвата сигнала, устанавливается флаг завершения измерений.

Установленный флаг завершения измерений сообщает основной программе микроконтроллера о конце измерений. И, далее, выполняется: сброс флага завершения изме-

рений, подпрограмма расчёта частоты оборотов в мин^{-1} , выдача результатов измерений на индикатор и отправка по UART. В конце разрешаются прерывания по входу захвата сигнала, что и разрешает новые измерения, а также переводит микроконтроллер в режим ожидания конца измерений.

Программа прерывания таймера/счетчика по переполнению служит для подсчета количества переполнений таймера/счетчика в специальной переменной, а также для инициализации конца измерений с нулевым результатом при условии отсутствия сигнала на входе захвата сигнала более 6 с.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Расчет частоты оборотов выполняется по следующей формуле:

$$\omega = \frac{1}{\left(\frac{f_{cpu}}{k}\right)^{-1} \left((65535 f_k + T_k) - (65535 f_n + T_n) \right)} \times 60 \text{ [мин}^{-1}\text{]},$$

где ω – частота вращения [мин⁻¹]; f_{cpu} – частота тактового генератора [Гц]; k – делитель частоты таймера/счетчика; f_k, f_n – количество переполнений таймера/счетчика в конце и начале измерений соответственно; T_k, T_n – содержимое таймера/счетчика в конце и начале измерений соответственно.

Был выполнен расчет влияния задержки, которую вносит данный алгоритм при выполнении измерений. Было установлено, что выполнение всех ассемблерных команд, задействованных в измерениях, составляет ~ 6,75 мкс. Данной погрешностью ε_Δ можно пренебречь, так как, например, при частоте вращения 1500 мин⁻¹ период измеряемого сигнала составляет 40 мс.

Для упрощения вычислений будет принято, что люфт вала, на котором находится диск, пренебрегается.

Методика

Частота вращения рассчитывается по следующей формуле:

$$\omega = \frac{1}{T} \cdot 60 \text{ [мин}^{-1}\text{]},$$

где ω – частота вращения [мин⁻¹]; T – период вращения [с].

Так как диск разделен на 10 секторов с длиной дуги L , то с учетом данного факта в расчете частоты вращения получится:

$$\omega_{\text{теор}} = \frac{L}{2\pi R\tau} \cdot 60 \text{ [мин}^{-1}\text{]}, \quad (1)$$

где $\omega_{\text{теор}}$ – теоретическая частота вращения [мин⁻¹]; L – длина дуги [мм]; R – расстояние от центра диска до середины высоты зуба [мм]; τ – время прохождения инфракрасного луча оптопары дуги L (период сигнала) [с].

Единственной переменной, от которой будет зависеть расчет теоретической частоты вращения, будет длина дуги, которая может отличаться от теоретической, за счет погрешности изготовления зубчатого диска.

Допустим, что фактическая длина дуги равна L^* , тогда подставив L^* в (1) получим фактическую частоту вращения:

$$\omega_{\text{факт}} = \frac{L^*}{2\pi R\tau} \cdot 60 \text{ [мин}^{-1}\text{]}. \quad (2)$$

Абсолютная погрешность будет иметь следующий вид:

$$\Delta = \omega_{\text{теор}} - \omega_{\text{факт}} \text{ [мин}^{-1}\text{]}. \quad (3)$$

Подставив (1) и (2) в (3) получается:

$$\Delta = \omega_{\text{факт}} \frac{\Delta_L}{L + \Delta_L} \text{ [мин}^{-1}\text{]}, \quad (4)$$

где Δ_L – разница между фактической и теоретической длиной дуги L [мм]; Δ – абсолютная погрешность [с].

Относительная погрешность, исходя из (4), будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_L}{L + \Delta_L} \approx \frac{\Delta_L}{L}.$$

Необходимо выполнить следующий расчет с такими допущениями: погрешность в длине дуги составляет ± 2 мм с шагом 0,1 мм. На рис. 5 представлен график зависимости относительной погрешности частоты вращения от погрешности фактического размера зуба при изготовлении (фактической длины дуги L по центру зуба).

