

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 621.9Т

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

ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИОННОЙ «ПОДВИЖНОСТИ» ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСХОДОМЕРА СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

REQUIREMENTS TO INFORMATION "MOBILITY" OF CENTRIFUGAL FLOWMETER OF LOOSE AGRICULTURAL MATERIALS

Ключевые слова: центробежный расходомер сыпучих материалов, информационная подвижность, моделирование, Т-образная схема замещения асинхронного двигателя.

Перспективным средством измерения расхода сыпучих сельскохозяйственных продуктов является центробежный расходомер. Существующие методики расчета, выбора и проверки двигателей реализуют в основном энергетический подход и направлены на обеспечение двигателем маневренных возможностей в целях исключения возможных режимов перегрузки и перегрева. Вместе с тем силовая часть электропривода центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов выполняет не только энергетическую функцию, но и информационную, заключающуюся в обеспечении возможности измерения расхода сыпучего продукта посредством цифровой обработки и интегрирования осциллограмм изменяющейся скорости двигателя или его тока. В связи с этим важнейшее значение приобретает способность привода центробежного расходомера предоставлять объективную информацию об измеряемой переменной – расходе сыпучего продукта и при этом работать в режиме, близком к номинальному. Цель – моделирование зависимости информационного качества центробежного расходомера от мощности двигателя. Моделирование проведено в среде MATLAB с использованием Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя, для определения параметров которой использована совокупность известных подходов. Исследованы временные зависимости изменения угловой скорости двигателя различной мощности при его импульсном нагружении постоянным моментом сопротивления. Анализ полученных в результате моделирования осциллограмм показал границы энергетической и информационной «подвижности» электропривода центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов. Общая задача синтеза

силовой части центробежного расходомера заключается в обеспечении вышеописанной «подвижности» при минимальной мощности приводного двигателя центробежного расходомера.

Keywords: centrifugal flowmeter of loose materials, information mobility, modeling, equivalent-T of asynchronous motor.

A promising tool for measuring the flow of loose agricultural products is a centrifugal flowmeter. The existing techniques of calculation, selection and testing of motors generally involve the energy approach, and are focused on maneuvering potential of a motor solely to avoid possible overload and overheating. At the same time the power unit of the electric drive of a centrifugal flowmeter of loose agricultural materials performs not only the power function, but also the information function which consists in measuring the flow of a loose product by digital processing the integration of oscillograms of varying motor speed or its current. Consequently, the ability of the drive of a centrifugal flowmeter to present objective information on the measured variable, the flow of loose material, and to operate in the mode close to nominal one is of crucial importance. The research goal is to simulate the dependence of the information function of a centrifugal flowmeter on the motor capacity. The simulation was performed in MATLAB environment with the use of equivalent-T of asynchronous motor. The temporal dependences of the angular speed of motors with different capacity at impulsive load resistant torque were studied. The analysis of the oscillograms obtained by simulation revealed the boundaries of energy and information "mobility" of electric drive of a centrifugal flowmeter of loose agricultural materials. The overall objective of the synthesis of the power unit of a centrifugal flowmeter is to ensure the above described "mobility" at minimum capacity of drive motor of a centrifugal flowmeter.

Багаев Андрей Алексеевич, д.т.н., проф., зав. каф. электрификации и автоматизации сельского хозяйства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: 906-944-90-98. E-mail: багаев710@mail.ru.

Чернусь Роман Сергеевич, ассистент, каф. электрификации и автоматизации сельского хозяйства, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: 909-501-93-66. E-mail: Chernus.Roman@mail.ru.

Bagayev Andrey Alekseyevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. Ph.: 906-944-90-98. E-mail: багаев710@mail.ru.

Chernus Roman Sergeevich, Asst., Chair of Electrification and Automation of Agriculture, Altai State Agricultural University. Тел.: 909-501-93-66. E-mail: Chernus.Roman@mail.ru.

