

К. т. н. В. А. ЗАВАДСЬКИЙ¹, к. т. н. Р. Ю. ХАРЧЕНКО¹, к. т. н. С. М. ДРАНЧУК²,
к. ф-м. н. В. І. ЦАЦКО², Т. О. ГАУР²

Україна, ¹Національний університет «Одеська морська академія»,

²Одеський національний морський університет

E-mail: vaaz@ukr.net

ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ СИГНАЛІВ КОНВЕЄРНИХ ВАГ ПРИ ЗАВАНТАЖЕННІ СУДНА СИПУЧИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Розроблено пристрій та алгоритм його роботи, які направлені на поліпшення якості та підвищення точності вимірювання за допомогою конвеєрних ваг маси завантажуваного на судно сипучого матеріалу. Пристрій дозволяє не тільки одночасно вимірювати поточну вагу сировини, що знаходиться на ваговій платформі, та швидкість пересування стрічки конвеєра, а й враховувати неоднорідність сипучого матеріалу та нерівномірність руху стрічки.

Ключові слова: конвеєрні ваги, точність вимірювання, алгоритм роботи, зважування, сипучий матеріал.

При завантаженні судна сипучими матеріалами найбільш ефективним є використання конвеєрних ваг, що дозволяють сумістити процес завантаження судна з вимірюванням ваги завантаженого матеріалу та проводити моніторинг цього процесу. Перевагою такого засобу є можливість швидкого завантаження та оперативне контролювання процесу завантаження. Сучасні економічні умови вимагають достатньо великої точності вимірювань ваги завантаженого на судно матеріалу (бажано нижче 0,5%) [1], але її досягнення пов'язано як з механічною конструкцією ваг, так і алгоритмом вимірювання [2].

У цій роботі розроблено пристрій та алгоритм його роботи, які дозволять підвищити точність визначення маси сипучого вантажу під час завантаження судна.

Постановка задачі

Зазвичай для вимірювання ваги вантажу в конвеєрну стрічку вбудовується вагова платформа, що розташовується на двох або чотирьох тензOMETричних датчиках, вихідний сигнал яких є аналоговим з вихідною напругою на рівні десятків мілівольт [3]. Оскільки конвеєрні ваги розміщують на пірсі, то отриману інформацію від тензOMETричних датчиків необхідно передавати до комп'ютера оператора, який може знаходитися за сотні метрів від місця завантаження. Це викликає ряд труднощів, пов'язаних з електромагнітними перешкодами та викривленням вихідного сигналу [4].

Для розв'язання цих проблем ефективним є використання блоку аналогового-частотного перетворення (БАЧП), що перетворює вихідний аналоговий сигнал датчика у частотний сигнал типу «мандр» [5]. Такий перетворювач розташовують по-

близу вимірювального датчика, а частотний сигнал, частота якого прямо пропорційна частоті вихідного сигналу датчика, передається на значну відстань до вимірювального пристрою без втрати інформації. Якщо частота такого сигналу не дуже висока (< 1 МГц), то спеціальних вимог до кабелю передачі немає. Більш того, якщо для живлення блока перетворення вихідного аналогового сигналу датчика використовувати джерело струму, то для живлення і блока, і датчика, а також для передачі вихідного сигналу можна використовувати тільки два дроти, тобто сумістити канал живлення з інформаційним каналом [6—9].

Крім того, для визначення поточної ваги сипучого матеріалу за допомогою конвеєрних ваг необхідно знати швидкість пересування смуги конвеєра. Це зазвичай виконується датчиком швидкості (ДШ), вихідний сигнал якого має частоту, пропорційну швидкості пересування смуги конвеєра, і довільну амплітуду.

Основний принцип контролю ваги при завантаженні судна сипучими матеріалами за допомогою конвеєрних ваг полягає в наступному. Матеріал з бункера висипається на стрічку конвеєра (його довжина може складати десятки метрів), яка за допомогою електродвигуна пересувається з постійною швидкістю по роликах, а на іншому кінці конвеєра матеріал під власною вагою зсипається у трюм судна. Для визначення маси вантажу в конвеєрні ваги вбудовується вагова платформа заданої довжини, яка розміщується на тензOMETричних датчиках. Аналоговий сигнал датчиків пропорційний вазі сипучого вантажу, який знаходиться у цей момент на ваговій платформі.

При вимірюванні ваги вантажу за принципом інтегрування маса вантажу, який попадає у трюм судна, визначається за формулою [10]

$$P = Q(t) \cdot t = q(x)V(t) \cdot t, \quad (1)$$

де P — маса вантажу;

t — час завантаження;

$Q(t)$ — питома маса вантажу, [кг/с];

$q(x)$ — погонне навантаження на стрічку конвеєра,
 $q(x) = P_{\text{ВП}}/L$ [кг/м];

$P_{\text{ВП}}$ — маса вантажу на ваговій платформі;

L — повна довжина вагової платформи;

$V(t)$ — швидкість переміщення стрічки конвеєра.

З цього виразу випливає, що точність визначення маси вантажу визначається в основному двома факторами: неоднорідністю погонного навантаження вагової платформи у часі та зміненням швидкості пересування стрічки конвеєра при зміненні навантаження.

Швидкість конвеєрної стрічки пропорційна частоті сигналу датчика швидкості $f_{\text{ДШ}}$:

$$V(t) = K_{\text{ДШ}} f_{\text{ДШ}}, \quad (2)$$

де $K_{\text{ДШ}}$ — коефіцієнт перетворення датчика швидкості.

При використанні частотного перетворення аналогового сигналу тензометричних датчиків вагової платформи погонне навантаження на стрічку конвеєра пропорційне частоті вихідного сигналу БАЧП:

$$q = \frac{P_{\text{ВП}}}{L} = \frac{K_{\text{ТД}}(f_{\text{В1}} - f_{\text{В0}})}{L}, \quad (3)$$

де P — коефіцієнт перетворення тензометричного датчика;

$f_{\text{В0}}, f_{\text{В1}}$ — частота вихідного сигналу БАЧП у разі відсутності вантажу на ваговій платформі та за його наявності відповідно.

Тоді вага вантажу, який було завантажено до трюму, буде дорівнювати

$$P = K_{\text{ДШ}} f_{\text{ДШ}} K_{\text{ТД}} \frac{f_{\text{В1}} - f_{\text{В0}}}{L} \cdot t. \quad (4)$$

Аналіз цього виразу показує, що для розрахунку завантаженого на момент часу t вантажу необхідно одночасно вимірювати частоту сигналів від датчика швидкості $f_{\text{ДШ}}$ та від БАЧП $f_{\text{В1}}$ за визначений час t з наступним передаванням результату до комп'ютерної системи оператора, де накопичуються результати кожного вимірювання, і цей процес має бути безперервним. Безперервність процесу вимірювання можна забезпечити використанням двох однакових мікроконтролерів (МК) — А і В, які працюватимуть по черзі: коли мікроконтролер А вимірює частоту сигналу від БАЧП, мікроконтролер В передає результат попереднього вимірювання до комп'ютерної системи, і навпаки.

