

**ИЗМЕРЕНИЕ МОМЕНТА НА ВАЛУ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ LABVIEW****MEASURING THE TORQUE ON THE SHAFT OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR  
BY USING THE LABVIEW SOFTWARE ENVIRONMENT**

**Ключевые слова:** момент, персональный компьютер, асинхронный электродвигатель, программная среда, датчик, аналого-цифровой преобразователь.

В электроприводной технике измерение момента требуется для оценки перегрузочной способности электродвигателя. Перспективным средством является информационно-измерительная система, базирующаяся на использовании АЦП и программной среды LabVIEW. Современное программное обеспечение позволяет ускорить и облегчить работу специалиста. В частности, инженерам позволяет облегчить процессы сбора и анализа информации об исследуемом процессе. Реализация процедуры вычисления момента двигателя осуществлена в программной среде LabVIEW с использованием аналого-цифрового преобразователя L-Card E 14-140, регистрирующего ток статора приводного асинхронного двигателя в зависимости от нагрузки на валу. Программа LabVIEW состоит из двух панелей: блочной диаграммы, описывающей логику работы виртуального прибора, и лицевой панели, описывающей внешний интерфейс виртуального прибора. Программный комплекс LabVIEW позволяет автоматизировать процесс измерения, а также проводить анализ, обработку и визуализацию результатов измерений. Предлагаемый метод измерения момента может быть использован в различных технологических процессах, предусматривающих измерение момента на валу асинхронного приводного двигателя, изменяющегося под воздействием нагрузки, в частности при измерении расхода сыпучих материалов. Рассмотренный метод измерения момента не сопряжен с вмешательством в механическую часть конструкции, отличается простотой, компактностью, технологичностью, высокой точностью и относительно незначительными материальными затра-

тами, а также может быть использован при случайном характере изменения нагрузки.

**Keywords:** torque, personal computer, asynchronous electric motor, software environment, sensor, analog-to-digital converter (ADC).

In electric drive technology, torque measurement is required to evaluate the overload capacity of a motor. A promising tool is an information-measuring system based on the use of ADC and LabVIEW software environment. Modern software enables to speed up and facilitate the work of a specialist. In particular, engineers may facilitate the collection and analysis of information about the process. The implementation of the procedure for calculating the torque of a motor is carried out in the LabVIEW software environment using the analog-to-digital converter L-Card E 14-140 which registers the current of the stator of the drive asynchronous motor depending on the load on the shaft. The LabVIEW software consists of two panels: a block diagram describing the logic of the virtual instrument; and a front panel describing the external interface of the virtual instrument. The LabVIEW software package enables to automate the measurement process and to analyze, process and visualize the measurement results. The proposed method of measuring the torque may be used in various technological processes involving the measurement of the torque on the shaft of an asynchronous drive motor changing under the influence of the load, in particular, when measuring the flow rate of loose materials. The investigated method of torque measurement does not involve interference in the mechanical part of the structure, it is simple, compact and readily producible; it features high accuracy and relatively low material costs, and may also be used with the random pattern of the load change.

**Чернусь Роман Сергеевич**, к.т.н., ст. преп., Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-49. E-mail: Chernus.Roman@mail.ru.

**Chernus Roman Sergeyevich**, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-49. E-mail: Chernus.Roman@mail.ru.

**Введение**

Значительную долю измерений, выполняемых в промышленности, составляют измерения крутящих моментов. В большинстве случаев момент преобразуется в линейное либо угловое переме-

щение или деформацию, которые в свою очередь, преобразуются в электрический сигнал.

При измерениях сил и крутящих моментов чаще всего используют упругие элементы, осуществляющие преобразование этих физических

величин в линейное либо угловое перемещение или деформацию.

Наглядным представителем датчика измерения момента является фотоэлектрический преобразователь момента [1].

В электроприводной технике измерение момента требуется для оценки перегрузочной способности электродвигателя. В частности, не является исключением центробежный расходомер сыпучих материалов, устройство, принцип действия и основные теоретические положения функционирования которого изложены в работах [2-14]. Кроме того, измерение мгновенного значения момента важно при исследовании электромеханических переходных процессов с целью их оптимизации и повышения точности измерения расхода сыпучих материалов.