Введение

Перспективным средством измерения расхода сыпучих сельскохозяйственных продуктов является центробежный расходомер, принцип действия и схема которого представлены в работах [1, 2], при условии решения ряда научно-технических задач.

Существующие методики расчета, выбора и проверки двигателей реализуют в основном энергетический подход и направлены на обеспечение двигателем маневренных возможностей исключительно в целях исключения возможных режимов перегрузки и перегрева [3, 4].

Вместе с тем силовая часть электропривода центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов выполняет не только энергетическую функцию, но и информационную, заключающуюся в обеспечении возможности измерения расхода сыпучего продукта посредством цифровой обработки и интегрирования осциллограмм изменяющейся скорости двигателя или его тока [5, 6].

В связи с этим важнейшее значение приобретает способность привода центробежного расходомера предоставлять объективную информацию об измеряемой переменной – расходе сыпучего продукта и при этом работать в режиме, близком к номинальному.

Целью работы является моделирование зависимости информационного качества центробежного расходомера от мощности двигателя.

Результаты исследования

Моделирование проведено в среде MATLAB с использованием структурной схемы асинхронного двигателя, представленной на рисунке 1 [6, 7].

Моделирование в соответствии со структурной схемой на рисунке 1 требует знания параметров классической схемы замещения одной фазы трехфазного асинхронного двигателя, изображенной на рисунке 2.

Сложность заключается в том, что существующие методики определения параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным могут быть использованы исключительно для двигателей мощностью выше 5 кВт [8, 9].

Проведенная нами численная проверка предлагаемых методик по определению параметров схемы замещения асинхронных двигателей мощностью менее 5 кВт с использованием справочных данных двигателей показала, что погрешность расчетов превышает 50% и нередко отрицательные численные значения индуктивных сопротивлений. Подобные погрешность и результат расчетов являются неприемлемыми в рамках рассматриваемой проблемы. Это подтверждает справедливость вывода автора работы [9], сформулированного следующим образом: «...для электрических машин меньшей мощности (менее 5 кВт) требуется уточнение модели и методики расчета параметров схемы замещения».

В связи с этим параметры схемы замещения рассматриваемых асинхронных двигателей (рис. 1) приняты в соответствии с [10] и сведены в таблицу 1.

В таблице 1 параметры схемы замещения асинхронного двигателя приведены в относительных единицах.

Для перехода к абсолютным единицам воспользуемся методологией, изложенной в [7].

Для этого определяется величина базового сопротивления, Ом [11]:

$$Z_6 = \frac{U_{1H}}{I_{1H}}, \quad (1)$$

где U_{1H} – номинальное фазное напряжение, $U_{1H} = 220$ В;

I_{1H} – номинальный ток электродвигателя, А.

Соответствующие сопротивления схемы замещения определяются так:

$$R_1 = \overline{R}_1 \cdot Z_6; \quad (2)$$

$$R'_2 = \overline{R}'_2 \cdot Z_6; \quad (3)$$

$$X_{1\sigma} = \overline{X}_1 \cdot Z_6; \quad (4)$$

$$X_{2\sigma} = \overline{X}_2 \cdot Z_6; \quad (5)$$

$$X_\mu = \overline{X}_\mu \cdot Z_6. \quad (6)$$

Полные индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора определяются по формулам [7]:

$$X_1 = X_\mu + X_1 \cdot \sigma; \quad (7)$$

$$X_2 = X_\mu + X_2 \cdot \sigma, \quad (8)$$

где σ – коэффициент рассеяния машины.