Вибір методу вимірювання частоти сигналів від датчиків

Частота сигналу від датчика швидкості $f_{\text{ДШ}}$ відносно невелика і при $K_{\text{ДШ}} = 0,252$ м/(Гц·с) для датчика типу ДКС [11] складає згідно з формулою (2) від 0,8 до 12 Гц (при швидкості стрічки конвеєра від 0,2 до 3,15 м/с відповідно), тому для визначення частоти $f_{\text{ДШ}}$ з найбільшою точністю ефективно використовувати метод вимірювання періоду [12]. Цей метод (рис. 1, а) передбачає вимірювання періоду вхідного сигналу $T_{\text{ДШ}}$ шляхом підрахунку кількості $N_{\text{Т}}$ тактових імпульсів заповнення з періодом $T_{\text{Т}}$ упродовж часу $T_{\text{ДШ}}$ і подальше обчислення частоти вхідного сигналу за формулою

$$f_{\text{ДШ}} = \frac{1}{T_{\text{ДШ}}} = \frac{1}{T_{\text{Т}} N_{\text{Т}}}. \quad (5)$$

Частота сигналу від БАЧП, пропорційного масі вантажу на ваговій платформі, змінюється зазвичай від $f_{\text{В0}} = 2000$ Гц (коли стрічка конвеєра не навантажена) до $f_{\text{В1}} = 20000$ Гц (при максимальному навантаженні вагової платформи), тому для вимірювання частоти сигналу від БАЧП найбільш прийнятним є метод прямого підрахунку (рис. 1, б). Цей метод заснований на підрахунку кількості $N_{\text{В}}$ вхідних імпульсів за фіксований час виміру T_0 і дозволяє отримати достатню точність вимірювання. У цьому випадку вхідна частота дорівнює:

$$f_{\text{В}} = N_{\text{В}} / T_0. \quad (6)$$

Для виконання умови синхронного вимірювання частоти сигналів від датчика швидкості $f_{\text{ДШ}}$ та частоти $f_{\text{В}}$ сигналу від БАЧП необхідно, щоб для визначення кількості імпульсів БАЧП використовувався напівперіод $T_{\text{ДШ}}$ вхідного сигналу типу меандр від датчика швидкості. Причому для мікроконтролера А це буде напівперіод від фронту сигналу до його спаду, а для мікроконтролера В — напівперіод від спаду сигналу до його фронту (рис. 1, в).

Формування та підрахунок кількості $N_{\text{Т}}$ тактових імпульсів заповнення з заданим періодом $T_{\text{Т}}$ який можна виконати внутрішнім перериванням мікроконтролера, дозволяє визначити частоту $f_{\text{ДШ}}$ сигналу від датчика швидкості та тривалість вимірювання t :

$$t = T_{\text{ДШ}} / 2 = N_{\text{Т}} T_{\text{Т}} / 2. \quad (7)$$

Таким чином одночасно будуть замірятися усі необхідні складові для розрахунку маси вантажу згідно з виразом (4): частота сигналів від датчика швидкості $f_{\text{ДШ}}$ та від БАЧП $f_{\text{В}}$ і час вимірювання t .

Визначимо основні параметри цього методу, які забезпечать необхідну точність вимірювання.

Для конвеєрних ваг типу ВК202 максимальна швидкість руху стрічки конвеєра $V_{\text{max}} = 3,15$ м/с, тоді мінімальний напівперіод частотного сигналу датчи-

