

## АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

**Линенко Андрей Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические машины и электрооборудование»

**Туктаров Марат Фанисович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические машины и электрооборудование»

**Байназаров Валинур Галинурович**, аспирант кафедры «Электрические машины и электрооборудование»

ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет

450001, г. Уфа, ул. 50 лет Октября, 34; тел.: 8-347-252-66-10; e-mail: Linenko-bsau@yandex.ru

**Ключевые слова:** линейный асинхронный двигатель, линейный электропривод, импульсный режим работы, микропроцессорная система управления, параметры колебаний, эффективность.

Замена существующего привода зерноочистительной машины линейным электроприводом позволяет отказаться от применения механического преобразователя вращательного движения вала приводного электродвигателя в колебательное движение решетного стана, что приводит к повышению технико-экономических и энергетических показателей работы электропривода зерноочистительной машины. Однако выявлено, что при работе линейного электропривода решетного стана в существующих режимах (вынужденных колебаний и автоколебаний) наблюдается перегрев линейного асинхронного двигателя. Для решения данной проблемы предложено использовать импульсный режим работы линейного электропривода решетного стана зерноочистительной машины, отличающийся от существующих режимов тем, что линейный асинхронный двигатель действует только в одном направлении при прекращении движения рабочего органа в обратном направлении. Проведенные исследования показали, что при модернизации семеочистителя МВР-2 (СУ-0,1) максимальная производительность  $Q = 0,6$  т/ч достигается при мощности линейного асинхронного двигателя  $P_1 = 0,6$  кВт и при максимальном ускорении решетного стана  $a_{\max \text{ п.с.}} = 17$  м/с<sup>2</sup>. При этом коэффициент полезного действия (КПД) линейного электропривода решетного стана  $\eta = 42\%$ . Результаты производственных исследований модернизированного семеочистителя МВР-2 (СУ-0,1) показали, что при амплитудах продольных  $A_{\text{прод}} = 14,5$  мм и поперечных  $A_{\text{попер}} = 2$  мм колебаний решетного стана и частоте  $f_{\text{кол.рс}} = 3$  Гц (режим  $A_{\text{прод}} \cdot f_{\text{кол.рс}} = 43,5$  мм·Гц) повысилась полнота разделения  $E$ , увеличилась просеиваемость  $P$  и уменьшились потери зерна  $\Pi$ , при этом травмированность зерна не превышала допустимого значения.

### Введение

Во многих исследованиях большое внимание уделяется совершенствованию конструкций приводов зерноочистительных машин для повышения эффективности процесса сепарации зерна. В одном из исследований описывается зерноочистительная машина, в приводе которой используется плоский линейный асинхронный электродвигатель (ЛАД) [1]. Благодаря возможности плоского ЛАД создавать две взаимоперпендикулярно направленные друг другу силы, в зерноочистительной машине осуществляется колебание решетного стана по сложной траектории. Такое движение позволяет повысить ориентирующую способность зернового материала относительно отверстий решета, что положительно влияет на эффективность его сепарирования [1].

Однако при использовании существующей системы управления колебательным линейным электроприводом (ЛЭП) наблюдается существенный перегрев обмоток индуктора ЛАД при повторно-кратковременном режиме

работы последнего, что снижает срок его службы [2, 3]. Это обусловлено тем, что при существующих режимах работы ЛЭП большая часть электрической энергии, потребляемой ЛАД из сети, тратится на торможение и последующий разгон решетного стана в цикле колебательного движения.

В работе [4] для решения вышеуказанной проблемы предложен импульсный режим работы ЛЭП зерноочистительной машины, отличающийся от автоколебательного режима и режима вынужденных колебаний тем, что подключение ЛАД к источнику питания происходит в момент прекращения движения решетного стана в одном из направлений [5]. При этом имеется необходимость проведения исследований по изучению влияния длительности  $t_{\text{имп}}$  подключенного состояния ЛАД на показатели эффективности работы зерноочистительной машины.