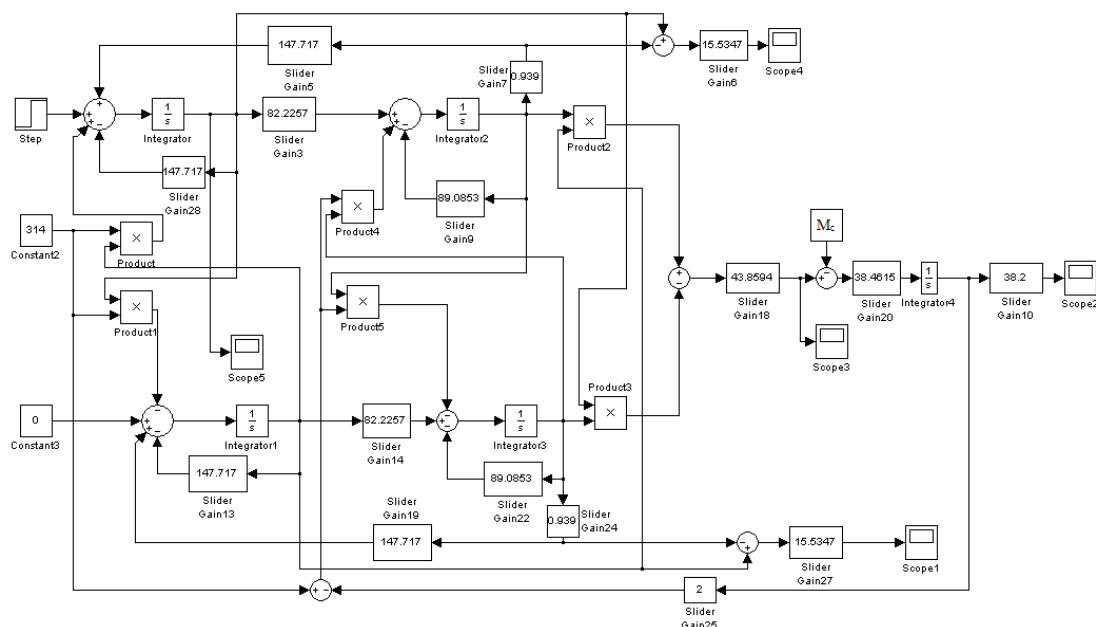


Рис. 1. Структурная схема центробежного расходомера на базе асинхронного двигателя в среде MATLAB

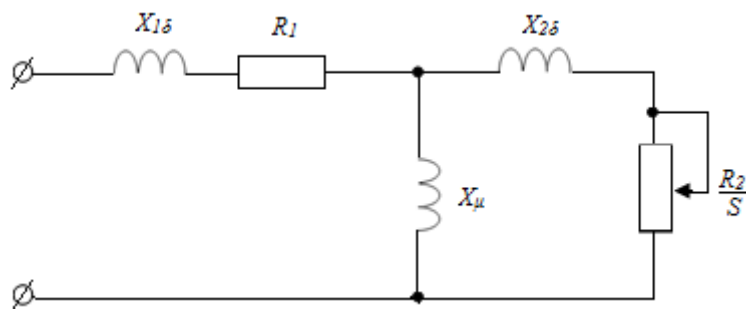


Рис. 2. Т-образная схема замещения фазы трехфазного асинхронного двигателя [8]: R_1 – активное сопротивление обмотки статора; $X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора; $X_{2\sigma}$ – приведенное к статорной обмотке активное сопротивление роторной обмотки; R_2' – приведенное к статорной обмотке индуктивное сопротивление роторной обмотки; X_μ – индуктивное сопротивление намагничивающего контура; S – скольжение

Таблица 1

Параметры схемы замещения асинхронных двигателей (синхронная частота вращения 1500 об/мин.)