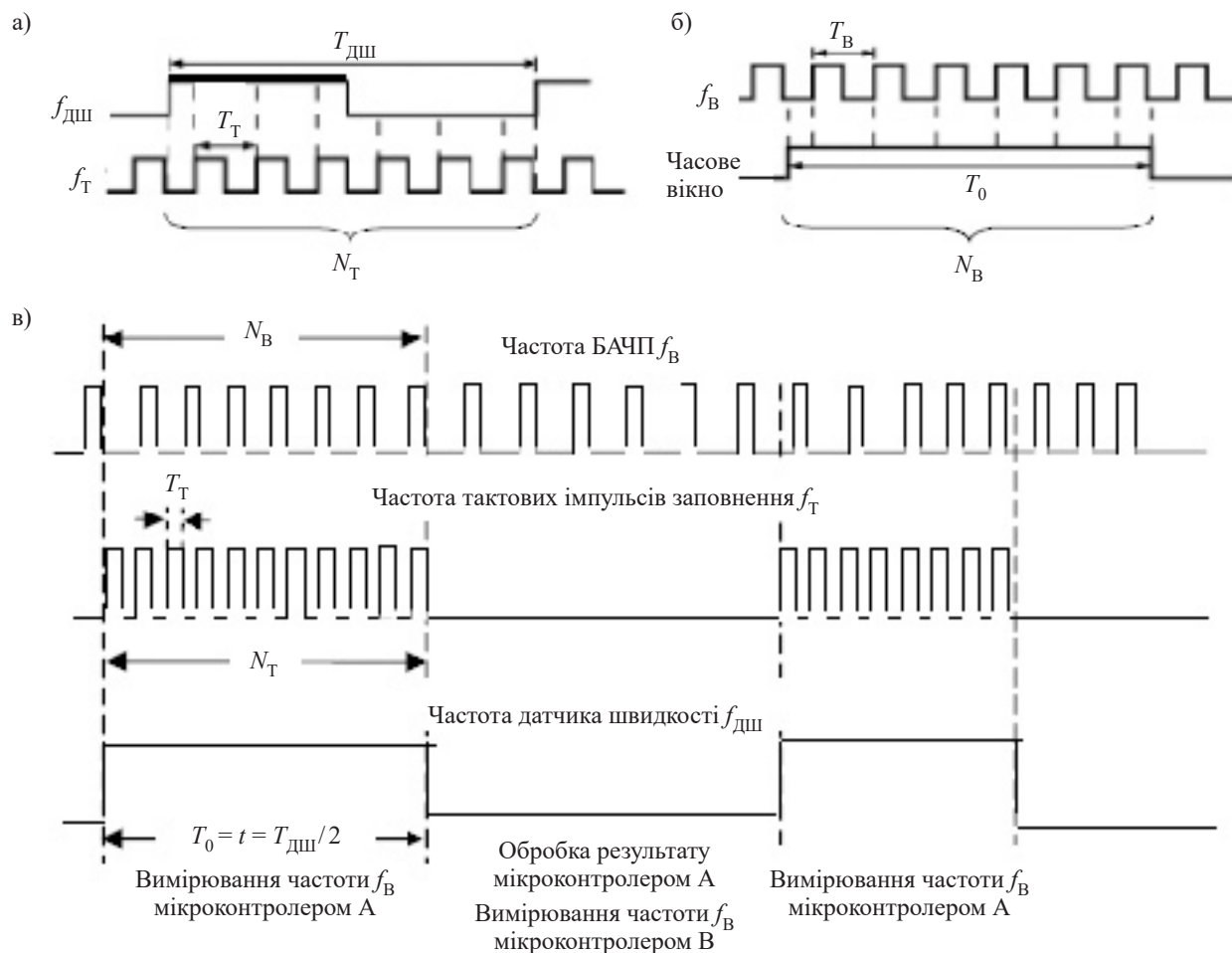


Рис. 1. Ілюстрація до методів вимірювання частоти:

a — метод вимірювання періоду; *б* — метод прямого підрахунку; *в* — синхронне вимірювання частоти датчика швидкості та частоти БАЧП

ка, що визначає час вимірювання частотного сигналу БАЧП, дорівнюватиме

$$T_{\min} = \frac{K_{\text{дш}} n}{2V_{\max}} = \frac{0,252 \cdot 4}{2 \cdot 3,15} = 0,16 \text{ с}, \quad (8)$$

де n — коефіцієнт ділення двійкового лічильника мікроконтролера, $n = 4$.

Якщо точність визначення напівперіоду частотного сигналу датчика швидкості встановлено на рівні $\delta = 0,05\%$, то мінімальний період тактових імпульсів заповнення при вимірюванні напівперіоду має дорівнювати

$$T_{\text{Т min}} = \delta \cdot T_{\min} / 100, \quad (9)$$

тобто $T_{\text{Т min}} = 0,05 \cdot 0,16 / 100 = 0,00008 \text{ с} = 0,08 \text{ мс}$, що відповідає частоті тактових імпульсів 12,5 кГц і є припустимим.

Якщо мінімальна швидкість руху стрічки конвеєра, з якої починається вимірювання частоти сигналу БАЧП, складає $V_{\min} = 0,2 \text{ м/с}$, то максимальний час вимірювання цієї частоти БАЧП складає

$$T_{\max} = \frac{K_{\text{дш}} n}{2V_{\min}} = \frac{0,252 \cdot 4}{2 \cdot 0,2} = 2,52 \text{ с}. \quad (10)$$

Якщо максимальна частота f_{\max} БАЧП складає 20 кГц, то протягом часу T_{\max} буде нараховано $N_{\max} = f_{\max} T_{\max} = 20000 \cdot 2,52 = 50400$ імпульсів, що дозволяє використовувати 16-розрядний таймер мікроконтролера при мінімальній швидкості руху стрічки конвеєра.

Якщо мінімальна частота БАЧП, з якої починається вимірювання, складає $f_{\min} = 2500 \text{ Гц}$, то за мінімальний час вимірювання T_{\min} буде нараховано $N_{\min} = f_{\min} T_{\min} = 2500 \cdot 0,16 = 400$ імпульсів частотного сигналу БАЧП, а найменша точність визначення частотного сигналу БАЧП складе $\delta = 100\% / N_{\min} = 0,25\%$, що є допустимим. Точність вимірювання буде зростати зі зниженням швидкості пересування стрічки конвеєра та збільшенням її завантаження.

Для реалізації цього методу вимірювання необхідно використовувати мікроконтролери, які повинні мати не менше двох 16-розрядних таймерів

з зовнішніми перериваннями та достатньо високу швидкість, для чого найбільше підходять RISC-мікроконтролери [13].

Таким чином, для реалізації можливості вимірювання ваги вантажу за допомогою конвеєрних ваг необхідно розробити пристрій, який дозволяв би безперервно вимірювати частоту БАЧП за методом прямого підрахунку імпульсів (ця частота пропорційна миттєвій вазі сипучого вантажу) та частоту імпульсів датчика швидкості за методом підрахунку тактових імпульсів (що відбиває швидкість пересування конвеєра та час вимірювання), обробляти отриману інформацію та передавати дані до комп'ютеризованої системи обліку завантаження судна.

Структурна схема пристрою

Як вже вказувалося вище, пристрій для розв'язання поставленої задачі можна побудувати на основі двох мікроконтролерів, які мають бути оснащені, зокрема, таймером для завдання необхідного інтервалу часу при вимірюванні частоти, системою зовнішніх переривань, інтерфейсом типу USART, що буде використовуватися для зв'язку з комп'ютером по протоколу інтерфейсу RS-485. Цим вимогам задовольняє, наприклад, мікроконтролер RISC фірми Atmel типу ATtiny2313 [14]. Структурну схему пристрою для отримання інформації від конвеєрних ваг наведено на **рис. 2**. Пристрій складається з таких блоків.

Блок подвоєння частоти БАЧП, де за спадом та фронтом частотного сигналу від блока аналогового частотного перетворювання формуються короткі імпульси, що дозволяє підвищити точність вимірювання частоти БАЧП. Для вимірювання частоти БАЧП методом прямого підрахунку ці короткі імпульси поступають на лічильний вхід 16-розрядних таймерів T1 мікроконтролерів А та В. Використання цього входу дозволяє підвищити швидкість обробки сигналів.

Мікропроцесорний блок управління складається з двох мікроконтролерів. Сигнал від датчика швидкості за допомогою перемикача поступає на них у протифазі, тому коли МК А вимірює частоту БАЧП, МК В обробляє та передає отриману інформацію до комп'ютерної системи контролю процесу завантаження судна по інтерфейсу RS485, і навпаки. Таким чином забезпечується безперервність отримання телеметричної інформації. Синхронізація роботи МК А та В виконується за сигналом від датчика швидкості по входах зовнішніх переривань INT0 та INT1 (див. рис. 1, в). По фронту імпульсів на вході INT0 запускається процес вимірювання частоти БАЧП мікроконтролером А, а по спаду імпульсів на вході INT1 він припиняється, і запускається процес обробки та передачі отриманої інформації по інтерфейсу RS485. Програмне забезпечення обох мікроконтролерів однакове, а особливості програм-