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

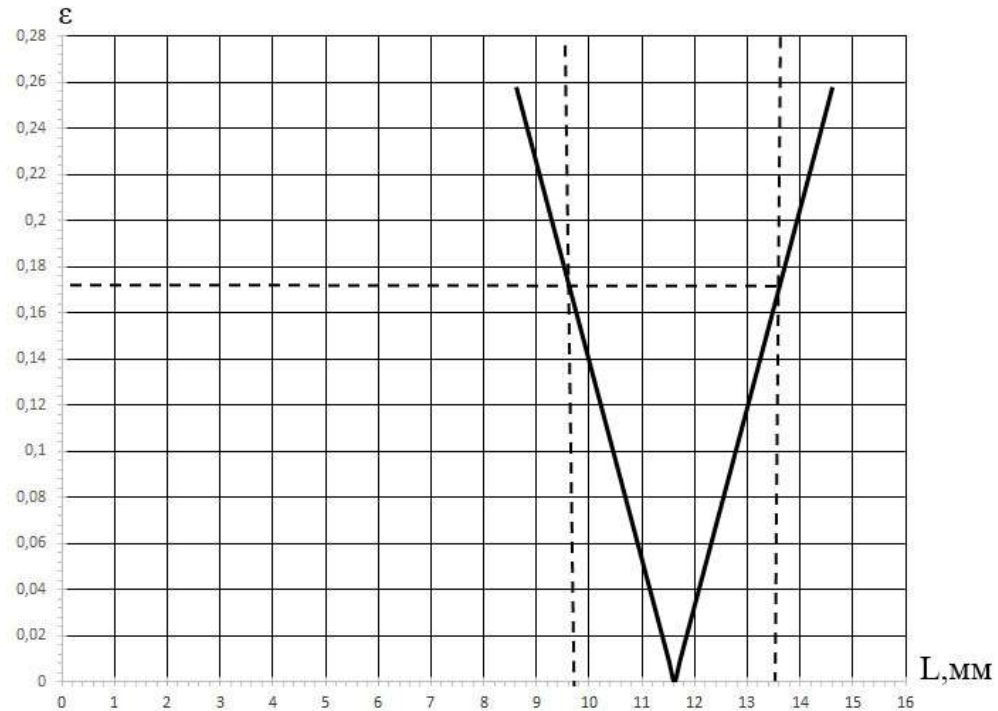


Рис. 5. Графік залежності відносної погрешності частоти вращения от погрешности фактического размера зуба при изготовлении

Из графика на рис. 5 видно, что при отклонении L от теоретического размера на ± 2 мм относительная погрешность будет составлять не более 17 %. Технология изготовления диска предполагает именно такие расхождения фактической и теоретической длины L . Исходя из полученных данных, можно утверждать, что при использовании алгоритма измерений (см. рис. 2) при максимально возможной частоте вращения 1500 мин^{-1} может возникнуть абсолютная погрешность $\sim \pm 255 \text{ мин}^{-1}$.

Для уменьшения влияния рассмотренной выше погрешности было решено модифицировать алгоритм измерений путем получения среднего значения 10 измерений (то есть получать приблизительное значение частоты вращения за один оборот диска, а не за прохождение дуги L).

Дальнейшая модификация алгоритма сводится к следующему: при появлении первого импульса от датчика таймер/счетчик должен реагировать по входу захвата как ранее. А при появлении фронта следующего импульса он должен не заканчивать подсчет времени периода сигнала, а продолжать считать до

тех пор, пока не будет достигнуто необходимое количество импульсов и лишь потом останавливаться и выполнять расчет частоты вращения.

Понятно, что оптимальное число импульсов при котором полученная выборка частоты вращения не искажается и не теряет репрезентативность неизвестно.

Для определения необходимого и достаточного количества импульсов необходимо учитывать, что равномерное вращение не даст необходимой информации. Поэтому были использованы данные равномерного ускорения, полученные при реальных заводских испытаниях при работе алгоритма с подсчетом суммы периодов десяти сигналов (хотя в таких данных и присутствует дополнительная погрешность ε_{Δ_i} , но для последующих расчетов она не критична).

Для конкретно рассматриваемого случая равномерное ускорение будет представлено следующей формулой:

$$\vec{a} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \frac{\Delta v}{\Delta t} [\text{мин}^{-1}/\text{с}^2],$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

где \vec{a} – ускорение [$\text{мин}^{-1}/\text{с}^2$]; Δv – прирост частоты вращения за время Δt [с].