Тип двигателя	Параметры двигателей и их Т-образных схем замещения									
	P_n , кВт	I_n , А	$\eta_{н,т}$ %	$\cos\varphi_n$	\bar{X}_1 , о.ед.	\bar{R}_1 , о. ед.	\bar{X}_1 , о.ед.	\bar{R}_2' , о. ед.	\bar{X}_2 , о.ед.	Z_6 , Ом
4AA63B2	0,55	1,3	73	0,86	2,5	0,13	0,049	0,096	0,084	169,2
4A71B2	1,1	2,48	77,5	0,87	2,8	0,13	0,053	0,069	0,084	88,7
4A100S2	4	7,9	86,5	0,89	3,4	0,054	0,055	0,039	0,14	27,9

Для определения индуктивностей соответствующие индуктивные сопротивления надо разделить на значение номинальной угловой частоты $\omega_0 = 314$ рад/с, результатом чего является:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{\omega_0}; \quad (9)$$

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{\omega_0}; \quad (10)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{X_{2\sigma}}{\omega_0}; \quad (11)$$

$$L_1 = L_\mu + L_{1\sigma}; \quad (12)$$

$$L_2 = L_\mu + L_{2\sigma}. \quad (13)$$

Постоянная времени фазы обмотки статора, с:

$$T_1 = \frac{L_1}{R_1}. \quad (14)$$

Постоянная времени фазы обмотки ротора, с:

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'}. \quad (15)$$

Коэффициент рассеяния электрической машины

$$\sigma = 1 - k_1 k_2, \quad (16)$$

где $k_1 = \frac{L_\mu}{L_1}$; $k_2 = \frac{L_\mu}{L_2}$

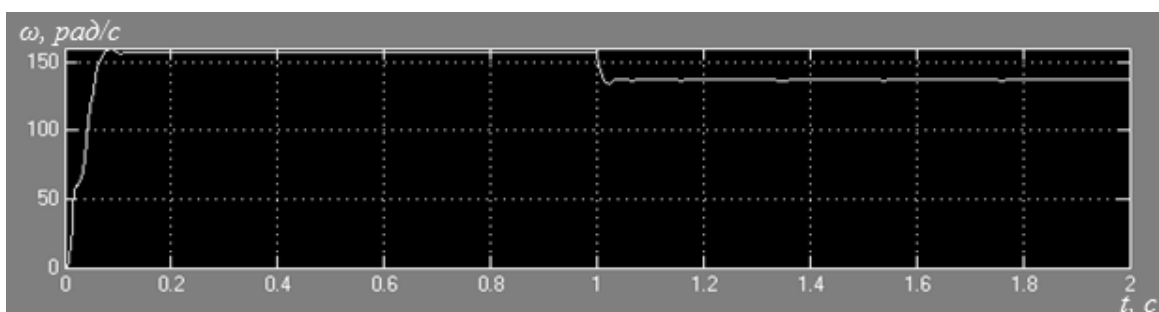
Результаты расчетов сведены в таблице 2.

Таблица 2
Результаты расчета параметров схемы замещения асинхронных двигателей

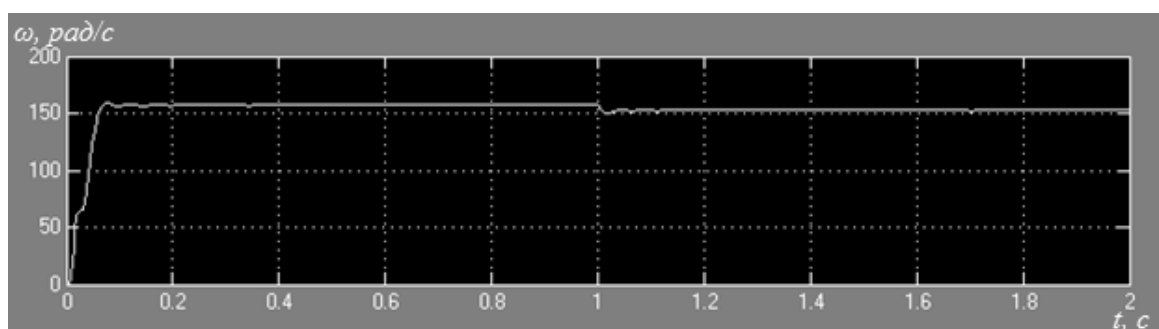
Тип двигателя	$\bar{X}_{\mu}, \text{Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{Ом}$	$R_{1}, \text{Ом}$	$X_{2\sigma}, \text{Ом}$	$R_{2}', \text{Ом}$
4AA63B2	423	8,29	21,99	14,2	16,24
4A71B2	248,3	4,7	11,53	7,45	6,12
4A100S2	94,86	1,53	1,5	3,9	1,088