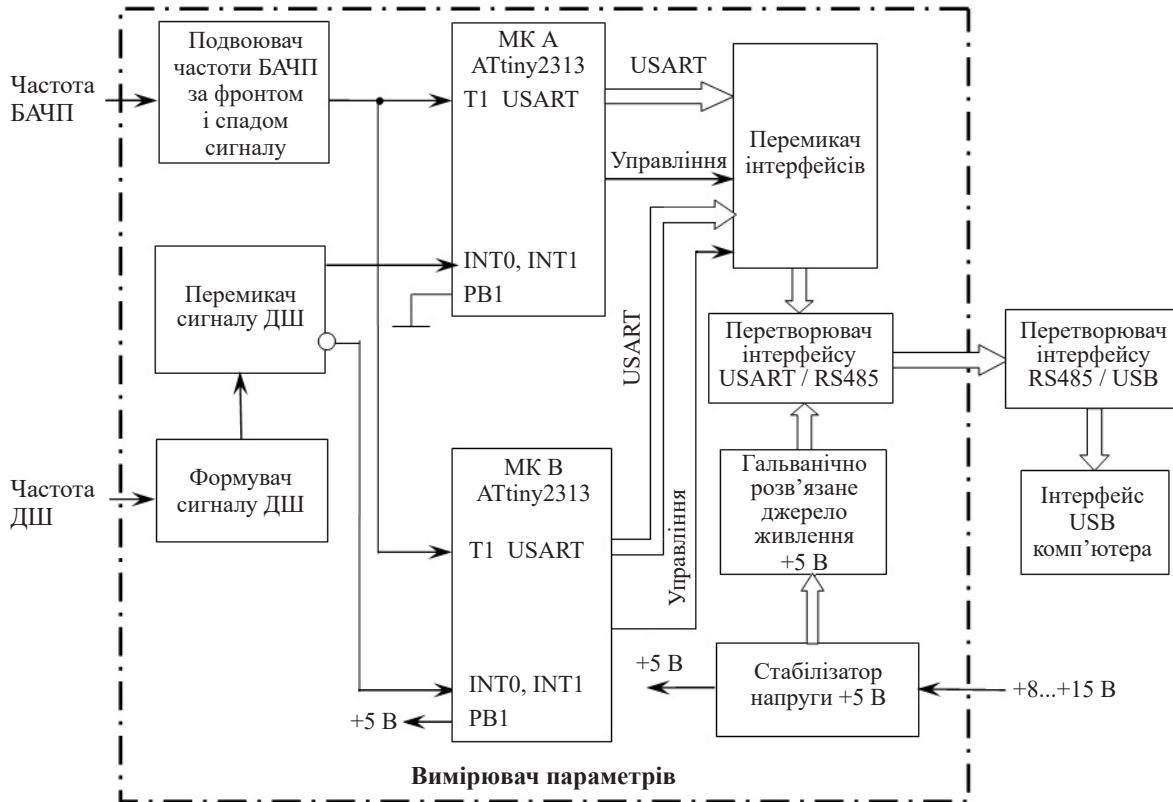


Рис. 2. Структурна схема пристрою для отримання інформації від конвеєрних ваг

ного забезпечення для різних мікроконтролерів визначаються по входу порту PB1.

Перемикач сигналу датчика швидкості перемикає сигнал від датчика швидкості по чергово до одного з МК та формує імпульсний сигнал типу “меандр”. Такий сигнал поступає одночасно на входи зовнішніх переривань INT0 та INT1 мікроконтролерів А та В, що дозволяє синхронізувати їх роботу.

Блок формування сигналу від датчика швидкості, де синусоїдальний сигнал від ДШ, амплітуда та частота якого залежить від швидкості пересування стрічки конвеєра, перетворюється в імпульсний сигнал з рівними танзисторно-транзисторної логіки.

Блок перетворення інтерфейсу USART / RS-485. Мікроконтролери типу ATtiny2313 мають стандарт-

ний інтерфейс типу USART, тому для передачі отриманої з нього інформації до комп'ютерної системи оператора, яка може знаходитися на значній відстані, необхідний перетворювач рівня сигналу з USART у RS-485. Для цього також необхідне гальванічно розв'язане джерело живлення на +5 В.

Стабілізатор напруги. Оскільки пристрій живиться від нестабілізованого джерела постійної напруги від 9 до 15 В, до його складу входить стабілізатор напруги на +5 В.

Алгоритм роботи пристрою

Алгоритм роботи пристрою отримання інформації базується на наступному.

З приходом фронту імпульсу від датчика швидкості на зовнішнє переривання INT0 мікроконтролер А починає підрахунок імпульсів частотного сигналу БАЧП по лічильному входу 16-розрядного таймера T1. Одночасно, за цим же сигналом, який приходить і на зовнішнє переривання INT1, МК В починає передавати отриману перед цим інформацію по інтерфейсу USART.

У той момент, коли спад імпульсу від датчика швидкості приходить на зовнішнє переривання INT1, МК А починає передавати отриману інформацію по інтерфейсу USART. Водночас, коли цей сигнал приходить і на зовнішнє переривання INT0, МК В починає підрахунок імпульсів частотного сигналу БАЧП по лічильному входу 16-розрядного таймера T1.

Розглянемо алгоритм роботи пристрою в основному режимі на прикладі мікроконтролера А (рис. 3).

1. Після включення пристрою встановлюється значення стека та налаштовуються порти.

2. Налаштовуються зовнішні переривання INT0 за фронтом вхідного сигналу від датчика швидкості для початку процесу вимірювання частоти БАЧП.

3. Налаштовуються зовнішні переривання INT1 за спадом вхідного сигналу від датчика швидкості для початку процесу обробки отриманих результатів вимірювання частоти БАЧП.

4. Таймер T1 налаштовується як лічильник зовнішніх імпульсів частотного сигналу БАЧП.