### Объекты и методы исследований

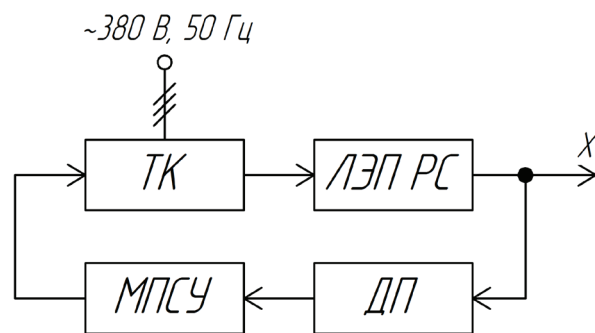
Реализовать импульсный режим работы ЛЭП решетного стана возможно при использовании микропроцессорной системы управле-

ния (МПСУ) (рис. 1). В этом случае соотношение между частотой  $\omega_F$  периодического действия силы тяги  $F_{тяги}$  и собственной частотой колеба-

тельной системы  $\omega_C \frac{\omega_F}{\omega_C}$  увеличивается, что в итоге позволяет снизить необходимую мощность электродвигателя  $P_1$  для возбуждения (методом раскачки) и поддержания колебательного процесса решетного стана [6, 7]. Микропроцессорная система применяется для регулирования и поддержания максимального

ускорения решетного стана  $a_{max.p.c.}$ , изменение значения которого может привести к прекращению движения зерновой смеси либо к её перемещению по поверхности решета в обратном направлении [8, 9, 10].

Процесс работы МПСУ следующий [11]. Оптический датчик перемещения фиксирует линейное перемещение решетного стана в продольном направлении и передает текущую информацию о положении решетного стана МПСУ. Последняя в процессе работы определяет момент прекращения движения решетного стана после одного периода колебания  $T$  и подключает ЛАД к источнику питания с длительностью  $t_{имп}$ . МПСУ также определяет максимальное

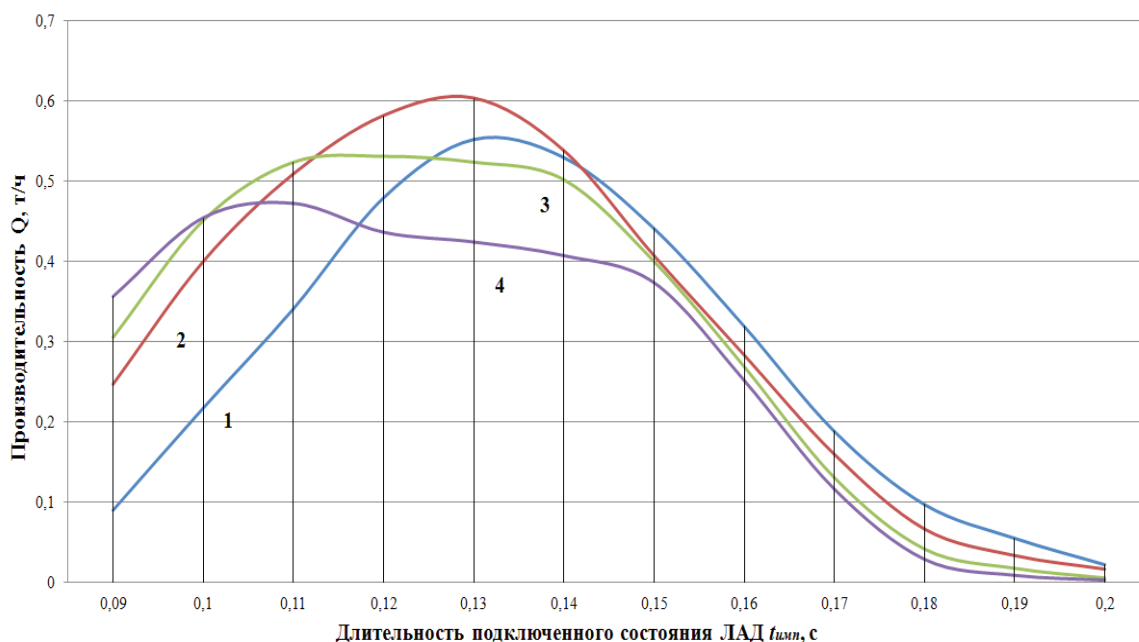


**Рис.1 – Функциональная схема импульсного режима работы ЛЭП решетного стана:** ТК – тиристорный коммутатор; ЛЭП РС – линейный электропривод решетного стана; МПСУ – микропроцессорная система управления; ДП – оптический датчик перемещения; X – перемещение решетного стана

ускорение решетного стана  $a_{max.p.c.}$  и при необходимости осуществляет регулирование  $t_{имп}$ .