Будет рассмотрен бесповторный отбор данных [1, 6, 7] (предполагается, что при равномерном ускорении нет одинаковых результатов в выборке частот вращения, генеральная совокупность которых и будет рассмотрена).

В данном случае дисперсия рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\omega_i - \bar{\omega})^2}{n-1}},$$

где σ – дисперсия; ω_i – i -е измерение частоты вращения [мин^{-1}]; $\bar{\omega}$ – среднее арифметическое частоты вращения выборки n -размерности [мин^{-1}]; n – размер выборки рассматриваемых ускорений (генеральная совокупность).

Средняя квадратичная погрешность μ выборки при бесповторном отборе имеет вид [1]:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n} \left(1 - \frac{n^*}{n}\right)}, \quad (5)$$

где n^* – размер необходимой и достаточной выборки из генеральной совокупности n .

В данном случае абсолютная погрешность будет иметь вид:

$$\Delta\omega = \pm t \cdot \mu \quad [\text{мин}^{-1}], \quad (6)$$

где $\Delta\omega$ – абсолютная погрешность; t – коэффициент Стьюдента.

Коэффициент Стьюдента находится по таблице из [6] и для доверительной вероятности $\alpha = 95\%$ равен 1,98.

Подставив (5) в (6) и проведя необходимые преобразования, можно получить формулу для расчета необходимого размера выборки n^* из генеральной совокупности n :

$$n^* = \frac{t^2 \sigma^2 n}{\Delta\omega^2 n + t^2 \sigma^2}.$$

Для генеральной совокупности равной 1657 отсчетов. После проведения расчетов был получен результат, представленный на рис. 6.

Расчет абсолютной погрешности генеральной совокупности выполняется без учета отбора выборки n^* по формулам:

$$\mu^* = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\omega_i - \bar{\omega})^2},$$

где μ^* – средняя квадратичная погрешность.

$$\Delta\omega^* = \pm \mu^* \cdot t,$$

где $\Delta\omega^*$ – абсолютная погрешность.

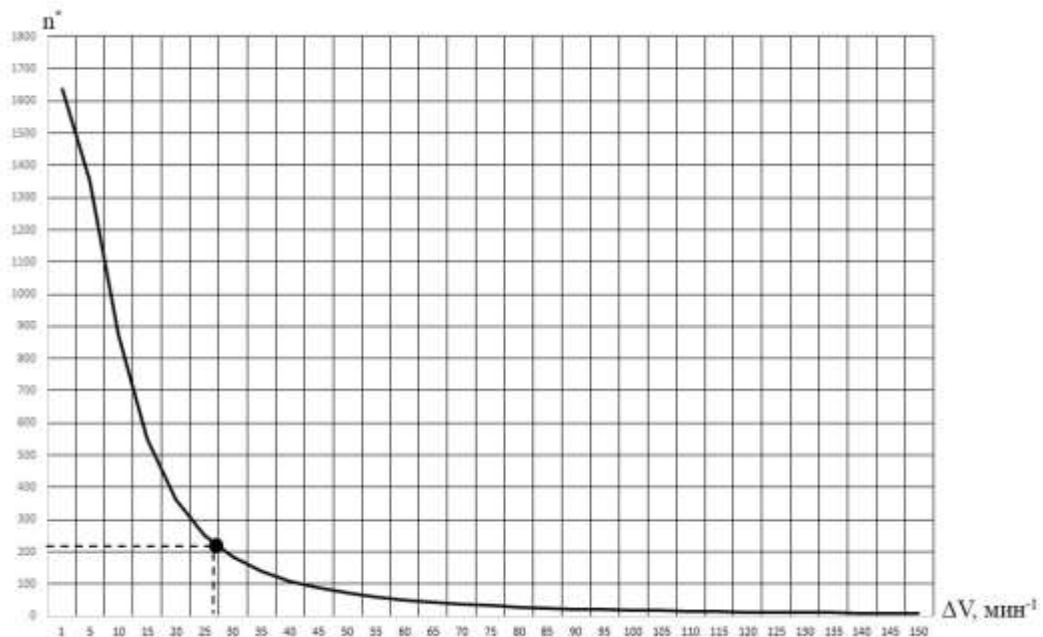


Рис. 6. График зависимости абсолютной погрешности частоты вращения от размера выборки n^*

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Абсолютная погрешность использованной генеральной совокупности (без учета отбора выборки n^*) равной $27,94 \text{ мин}^{-1}$. Как видно из рис. 6 при этом $n^* \approx 208$. Исходя из этого, можно утверждать, что выборка n^* является репрезентативной и не искажает генеральную совокупность n , при выборке только каждого 8-го отсчета из n ($1657/208 \approx 8$). Близкие результаты были получены при обработке других выборок.