В связи с этим актуальным является решение научно-практической проблемы, заключающейся в измерении момента вращающихся элементов электромеханических систем, к классу которых относится, например, центробежный расходомер сыпучих материалов, основным элементом которых является электрический приводной двигатель. При этом желательно, чтобы средство измерения момента при этом было бесконтактным. В этом плане перспективным средством является информационно-измерительная система, базирующаяся на использовании АЦП и программной среды LabVIEW.

**Целью** работы является разработка бесконтактного метода измерения момента на валу асинхронного электродвигателя.

Развитие техники без применения компьютерной техники и соответствующих компьютерных программ сейчас уже, наверное, невозможно. Современное программное обеспечение позволяет ускорить и облегчить работу специалиста. В частности, инженерам позволяет облегчить процессы сбора и анализа информации об исследуемом

процессе. Информацию можно быстро и качественно обработать, упорядочить. А результаты вывести в виде таблиц, графиков, рисунков и т.п.

Процесс измерения состоит из нескольких этапов. Датчик служит для восприятия информации от объекта исследования и перевода её в аналоговый сигнал (чаще всего это напряжение).

Для ввода информации в ПК используются различные преобразователи, например, аналого-цифровые (АЦП), позволяющие компьютеру воспринимать информацию с датчика. Они переводят аналоговый сигнал с датчика в цифровой. Аналоговый сигнал – непрерывный, а цифровой – дискретный. Таким образом, аналоговый сигнал в АЦП дробится через определённое время, называемое периодом дискретизации, и на выходе получается дискретный цифровой код. При этом часть информации, которая попала между периодами, теряется. Однако современные АЦП имеют частоты дискретизации в сотни мегагерц. Это более чем достаточно для решения большинства поставленных задач.

Для передачи информации с АЦП в ПК применяются различные интерфейсы, чаще всего используются универсальная последовательная шина USB. Сигнал, попав в компьютер, должен быть им «опознан» и передан соответствующей программе. Для этого предназначены драйверы.

Рассмотрим пример реализации измерений в программной среде LabVIEW, позволяющей проводить анализ, обработку и визуализацию результатов измерений.

**Математическая модель.** В работе [15] обоснована математическая модель, описывающая функциональную связь момента на валу электродвигателя с током статора асинхронного двигателя.

Установлены связи между скольжением  $s$  и током статора  $I_1$ :

$$s_1 = \frac{R'_2 \left( X_k^2 R_1 I_1^2 - U_1^2 R_1 + \sqrt{-U_1^4 X_k^2 - U_1^4 X_\mu^2 - 2U_1^2 X_k X_\mu + (2U_1^2 X_k^2 X_\mu^2 - U_1^2 X_\sigma^4 + 2U_1^2 X_\mu^3 X_k) I_1^2 - X_\mu^4 X_k^2 I_1^4} \right)}{U_1^2 X_k^2 + U_1^2 R_1^2 + U_1^2 X_\mu^2 + 2U_1^2 X_k X_\mu - (X_\mu^2 X_k^2 + X_\mu^2 R_1^2) I_1^2}, \quad (1)$$

где  $X_k$  – индуктивное сопротивление короткого замыкания;

$R_1$  – сопротивление статора;

$R_2'$  – приведенное сопротивление ротора;

$s$  – скольжение;

$U_1$  – напряжение на статоре;

$X_\mu$  – индуктивное сопротивление контура намагничивания.

С другой стороны, известно выражение [5], связывающее момент и угловую скорость двигателя:

$$M = \frac{3U_1^2 \frac{R'_2}{s}}{\omega_0 \left( X_k^2 + \left( R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 \right)} \quad (2)$$

Совместное решение уравнений (1) и (2) позволяет получить функциональную связь момента с током статора асинхронного двигателя. Для этого достаточно подставить скольжение, описываемое выражением (1), в уравнение момента (2).

**Алгоритм реализации предлагаемого метода измерения расхода.** Реализация процедуры вычисления момента двигателя осуществлена в программной среде LabVIEW с использованием аналого-цифрового преобразователя (АЦП) L-Card E 14-140, регистрирующего ток статора приводного асинхронного двигателя в зависимости от нагрузки на валу.

АЦП измеряет мгновенное значение напряжения на измерительном резисторе, находящимся в обмотке статора, и передает в программу

LabVIEW. Интерфейс программы состоит из двух панелей:

- блочной диаграммы, описывающей логику работы виртуального прибора;
- лицевой панели, описывающей внешний интерфейс виртуального прибора.