#### Результаты исследований

Для определения максимального ускорения решетного стана  $a_{max.p.c.}$ , при котором достигается максимальная производительность  $Q_{max}$  зерноочистительной машины, проведены теоретические исследования в среде визуально-объектно-ориентированного моделирования



**Рис. 2 – Зависимость производительности Q от длительности подключенного состояния ЛАД  $t_{имп}$  при мощности  $P_1$  последнего:** 1)  $P_1 = 0,5$  кВт; 2)  $P_1 = 0,6$  кВт; 3)  $P_1 = 0,7$  кВт и 4)  $P_1 = 0,8$  кВт

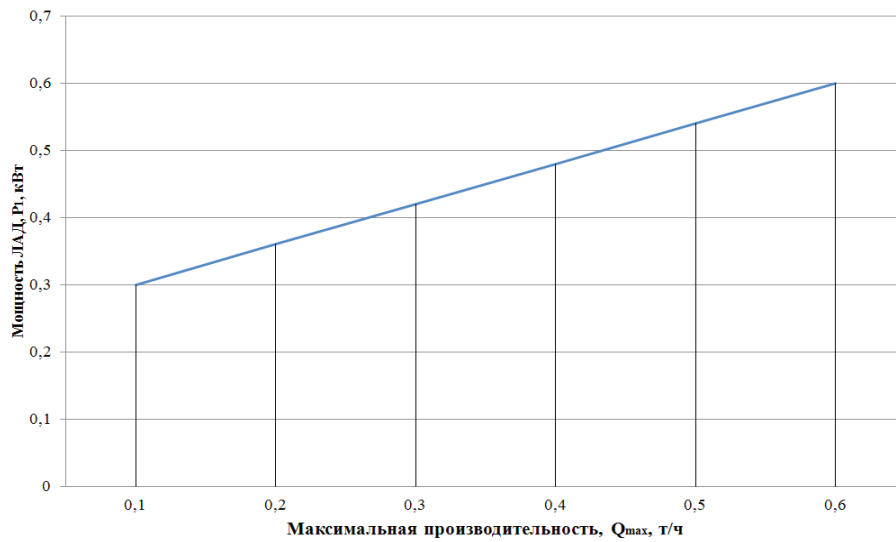


Рис.3 – Зависимость мощности ЛАД  $P_1$  от максимальной производительности  $Q_{max}$

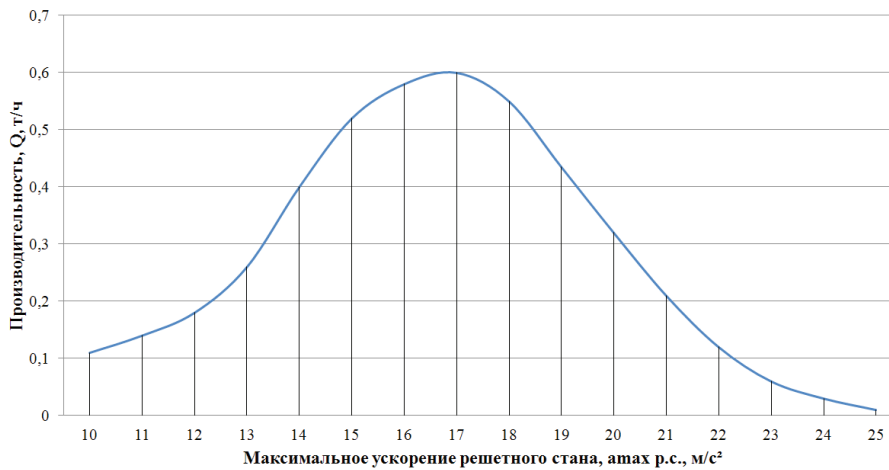


Рис.4 – Зависимость производительности  $Q$  от значения максимального ускорения решетного стана  $a_{max.p.c.}$