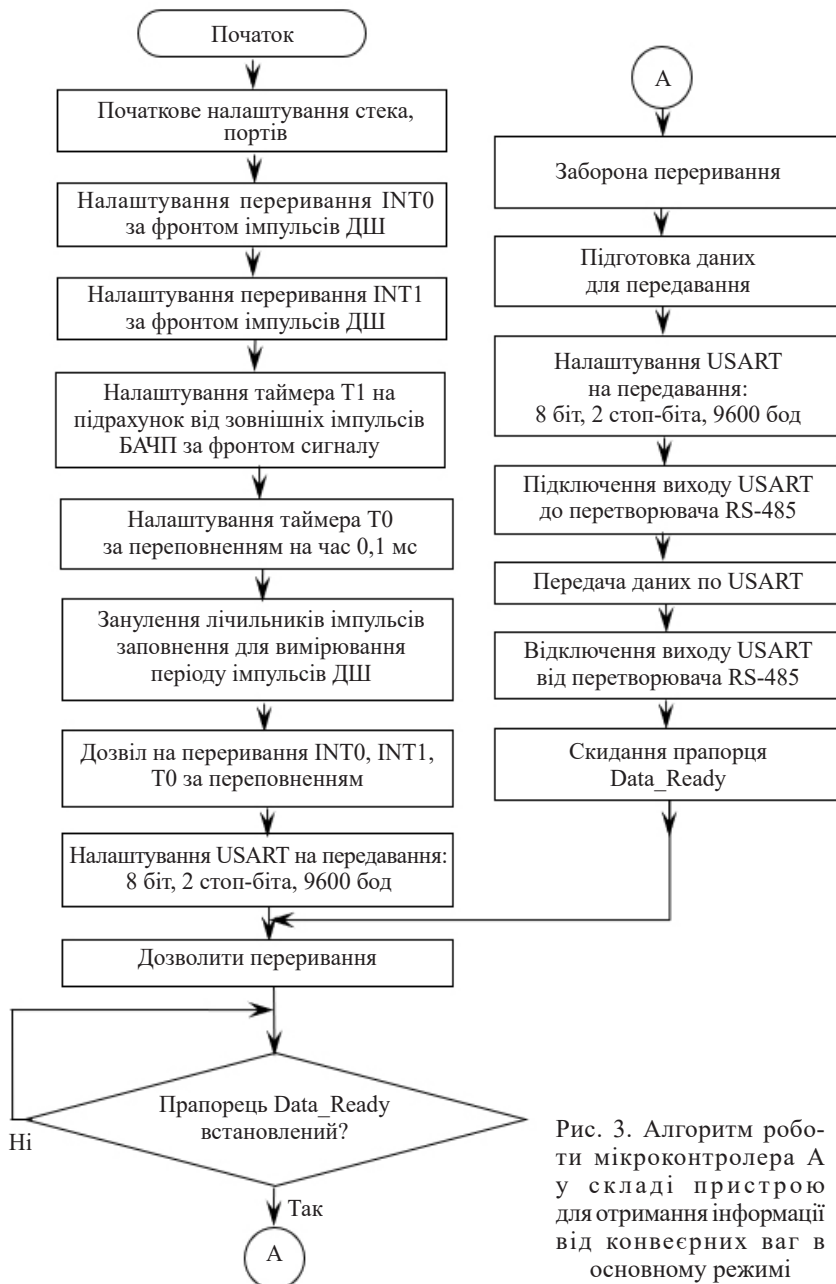


Рис. 3. Алгоритм роботи мікроконтролера А у складі пристрою для отримання інформації від конвеєрних ваг в основному режимі

5. Таймер T0 налаштовується у режим Normal за переповненням на час 0,1 мс.

6. Лічильники накопичення результатів вимірювання кількості тактових імпульсів зануляються для визначення періоду імпульсного сигналу від датчика швидкості.

7. Надається дозвіл на зовнішні переривання INT0, INT1 та внутрішні переривання таймера T0 за переповненням.

8. Порт USART налаштовується на передачу 8 біт, 2 стоп-біта, 9600 бод.

9. Надається дозвіл на загальні переривання.

10. Очікується встановлення прапорця готовності даних вимірювання Data_Ready.

11. Якщо прапорець Data_Ready встановлений, починається процес обробки отриманих даних для передавання до комп'ютерної системи по інтерфейсу USART.

12. Встановлюється заборона на загальні переривання.

13. Підготовлюються дані для передачі отриманої інформації.

14. Вихід порту TxD підключається до перетворювача інтерфейсу USART / RS-485.

15. Отримані дані передаються до комп'ютерної системи у вигляді символьних даних.

16. Вихід порту TxD відключається від перетворювача інтерфейсу USART / RS-485.

17. Знімається прапорець Data_Ready.

18. Надається дозвіл на загальні переривання.

19. Відбувається перехід за циклом очікування встановлення прапорця Data_Ready готовності даних вимірювання, тобто до п. 11. Далі процес циклічно повторюється.

В момент приходу фронту імпульсу від датчика швидкості на зовнішні переривання INT0 мікроконтролер А припиняє виконання основної програми та переходить у режим виконання підпрограми обробки переривання INT0 — запуску нового циклу вимірювання частоти БАЧП. При цьому забороняється виконання будь-яких інших переривань. Алгоритм роботи підпрограми обробки переривання INT0 складається з таких етапів (рис. 4, а).

1. Зберігається регістр стану SREG (щоб не змінити значення необхідних прапорців, встановлених до моменту входу у переривання).

2. Таймер T1 налаштовується у режим лічильника за фронтом (для мікроконтролера В — за спадом) вхідного імпульсу.

3. Зануляється 16-розрядний лічильник таймера T1.

4. Таймер T0 налаштовується у режим Normal за переповненням на час 0,1 мс (визначає тривалість тактових імпульсів при вимірюванні періоду імпульсного сигналу від датчика швидкості, що своєю чергою визначає час вимірювання частоти БАЧП).

5. Зануляються лічильники накопичення результатів вимірювання кількості тактових імпульсів для визначення періоду імпульсного сигналу від датчика швидкості.



Рис. 4. Алгоритм роботи пристрою для отримання інформації від конвеєрних ваг в режимі переривань:

а — підготовка до початку підрахунку імпульсів БАЧП; б — підготовка до обробки отриманих результатів; в — визначення періоду слідування імпульсів ДШ

A	4816	2389	20159,0
B	4841	2400	20170,8
A	4812	2388	20150,7
B	4834	2400	20141,6
A	4821	2395	20129,4
B	4803	2387	20121,5
A	4829	2404	20087,3
B	4820	2395	20125,2
A	4820	2394	20133,7
B	4822	2395	20133,6

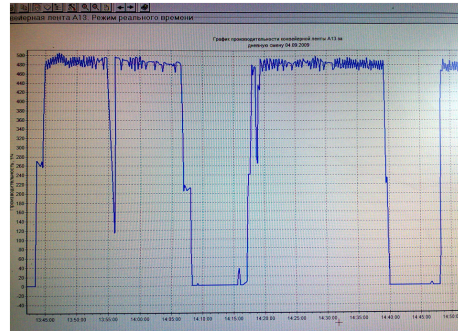


Рис. 5. Приклад виведення результатів контролю процесу завантаження судна в програмі Hyper Terminal та на моніторі оператора у реальному часі при тестуванні розробленого пристрою

6. Відновлюються значення регістру стану SREG (щоб не змінити значення необхідних прапорців, встановлених до моменту входу у переривання).

7. Виконується вихід з переривання INT0.

