

11. Usufov M.M. Perspektivy razvitiia avtoservisa // Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa. – 2012. – No. 1 (19). – S. 72-77.
12. Kataev Iu.V., Malykha E.F., Gradov E.A. Tekhnicheskii servis i ego organizatsionnaia sistema v agropromyshlennom komplekse // Nauka bez granits. – 2020. – No. 12 (52). – S. 10-15.
13. Dorokhov A.S., Korneev V.M., Kataev Iu.V. Tekhnicheskii servis v sisteme inzhenerno-tehnicheskogo obespecheniia APK // Selskii mekhanizator – 2016. – No. 8. – S. 2-5.
14. Kushnarev L.I., Chepurina E.L., Kushnarev S.L., Chepurin A.V., Korneev V.M. Modernizatsiia sistemy tekhnicheskogo servisa agropromyshlennogo kompleksa: monografiia / pod red. L.I. Kushnareva. – Moskva: MESKh, 2015. – 440 s.
15. Ignatov V.I., Kataev Iu.V., Gerasimov V.S., Andreeva D.V. Analiz effektivnosti sovremennogo tekhnicheskogo servisa selskokhoziaistvennoi tekhniki v APK // Agroinzheneriia. – 2021. – No. 2 (102). – S. 62-67.
16. Semeikin V.A., Dorokhov A.S. Ekonomicheskaiia effektivnost vkhodnogo kontroliia kachestva selskokhoziaistvennoi tekhniki // Vestnik FGOU VPO «MGAU imeni V.P. Goriachkina». – 2009. – No. 7 (38). – S. 15-17.
17. Izvozchikova V.V., Matveikin I.V. Puti resheniia voprosov tekhnicheskogo servisa mashin APK / V.V. Izvozchikova, I.V. Matveikin // Izvestiia Orenburgskogo GAU. – 2005. – No. 2 (6). – S. 76-79.
18. Zhuravlev S.Iu. Organizatsiia i tekhnologiia tekhnicheskogo servisa selskokhoziaistvennoi tekhniki novogo pokoleniia // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 7 (213). – S. 116-122.
19. Zhuravlev S.Iu. Sovremennaiia kontseptsiiia organizatsii tekhnicheskogo servisa mashin v APK // Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – No. 3 (89). – S. 119-125.



УДК 621.9Т

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-223-5-98-105

Р.С. Чернусь, А.А. Багаев
R.S. Chernus, A.A. Bagaev

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

METHOD OF DETERMINING FLOW OF LOOSE MATERIALS BY ELECTRIC MOTOR SPEED USING AN OPTICAL SENSOR

Ключевые слова: центробежный расходомер сыпучих материалов, датчик оборотов, угловая скорость, датчик расхода, программное обеспечение.

Одним из основных элементов автоматизированной системы управления технологическим процессом на зерноперерабатывающих предприятиях является расходомер сыпучих материалов. К расходомерам предъявляются требования информационной и энергетической обеспеченности процесса измерения. Одновременное удовлетворение перечисленным требованиям ограничивается влиянием физико-механических свойств измеряемого материала, динамического и статического коэффициентов трения на результат измерения. Известные датчики-расходомеры, основанные на механическом принципе действия, предъявляемым требованиям удовлетворяют не в полной мере, в частности по точности измерения расхода. Исключением являются центробежные расходомеры с осевой загруз-

кой. Цель – оценка погрешности измерения расхода сыпучих материалов центробежных датчиков с осевой загрузкой в технологических процессах дозирования сыпучих материалов с использованием оптического датчика. Объектом исследования является центробежный датчик расхода и дозирования сыпучих материалов с осевой загрузкой. Датчики измерения угловой скорости или частоты вращения, такие как механические контактные тахометры, и бесконтактные стробоскопического и индуктивного принципа действия обладают рядом достоинств и недостатков, основным из которых является невозможность цифровой обработки измеренного сигнала. В связи с вышесказанным целесообразно для измерения расхода сыпучих продуктов использовать бесконтактный оптический способ, выходной сигнал которого является цифровым. Разработана программа для платы Arduino Nano для определения расхода и массы сыпучих сельскохозяйственных материалов, реализующая зависимость расхода от

угловой скорости рабочего органа-крыльчатки. Погрешность измерения частоты вращения с помощью Arduino Nano не превышает 1%, что свидетельствует о работоспособности предлагаемого способа измерения и делает предлагаемый способ вполне конкурентоспособным. Применение оптического датчика для определения расхода сельскохозяйственных сыпучих материалов с использованием платы Arduino Nano и разработанного программного обеспечения позволяет упростить обработку сигнала, расчет расхода материала, что характеризуется погрешностью измерения, не превышающей 4%.