На рисунке 3 приведены осциллограммы изменения угловой скорости двигателя различной мощности при его импульсном нагружении в момент времени $t = 1$ моментом сопротивления $M_c = 26 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Моделирование проведено в среде MATLAB с использованием структурной схемы асинхронного двигателя, представленной на рисунке 1, и с использованием данных таблицы 2.

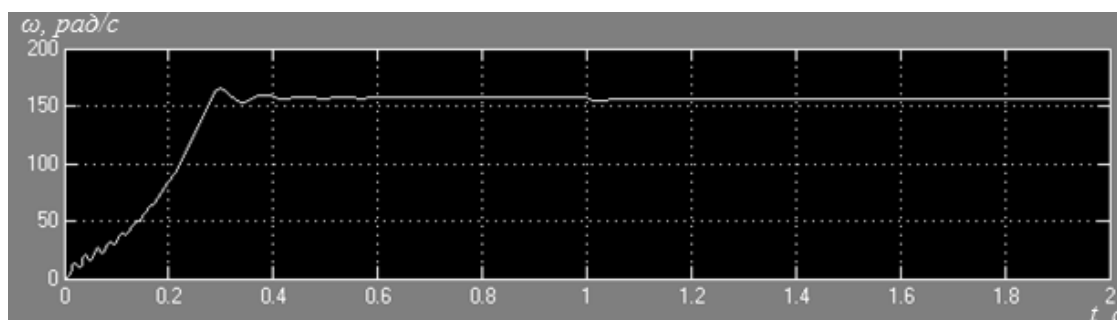
Анализ рисунка 3 свидетельствует, что осциллограммы на рисунке 3 б и 3 в не дают информации о характере изменения нагрузки и, соответственно, расхода продукта, т.к. в этих случаях наблюдается режим холостого хода, скорость практически не изменяется и оценить расход при неизменной скорости не представляется возможным. Оптимальным с энергетической и информационной точек зрения следует признать случай, когда скорость двигателя имеет возможность изменяться в соответствии с рисунком 3 а. Дальнейшее уменьшение мощности двигателя при неизменном моменте сопротивления на валу сопровождается резким снижением угловой скорости двигателя (практически до нулевого значения), что можно сравнить с режимом заклинивания. При этом не обеспечиваются требования как к информационным, так и к энергетическим свойствам привода.



а



б



в

Рис. 3. Осциллограммы угловой скорости двигателя при:
а – $P = 0,55 \text{ кВт}$; $n = 1440 \text{ об/мин.}$; б – $P = 1,1 \text{ кВт}$; $n = 1460 \text{ об/мин.}$;
в – $P = 4 \text{ кВт}$; $n = 1480 \text{ об/мин.}$

По аналогии с определением, приведенным в [3], этот факт можно определить как «подвижность», в соответствии с которым должны быть обеспечены не только энергетические, но и информационные возможности силовой части электропривода центробежного расходомера. При этом предполагается, что система электропривода центробежного расходомера должна быть разомкнутой с энергетической и особенно с информационной точки зрения.

Заключение

Таким образом, учитывая тот факт, что энергетические процессы в электроприводе одновременно являются и информационными, т.е. представляют собой две стороны единого процесса, общая задача синтеза силовой части центробежного расходомера заключается в обеспечении вышеописанной «подвижности» при минимальной мощности приводного двигателя, в том числе и в условиях случайного характера изменения момента сопротивления на валу двигателя электропривода центробежного расходомера, механических и электромеханических характеристик двигателя.