Изменения инструментальной и методической погрешностей, которые могут быть следствием пропуска отсчетов, требует дальнейших исследований.

Результаты

На основе имеющегося оборудования стенда испытаний гидравлических передач тепловозов был спроектирован датчик частоты вращения оптического типа на основе уже существующего датчика Д-2ММУ-2. На основе заводских испытаний с применением прототипа датчика было установлено необходимое и достаточное время опроса управляющего микроконтроллера датчика, что позволило внести изменения в алгоритм измерений.

Научная новизна и практическая значимость

На основе имеющегося оборудования стенда испытаний гидравлических передач тепловозов был спроектирован датчик частоты вращения оптического типа на основе уже существующего датчика Д-2ММУ-2. Были разработаны алгоритмы работы микроконтроллера, обрабатывающего сигналы от этого датчика. Проведены заводские испытания датчика. По выборке данных, полученных при испытаниях, показана возможность уменьшения частоты съема информации с датчика. Разработанный датчик существенно удешевляет разработку стенда испытаний гидравлических передач тепловозов, а также может применяться при разработке аналогичных стендов испытаний гидравлических передач другой колесной техники и подобных механизмов. Разработанный датчик имеет большую точность по сравнению с

Д-2ММУ-2 и значительно меньшую, в сравнении с современными тахометрическими датчиками, цену изготовления. Результаты измерений являются исходными данными для выполнения дальнейших исследований с целью определения технического состояния гидравлической передачи УГП750-1200 во время заводских послеремонтных испытаний.

Выводы

На основе имеющегося оборудования стенда испытаний гидравлических передач тепловозов был спроектирован датчик частоты вращения оптического типа на основе уже существующего датчика Д-2ММУ-2. Были рассмотрены возможные источники погрешности измерений нового датчика. Был выполнен расчет инструментальной погрешности вносимой технологией изготовления датчика и было установлено, что текущий алгоритм обработки сигнала от датчика не совершенен и требует доработки. Предложен усовершенствованный алгоритм. На основании заводских испытаний датчика был выполнен расчет необходимой частоты опроса управляющего микроконтроллера датчика с компьютера с целью корректировки алгоритма вычисления частоты оборотов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Балинова, В. С. Статистика в вопросах и ответах : учеб. пособие. – Москва : ТК Велби : Изд-во Проспект, 2004. – 344 с.
2. Безгин, А. С. Применение инкрементального энкодера как датчика скорости в цифровых системах управления экскаваторного электропривода переменного тока / А. С. Безгин, Э. Л. Греков // Науч.-техн. вестн. Поволжья. – 2013. – № 3. – С. 72–76.
3. Жуковицкий, И. В. Использование микроконтроллеров в стенде испытания гидравлических передач тепловоза / И. В. Жуковицкий, И. А. Ключник // Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті : тези VII Міжнар. наук.-практ. конф. (16.02–19.02.2016), с. Розлуч / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2016. – С. 33.
4. Информационно-управляющая система активного аэростатического подшипника на