Keywords: *centrifugal flow meter for loose materials, speed sensor, angular velocity, flow sensor, software.*

One of the main elements of the automated process control system at grain mills is a flow meter of loose materials. The flow meters are subject to the requirements of information and energy security of the measurement process. Simultaneous satisfaction of these requirements is limited by the influence of physical and mechanical properties of the measured material, the dynamic and static friction coefficients on the measurement result. The known sensors based on the mechanical principle of operation do not fully meet the requirements, in particular the accuracy of flow measurement. The exceptions are centrifugal flow

meters with axial loading. The research goal is as following: evaluation of measurement error of bulk flow rate of centrifugal sensors with axial loading in technological processes of batching of loose materials using optical sensor. The research target is the centrifugal sensor of flow and batching of bulk solids with axial loading. Sensors measuring angular speed or rotational speed such as mechanical contact tachometers, and contactless stroboscopic and inductive principles of action have a number of advantages and disadvantages the main of which is the impossibility of digital processing of the measured signal. In connection with the above, it is advisable to use a contactless optical method with digital output signal to measure the flow of loose products. We have developed software for the Arduino Nano board to determine the flow rate and weight of loose agricultural materials that realizes the dependence of the flow rate on the angular velocity of the impeller working body. The error of measuring the rotational speed with Arduino Nano does not exceed 1% which indicates the performance of the proposed method of measurement and makes the proposed method quite competitive. The application of an optical sensor to determine the flow rate of agricultural loose materials using the Arduino Nano board and the developed software simplifies the signal processing and calculation of the material flow rate and is characterized by a measurement error not exceeding 4%.

Чернусь Роман Сергеевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Chernus.Roman@mail.ru.

Багаев Андрей Алексеевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: Bagaev710@mail.ru.

Chernus Roman Sergeevich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Chernus.Roman@mail.ru.

Bagaev Andrey Alekseevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: Bagaev710@mail.ru.

Введение

Непрерывный автоматизированный контроль расхода сыпучих материалов и стабилизация загрузки оборудования на зерноперерабатывающих предприятиях являются технологическими факторами. Одним из основных элементов автоматизированной системы управления технологическим процессом на указанных предприятиях является расходомер, использующийся в качестве датчика-дозатора и обеспечивающий параметры поточности процесса в целом с заданной точностью. К расходомерам предъявляются требования по информационной и энергетической подвижности. Одновременное удовлетворение перечисленным требованиям лимитируется влиянием физико-механических свойств измеряемого материала, динамического и статического коэффициентов трения на результат измерения [1].

Известные датчики-расходомеры [2], основанные на механическом принципе действия, предъявляемым требованиям удовлетворяют не в полной мере, в частности по точности измерения расхода. Исключением являются центробежные расходомеры с осевой загрузкой.

Цель – оценка погрешности измерения расхода сыпучих материалов центробежных датчиков с осевой загрузкой в технологических процессах дозирования сыпучих материалов с использованием оптического датчика.

Объекты и методы

Объектом исследования является центробежный датчик расхода и дозирования сыпучих материалов с осевой загрузкой. Основные положения теории центробежных расходомеров описаны в работах [3-9]. В качестве преобразователя крутящего момента можно использовать:

двигатель постоянного тока [4], асинхронный двигатель [8, 10-14], вентильный двигатель [15].

Для определения расхода сыпучего материала можно регистрировать изменение угловой скорости вращения или тока статора приводного электродвигателя [10, 15, 16].