В момент приходу спаду імпульсу від датчика швидкості на зовнішнє переривання INT1 мікроконтролер А припиняє виконання основної програми й переходить у режим виконання підпрограми обробки переривання INT1 — обробки отриманої інформації та передавання її до комп'ютерної системи. При цьому забороняється виконання будь-яких інших переривань. Алгоритм роботи підпрограми обробки переривання INT1 складається з таких етапів (рис. 4, б).

1. Зберігається регістр стану SREG (щоб не змінити значення необхідних прапорців, встановлених до моменту входу у переривання).

2. Зупиняються таймери T1 та T0.

3. Зберігається значення кількості накопичених тактових імпульсів, що дорівнює періоду слідування імпульсів від датчика швидкості в мс.

4. Встановлюється прапорець готовності даних вимірювання Data_Ready.

5. Відновлюються значення регістру стану SREG (щоб не змінити значення необхідних прапорців, встановлених до моменту входу у переривання).

6. Виконується вихід з переривання INT1.

Переривання за переповненням таймера T0 використовуються для програмного формування тактових імпульсів та їх підрахунку. За цього переривання кожні 0,1 мс забороняється виконання будь-яких інших переривань. Алгоритм роботи підпрограми обробки цього переривання вміщує складається з таких етапів (рис. 4, в).

1. Зберігається регістр стану SREG (щоб не змінити значення необхідних прапорців, встановлених до моменту входу у переривання).

2. Лічильник тактових імпульсів збільшується на 1.

3. Таймер T0 налаштовується у режим Normal за переповненням на час 0,1 мс.

4. Відновлюються значення регістру стану SREG (щоб не змінити значення необхідних прапорців, встановлених до моменту входу у переривання).

5. Виконується вихід з переривання таймера T0 за переповненням.

Наведений алгоритм був реалізований на мові асемблер [15], він забезпечує безперервне вимірювання частотного сигналу БАЧП, пропорційного аналоговому сигналу тензометричних датчиків, який відповідає вазі сипучого вантажу, що знаходиться на ваговій платформі, а також частоті вихідного сигналу датчика швидкості. Заміряні дані передаються по інтерфейсу RS-485 до комп'ютера оператора, де на їх основі розраховується вага сипучого вантажу за кожне вимірювання і накопичується результуюча вага матеріалу, що завантажується у трюм судна [16—19].

До комп'ютерної системи надходять дані вимірювань у символічному вигляді (рис. 5, а) в наступній послідовності: позначення мікроконтролера (А чи В); кількість імпульсів БАЧП N , нарахованих за період імпульсів від датчика швидкості T_0 ; кількість тактових імпульсів за період слідування імпульсів від датчика швидкості N_T ; частота вихідних імпульсів БАЧП $f_{ВХ}$ у Гц. Результати, що відбивають процес завантаження, виводяться на монітор оператора в реальному часі (рис. 5, б), що дозволяє контролювати цей процес.

Результати тестування пристрою

Тестування розробленого пристрою проводилося на конвеєрних вагах при завантаженні судна мінеральними добривами. Приклад виведення його результатів наведено на рис. 6. Тестування пристрою показало наступне.

1. При завантаженні стрічки конвеєра швидкість її руху зніжується приблизно на 1—2%, а при розвантаженні — приблизно на стільки ж підвищується.

2. Нерівномірність руху стрічки конвеєра складає у середньому 1—1,5%, але може досягати 3% у разі різкої зміни навантаження. Це, відповідно, призводить до зміни часу вимірювання частотного сигналу БАЧП, але це не сильно впливає на результати вимірювання частоти сигналу БАЧП, оскільки у пристрої використовується метод прямого підрахунку імпульсів БАЧП за період частотного сигналу від датчика швидкості.

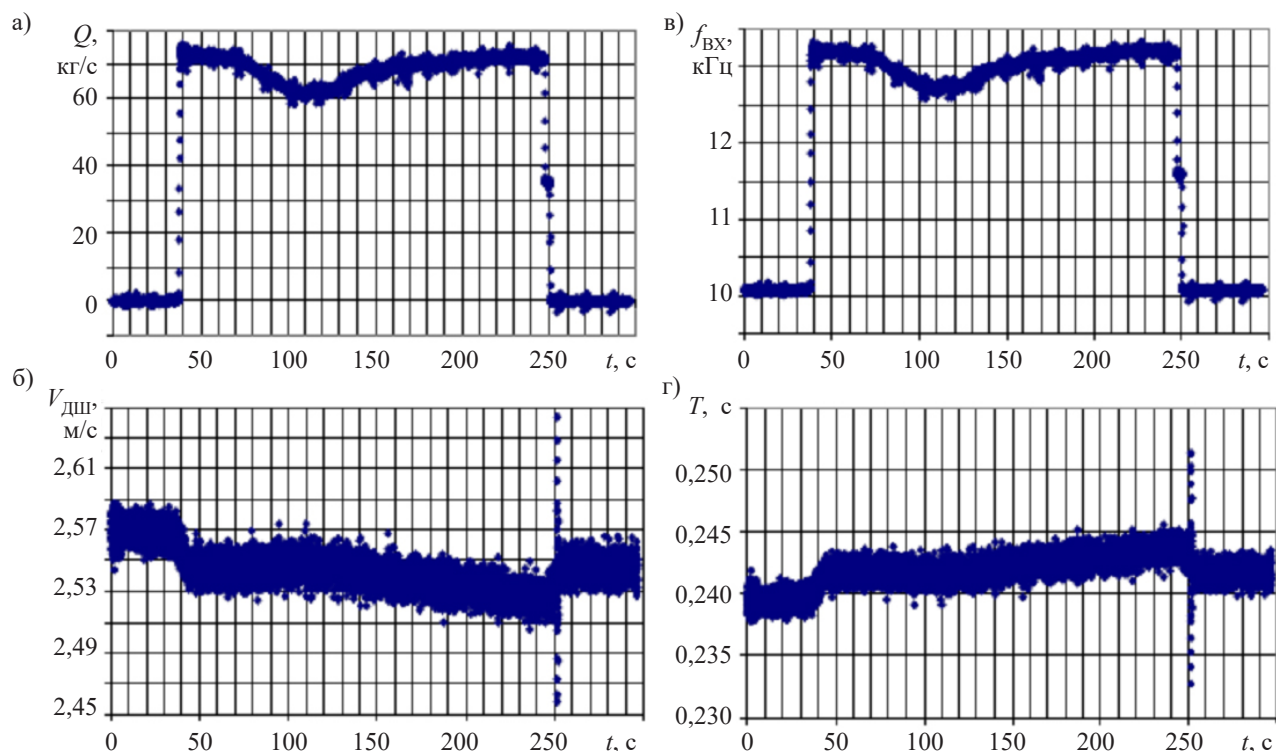


Рис. 6. Результати тестування пристрою при завантаженні судна мінеральними добривами:

a — поточна маса вантажу; *б* — швидкість стрічки конвеєра; *в* — частота сигналу БАЧП; *г* — тривалість вимірювань

3. При розвантаженні стрічки конвеєра можуть виникнути коливання вагової платформи, які затують впродовж 5—10 с.