Блок-диаграмма программы в среде LabVIEW для вычисления момента асинхронного двигателя приведена на рисунке 1. Блоки, находящиеся в выделенной черной рамкой области, отвечают для согласования сигналов АЦП и LabVIEW.

С целью уменьшения влияния шумов и улучшения качества сигнала использован высокочастотный фильтр (блок LabVIEW *Filter*), который выделяет сигнал основной частоты, а остальные подавляет.

Так как АЦП измеряет мгновенное значение напряжения на измерительном резисторе, а для вычисления момента необходимо иметь действующее значение тока статора, то необходимо напряжение умножить на коэффициент, равный обратной величине сопротивления резистора  $R_w$ . Лицевая панель программы в среде LabVIEW для вычисления момента изображена на рисунке 2.

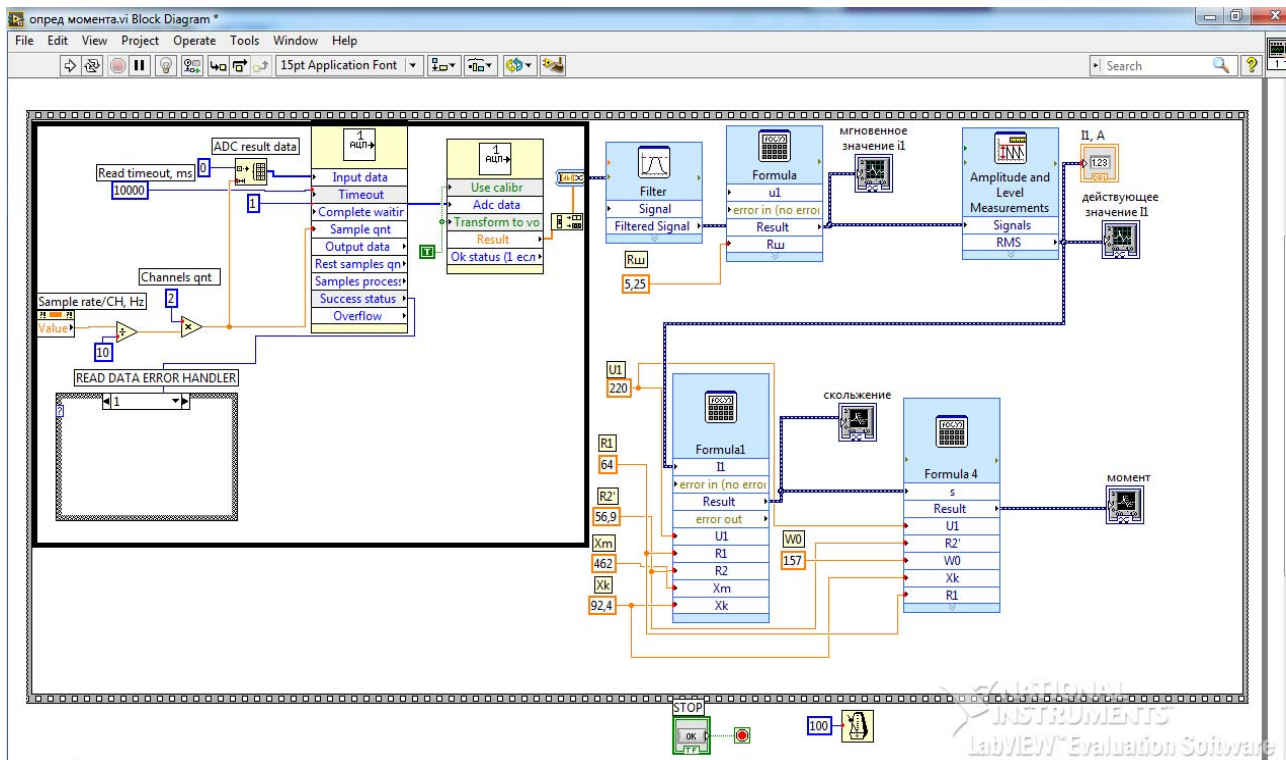
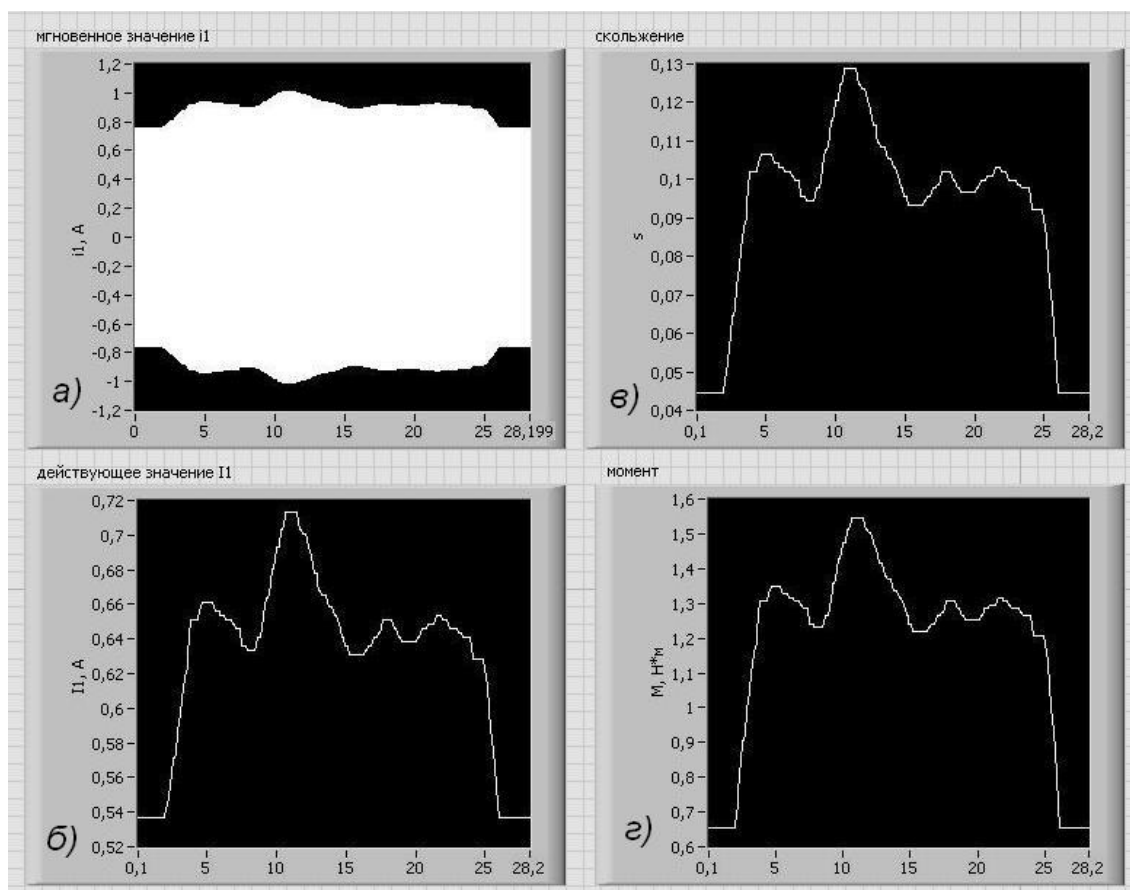