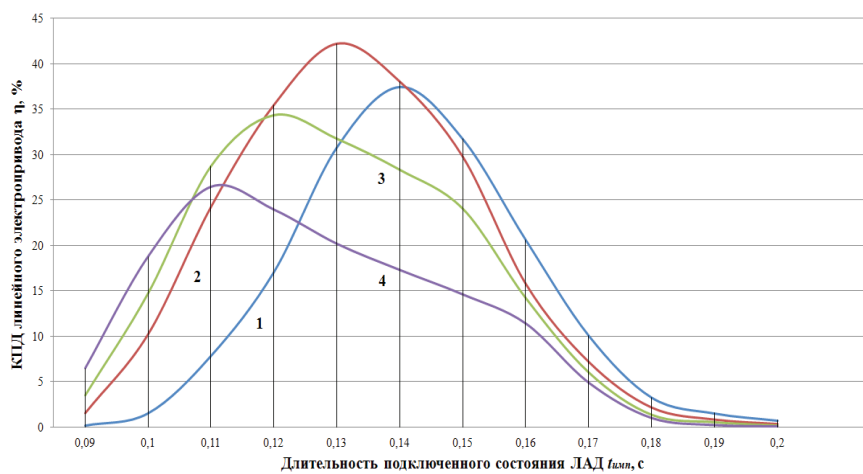


Рис.5 – Зависимость КПД ЛЭП решетного стана  $\eta$  от длительности подключенного состояния ЛАД  $t_{имп}$  при мощности  $P_1$  последнего:  
 1)  $P_1 = 0,5$  кВт; 2)  $P_1 = 0,6$  кВт; 3)  $P_1 = 0,7$  кВт и 4)  $P_1 = 0,8$  кВт

MATLAB/SIMULINK. В процессе исследований исходная производительность  $Q$  принята 0,5 т/ч (по аналогии с МВР-2 (СУ-0,1)) [12]. В этом случае предполагается, что на поверхности решета находится зерновой материал массой  $m_3 = 6$  кг.

На рисунке 2 показана полученная в ходе исследования зависимость.

Рассматриваемая зависимость показывает необходимую мощность  $P_1$  ЛАД для процесса сепарирования зерна, при которой достигается максимальная производительность  $Q_{max}$ . Как видно из рисунка 2, максимальная производительность  $Q_{max}$  достигается при мощности ЛАД  $P_1 = 0,6$  кВт.

На рисунке 3 представлена зависимость, позволяющая определить мощность ЛАД  $P_1$ , при которой достигается максимальная производительность  $Q_{max}$  (при  $m_3 = 1...6$  кг).

На рисунке 4 представлена зависимость производительности  $Q$  от максимального ускорения решетного стана  $a_{max.p.c.}$  ( $P_1 = 0,6$  кВт,  $m_3 = 6$  кг). Представленная зависимость показывает, что максимальная производительность  $Q_{max} = 0,6$  т/ч достигается при максимальном ускорении решетного стана  $a_{max.p.c.} = 17$  м/с<sup>2</sup>.

Далее были проведены экспериментальные работы по определению качества сепарирования зерна на существующей зерноочистительной машине, в которой использовался электропривод на основе ЛАД. Для этого семейство очиститель МВР-2 (СУ-0,1) модернизировали.