4. Точність вимірювання поточної продуктивності конвеєрних ваг знаходиться у межах 0,25—0,50%.

Висновки

Таким чином, розроблений пристрій для вимірювання маси сипучого матеріалу за допомогою конвеєрних ваг та алгоритм його роботи дозволяють одночасно і безперервно контролювати поточну масу вантажу та швидкість стрічки конвеєра з точністю від 0,25 до 0,50%. Цей пристрій дозволяє отримати також характеристики процесу зважування, що можна використати для удосконалення механічних конструкцій конвеєрних ваг.

Подальші дослідження мають бути направлені на підвищення точності зважування завдяки удосконаленню розробленого пристрою.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Калашников Е.Е., Кошевой Н.Д., Черепашук Г.А. Экспериментальное исследование весоизмерительной системы непрерывного действия. *Зб. наук. праць ХАІ «Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології»*, Харків, 2007, №3 (35), с. 196–199.
2. Кошевой Н.Д., Черепашук Г.А., Калашников Е.Е. Оценка точности непрерывного дозирования сыпучих материалов. *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*, 2008, №1 (28), с. 143–147.
3. Фрайден Дж. *Современные датчики. Справочник*. Москва, Техносфера, 2005, 592 с.

4. Мирский Г. Я. *Электронные измерения*. Москва, Радио и связь, 1986, 440 с.

5. Дерябин В. Преобразователи напряжение-частота. *Chip News Инженерная электроника*, 2004, № 8, с. 13–23.

6. Дранчук С.М., Завадський В. А., Чайка А.В. Аналогово-частотний перетворювач для тензометричних датчиків суднового обладнання. *Матер. ІХ міжнар. наук.-техн. конф. «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, Україна, Одеса, 2019, с. 50–54.

7. Дранчук С. М., Завадський В. А., Харченко Р. Ю. Моніторинг швидко змінних у часі процесів в суднових машинах, з подальшим аналізом результатів. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*, 2019, № 31(107). <https://doi.org/10.15276/eltecs.31.107.2019.11>

8. Завадський В. А., Харченко Р. Ю., Дранчук С. М., Цацко В. І. Пристрій для дослідження температурної сталості характеристик перетворювачів напруги в частоту. *Технологія і конструювання в електронній апаратурі*, 2021, № 3–4, с. 9–16. <https://doi.org/10.15222/kea2021.3-4.09>

9. Дранчук С. Н., Завадський В. А., Харченко Р. Ю. Моніторинг процесів в суднових машинах, які швидко змінюються у часі, з послідовним аналізом результатів, *XXIV Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика»*, 2019, Україна, Одеса.

10. Жуковицкий В.И. *Основы теории и принципы построения автоматических весоизмерительных комплексов в горно-рудной промышленности*. Днепропетровск, МОН України, НГУ, 2014, 243 с.

11. *Датчик контроля скорости ДКС-1К* <http://usk.ua/datchik-kontrolja-skorosti-dks-1k.html> (15 березня 2023)

12. Ратхор Т.С. *Цифровые измерения. Методы и схемотехника*. Москва, Техносфера, 2004, 363 с.

13. Трамперт В. *Измерение и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров*. Киев, МК-Пресс, 2007, 208 с.

14. Евстигнеев А.В. *Микроконтроллеры AVR семейств Туноу и Мегат фирмы «Atmel»*. Москва, Додека-XXI, 2006, 589 с.

15. Ревич Ю.В. *Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера*. СПб. БХВ-Петербург, 2008, 384 с.

16. Shi L., He J., Wu G. et al. Measuring system and method for auto-loading of bulk cargo. *Proceedings Volume 7128, Seventh International Symposium on Instrumentation and Control Technology: Measurement Theory and Systems and Aeronautical Equipment*, 2008, 71280Z. <https://doi.org/10.1117/12.806622>

17. Blokus-Roszkowska A. Reliability analysis of the bulk cargo loading system including dependent components. *AIP Conference Proceedings*, 2016, vol. 1738, iss. 1, 440002. <https://doi.org/10.1063/1.4952220>

18. Mansur V., Pershin V. F. Development of a method for weight continuous dosing of bulk materials and its implementation analysis. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2023, no.1 (754), pp. 33–41. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-1-33-41>

19. Шилин Д.В., Шестов Д.А., Ганин Е. Повышение точности взвешивания сыпучих материалов в дозаторном прямооточном расходомере с двумя тензодатчиками. *Вестник МЭИ*, 2019, № 3(3), с. 116–123.

Дата надходження рукопису до редакції 11.03 2023 р.

DOI: 10.15222/TKEA2023.1-2.50
UDC 629.5.064.5

V. A. ZAVADSKY¹, R. YU. KHARCHENKO¹,
S. M. DRANCHUK², V. I. TSATSKO², T. O. HAUR²

Ukraine, Odesa, ¹National University «Odessa Maritime Academy»,
²Odessa National Maritime University
E-mail: rvaaz@ukr.net

DEVICE FOR MEASURING SIGNALS OF CONVEYOR WEIGHTS WHEN LOADING A VESSEL WITH BULK CARGO

In the maritime industry, it is common to load a vessel with bulk materials using conveyor scales. To determine the amount of cargo loaded into the hold of the vessel, it is necessary to simultaneously measure both the current weight on the weighing platform and the speed of the conveyor belt. In addition, the loading process is affected by both the heterogeneity of the bulk material and the uneven movement of the conveyor belt. Therefore, it is necessary to simultaneously and synchronously measure these parameters. The purpose of this work was to develop a device and an algorithm for its operation, which will improve the accuracy of determining the mass of cargo when loading a vessel.

Such a converter is located near the measuring sensor, and the frequency signal, the frequency of which is directly proportional to the output signal of the sensor along the line, is transmitted over a considerable distance without loss of information to the measuring device. The developed device for measuring the mass of bulk material using conveyor scales and the algorithm of its operation make it possible to simultaneously and continuously measure the current mass of the cargo and the speed of the conveyor belt, and, accordingly, the current mass of the cargo. The measurement accuracy was 0.25...0.5%. This device also allows you to get the characteristics of the weighing process to improve the mechanical conveyor designs of the scales.