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

- базе фотоэлектрического преобразователя комби-нированного типа [Электронный ресурс] / А. В. Кирьянов, В. В. Чуканов, В. П. Кирьянов, С. В. Перебейнос // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – Вып. 1, т. 5. – 8 с. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/informatsionno-upravlyayuschaya-sistema-aktivnogo-aerostateskogo-podshipnika-na-baze-fotoelektricheskogo-preobrazovatelya>. – Загл. с экрана. – Проверено : 12.09.2016.
5. Ключник, І. А. Використання інформаційних технологій для вимірювання частоти обертання на стенді випробування гідравлічних передач тепловозів / І. А. Ключник // Інформ. технології в моделюванні : матер. всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених (24.03–25.03.2016) / Миколаїв. нац. ун-т ім. В. О. Сухомлинського. – Миколаїв, 2016. – С. 82–83.
 6. Руденко, В. М. Математична статистика : навч. посібник / В. М. Руденко. – Київ : Центр учбової літ-ри, 2012. – 303 с.
 7. Степнов, М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний : справочник. – Москва : Машиностроение, 1985. – 232 с.
 8. Тахометры магнитоиндукционные дистанционные ТМи [Электронный ресурс] // ООО «Саранские приборы». – 2016. – Режим доступа: <http://sibspz.ru/pribory-dlya-izmereniya-parametrov-dvizheniya-takhometry/takhometry-magnitoinduksionnye-dstantsionnye-tmi>. – Загл. с экрана. – Проверено : 12.09.2016.
 9. EE-SX1041. Photomicrosensor (Transmissive) [Электронный ресурс] // OMRON Corporation. – 2016. – Режим доступа: https://www.omron.com/ecb/products/photo/34/ee_sx1041.html. – Загл. с экрана. – Проверено : 12.09.2016.
 10. Improved PSO algorithm for improving the subdivision accuracy of photoelectric rotary encoder / G. Xu, W. Qiuhua, Y. Shouwang [et al.] // Infrared and Laser Engineering. – 2013. – Т. 42, № 6. – С. 320–323.
 11. Information-measuring Test System of Diesel Locomotive Hydraulic Transmissions / I. V. Zhu-kovytskyu, I. A. Kliushnyk, O. B. Ochkasov, R. O. Korenyuk // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 5 (59). – С. 53–65. doi: 10.15802-/stp2015/53159.
 12. Opto-electronic rotary encoders OsiSense XCC. Catalogue [Электронный ресурс] // Schneider Electric. – 2016. – Режим доступа: http://katalog.schneiderelectric.cz/dsmapp/data/pdf/cz/-TL3/XCC_Rotary_OsiSense.pdf. – Загл. с экрана. – Проверено : 12.09.2016.
 13. Zheng, D. A capacitive rotary encoder based on quadrature modulation and demodulation / D. Zheng, S. Zhang, S. Wang // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2015. – Vol. 64. – Iss. 1. – P. 143–153. doi: 10.1109/TIM.2014.2328456.

І. В. ЖУКОВИЦЬКИЙ^{1*}, І. А. КЛЮШНИК^{2*}

^{1*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта ivzhuk@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-5976

^{2*}Каф. «Електронні обчислювальні машини», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 89, ел. пошта klugran@i.ua, ORCID 0000-0001-9939-0755

ВИКОРИСТАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ВАЛА ГІДРАВЛІЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛОВОЗА

Мета. Стаття передбачає розгляд процесу розробки та вдосконалення засобів збору тахометричних даних інформаційно-вимірювальної системи випробування гідравлічних передач тепловозів. Це дасть можливість отримання вихідних даних для проведення подальших досліджень із визначення технічного стану гідравлічних передач тепловозів. Передбачається знайти вирішення завдання розробки і удосконалення засобів вимірювання тахометричних даних раніше створеної інформаційно-вимірювальної системи випробування гідравлічних передач тепловозів. При цьому відштовхуватись потрібно, в першу чергу, від можливості модифікації вже існуючого стенду випробування гідравлічних передач тепловозів на Дніпропетровському заводі по ремонту тепловозів «Промтепловоз». **Методика.** У роботі дослідниками була запропонована методика

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

модифікації існуючого тахометричного датчика мікропроцесорної автоматизованої системи стендових випробувань гідравлічних передач тепловозів в умовах тепловозоремонтного заводу. Вона діє шляхом обґрунтування вибору необхідного способу вимірювання тахометричного датчика, а також застосування необхідних апаратних та програмних засобів для реалізації поставленої мети з можливістю інтеграції в інформаційно-вимірювальну систему випробувань гідравлічних передач тепловозів. **Результати.** Авторами спроектований і виготовлений діючий прототип датчика частоти обертання оптичного типу на основі вже існуючого датчика Д-2ММУ-2. Після заводських випробувань із застосуванням прототипу датчика був встановлений необхідний і достатній час опитування керуючого мікроконтролера датчика. **Наукова новизна.** На наявному обладнанні стенду випробувань гідравлічних передач тепловозів був спроектований датчик частоти обертання оптичного типу на основі вже існуючого датчика Д-2ММУ-2. Були розроблені алгоритми роботи мікроконтролера, який займається обробкою сигналів від цього датчика. Проведені заводські випробування датчика. За вибіркою даних, отриманих при випробуваннях, показана можливість зменшення частоти знімання інформації з датчика. **Практична значимість.** Удосконалений датчик істотно здешевлює виготовлення стенда випробувань гідравлічних передач тепловозів, а також може застосовуватися при розробці аналогічних стендів випробувань гідравлічних передач іншої колісної техніки і т. п. механізмів. Розроблений датчик має більшу точність у порівнянні з Д-2ММУ-2 і значно меншу, в порівнянні з сучасними тахометричними датчиками, ціну виготовлення. Результати вимірювань є вихідними даними для виконання подальших досліджень із метою визначення технічного стану гідравлічної передачі УГП750-1200 під час заводських післяремонтних випробувань.