В ходе производственных исследований в ООО «Илиш-Агро» Илишевского района РБ получена зависимость КПД ЛЭП решетного стана

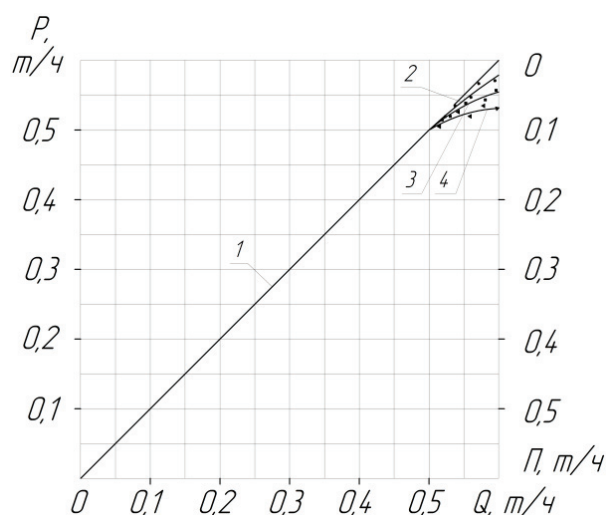
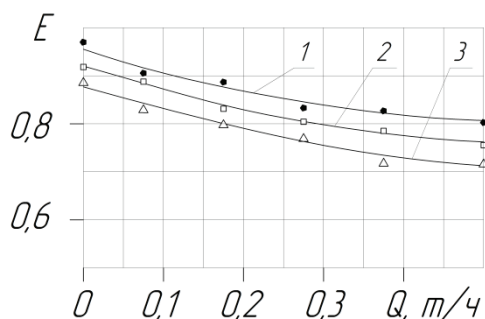


Рис. 6 – Зависимости просеваемости  $P$  и потерь зерна  $\Pi$  от производительности  $Q$  при различных кинематических режимах работы зернового решета Б2:

1 – максимальная просеваемость; 2 – режим  $A_{прод} \cdot f_{кол.рс} = 43,5$  мм·Гц; 3 – режим  $A_{прод} \cdot f_{кол.рс} = 48$  мм·Гц; 4 – режим  $A_{прод} \cdot f_{кол.рс} = 52,5$  мм·Гц

$\eta$  от длительности подключенного состояния ЛАД к источнику питания  $t_{имп}$  при различных мощностях  $P_1$  ЛАД (рис.5). Анализ данной зависимости показывает, что максимальный  $\eta = 42\%$  достигается при  $P_1 = 0,6$  кВт.

По результатам производственных исследований получены зависимости потерь зерна  $\Pi$ , просеваемости зерна  $P$  и полноты разделения зернового материала  $E$  от производительности  $Q$  при различных кинематических режимах работы решетного стана, которые в совокупности позволяют объективно оценить эффективность очистки зернового материала от сорных примесей (рис.6 - 7).

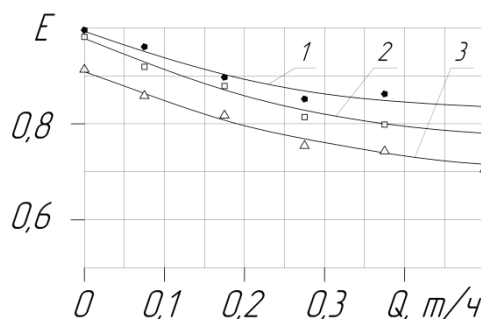


Рис. 7 – Зависимость полноты разделения зернового материала от производительности при различных кинематических режимах работ подсевного решета В (а) и сортировального решета Г (б): 1 – режим  $A_{прод} \cdot f_{кол.рс} = 43,5$  мм·Гц; 2 – режим  $A_{прод} \cdot f_{кол.рс} = 48$  мм·Гц; 3 – режим  $A_{прод} \cdot f_{кол.рс} = 52,5$  мм·Гц

При построении зависимости учитывался показатель травмированности зерна, который не должен превышать 5 %.

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование в семеочистителе МВР-2 (СУ-0,1) ЛЭП, работающего в импульсном режиме, позволяет повысить производительность  $Q$  на 20 %.

#### Библиографический список

1. Линенко, А.В. Анализ работы привода решетного стана экспериментальной зерноочистительной установки с использованием линейного электродвигателя / А.В. Линенко, М.Ф. Туктаров, С.В. Акчурин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – №2 (18). – С. 97-101.

2. Буторин, В.А. Повышение эксплуатационной надежности асинхронных электродвигателей / В.А. Буторин, И.В. Новик // Актуальные проблемы энергетики АПК. VI Международная научно-практическая конференция. - Челябинск, 2015. - С. 209-210.