Рис. 1. Блок-диаграмма программы в среде LabVIEW для вычисления момента асинхронного двигателя



**Рис. 2. Лицевая панель программы в среде LabVIEW для вычисления момента с изображением осциллограмм:**  
**а – мгновенного значения тока статора  $i_1$ ; б – действующего значения тока статора  $I_1$ ;**  
**в – скольжения  $s$ ; г – момента на валу двигателя  $M$**

**Пример реализации.** На рисунке 2а отображена осциллограмма мгновенного значения тока статора  $i_1$  асинхронного двигателя АИР56В4 при случайном характере изменения нагрузки. Мгновенное значение тока фиксируется АЦП L-Card E 14-140 и обрабатывается в LabVIEW.

На рисунке 2б показан характер изменения действующего значения тока статора  $I_1$ , соответствующего осциллограмме мгновенного тока на рисунке 2а. Расчет действующего значения тока за время, равное 0,1 с, является алгоритмическим шагом в среде LabVIEW и осуществляется с помощью блока *Amplitude and level measurements* (рис. 1). Действующее значение тока является определяющим фактором при вычислении скольжения в соответствии с выражением (1) при постоянстве параметров схемы замещения асинхронного двигателя, напряжения и его частоты.

Скольжение вычисляется с помощью блока *Formula1*, на вход которого подаются параметры схемы замещения. На рисунке 2в графически изображено изменение скольжения двигателя при изменении нагрузки.

Полученное значение скольжения передается в блок, который вычисляет значение момента за каждый период изменения тока статора. На вход блока *Formula4* также подаются параметры схемы замещения двигателя.