Ключові слова: тахометричний датчик; Д-2ММУ-2; гідравлічна передача; випробування гідропередач; випробувальний стенд; інформаційно-вимірювальна система

I. V. ZHUKOVYTSKYI^{1*}, I. A. KLIUSHNYK^{2*}

^{1*}Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail ivzhuk@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-5976

^{2*}Dep. «Electronic Computing Machines», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 89, e-mail klugran@i.ua, ORCID 0000-0001-9939-0755

USE OF MICROCONTROLLER FOR MEASURING SHAFT SPEED OF DIESEL LOCOMOTIVE HYDRAULIC TRANSMISSION

Purpose. The article considers the process of development and improvement of tachometer data collectors for the data-measuring diesel locomotive hydraulic transmission test system, which will give the possibility of obtaining the source data to conduct further studies of the technical condition of diesel locomotive hydraulic transmission. It is supposed to provide a solution to the problem of development and improvement of tachometer data measuring tools of the previously created data-measuring diesel locomotive hydraulic transmission test system, starting out from the possibility of modification of the existing locomotive hydraulic transmission test-bench at the Dnepropetrovsk Diesel Locomotive Repair Plant «Promteplovoz». **Methodology.** The researchers proposed in the work a method of modifying the existing tachometer sensor of the automated microprocessor system for the locomotive hydraulic transmission test-bench in the conditions of a diesel locomotive repair plant. It is applicable by substantiating the choice of the required tachometer sensor measuring method, as well as by using the necessary hardware and software to accomplish the goal with the ability to integrate into the data-measuring system for diesel locomotive hydraulic transmission testing. **Findings.** The available equipment of the locomotive hydraulic transmission test-bench allowed for design of the optical type speed sensor based on the existing sensor D-2MMU-2. The factory testing with the use of a sensor prototype resulted in determination of the required and sufficient sampling time for sensor operating microcontroller. **Originality.** The available equipment of the locomotive hydraulic transmission test-bench allowed for design of the optical type speed sensor based on the existing sensor D-2MMU-2. We developed the operation algorithms for the microcontroller that processes the signals from this sensor. The sensor was factory-tested. According to the data sample obtained during the tests, we showed the possibility of reducing the sensor information retrieval frequency. **Practical value.** The designed sensor significantly reduces the cost of development of

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

the diesel locomotive hydraulic transmission test-bench, besides it can be used when developing similar hydraulic transmission test-benches of other wheeled vehicles and the like. The designed sensor has a greater accuracy than that of D-2-2MMU and considerably lower production cost in comparison with current tachometer sensors. The measurement results are input data to perform further studies in order to determine the technical condition of UGP750-1200 hydraulic transmission during the factory post-repair testing.

Keywords: tachometer sensor; D-2MMU-2; hydraulic transmission; hydraulic transmission test; test-bench; data-measuring system