3. Аипов, Р.С. К вопросу о надежности электроприводов сельскохозяйственных машин / Р.С. Аипов, И.Р. Кафиев // Аграрная наука в инновационном развитии АПК. Материалы международной научно-практической конференции в рамках XXVI Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2016». - Уфа, 2016. - Часть III. - С. 3-6.

4. Туктаров, М.Ф. Импульсный режим работы линейного электропривода зерноочистительной машины / М.Ф. Туктаров, Ш.Ф. Сираев, В.Г. Байназаров // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2017. - №1(41). - С. 69-73.

5. Аипов, Р.С. Линейные электрические машины и линейные асинхронные электроприводы технологических машин: монография / Р.С. Аипов, А.В. Линенко. – Уфа, 2013. – 308 с.

6. Яруллин, Р.Б. К вопросу проектирования

саморегулируемого инерционного вибратора асинхронного электропривода вибромашин / Р.Б.Яруллин, Р.Р.Сафин // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – Уфа, 2014. -Том 10, № 3. - С. 30-37.

7. Яруллин, Р.Б. Роль вибрации в интенсификации технологических процессов / А.Р.Муллюков, Р.Б.Яруллин // Наука сегодня: теория и практика: сборник научных трудов международной заочной научно-практической конференции. - Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2015. - С. 65-67.

8. Туктаров, М.Ф. Система управления линейным электроприводом зерноочистительной машины с нечетким регулятором / М.Ф. Туктаров, В.Г. Байназаров // Наука молодых – инновационному развитию АПК. Материалы Международной молодежной научно-практической конференции. – Уфа, 2016. - С. 123-126.

9. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. – 2-е изд.- М., 2013. – 798 с.

10. Патрин, В.А. Обоснование параметров работы плоских колеблющихся решёт / В.А. Патрин, А.В. Патрин // Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 70-летию образования Инженерного института. - Новосибирск, 2014. – 200 с.

11. Байназаров, В.Г. Интеллектуальное управление линейным электроприводом технологических машин / В.Г. Байназаров, И.У. Камалов, А.А. Халисов // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. Материалы Международной научно-практической конференции в рамках XXVII Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2017». – Уфа, 2017. - С. 329-333.

12. Ловчиков, А. П. Зерноочистительные машины: учебное пособие к лабораторным работам / А. П. Ловчиков, Р. А. Салыхов, Н. А. Кузнецов. – Челябинск: ЧГАА, 2010. – 159 с.

#### ANALYSIS OF PULSE REGIME OF A LINEAR ELECTRIC DRIVE OF A GRAIN CLEANING MACHINE

**Linenko A.V., Tuktarov M.F., Bainazarov V.G.**  
**FSBEI HE Bashkir State Agrarian University**  
**450001, Ufa, 50 Let Oktyabrya st., 34,**  
**e-mail: Linenko-bsau@yandex.ru; Tel. 8-347-252-66-10**

*Keywords: linear induction motor, linear electric drive, pulse mode of operation, microprocessor control system, oscillation parameters, efficiency.*

Replacement of the existing drive of the grain cleaning machine with a linear electric drive makes it possible not to use a mechanical converter of the rotational motion of the shaft of the drive motor into the oscillating motion of the sieve boot, which leads to an increase in the technical, economic and energy performance of the electric drive of the grain cleaning machine. However, it was revealed that, if the linear electric drive of the sieve boot is operating in the existing modes (forced oscillations and self-oscillations), the linear induction motor is overheated. To solve this problem, it is suggested to use the pulse mode of operation of the linear electric drive of the sieve boot of the grain cleaning machine, which differs from the existing modes by the fact that the linear induction motor acts only in one direction when the movement of the working body in the opposite direction stops. The carried out research showed that in case of improvement of the MBP-2 seed cleaner (SU-0,1), the maximum output of  $Q = 0,6 \text{ t/h}$  is achieved with the power of a linear induction motor of  $P_i = 0,6 \text{ kW}$  and with the maximum acceleration of the sieve boot as  $a_{\text{max}} = 17 \text{ m/s}^2$ . At the same time, the efficiency factor of the linear electric drive of the sieve boot is  $\eta = 42\%$ . The results of the on-the-farm research of the improved MBP-2 seed cleaner (SU-0,1) showed that at longitudinal amplitudes of  $A_{\text{long}} = 14,5 \text{ mm}$  and lateral ones of  $A_{\text{lat}} = 2 \text{ mm}$  of oscillations of the sieve boot and frequency  $f = 3 \text{ Hz}$  ( $A_{\text{long}} \cdot f = 43,5 \text{ mm} \cdot \text{Hz}$ ), the separation  $E$  and the screening ability  $R$  increased and the loss of grain  $P$  decreased, while the grain damage did not exceed the acceptable value.