Библиографический список

1. Багаев А.А., Лукьянов В.Г., Чернусь Р.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.
2. Багаев А.А., Лукьянов В.Г., Чернусь Р.С. Передаточная функция центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 1 (63). – С. 71-75.
3. Ратнер Н.И. Расчет электроприводов в случайных режимах. – Л.: Энергия, 1969. – 127 с.
4. Фролов Ю.М., Шелякин В.П. Основы электрического привода: учебное пособие для вузов. – М.: КолосС, 2007. – 252 с.
5. Багаев А.А., Лукьянов В.Г., Чернусь Р.С. Передаточная функция момента сопротивления центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов при осевой загрузке // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 10 (84). – С. 86-89.
6. Багаев А.А., Чернусь Р.С. Обоснование критерия выбора электродвигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных продуктов // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/1. – С. 188-193.

7. Соколовский Г.Г. Электропривод переменного тока с частотным регулированием. – М.: Академия, 2006. – 272 с.

8. Макеев М.С., Кувшинов А.А. Алгоритм расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным [Электронный ресурс]. – Тольятти: Изд-во Тольяттинского государственного университета, 2013. – № 1 (23). – С. 108-112. – Режим доступа: http://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site1238/html/media90388/22Makeev.v.pdf.

9. Усольев А.А. Определение параметров схемы замещения АД по справочным данным [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики: кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем. – 4 с. – Режим доступа: http://ets.ifmo.ru/usolzev/wopros/op_ad.pdf.

10. Асинхронные электродвигатели общего назначения серии 4А [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru/SHARED/u/UDUT/Student/Tab2/induction_motors_4A.pdf.

11. Schroder D. Elektrische Antriebe – Regelung von Antriebssystemen, 2 Auflage. – Berlin: Springer, 2001. – S. 1172.

References

1. Bagaev A.A., Luk'yanov V.G., Chernus' R.S. Ispol'zovanie momenta koriolisovykh sil dlya izmereniya massovogo raskhoda potoka zerna i produktov ego razmola // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2008. – № 4 (42). – S. 47-49.
2. Bagaev A.A., Luk'yanov V.G., Chernus' R.S. Peredatochnaya funktsiya tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh sel'skokhozyaistvennykh produktov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 1 (63). – S. 71-75.
3. Ratner N.I. Raschet elektroprivodov v sluchainykh rezhimakh. – L.: Energiya, 1969. – 127 s.
4. Frolov Yu.M., Shelyakin V.P. Osnovy elektricheskogo privoda: uchebnoe posobie dlya vuzov. – M.: KolosS, 2007. – 252 s.
5. Bagaev A.A., Chernus' R.S. Peredatochnaya funktsiya momenta soprotivleniya tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh sel'skokhozyaistvennykh materialov pri osevoi zagruzke // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 10 (84). – S. 86-89.
6. Bagaev A.A., Chernus' R.S. Obosnovanie kriteriya vybora elektrodvigatelya tsentrobezhnogo raskhodomera sypuchikh sel'skokhozyaistvennykh produktov // Polzunovskii vestnik. – 2011. – № 2/1. – S. 188-193.

7. Sokolovskii G.G. Elektroprivod peremennogo toka s chastotnym regulirovaniem. – M.: Akademiya, 2006. – 272 s.

8. Makeev M.S., Kuvshinov A.A. Algoritm rascheta parametrov skhemy zameshcheniya asinkhronnogo dvigatelya po kataloghnym dannym // Vektor nauki TGU. – 2013. – № 1 (23). – S. 108-112. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: http://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site1238/html/media90388/22_Makeev.pdf.

9. Usol'ev A.A. Opredelenie parametrov skhemy zameshcheniya AD po spravochnym

dannym. – SPb.: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki. – [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: http://ets.ifmo.ru/usolzev/wopros/op_ad.pdf.