REFERENCES

1. Balinova B.C. *Statistika v voprosakh i otvetakh* [Statistics in questions and answers]. Moscow, TK Velbi, Prospekt Publ., 2004. 344 p.
2. Bezgin A.S., Grekov E.L. Primeneniye inkrementalnogo enkodera kak datchika skorosti v tsifrovyykh sistemakh upravleniya ekskavatornogo elektroprivoda peremennogo toka [Application of incremental encoder as a speed sensor in digital control systems of excavating AC drive]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzhya – Scientific and Technical Bulletin of Povolzhe*, 2013, no. 3, pp. 72-76.
3. Zhukovitskiy I.V., Kliushnyk I.A. Ispolzovaniye mikrokontrollerov v stende ispytaniya gidravlicheskih peredach teplovoza [Using of microcontrollers in the test stand of hydraulic transmission in a locomotive]. *Tezy VII Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii «Bezpeka ta elektromahnitna sumisnist na zaliznychnomu transporti (16.02-19.02.2016)»* [Proc. of VII Intern. Sci. and Pract. Conference «Safety and electromagnetic compatibility at rail transport (16.02-19.02.2016)»]. Dnipropetrovsk, 2016, p. 33.
4. Kiryanov A.V., Chukanov V.V., Kiryanov V.P., Perebeynos S.V. Informatsionno-upravlyayushchaya sistema aktivnogo aerostatischeeskogo podshipnika na baze fotoelektricheskogo preobrazovatelya kombinirovannogo tipa (Information and control system of active air bearings on the basis of the photoelectric converter of the combined type). *Interekspo Geo-Sibir – Interekspo Geo-Siberia*, 2013, issue 1, vol. 5. 8 p. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/informatsionno-upravlyayushchaya-sistema-aktivnogo-aerostatischeeskogo-podshipnika-na-baze-fotoelektricheskogo-preobrazovatelya> (Accessed 12 September 2016).
5. Kliushnyk I.A. Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii dlia vymiriuvannia chastoty obertannia na stendi vyprobuvannia hidravlichnykh peredach teplovoziv [Information technology usage for measuring the rotary velocity at test stand of hydraulic transmissions in locomotives]. *Materialy vseukrainskoi naukovopraktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh: «Informatsiino-tekhnolohii v modeliuvanni (24.03-25.03.2016)»* [Proc. of All Ukrainian Sci. and Practical Conf. for students, PG students, young scientists «Information technologies in simulation (24.03-25.03.2016)»]. Mykolaiv, 2016, pp. 82-83.
6. Rudenko V.M. *Matematychna statystyka* [Mathematical Statistics]. Kyiv, Tsentru uchbovoi literatury Publ., 2012. 303 p.
7. Stepnov M.N. *Statisticheskiye metody obrabotki rezultatov mekhanicheskikh ispytaniy: spravochnik* [Statistical methods for processing the results of mechanical tests: handbook]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1985. 232 p.
8. *Takhometry magnitoinduksiionnyye distantsionnyye TMI. OOO «Saranskiye pribory»* (Tachometers of magnetic remote TMI. LLC «Saransk equipment»). 2016. Available at: <http://sibspz.ru/pribory-dlya-izmereniya-parametrov-dvizheniya-takhometry/takhometry-magnitoinduksiionnyye-distantsionnyye-tmi> (Accessed 2 July 2016).
9. EE-SX1041 Photomicrosensor (Transmissive). OMRON Corporation. 2016. Available at: https://www.omron.com/ecb/products/photo/34/ee_sx1041.html (Accessed 2 July 2016).
10. Xu G., Qiuhua W., Shouwang Y., Wei C., Changhai Z. Improved PSO algorithm for improving the subdivision accuracy of photoelectric rotary encoder. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, vol. 42, no. 6, pp. 320-323.
11. Zhukovytskyi I.V., Kliushnyk I.A., Ochkasov O.B., Korenyuk R.O. Information-measuring Test System of Diesel Locomotive Hydraulic Transmissions. *Nauka ta prohres transportu – Science and Transport Progress*, 2015, no. 5 (59), pp. 53-65. doi: 10.15802/stp2015/53159.
12. Opto-electronic rotary encoders OsiSense XCC. Catalogue. Schneider Electric. 2016. Available at: http://katalog.schneider-electric.cz/dsmapp/data/pdf/cz/TL3/XCC_Rotary_OsiSense.pdf (Accessed 2 July 2016).

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

13. Zheng D., Zhang S., Wang S., Zheng D. A capacitive rotary encoder based on quadrature modulation and demodulation. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2015, vol. 64, issue 1, pp. 143-153. doi: 10.1109/TIM.2014.2328456.

Стаття рекомендована к публікації д.т.н, проф. В. В. Скалозубом (Україна); д.т.н, проф. А. І. Михалевым (Україна)

Поступила в редакцію: 25.06.2016.

Прийнята к печати: 07.10.2016.