На рисунке 2г представлен график изменения момента на валу двигателя, коррелированный с осциллограммами на рисунках 2а, б и в. Момент вычисляется в среде LabVIEW в соответствии с выражениями (1) и (2).

Осциллограмма на рисунке 2г является результатом первоначального фиксирования мгновенного значения тока статора асинхронного дви-



гателя с помощью АЦП, промежуточного вычисления его действующего значения за каждый период при случайной нагрузке и скольжения и, наконец, последующим вычислением момента.

### Выводы

Таким образом, программный комплекс LabVIEW позволяет автоматизировать процесс измерения, а также проводить анализ, обработку и визуализацию результатов измерений.

Предлагаемый метод измерения момента может быть использован в различных технологических процессах, предусматривающих измерение момента на валу асинхронного приводного двигателя, изменяющегося под воздействием нагрузки, в частности при измерении расхода сыпучих материалов.

Рассмотренный метод измерения момента не сопряжен с вмешательством в механическую часть конструкции, отличается простотой, компактностью, технологичностью, высокой точностью и относительно незначительными материальными затратами, а также может быть использован при случайном характере изменения нагрузки.

### Библиографический список

1. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.
2. Пат. 2532595 Российская Федерация, МПК G 01F 1/56 (2006.01) Способ непрерывного контроля расхода и дозирования сыпучих материалов / Багаев А.А., Чернущ П.С., Костюков А.Ф., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО АГАУ. – № 2013122014/28; заявл. 13.05.2013; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 31. – 7 с.
3. Пат. 2532596 Российская Федерация, МПК G 01F 1/56 (2006.01) Способ контроля расхода и дозирования сыпучих материалов / Багаев А.А., Чернущ П.С., Костюков А.Ф., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО АГАУ. – № 2013122014/28; заявл. 13.05.2013; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 31. – 7 с.

4. Багаев А.А., Чернущ П.С. Математическая модель функциональной зависимости момента и мощности приводного асинхронного электродвигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов от тока статора при частотном регулировании // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 10 (132).

5. Багаев А.А., Лукьянов В.Г., Чернущ П.С. Использование момента кориолисовых сил для измерения массового расхода потока зерна и продуктов его размола // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2008. – № 4 (42). – С. 47-49.

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

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

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

9. Багаев А.А., Чернущ П.С. Требования к временным характеристикам и обоснование области расположения полюсов передаточной функции центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 10 (108). – С. 115-118.

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

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

12. Багаев А.А., Лукьянов В.Г., Чернусь Р.С. Результаты математического моделирования крутящего момента центробежного расходомера зерна и продуктов его размола // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 6 (56). – С. 54-57.

13. Багаев А.А., Чернусь Р.С. Уравнение регрессии момента сопротивления центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6 (68). – С. 83-87.

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

15. Багаев А.А., Чернусь Р.С. Метод измерения момента на валу в функции тока статора приводного асинхронного электродвигателя // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования: сб. науч. ст. Междунар. конф. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2015. – С. 625-631.

### References

1. Kulikovskiy K.L., Kuper V.Ya. Metody i sredstva izmereniy. – М.: Energoatomizdat, 1986. – 448 s.

2. Pat. 2532595 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01F 1/56 (2006.01) Sposob nepreryvnogo kontrolya raskhoda i dozirovaniya sy-puchikh materialov / Bagaev A.A., Chernus R.S., Kostyukov A.F., zayavitel i patentoobladatel FGBOU VPO AGAU. – № 2013122014/28; zayavl. 13.05.2013; opubl. 10.11.2014, Byul. № 31. – 7 s.

3. Pat. 2532596 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01F 1/56 (2006.01) Sposob kontrolya raskhoda i dozirovaniya sy-puchikh materialov / Bagaev A.A., Chernus R.S., Kostyukov A.F., zayavitel i patentoobladatel FGBOU VPO AGAU. –

№ 2013122014/28; zayavl. 13.05.2013; opubl. 10.11.2014, Byul. № 31. – 7 s.

4. Bagaev A.A., Chernus R.S. Matematicheskaya model funktsionalnoy zavisimosti momenta i moshchnosti privodnogo asinkhronnogo elektrodvigatelya tsentrobezhnogo raskhodomera sy-puchikh selskokhozyaystvennykh materialov ot toka statora pri chastotnom regulirovanii // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 10 (132).