#### Bibliography

1. Linenko, A.V. Analysis of sieve boot drive operation of an experimental grain cleaning plant with application of a linear electric motor / A.V. Linenko, M.F. Tuktarov, S.V. Akchurin // *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. - Ulyanovsk: USAA, 2012. - №2 (18). - P. 97-101.
2. Butorin, V.A. Increase of operational reliability of induction electric motors / V.A. Butorin, I.V. Novik // *Current problems of power engineering of the agroindustrial complex - VI International Scientific and Practical Conference* / edited by Trushkin V.A. - Chelyabinsk, 2015. - P. 209-210.
3. Aipov, R.S. To the issue of reliability of electric drives of agricultural machines / R.S. Aipov, I.R. Kafiev // *Agrarian science in innovative development of agroindustrial complex: materials of the international scientific and practical conference within the framework of the XXVI International specialized exhibition «Agrocomplex-2016»*. Part III. - Ufa, 2016. - P. 3-6.
4. Tuktarov, M.F. Pulse mode operation of linear electric drive of the grain cleaning machine / M.F. Tuktarov, Sh.F. Siraev, V.G. Bainazarov // *Vestnik of Bashkir State Agrarian University*. - Ufa, 2017. № 1 (41). - P. 69-73.
5. Aipov, R.S. Linear electric machines and linear induction electric drives of technological machines: monograph / R.S. Aipov, A.V. Linenko. - Ufa, 2013. - 308 p.
6. Yarullin, R.B. To the issue of the design of a self-regulating inertial vibrator of an induction electric drive of vibromachines / Yarullin R.B., Safin R.R. // *Electrical and information complexes and systems*. - Ufa, 2014. V. 10. № 3. - P. 30-37.
7. Yarullin, R.B. The role of vibration in the intensification of technological processes / Mulyukov A.R., Yarullin R.B. // *Science today: theory and practice Collection of scientific works of the international distance scientific-practical conference*. Ufa: Ufa State University of Economics and Service, 2015. - P. 65-67.
8. Tuktarov, M.F. Linear electric drive control system for grain cleaning machine with fuzzy regulator / M.F. Tuktarov, V.G. Bainazarov // *Science of young people - innovative development of the agro-industrial complex. Materials of the International Youth Scientific and Practical Conference*. - Ufa, 2016. - P. 123-126.
9. Pegat A. Fuzzy modeling and control / A. Pegat; trans. from English. - 2nd ed. Moscow, 2013. - 798 p.
10. Patrin, V.A. Justification of operation parameters of flat shaking separators / V.A. Patrin, A.V. Patrin // *Materials of scientific-practical. Conf. with international participation, dedicated to the 70th anniversary of the formation of the Engineering Institute*. Novosibirsk, 2014. - 200 p.
11. Bainazarov, V.G. Intellectual control of linear electric drive of technological machines / V.G. Bainazarov, I.U. Kamalov, A.A. Khalisov // *Current state, traditions and innovative technologies in the development of agribusiness: materials of the International Scientific and Practical Conference within the framework of the XXVII International Specialized Exhibition «Agrocomplex-2017»*. - Ufa, 2017. - P. 329-333.
12. Lovchikov, A. P. Grain cleaning machines: Textbook for laboratory practice. / A.P. Lovchikov, R.A. Salyakhov, N.A. Kuznetsov. - Chelyabinsk: ChSAA, 2010. - 159 p.