10. Asinkhronnye elektrodvigateli obshchego naznacheniya serii 4A. – Tomsk: TPU. – [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: http://portal.tpu.ru/SHARED/u/UDUT/Student/Tab2/induction_motors_4A.pdf.

11. Schroder D. Elektrische Antriebe – Regelung von Antriebssystemen, 2 Auflage. – Berlin: Springer, 2001. – S. 1172.



УДК 634.74.631.535

С.Н. Хабаров, В.Д. Бартенов, А.А. Канарский, Р.А. Тучин
S.N. Khabarov, V.D. Bartenev, A.A. Kanarskiy, R.A. Tuchin

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ИСПЫТАНИЙ ЯГОДОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА «ЙООНАС-2000» НА УБОРКЕ ОБЛЕПИХИ

INTEGRATED EVALUATION OF BERRY-HARVESTING COMBINE JOONAS-2000 TESTING AT SEA-BUCKTHORN HARVESTING

Ключевые слова: ягодоуборочный комбайн, сорта облепихи, испытания, режимы работы, полнота съёма, повреждения кустов.

Расширение площадей под облепихой сдерживается трудоемкостью ручного сбора урожая, составляющего около 90% от общих трудозатрат, или 900 чел.-дн/га. Решение проблемы механизированной уборки осложняется специфическими физико-механическими свойствами плодов и агробиологическими особенностями растений. Впервые в мире и России проведены испытания универсального ягодоуборочного комбайна «Йонас-2000» (производства Финляндия) на уборке облепихи. Целью испытаний является определение его оптимальных режимов работы, оценка полноты съема плодов и повреждений элементов кустов, а также выявление его конструктивных и эксплуатационно-технологических недостатков. Представлены краткое описание конструкции портального комбайна, его техническая характеристика, параметры и технологический процесс работы. Проведены многолетние исследовательские и производственные испытания комбайна на различных сортах, в разновозрастных насаждениях и в различной степени зрелости плодов облепихи. При этом дана комплексная оценка следующих элементов учета: полнота съема плодов с кустов, уровня потерь урожая на землю, степени и вида повреждений ветвей разного порядка и возраста, качества вороха и т.д. Комбайн показал удовлетворительное и стабильное выполнение технологического процесса со штатными (оригинальными) пальцами, с металлическими и стекловолокнистыми пальцами и явную возможность реализации в будущем поточной уборки новых сортообразцов облепихи со слабым усилием отрыва плодов до 1,0-1,2 Н и массой плодов в пределах 0,8-1,0 г. Результаты испытаний после

частичного усовершенствования активаторов позволяют сделать предварительный вывод о его ограниченной пригодности для уборки облепихи существующего сортамента, в том числе со стекловолокнистыми пальцами.

Keywords: berry-harvesting combine, sea-buckthorn varieties, testing, operation regimes, fruit retrieval, shrub injuries.

The extension of areas under sea-buckthorn is limited because of high labor-consuming character of manual harvesting which makes up to 90% of the total labor costs, or 900 man-days per ha. The solution of mechanized harvesting problem is restricted by specific physical-mechanical properties of the fruits and agro-biological features of the plant. For the first time in the world and in Russia a berry-harvesting combine Joonas-2000 (made in Finland) was tested at sea-buckthorn harvesting. The goal of the testing was to reveal the optimum operation regimes, to evaluate fruit retrieval and shrub injuries and to identify the combine's design and operational-technological defects. The design of the portal combine, its technical specifications and technological process of the operation are briefly described. Long-term research and field tests of the combine were conducted with different varieties, in the plantations of different ages and with different ripeness of sea-buckthorn berries. The following parameters were evaluated: fruit retrieval, yield losses, the degree and type of branch injuries of different order and age, heap quality, etc. The combine showed satisfactory and stable technological process with original fingers, metal and glass-fiber fingers, and the potential for flow-line harvesting of new sea-buckthorn varieties with low tearing force of fruits up to 1.0-1.2 N and fruit weight in the range of