5. Bagaev A.A., Lukyanov V.G., Chernus R.S. Ispolzovanie momenta koriolisovykh sil dlya izmeneniya massovogo raskhoda potoka zerna i produktov ego razmola // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2008. – № 4 (42). – S. 47-49.

6. Bagaev A.A., Lukyanov V.G., Chernus R.S. Dvigatel postoyannogo toka kak pervichnyy preobrazovatel krutyashchego momenta tsentrobezhnykh raskhodomerov sy-puchikh selskokhozyaystvennykh produktov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2008. – № 6 (44). – S. 62-65.

7. Bagaev A.A., Lukyanov V.G., Chernus R.S. Peredatochnaya funktsiya tsentrobezhnogo raskhodomera sy-puchikh selskokhozyaystvennykh produktov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 1 (63). – S. 71-75.

8. Bagaev A.A., Chernus R.S. Peredatochnaya funktsiya momenta soprotivleniya tsentrobezhnogo raskhodomera sy-puchikh selskokhozyaystvennykh materialov pri osevoy zagruzke // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 10 (84). – S. 86-89.

9. Bagaev A.A., Chernus R.S. Trebovaniya k vremennym kharakteristikam i obosnovanie oblasti raspolzheniya polyusov peredatochnoy funktsii tsentrobezhnogo raskhodomera sy-puchikh selskokhozyaystvennykh materialov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 10 (108). – S. 115-118.

10. Bagaev A.A., Chernus R.S. Trebovaniya k informatsionnoy «podvizhnosti» tsentrobezhnogo raskhodomera sy-puchikh selskokhozyaystvennykh materialov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 8 (118). – S. 105-110.

11. Bagaev A.A., Chernus R.S. Statisticheskie kharakteristiki moshchnosti elektricheskogo dvigatelya tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhozyaystvennykh materialov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 10 (120). – S. 108-113.

12. Bagaev A.A., Lukyanov V.G., Chernus R.S. Rezultaty matematicheskogo modelirovaniya krutyashchego momenta tsentrobezhnogo rskhodomera zerna i produktov ego razmola // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – № 6 (56). – S. 54-57.

13. Bagaev A.A., Chernus R.S. Uravnenie regressii momenta soprotivleniya tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhozyaystvennykh

materialov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 6 (68). – S. 83-87.

14. Bagaev A.A., Chernus R.S. Obosnovanie kriteriya vybora elektrodvigatelya tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh selskokhozyaystvennykh produktov // Polzunovskiy vestnik. – 2011. – № 2/1. – S. 188-193.

15. Bagaev A.A., Chernus R.S. Metod izmereniya momenta na valu v funktsii toka statora privodnogo asinkhronnogo elektrodvigatelya // Sbornik nauchnykh statey mezhdunarodnoy konferentsii «Lomonosovskie chteniya na Altae: fundamentalnye problemy nauki i obrazovaniya». – Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta, 2015. – S. 625-631.



УДК 631.362

**Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов, С.А. Черкашин**  
N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, S.A. Cherkashin

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОЛЬЦЕВОГО КАНАЛА ВЫХОДА ОЧИЩЕННОГО ЗЕРНА ЦЕНТРОБЕЖНОГО ВОЗДУШНОГО СЕПАРАТОРА

### SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE ANNULAR CHANNEL CLEANED GRAIN DISCHARGE IN A CENTRIFUGAL AIR SEPARATOR

**Ключевые слова:** очистка зерна, пневмосепарация, кольцевой канал, разбрасывающая тарелка, зерноочистительная машина, зерновой материал.

Разработано устройство выпуска очищенного кольцевым пневмоканалом зерна с применением транспортирующей скребковой системы. Приведено описание работы системы выпуска очищенного зерна. Дано обоснование основных конструктивно-кинематических и энергетических параметров устройства. Показано, что при работе центробежного воздушного сепаратора, как самостоятельной зерноочистительной машины, он имеет широкий диапазон по производительности. Повышения эффек-

тивности работы кольцевого пневмоканала можно достигнуть за счет правильного выбора скорости воздушного потока в рабочей зоне и применяемой системы выпуска очищенного зерна.

**Keywords:** grain cleaning, air separation, annular channel, spreading plate, grain-cleaning machine, grain material.

A device for discharge of grain cleaned by annular air channel with the use of a scraper conveying system has been developed. The operation of cleaned grain discharge system is described. The main structural, kinematic and energy parameters of the device are substantiated. It is shown