Зависимость расхода сыпучего материала описывается линейным выражением [2, 13]:

$$Q = \frac{Q_n}{s_{nc}} \left(1 - \frac{\omega}{\omega_c} \right) = \frac{Q_n}{s_{nc}} \left(1 - \frac{(1-s)\omega_0}{\omega_c} \right), \quad (1)$$

где Q_n – расход сыпучего продукта при номинальной нагрузке электродвигателя, определяемый экспериментально, кг/с;

ω_c – скорость крыльчатки без нагрузки, рад/с;

ω_0 – синхронная угловая скорость;

$s_{nc} = (\omega_c - \omega_n) / \omega_c$ – скольжение при номинальной нагрузке относительно ω_c ;

ω_n – номинальная угловая скорость.

Для снижения погрешности регистрации расхода требуется фиксировать минимальные изменения скорости вращения приводного двигателя и оцифровывать результат измерения.

Для измерения угловой скорости или частоты вращения применяются тахометры, построенные с использованием механического контактного и бесконтактных оптического, стробоскопического и индуктивного принципов измерения, а также комбинации механических и оптических методов.

Классический способ измерения расхода основан на механическом воздействии вращающегося вала с приемной частью тахометра – тахометрическим преобразователем. Сегодняшние инструменты этой группы используют, как правило, цифровые технологии, например, энкодеры [17], ранее применялись аналоговые (например, тахогенераторы) или стрелочные преобразователи. Приборы этой группы обеспечивают измерения скоростей в диапазоне до 10000-20000 оборотов в минуту.

Оптический способ основан на подсчете числа отраженных объектом импульсов светового потока. Датчики этой группы позволяют измерять значения частот вращения в очень широком диапазоне – до 1000000 об/мин., они более удобны в применении, чем контактные.

Способ, основанный на использовании стробоскопического эффекта, заключается в следу-

ющем. Оптический источник непрерывно излучает короткие импульсы света, частота которых может регулироваться в достаточно широких пределах. Частота вращения объекта определяется по минимальной частоте оптических импульсов, визуально обеспечивающих кажущуюся неподвижность вращающегося рабочего органа, что обеспечивается равенством частоты оптических импульсов и частоты вращения объекта. Стробоскопы обеспечивают измерение частоты вращения в диапазоне от 100 до 20000 об/мин. [18].

Индуктивный способ основан на применении датчиков Холла, реагирующих на изменение магнитного поля при приближении постоянного магнита, закрепленного на валу двигателя к датчику, в результате чего на выходе датчика индуцируются импульсы электродвижущей силы ЭДС. Частота импульсов ЭДС совпадает с частотой пересечения магнита воспринимающего элемента датчика. Достоинствами датчика Холла являются невосприимчивость к пыли, грязи и воде.

Использование для определения расхода сыпучих материалов энкодера и тахогенератора связано с необходимостью совмещения валов двигателя и датчика, что сопряжено с некоторыми конструктивными сложностями и может вносить определенные погрешности в результаты измерения. Несовпадение осей вращения может вызывать биение и уменьшает срок службы датчиков.

Результаты использования стробоскопического эффекта сложно регистрировать и обрабатывать с помощью цифровых устройств.

При работе электродвигателей создаются электромагнитные поля, которые могут повлиять на работу датчика Холла.

В связи с вышесказанным целесообразно для измерения расхода сыпучих продуктов использовать бесконтактный оптический способ, выходной сигнал которого является цифровым.

Для определения расхода сыпучих сельскохозяйственных материалов на языке программирования C/C++ разработана программа-скетч (скетч – программа, написанная в среде Arduino) для платы Arduino Nano (рис. 1), реализующая выражение (1).

```

#include "LCD_1602_RUS.h"
LCD_1602_RUS lcd(0x27, 16, 2);
float rasxod;
volatile unsigned long lastflash, flash, lastshow;
unsigned int RPM;
String spaces = "    ";
void setup() {
  Serial.begin(9600);           // открыть порт
  attachInterrupt(0, sens, RISING); // подключить прерывание на 2 пин при
повышении сигнала
  pinMode(3, OUTPUT);           // 3 пин как выход
  digitalWrite(3, HIGH);        // подать 5 вольт на 3 пин
  lcd.init();                   // инициализация дисплея
  lcd.backlight();              // включить подсветку
  lcd.setCursor(0, 0);          // курсор слева 1 строчка
  lcd.print(L"Обороты: ");      // слово Обороты
  lcd.setCursor(0, 1);          // курсор слева 2 строчка
  lcd.print(L"Расход: ");       // слово Расход
}
void sens() {
  flash = micros() - lastflash; // вычислить время между двумя оборотами
  lastflash = micros();         // запомнить время последнего оборота
}
void loop() {
  if (micros() - lastflash > 1000000) { // если сигнала нет больше секунды
    RPM = 0;                          // считаем, что всё стоит и не крутится
    rasxod = 0;
  } else {
    RPM = (float) 60000000 / flash;    // обороты в минуту
    rasxod = (float) 135 - 0.0968 * RPM; // вычисляем расход , кг/с
  }
  if (millis() - lastshow > 300) { // каждые 300 миллисекунд
    lcd.setCursor(9, 0); // курсор 9 слева 1 строчка
    lcd.print(RPM);      // выводим обороты
    lcd.print(spaces);   // очищаем цифры с прошлого вывода
    lcd.setCursor(9, 1); // курсор 9 слева 2 строчка
    lcd.print(rasxod);   // выводим расход
    lcd.print(spaces);   // очищаем цифры с прошлого вывода
    lastshow = millis(); // сброс таймера
  }
}
}

```

Рис. 1. Текст программы определения расхода сыпучих материалов для Arduino Nano

Экспериментальная часть

Электрическая схема и общий вид экспериментальной установки представлены на рисунке 2.

На валу электродвигателя расходомера 1 закрепляется дискретизатор оптического луча 2, который прерывает световой поток светодиода. Оптическая пара 3 закрепляется неподвижно на корпусе двигателя. Оптопара состоит из светодиодного источника света и приемника – фотозлемента. При вращении вала дискретизатор светового луча (устройство для перевода непрерывного аналогового сигнала в дискретный

или дискретно-непрерывный) проходит между источником и приемником оптопары, и датчик на выходе формирует цифровые сигналы с частотой, равной частоте прерываний светового потока. Эти сигналы передаются в плату Arduino Nano 4, где осуществляется расчет расхода сыпучего материала, согласно разработанной программе (рис. 1) и формуле (1), в зависимости от частоты вращения рабочего органа-крыльчатки. Результаты расчетов выводятся на дисплей 5 или монитор персонального компьютера. Тем самым предоставляется возможность контролировать мгновенный расход материала. Кроме

того, разработанная программа позволяет рассчитать массу пройденного через расходомер материала.

Результаты и их обсуждение

Методика проведения экспериментальных исследований представлена на рисунке 3.

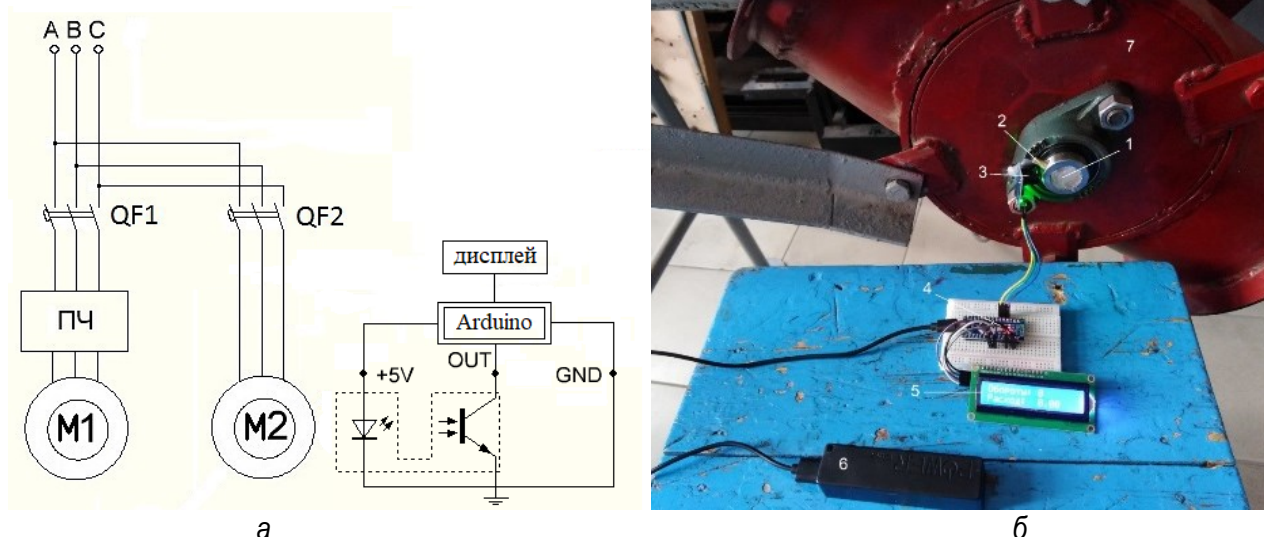


Рис. 2. Электрическая схема (а) и общий вид экспериментальной установки (б):

M1 – электродвигатель шнека; M2 – электродвигатель расходомера;
ПЧ – преобразователь частоты; 1 – вал расходомера; 2 – дискретизатор оптического луча,
закрепленный на валу расходомера; 3 – оптический датчик; 4 – плата Arduino Nano;
5 – дисплей; 6 – блок питания; 7 – центробежный расходомер



Рис. 3. Измерение скорости вращения расходомера:

1 – расходомер; 2 – оптический датчик;
3 – ручной тахометр;
4 – аппаратная платформа Arduino Nano;
5 – дисплей; 6 – блок питания;
7 – преобразователь частоты

Частота вращения двигателя и, соответственно, крыльчатки расходомера регулировалась с помощью преобразователя частоты Веспер E2-8300-S2L. Результаты измерения частоты напряжения, частоты вращения, измеренной с помощью тахометра и вычисленной посредством Arduino Nano, а также погрешность измерения сведены в таблицу 1.

Анализ результатов показывает, что погрешность измерения частоты вращения с помощью Arduino Nano не превышает 1%, что делает предлагаемый способ конкурентоспособным.

Результаты измерения расхода зерна в диапазоне от 0 до 3 кг/с, обеспечиваемым путем регулирования частоты вращения подающего зерно шнека, весовым способом с помощью Arduino Nano и разработанной программы, а также погрешность измерения сведены в таблицу 2.

Анализ результатов свидетельствует о том, что максимальная погрешность измерения расхода не превышает 4%.

Таблица 1

Результаты измерения частоты питающего напряжения, частоты вращения, измеренной с помощью тахометра и вычисленной посредством Arduino Nano, погрешность измерения

№ опыта	Частота питающего напряжения, Гц	Показания тахометра, об/мин.	Показания Arduino Nano, об/мин.	Погрешность измерения, %
1	20	559	562	0,5
2	30	834	842	0,95
3	40	1116	1126	0,9
4	50	1395	1406	0,8

Таблица 2

Результаты измерения расхода зерна весовым способом с помощью Arduino Nano и разработанной программы, погрешность измерения

№ опыта	Показания тахометра, об/мин.	Показания расхода Arduino Nano, кг/с	Расход измеренный весовым способом, кг/с	Погрешность измерения, %
1	1394	0	0	0
3	1384	1,03	0,99	4,0
4	1379	1,47	1,5	2,0
5	1374	2,04	2	2,0
6	1369	2,52	2,48	1,6
7	1366	2,65	2,7	1,9
8	1363	3,05	3	1,7

Выводы

Применение оптического датчика для определения расхода сельскохозяйственных сыпучих материалов с использованием платы Arduino Nano и разработанного программного обеспечения позволяет упростить обработку сигнала, расчет расхода материала, что характеризуется погрешностью измерения, не превышающей 4%.

Библиографический список

1. Чернущ, Р. С. Способ контроля расхода сыпучих материалов по току статора асинхронного электропривода: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чернущ Роман Сергеевич. – Барнаул, 2016. – 22 с. – URL: https://www.altstu.ru/media/f/Avtoreferat_Chernus.pdf (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.
2. Луткин, Н. И. Расходомеры для зерна и сыпучих материалов / Н. И. Луткин. – Москва: Колос, 1989. – 184 с. – Текст: непосредственный.
3. Багаев, А. А. Использование момента кориолисовых сил для измерения массового расхода потока зерна и продуктов его размола / А. А. Багаев, В. Г. Лукьянов, Р. С. Чернущ. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского

государственного аграрного университета. – 2008. – № 4 (42). – С. 47-49.

4. Багаев, А. А. Двигатель постоянного тока как первичный преобразователь крутящего момента центробежных расходомеров сыпучих сельскохозяйственных продуктов / А. А. Багаев, В. Г. Лукьянов, Р. С. Чернущ. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 6 (44). – С. 62-65.

5. Багаев, А. А. Передаточная функция центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов / А. А. Багаев, В. Г. Лукьянов, Р. С. Чернущ. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (63). – С. 71-75.

6. Багаев, А. А. Передаточная функция момента сопротивления центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов при осевой загрузке / А. А. Багаев, Р. С. Чернущ. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 10 (84). – С. 86-89.

7. Багаев, А. А. Требования к временным характеристикам и обоснование области расположения полюсов передаточной функции центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов / А. А. Багаев, Р. С. Чер-

нусь. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 10 (108). – С. 115-118.

8. Багаев, А. А. Требования к информационной «подвижности» центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов / А. А. Багаев, Р. С. Чернусь. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 8 (118). – С. 105-110.

9. Багаев, А. А. Статистические характеристики мощности электрического двигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов / А. А. Багаев, Р. С. Чернусь. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10 (120). – С. 108-113.

10. Багаев, А. А. Обоснование критерия выбора электродвигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов / А. А. Багаев, Р. С. Чернусь. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/1. – С. 188-193.

11. Багаев, А. А. Математическая модель функциональной зависимости момента и мощности приводного асинхронного электродвигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов / А. А. Багаев, Р. С. Чернусь. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 10 (132). – С. 88-92.

12. Багаев, А. А. Определение расхода сыпучих сельскохозяйственных материалов путем измерения тока статора асинхронного привода центробежного расходомера / А. А. Багаев, Р. С. Чернусь. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 12 (134). – С. 132-138.

13. Чернусь, Р. С. Измерение момента на валу асинхронного электродвигателя с использованием программной среды LABVIEW / Р. С. Чернусь. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4 (162). – С. 162-168.

14. Багаев, А. А. Передаточные функции центробежного расходомера на базе вентильного двигателя / А. А. Багаев, Р. С. Чернусь. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 7 (153). – С. 159-164.

15. Патент 2532595 Российская Федерация, МПК G 01F 1/56 (2006.01) Способ непрерывного

контроля расхода и дозирования сыпучих материалов / Багаев А. А., Чернусь Р. С., Костюков А. Ф. Патентообладатель ФГБОУ ВПО АГАУ. – Заявка: 2013122014/28, 13.05.2013; опубликовано: 10.11.2014, Бюл. № 31. – 7 с.: ил. – Текст: непосредственный.

16. Патент 2532596 Российская Федерация, МПК G 01F 1/56 (2006.01) Способ непрерывного контроля расхода и дозирования сыпучих материалов / Багаев А. А., Чернусь Р. С., Костюков А. Ф. Патентообладатель ФГБОУ ВПО АГАУ. – Заявка: 2013122013/28, 13.05.2013; опубликовано: 10.11.2014, Бюл. № 31. – 7 с.: ил. – Текст: непосредственный.

17. Чернусь, Р. С. Предпосылки использования энкодера для определения расхода сыпучих материалов / Р. С. Чернусь, А. А. Багаев. – Текст: непосредственный // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы XII Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Саратов, 2021. – С. 252-257.

18. Тахометры – измерители скорости вращения. – URL: <http://www.energotest.ru/tcm.html> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.

References

1. Chernus R.S. Sposob kontrolia raskhoda sypuchikh materialov po toku statora asinkhronnogo elektroprivoda / R.S. Chernus // Avtoreferat dissertatsii [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.altstu.ru/media/f/Avtoreferat_Chernus.pdf Data obrashcheniia: 20.04.2023.

2. Lutkin N.I. Raskhodometry dlia zerna i sypuchikh materialov / N.I. Lutkin. – Moskva: Kolos, 1989. – 184 s.

3. Bagaev A.A. Ispolzovanie momenta koriolisovykh sil dlia izmereniia massovogo raskhoda potoka zerna i produktov ego razmola / A.A. Bagaev, V.G. Lukianov, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2008. – No. 4 (42). – S. 47-49.

4. Bagaev A.A. Dvigatel postoiannogo toka kak pervichnyi preobrazovatel krutiashchego momenta tsentrobezhnykh raskhodomerov sypuchikh selskokhoziaistvennykh produktov / A.A. Bagaev, V.G. Lukianov, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2008. – No. 6 (44). – S.62-65.

5. Bagaev A.A. Peredatochnaia funktsiia tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhoziaistvennykh produktov / A.A. Bagaev, V.G. Lukianov, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – No. 1 (63). – S. 71-75.
6. Bagaev A.A. Peredatochnaia funktsiia momenta soprotivleniia tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhoziaistvennykh materialov pri osevoi zagruzke / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – No. 10 (84). – S. 86-89.
7. Bagaev A.A. Trebovaniia k vremennym kharakteristikam i obosnovanie oblasti raspolozheniia poliusov peredatochnoi funktsii tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhoziaistvennykh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – No. 10 (108). – S. 115-118.
8. Bagaev A.A. Trebovaniia k informatsionnoi «podvizhnosti» tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhoziaistvennykh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – No. 8 (118). – S.105-110.
9. Bagaev A.A. Statisticheskie kharakteristiki moshchnosti elektricheskogo dvigatel'ia tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhoziaistvennykh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – No. 10 (120). – S. 108-113.
10. Bagaev A.A. Obosnovanie kriteriia vybora elektrodvigatelei tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhoziaistvennykh produktov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Polzunovskii vestnik. – 2011. – No. 2/1. – S. 188-193.
11. Bagaev A.A. Matematicheskaia model funktsionalnoi zavisimosti momenta i moshchnosti privodnogo asinkhronnogo elektrodvigatelei tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhoziaistvennykh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – No. 10 (132). – S. 88-92.
12. Bagaev A.A. Opredelenie raskhoda sypuchikh selskokhoziaistvennykh materialov putem izmereniia toka statora asinkhronnogo privoda tsentrobezhnogo raskhodomera / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – No. 12 (134). – S.132-138.
13. Chernus R.S. Izmerenie momenta na valu asinkhronnogo elektrodvigatelei s ispolzovaniem programmnoi sredy LABVIEW / R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 4 (162). – S. 162-168.
14. Bagaev A.A. Peredatochnye funktsii tsentrobezhnogo raskhodomera na baze ventilnogo dvigatel'ia / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 7 (153). – S. 159-164.
15. Pat. 2532595 Rossiiskaia Federatsiia, MPK G 01F 1/56 (2006.01) Sposob nepreryvnogo kontroliia raskhoda i dozirovaniia sypuchikh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus, A.F. Kostiukov. Patentobladatel FGBOU VPO AGAU. – Zaiavka: 2013122014/28, 13.05.2013; opublikovano: 10.11.2014 Biul. No. 31. – 7 s.: il.
16. Pat.2532596 Rossiiskaia Federatsiia, MPK G 01F 1/56 (2006.01) Sposob nepreryvnogo kontroliia raskhoda i dozirovaniia sypuchikh materialov / A.A. Bagaev, R.S. Chernus, A.F. Kostiukov. Patentobladatel FGBOU VPO AGAU. – Zaiavka: 2013122013/28, 13.05.2013; opublikovano: 10.11.2014 Biul. No. 31. – 7 s.: il.
17. Chernus R.S. Predposylki ispolzovaniia enkodera dlia opredeleniia raskhoda sypuchikh materialov / R.S. Chernus, A.A. Bagaev // Aktualnye problemy energetiki APK. Materialy XII Natsionalnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. – Saratov, 2021. – S. 252-257.
18. Takhometry-izmeriteli skorosti vrashcheniia [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.energotest.ru/tcm.html> (data obrashcheniia: 20.04.2023).