Testing of the developed device was carried out on conveyor scales when loading the ship with mineral fertilizers. Testing showed that the developed device for obtaining tensometric information and the algorithm of its operation make it possible to control the process of loading a ship with bulk materials using conveyor scales with the planned accuracy, which, in turn, allows it to be used in computer systems for monitoring ship loading.

The developed device and the algorithm of its operation can improve the quality of measuring the mass of cargo and increase the accuracy of measurement, which is important from an economic point of view.

Keywords: conveyor scales, frequency measurement, operation algorithm, sensor, weighing.

REFERENCES

1. Kalashnikov E.E., Koshevoy N.D., Cherepashchuk G.A. [Experimental study of a continuous weighing system]. *Open Information and Computer Integrated Technologies*, Kharkiv, KhAI, 2007, №3 (35), pp.196–199. (Rus)

2. Koshevoy N.D., Cherepashchuk G.A., Kalashnikov E.E. [Evaluation of the accuracy of continuous dosing of bulk materials]. *Radioelektronni i kompiuterni systemy*, 2008, №1 (28), pp. 143–147. (Rus)

3. Friden J. *Sovremennyye datchiki. Spravochnik* [Modern sensors. Directory]. Moscow, Tehnosfera, 2005, 592 p. (Rus)

4. Mirskiy G. Ya. *Elektronnyye izmereniya*. [Electronic measurements]. Moscow, Radio i svyaz, 1986, 440 p. (Rus)

5. Deryabin V. [Voltage-frequency converters]. *Chip News Inzhenernaya Elektronika*, 2004, №8, pp.13–23. (Rus)

6. Zavadsky V. A., Dranchuk S. M., Chaika A. V. Analog-frequency converter for ship equipment strain gauges, *Materials of the 9th International Scientific and Practical Conference “SEEEA-2019”*, Ukraine Odesa, 2019, pp. 50–54. (Ukr)

7. Dranchuk S. M., Zavadsky V. A., Kharchenko R. Yu. Monitoring processes in ship machines that change rapidly over time, with subsequent analysis of results. *Electrotechnic and Computer Systems*, 2019, no. 31(107), 118–127. <https://doi.org/10.15276/eltecs.31.107.2019.11> (Ukr)

8. Zavadsky V. A., Kharchenko R. Yu., Dranchuk S. M., Tsatsko V. I. Device for investigating thermal stability of characteristics of voltage-to-frequency converters. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye*

v *Elektronnoi Apparature*, 2021, no. 3–4, pp. 9–16. <https://doi.org/10.15222/tkea2021.3-4.09> (Ukr)

9. Dranchuk S. M., Zavadsky V. A., Kharchenko R. Yu. Monitoring processes in ship machines that change rapidly over time, with subsequent analysis of results. electrical and computer systems. *XXIV International Scientific and Technical Conference «The Problems of Automated Electric Drive. Theory and Practice»*, 2019, Ukraine, Odesa. (Ukr)

10. Zhukovitsky V.I. *Osnovy teorii i printsipy postroyeniya avtomaticheskikh vesoizmeritel'nykh kompleksov v gornorudnoy promyshlennosti* [Fundamentals of the theory and principles of construction of automatic weighing complexes in the mining industr]. Dnepropetrovsk, MON of Ukraine, NGU, 2014, 243 p. (Rus)

11. *Speed control sensor ДКС-1К* (15 March 2023) (Rus)

12. Ratkhor T.S. *Tsifrovyye izmereniya. Metody i skhemotekhnika* [Digital measurements. Methods and circuitry]. Moscow, Tehnosfera, 2004, 363 p. (Rus)

13. Trampert V. *Izmereniye i regulirovaniye s pomoshch'yu AVR mikrokontrollerov* [Measurement and regulation with AVR microcontrollers. Kyiv, MK-Press, 2007, 208 p. (Rus)

14. Yevstigneyev A.V. *Mikrokontrollery AVR semeystv Tyny i Mega firmy «Atmel»* [AVR microcontrollers of the Tyny and Mega families from Atmel]. Moscow, Dodeka-HNI, 2006, 589 p. (Rus)

15. Revich Yu.V. *Prakticheskoye programmirovaniye mikrokontrollerov Atmel AVR na yazyke assemblera* [Practical programming of Atmel AVR microcontrollers in assembly language. SPb. BHV-Peterburg, 2008, 384 p. (Rus)

16. Shi L., He J., Wu G. et al. Measuring system and method for auto-loading of bulk cargo. *Proceedings Volume 7128, Seventh International Symposium on Instrumentation and Control Technology: Measurement Theory and Systems and Aeronautical Equipment*, 2008, 71280Z. <https://doi.org/10.1117/12.806622>

17. Blokus-Roszkowska A. Reliability analysis of the bulk cargo loading system including dependent components. *AIP Conference Proceedings*, 2016, vol. 1738, iss. 1, 440002. <https://doi.org/10.1063/1.4952220>

18. Mansur V., Pershin V. F. Development of a method for weight continuous dosing of bulk materials and its implementation analysis. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2023, no.1 (754), pp. 33–41. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2023-1-33-41>

19. Shilin D. V., Shestov D. A., Ganin E. Improving the Accuracy of Weighing Bulk Materials in a Dispenser On-Stream Flow Meter with Two Strain Gauges. *Vestnik MEI*, 2019, no. 3(3), pp. 116–123. <https://doi.org/10.24160/1993-6982-2019-3-116-123> (Rus)

Опис статті для цитування:

Завадський В. А., Харченко Р. Ю., Дранчук С. М., Цацко В. І., Гаур Т. О. Прилад для вимірювання сигналів конвеєрних ваг при завантаженні судна сипучими матеріалами. Технологія та конструювання в електронній апаратурі, 2023, № 1–2, с. 50–59. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2023.1-2.50>

Cite the article as:

Zavadsky V. A., Kharchenko R. Yu., Dranchuk S. M., Tsatsko V. I., Haur T. O. Device for measuring signals of conveyor weights when loading a vessel with bulk cargo. *Technology and design in electronic equipment*, 2023, no. 1–2, pp. 50–59. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2023.1-2.50>

РЕЦЕНЗЕНТИ НОМЕРА

Белоха Галина Сергіївна, канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Горбатий Іван Володимирович, докт. техн. наук, професор, Національний університет

«Львівська політехніка», м. Львів

Дружинін Анатолій Олександрович, докт. техн. наук, зав. кафедри, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Должиков Володимир Васильович, докт. фіз.-мат. наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків

Круковський Семен Іванович, докт. техн. наук, керівник відділу, НВП «Карат», м. Львів

Трофімов Володимир Євгенович, канд. техн. наук, доцент, Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса