

Polish Academy of Sciences
University of Engineering and Economics in Rzeszów
University of Life Sciences in Lublin
Faculty of Production Engineering

MOTROL

**COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS
IN AGRICULTURE**

**AN INTERNATIONAL JOURNAL
ON OPERATION OF FARM
AND AGRI-FOOD INDUSTRY MACHINERY**

Vol. 18, No 4

LUBLIN – RZESZÓW 2016

Editor-in-Chief: *Eugeniusz Krasowski*

Assistant Editor: *Jerzy Grudziński*

Associate Editors

1. Agricultural machinery: *Dmytro Voytiuk*, Kiev, *Mariusz Szymanek*, Lublin
2. Machinery of agri-food industry: *Leszek Mościcki*, Lublin
3. Energetics: *Iliia Nikolenko*, Simferopol, *Janusz Wojdalski*, Warszawa
4. Land management, urban planning, architecture and geodesy: *Karol Noga*, Kraków, *Roman Kadaj*, Rzeszów, *Michał Proksa*, Rzeszów, *Lech Licholaj*, Rzeszów
5. Mathematical, statistics: *Andrzej Kornacki*, Lublin, *Rostislav Bun*, Lviv

Editorial Board

Dariusz Andrejko, Lublin, Poland
Andrzej Baliński, Kraków, Poland
Volodymyr Bulgakow, Kiev, Ukraine
Zbigniew Burski, Lublin, Poland
Karol Cupiał, Częstochowa, Poland
Aleksandr Dashchenko, Odessa, Ukraine
Kazimierz Dreszer, Lublin, Poland
Konstantin Dumenko, Mykolayiv, Ukraine
Dariusz Dziński, Lublin, Poland
Stepan Epoyan, Kharkiv, Ukraine
Jan Gliński, Lublin, Poland
Dimitriy Goncharenko, Kharkiv, Ukraine
Janusz Grzelka, Częstochowa, Poland
Aleksandr Holubenko, Lugansk, Ukraine
L.P.B.M. Jonssen, Groningen, Holland
Stepan Kovalyshyn, Lviv, Ukraine
Józef Kowalczyk, Lublin, Poland
Volodymyr Kravchuk, Kiev, Ukraine
Petro Kulikov, Kiev, Ukraine
Elżbieta Kusińska, Lublin, Poland
Andrzej Kusz, Lublin, Poland
Janusz Laskowski, Lublin, Poland
Kazimierz Lejda, Rzeszów, Poland
Jerzy Merkiś, Poznań, Poland
Sławomir Mikrut, Rzeszów, Poland
Jarosław Mykhajlovych, Kiev, Ukraine
Janusz Mysłowski, Szczecin, Poland

Jaromir Mysłowski, Szczecin, Poland
Ignacy Niedziółka, Lublin, Poland
Stanislav Nikolajenko, Kiev, Ukraine
Paweł Nosko, Lugansk, Ukraine
Gennadij Oborski, Odessa, Ukraine
Yurij Osenin, Lugansk, Ukraine
Marian Panasiewicz, Lublin, Poland
Sergiej Pastushenko, Mykolayiv, Ukraine
Iwan Rohowski, Kiev, Ukraine
Zinovii Ruzhylo, Kiev, Ukraine
Vjacheslav Shebanin, Mykolayiv, Ukraine
Povilas A. Sirvydas, Kaunas, Lithuania
Volodymyr Snitynskiy, Lviv, Ukraine
Stanisław Sosnowski, Rzeszów, Poland
Henryk Sobczuk, Lublin, Poland
Ludvikas Spokas, Kaunas, Lithuania
Andrzej Stępniewski, Lublin, Poland
Michail Sukach, Kiev, Ukraine
Aleksandr Sydorchuk, Kiev, Ukraine
Beata Ślaska-Grzywna, Lublin, Poland
Wojciech Tanaś, Lublin, Poland
Giorgij F. Tayanowski, Minsk, Bielarus
Leonid Tishchenko, Kharkiv, Ukraine
Denis Viesturs, Ulbrok, Latvia
Anatolij Yakovenko, Odessa, Ukraine
Tadeusz Złoto, Częstochowa, Poland

All the articles are available on the webpage: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Teka-Motrol.html>

All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Stepan Kovalyshyn*
Typeset: *Viktor Shevchuk*, *Adam Niezbecki*
Cover design: *Hanna Krasowska-Kołodziej*
Photo on the cover: *Janusz Laskowski*

© Copyright by Polish Academy of Sciences 2016
© Copyright by University of Engineering and Economics in Rzeszów 2016
© Copyright by University of Life Sciences in Lublin 2016
in co-operation with Lviv National Agrarian University in Dublany 2016

Editorial Office address

Polish Academy of Sciences Branch in Lublin
Pałac Czartoryskich, Plac Litewski 2, 20-080 Lublin, Poland
e-mail: eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl

Printing

Lviv National Agrarian University, St. Vladimir the Great, 1, Dublany

Publishing Office address

Lviv National Agrarian University, St. Vladimir the Great, 1, Dublany

ISSN 1730-8658
Edition 150+16 vol.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПУЛЬСАТОРА ПОПАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Василий Дмитрив, Юрий Лаврик

Львовский национальный аграрный университет

Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: Dmytriv_V@ukr.net

Vasyl Dmytriv, Yurii Lavryk

Lviv national agrarian university

St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: Dmytriv_V@ukr.net

Аннотация. Проведен анализ основных результатов моделирования с использованием предложенных аналитических зависимостей характеризующих работу электромагнитного пульсатора попарного действия. Обоснованы основные технологические и конструкционные параметры пульсатора обеспечивающих работу доильного аппарата в соответствии с требованиями продолжительности тактов работы пульсатора и фаз индикаторной диаграммы машинного доения коров. Результаты моделирования показали, что диаметр мембраны пульсатора должен быть большим 25 мм. Рассмотрены зависимости продолжительности такта сосания от диаметров калиброванного отверстия для подвода вакуумметрического и атмосферного давления в управляющую камеру. Приведены рекомендации по выбору конструкционных параметров элементов электромагнитного пульсатора попарного действия. Установлен характер влияния верхнего и нижнего клапанов на индикаторную диаграмму. Особое внимание уделено переходным процессам, фазам "а" и "с" индикаторной диаграммы работы пульсатора. Обоснованы размеры клапанов с целью обеспечения требований соотношения фаз.

Диаметр калиброванного отверстия для подвода атмосферного давления в управляющую камеру должен становить 0,3-0,7 мм и более, диаметр отверстия подвода вакуумметрического давления - 0,3-0,4 мм. Верхний и нижний клапаны должны быть диаметрами 10-20 мм и 4-10 мм соответственно. Все размеры должны быть дополнительно уточнены с учетом технологичности изготовления и взаимодействий второго порядка.

Решение аналитических зависимостей относительно вакуумметрического давления подтвердило возможность комплектования пульсатором с электромагнитным приводом доильных аппаратов, работающих на вакуумметрическом давлении в диапазоне 38-50 кПа.

Приведены рекомендации по подбору конструкционных размеров основных элементов с учетом технологических особенностей изготовления, минимизации энергопотребления и качества процесса машинного доения коров.

Ключевые слова: электромагнитный пульсатор, конструкционные параметры, клапан, отверстие, индикаторная диаграмма.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В связи с использованием пульсаторов с электромагнитным приводом в составе доильных аппаратов возникает проблема определения обоснованных технологических и конструкционных параметров. Поскольку от характеристик таких пульсаторов зависит возможность проводить адаптивное и экономное доения КРС, то все параметры, влияющие на продолжительность тактов работы доильного аппарата, их соотношение, фазы "а" и "с" индикаторной диаграммы, должны быть подтверждены аналитическими или экспериментальными исследованиями.

Аналитические зависимости, описывающие работу электромагнитного пульсатора необходимо адаптировать к конкретному типу устройства и осуществить подбор его характеристик по результатам моделирования, которые обеспечат необходимые параметры машинного доения коров с использованием данного исполнительного элемента.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

С совершенствованием технологии машинного доения и усилением требований по прохождению процесса доения и качественных параметров молока изменяются подходы к проектированию пульсаторов доильных аппаратов, в качестве основных исполнительных устройств доильной установки [1-4]. Последним действующим стандартом (ДСТУ ISO 5707: 2012. "Установки доильные. Конструкция и технические характеристики") определены требования по отклонениям от номинального вакуумметрического давления, соотношение тактов, продолжительности переходных процессов и тому подобное. Согласно результатам исследований ученых в сфере машинного доения требования и рекомендации по параметрам процесса доения КРС также существенно повысились и обусловлены высокими качественными и количественными показателями отрасли в целом [5, 6]. Проще обеспечить такие требования посредством использования пульсаторов с электромагнитным приводом вместо пневмомембранных. Пульсаторы с электромагнитным управлением значительно различаются между собой по способу использования электромагнитов [7] и наличием или выполнением усилительных элементов отечественного или зарубежного производства [8-11]. Значительное многообразие электромагнитных пульсаторов не всегда подтверждено соответствующими

теоретическими или практическими работами. Приведенная информация не дает оснований для установления обоснованности использования функциональных составляющих и конструктивных особенностей или их сочетание в современных устройствах обеспечения доения на доильных установках в доильных залах [12-14]. При этом некоторые исследования в полной мере описывают отдельные взаимодействия или процессы, проходящие в пульсаторе, и могут быть использованы для дальнейшего развития модели работы устройства в целом [15].

Однако предложенная конструкция пульсатора [16] подтверждена детальными теоретическими исследованиями и полученными аналитическими зависимостями [17-19], которые требуют дальнейшего анализа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Поскольку проблема обоснованного выбора аппаратных составляющих автоматизированных доильных аппаратов не решена, следует провести моделирование на основе известных теоретических зависимостей, в том числе с использованием выражений, по определению временных характеристик [20] для предложенной конструкции пневмоэлектромагнитного пульсатора попарного действия.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассматривая конструктивно-технологические параметры пневмоэлектромагнитного пульсатора [20], следует определить основные из них, которые будут влиять на работу доильного аппарата в целом, в частности на частоту пульсаций вакуумметрического давления, соотношение тактов, продолжительность фаз a , b , c и d индикаторной диаграммы. Для этого целесообразно проанализировать функциональную схему пульсатора (рис. 1.)



Рис. 1. Функциональная модель пульсатора

Fig. 1. Functional pulsator's model

Указанные позиции на функциональной схеме и взаимосвязи между ними указывают на закономерности взаимодействий электромагнитного пульсатора. Так, электромагнит, который используется как повод пульсатора, с параметрами напряжение

питания U и мощность N , создает поднимающую силу для отрыва якоря клапана массой m_{jk} от седла калиброванных отверстий характеризующиеся диаметрами d_{ka} и d_{kb} , длиной h . Управляющая камера имеет объем V_{IV} , а мембрана, которая ее формирует характеризуется диаметром D_m , толщиной δ , а также свойствами материала, из которого изготовлена. Движение мембраны равно движению клапанов диаметрами d_I и d_{III} с общей массой m_k , поскольку центр мембраны с помощью шайб и штока жестко крепится к ним. Последним элементом в модели выступает рабочая камера, непосредственно подсоединяется с помощью выходного штуцера к межстенной камере доильного стакана.

Поэтому важными конструктивными параметрами электромагнитного пульсатора рассматриваемого типа является диаметры калиброванных отверстий, клапанов, мембраны, объемы камер, масса подвижных элементов, а также напряжение питания и мощность электромагнитов.

Согласно проведенным исследованиям [20] при движении клапана вниз время наполнения управляющей камеры равно:

$$\tau_1 = \frac{1}{k_1} \int_{\frac{P_1}{P_a}}^{\frac{P_3}{P_a}} \frac{dz}{\frac{k-1}{k} \sqrt{1-z} \frac{k-z}{k}}, \quad (1)$$

где: k_1 – коэффициент конструктивно-технологических параметров пульсатора; P_1 – вакуумметрическое давление, кПа; P_3 – давление в управляющей камере, кПа; P_a – атмосферное давление; z – соотношение давлений; k – показатель политропы.

А длительность фронта индикаторной диаграммы определяется как:

$$\tau_2 = \frac{1}{k_2} \int_1^{\frac{P_a}{P_1}} \frac{dz}{z \sqrt{z \frac{k-z}{k} - 1}} \quad (2)$$

где: k_2 – коэффициент конструктивно-технологических параметров пульсатора.

Соответственные выражения получены при условии движения клапана вверх. Исходя из зависимостей, описывающих переход пульсатора от такта сжатия в сосание результирующие силы, действующие на подвижную часть пульсатора – мембранно-клапанный блок, в большей степени зависят от значения вакуумметрического давления и диаметра мембраны (рис. 2).

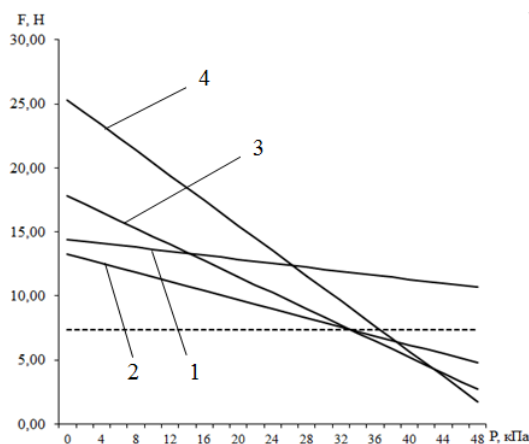


Рис. 2. Зависимость результирующих сил, действующих на мембранно-клапанный блок: --- – силы, действующие на подвижную часть вверх; — – силы, действующие на подвижную часть вниз; 1 – $D_m=10$ мм; 2 – $D_m=15$ мм; 3 – $D_m=20$ мм; 4 – $D_m=25$ мм

Fig. 2. The dependence of the resultant forces acting to membrane valve block: --- – the forces moving components up; — – the forces moving components down; 1 – $D_m=10$ mm; 2 – $D_m=15$ mm; 3 – $D_m=20$ mm; 4 – $D_m=25$ mm

Определено, что использование мембраны диаметром 10 мм и меньше приведет к тому, что пульсатор не будет переходить с такта сжатия к такту сосания при отсутствии питания электромагнитов, а следовательно не будет выполнять своих функций. Увеличение этого параметра до 25 мм и более обеспечит возможность перехода пульсатора при 37 кПа. Это приводит к устойчивой работы устройства и создания оснований использования его в составе низковакуумных доильных установках с вакуумметрическим давлением 38-40 кПа.

При проведении моделирования относительно продолжительности такта сосания t_{cc} на основе выражений (1, 2) определено влияние диаметра калиброванного отверстия для подвода атмосферного давления в управляющую камеру (рис. 3).

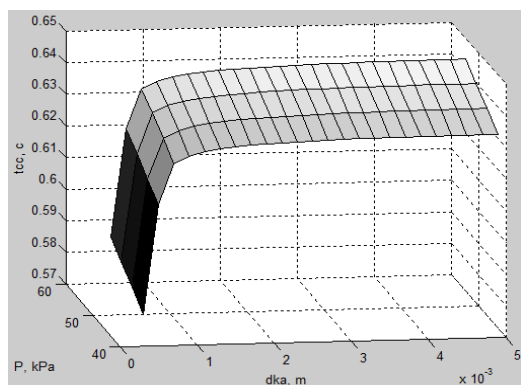


Рис. 3. Зависимость продолжительности такта сосания от вакуумметрического давления P и диаметра калиброванного отверстия d_{ka}

Fig. 3. Depending duration of the cycle sucking from vacuum pressure P and the calibrated whole diameters d_{ka}

Принимая во внимание, что при номинальном значении соотношения такта сосания к сжатию 60:40 и частоте пульсаций 1 Гц продолжительность такта сосания будет приближенной к 0,6 с при диаметре калиброванного отверстия d_{ka} в диапазоне 0,3-0,7 мм. Однако на продолжительность такта сосания также будет влиять значение диаметра калиброванного отверстия для подвода вакуумметрического давления в управляющую камеру d_{kv} (рис. 4).

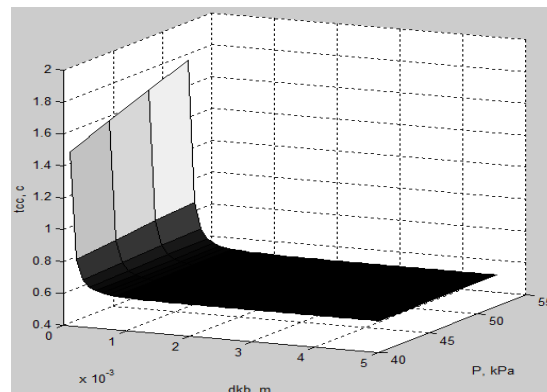


Рис. 4. Зависимость продолжительности такта сосания от вакуумметрического давления P и диаметра калиброванного отверстия d_{kv}

Fig. 4. Depending duration of the cycle sucking from vacuum pressure P and the calibrated hole diameters d_{kv}

Значение диаметра калиброванного отверстия для подвода вакуумметрического давления влияет на потребляемую мощность, поэтому с целью уменьшения этого показателя следует обеспечить минимально возможный диаметр d_{kv} . Исходя из представленной зависимости, полученной путем моделирования выражений [20], при диаметре d_{kv} менее 0,3 мм резко возрастает продолжительность такта сосания. Поэтому нижняя граница значения этого конструкционного размера ограничена требованиями по длительности такта сосания. С целью минимизации потребляемой мощности в таком случае отверстие следует выполнить диаметром 0,3-0,4 мм, таким образом в некоторой степени компенсируя увеличение продолжительности такта сжатия от использования диаметра отверстия d_{ka} более 0,7 мм.

Моделируя аналитические выражения, описывающие работу пневмоэлектромагнитного пульсатора [16, 20], установлено, что индикаторная диаграмма работы доильного аппарата значительно зависит от верхнего и нижнего клапана. Эти клапаны предназначены для открытия или закрытия каналов, непосредственно соединяют камеру переменного вакуумметрического давления (рабочую камеру) с камерой атмосферного или вакуумметрического давления. Рабочая камера с помощью выходных патрубков соединена с межстенными камерами доильных стаканов. Таким образом, площадь кольцевых зазоров, возникающих при перемещении клапанов, влияет на характер частей индикаторной диаграммы, обозначены как фаза "а" и "с". При моделировании учтено, что длительности этих фаз отличаются

от длительности фронта и спада, которые часто описываются в публикациях. Согласно полученным результатам влияние диаметра верхнего клапана на продолжительность фазы "а" имеет экспоненциальный характер. При этом изменение вакуумметрического давления в диапазоне 40-52 кПа не вносит значительных воздействий, и приводит к незначительному линейному росту продолжительности фазы (рис. 5).

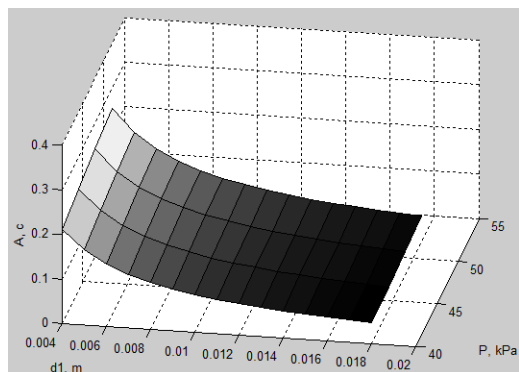


Рис. 5. Зависимость продолжительности фазы "а" индикаторной диаграммы работы пульсатора от вакуумметрического давления P и диаметра нижнего клапана d_l

Fig. 5. Depending durations "a" phase of the milking unit functioning from vacuum pressure P and the diameter upper valve d_l

Исходя из результатов исследований, в которых утверждается, что продолжительность фазы "а" индикаторной диаграммы существенно не влияет на качество доения [21], рекомендуется увеличить диаметр клапана d_l . Это обеспечит увеличение подъемной силы, действующей на мембранно-клапанный блок во время такта сжатия. В результате этого уменьшится влияние веса блока, а следовательно совместится момент перехода пульсатора с одного такта в другой к средним значениям вакуумметрического давления. Поэтому обоснованным диаметром верхнего клапана является 10-20 мм.

Установлено многочисленными исследованиями, больше всего влияет на бережливость доения и физическое состояние животного продолжительность фазы "с" индикаторной диаграммы работы пульсатора, то есть продолжительность наполнения воздухом меж стенных камер доильных стакане. Проанализируем характер изменения продолжительности спада вакуумметрического импульса в зависимости от вакуумметрического давления в вакуумной системе доильной установки и диаметра нижнего клапана (рис. 6).

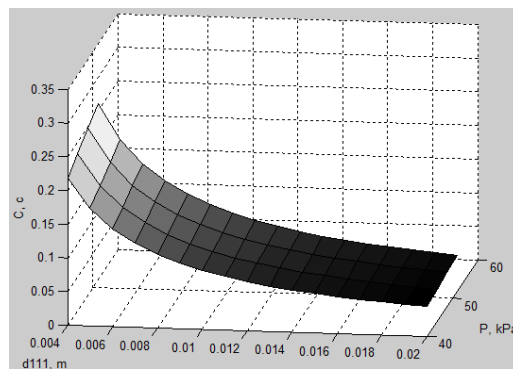


Рис. 6. Зависимость продолжительности фазы "а" индикаторной диаграммы работы пульсатора от вакуумметрического давления P и диаметра нижнего клапана d_{111}

Fig. 6. Depending durations "a" phase of the milking unit functioning from vacuum pressure P and the diameter lower valve d_{111}

Как видно, изменение длительности фазы имеет аналогичный характер, как и предыдущая зависимость, однако технологическая простота изготовления обоих клапанов и отверстий одинаковым диаметром противоречит рекомендациям по продолжительности спада импульса вакуумметрического давления. Согласно работ исследователей и анализа функционирования доильных стаканов продолжительность фазы "с" должна быть увеличена с целью устранения явления "удар" по соску вымени коровы при переходе доильного аппарата с такта сосания к такту сжатия. При диаметре клапана в диапазоне от 10 мм до 20 мм продолжительность смыкания сосковой резины составит менее 0,1 с. Такое значение не рекомендуется использовать, поэтому диаметр следует уменьшить до значений 4-10 мм.

Продолжительность такта сжатия не требует детального анализа с помощью математического аппарата, поскольку при использовании пульсаторов с электромагнитным приводом длительность цикла пульсаций T_c является величиной обратной, к частоте. При этом частота пульсаций задается программно центральным блоком или схемой управления и является неизменной величиной.

ВЫВОДЫ

Анализируя аналитические зависимости, установили, что для обеспечения незначительного энергопотребления, соблюдение требований и рекомендаций о характере индикаторной диаграммы работы доильного аппарата нужно определить несколько основных конструктивных параметров пульсатора. Диаметр мембраны должен составить более 25 мм, диаметр калиброванного отверстия для подвода атмосферного давления в управляющую камеру - 0,3-0,7 мм и более, диаметр отверстия подвода вакуумметрического давления - 0,3-0,4 мм. Верхний и нижний клапаны должны быть диаметрами 10-20 мм и 4-10 мм соответственно. Все размеры должны быть дополнительно уточнены с учетом технологичности изготовления и взаимодействий второго порядка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Reinemann D.J., Mein G.A., Johnson M.J. 2003.** Milking Machine Research: Past, Present and Future. University of Wisconsin Milking Research and Instruction lab, Madison, WI Paper Presented at the 42-nd annual meeting of the National Mastitis Council, Fort Worth Texas, USA, January 26-29. 10-14.
2. **Сиротюк В.Н., Баранович С.Н. 2003.** Современные тенденции разработки пульсаторов доильных аппаратов. Вестник Львовского державного аграрного университета: Агроінженерні дослідження. № 8. 177–186. (Украина).
3. **Radu Roşca, Victor Vâlcu, Petru Cârlescu. 2010.** Evaluation of the milking machine pulsator characteristics by the means of a computer controlled system. Bulletin UASVM agriculture. Vol. 67(2). 387-394.
4. **Naumenko Alexander, Uzhyk Vladimir, Chygryn Aleksey. 2011.** Determination of constructive – regime parameters of a pulsator for a milking machine / Naumenko Alexander. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, №13. 244–248.
5. **Карташов Л.П. 2004.** О стратегии эффективной эксплуатации биотехнических систем и создания адаптивной техники. Техника в сельском хозяйстве. № 5. 35–36.
6. **Ужик В.Ф., Чигрин О.А. 2005.** Обоснование требований к процессу машинного доения. Усовершенствование технологий и оборудования производства продукции: Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенка. Харьков, Вып. 42. 176-180. (Украина).
7. **Лаврик Ю. 2013.** Анализ электромагнитных систем электронных пульсаторов доильных аппаратов. Вестник Львовского национального аграрного университета: Агроінженерні дослідження. № 17. 171-175. (Украина).
8. **Дмитриев В.Т., Лаврик Ю.Н. 2010.** Сравнительная оценка конструктивно-технологических параметров пульсаторов доильных аппаратов. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Глєваха, № 84. 147-150. (Украина).
9. **Продукты для доения. Пульсация.** Available online at: <<http://www.delaval.ru/-/Product-Information1/Milking/Products/?psg=596>>.
10. **GEA Farm Technologies, building blocks of milking, pulsators.** Available online at: <http://www.westfalia.com/hq/en/bu/milking_cooling/buibuild_blocks_of_milking/pulsation/pulsator/default.aspx>.
11. **Pulsation. Electronic Pulsators LE30 & LP30.** Available online at: <<http://www.interpuls.com/products/pulsation/electronic-pulsators-le30--lp30.html>>.
12. **Самосюк В.Г. 2012.** Развитие основных научных направлений обеспечения новейших технологий производства молока. Материалы XVI Международного симпозиума по машинному доению сельскохозяйственных животных, Минск – Гомель. 7-18.
13. **Ужик В.Ф., Ужик О.В., Науменко А.А. 2008.** Теория и расчет машин для животноводства : учебное пособие. Белгород: ФГОУ ВПО «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия». 213.
14. **Сиротюк В.Н., Кондур С.М. 2001.** Методика расчета основных параметров электромагнитного пульсатора и регулятора вакуумметрического давления. Вестник Львовского державного аграрного университета: Агро-інженерні дослідження. №5. 203-207. (Украина).
15. **Дмитрий Василий, Дмитрий Игорь. 2013.** Моделирование времени истечения воздуха из ограниченного пространства. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, Vol.15. No.4. 193-197.
16. **Дмитрий В.Т., Лаврик Ю.М., Дмитриев И.В., Банга В.И. 2010.** Пат. № 89416 Украина, МПК А01J5/14. Электромагнитный пульсатор попарного действия. № а200801847 ; заявл. 12.02.08 ; опубл. 25.01.10, Бюл. № 2. 4. (Украина).
17. **Дмитрий В.Т., Лаврик Ю.М. 2008.** Электродинамическая модель электромагнитного пульсатора. Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведом. темат. науч. зб. Глєваха, № 92. 363-371. (Украина).
18. **Дмитрий В.Т., Лаврик Ю.М. 2013.** Исследования энергетических параметров пневмоэлектромагнитного пульсатора попарного действия. Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенка. Технические системы и технологии в животноводстве. Харьков, № 132. 391-395. (Украина).
19. **Дмитрий В.Т. 2006.** Модель энергосберегающего электромагнитного пульсатора. Новые направления развития технологий и технических средств в молочном животноводстве: материалы 13-го Международного симпозиума по вопросам машинного доения сельскохозяйственных животных. Гомель, Республика Беларусь. 157-160.
20. **Lavryk Yu.M., Nishchenko I.O. 2014.** Analytical description of the functioning of electromagnetic pulser of pairwise action. Econtechmod: an International quarterly journal on economics in technology new technologies and modeling processes. Vol. 3, № 4. 17-22.
21. **David E. Gleeson, J. O'Callaghan Edmond, V. Rath Myles. 2004.** Effect of liner design, pulsator setting, and vacuum level on bovine teat tissue changes and milking characteristics as measured by ultrasonography. Vol.57. 289-296.

THE RESULTS ANALYTICAL MODELS OF ELECTROMAGNETIC PULSER OF PAIRWISE ACTION

Summary. The analysis of the main results simulation using the proposed analytical dependencies characterizing work the electromagnetic pulser of pairwise action. The basic technological and design characteristics pulser which enable provision of milking apparatus according to the regulation of the cycles and phases of pulser indicative diagram milking cow. The simulation results revealed that the diameter membrane pulser should be greater than 25 mm. Considered depending duration of cycles of sucking calibrated hole diameters to supply vacuum and atmospheric pressure in a control chamber. The recommendations choice of structural elements parameters of the electromagnetic pulser. Found impact the top and bottom valves on the indicative diagram. Particular paid attention to the transition process, phases "a" and "c" of the indicator chart pulser work.

Grounded valve sizes in order to provide the phase relationship requirements.

The diameter of the calibrated holes for supplying the atmospheric pressure in the control chamber must be more 0.3-0.7 mm, diameter vacuum pressure supply hole - 0.3-0.4 mm. The upper and lower valves must be 10-20 mm and 4-10 mm, respectively. All dimensions must be further refined in view of manufacturability and second order interactions. Analytical solution dependencies regarding vacuum pressure confirmed the possibility of completing the proposed pulsers with electromagnetic actuator in milking unit running by vacuum pressure within 38-50 kPa.

Recommendations regarding the selection of major design sizes important elements in view of the technological features of production, minimize energy consumption and quality of the machine milking cows.

Key word: electromagnetic pulser, design parameters, valve, membrane, hole, indicative diagram.

МЕХАНИЧЕСКИЕ, МИКРОСТРУКТУРНЫЕ И ФРАКТОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛА ПОВРЕЖДЁННЫХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Павло Гладыш¹, Анатолий Кондырь²

¹*Львовский национальный аграрный университет*

Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: gladysh@bigmir.net

²*Национальный университет «Львовская политехника»*

Ул. С. Бандэры, 12, Львов, Украина. E-mail: anatol.kondyr@gmail.com

Pavlo Gladys¹, Anatoliy Kondyr²

¹*Lviv National Agrarian University*

St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: gladysh@bigmir.net

²*Lviv Polytechnic National University*

St. Stepan Bandera, 12, Lviv, Ukraine. E-mail: anatol.kondyr@gmail.com

Аннотация. Вопросам безопасной эксплуатации теплоэнергетического оборудования, его экономичности, а также продолжительной безаварийной работы, принимая во внимание экономию энергоресурсов, придается первостепенное значение.

В условиях возрастающей себестоимости средне- и высоколегированных сталей – материала для заготовок рабочих лопаток паровых турбин – длительная безаварийная их работа является приоритетным вопросом.

В работе представлены результаты лабораторных исследований металла повреждённых рабочих лопаток паровой турбины, изготовленных из стали марки 15X11МФ-Ш, такие как:

- стандартные механические исследования образцов на статический разрыв, с определением характеристик прочности и пластичности;
- определение величин ударной вязкости образцов путём испытаний на динамический изгиб;
- металлографические исследования образцов повреждённых рабочих лопаток с помощью оптического металлографического микроскопа;
- фрактографические исследования поверхности изломов повреждённых рабочих лопаток.

Показано, что стандартные механические характеристики – прочность (σ_b , $\sigma_{0.2}$), пластичность (δ , ψ), а также ударная вязкость (КСВ), предусмотренные стандартами и нормативными документами (НД), показали слабую чувствительность к деградации микроструктуры и её несоответствия требованиям НД.

Напротив, результаты металлографических и особенно микрофрактографических исследований с помощью современных электронных микроскопов, позволяют выявить несоответствия в структурном состоянии изделия, очаги микроповреждений и соответственно очаги разрушений, что в конечном итоге разрешает удовлетворительно выполнить задачу длительной безаварийной эксплуатации ответственных элементов теплоэнергетического оборудования.

Для определения возможных причин, нарушений в технологии производства и обработки металла заготовок рабочих лопаток паровых турбин, предложено применять локальный анализ включений и

фаз в микроструктуре металла с помощью электронного сканирующего микроскопа.

Ключевые слова: тепловая электростанция (ТЭС), жаропрочные стали, деградация микроструктуры, механические свойства, остаточный ресурс.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Длительную и безаварийную эксплуатацию паровых турбин – одного из основных элементов теплоэнергетического оборудования ТЭС, связывают в первую очередь с вопросами надёжности металла рабочих лопаток, дисков, бандажных креплений и т.п. [1].

Проблему надёжной эксплуатации рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин, кроме влияния повышенных температур и значительных циклических нагрузок на протяжении длительного времени, связывают также с агрессивным влиянием рабочей среды – влажного пара [2].

Применение нержавеющей сталей ферритного класса для изготовления рабочих лопаток последних ступеней турбин удовлетворительно решило задачу сопротивления коррозионным повреждениям, а нанесение износостойких покрытий на поверхность выходных кромок лопаток значительно уменьшил их коррозионно-эрозионный износ [3].

В последние годы обозначена тенденция использования сталей мартенситного класса для изготовления рабочих лопаток паровых турбин, что вместе с некоторой экономией дорогостоящих легирующих элементов повышает также ряд механических и эксплуатационных характеристик [3]. Рабочие лопатки, изготовленные из таких сталей, должны безаварийно и надёжно эксплуатироваться на протяжении значительного гарантированного срока. Разрушение же таких лопаток после сравнительно непродолжительного срока эксплуатации может быть связано как с нарушениями технологического процесса их изготовления, так и повреждениями во время ремонта, эксплуатации и т.п.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам, связанным с длительной эксплуатацией лопаточного аппарата паровых турбин уделя-

ется достаточно много внимания. Так, в работах [4, 5] исследовали вопрос статической трещиностойкости металла лопаток, изготовленных из стали мартенситного класса 20X13, как в исходном состоянии, так и после длительной эксплуатации $\sim 3 \cdot 10^5$ ч.

Исследованиями разнообразных повреждений лопаточного аппарата, вследствие эрозийного и коррозионного процессов, а также электроэрозии [6, 7], были предложены ряд профилактических мер, в том числе: разработка эффективных методов и установка приборов контроля наличия нерастворимых примесей в паре; повсеместная замена комплексов виброизмерительной аппаратуры; ужесточение норм оценки качества турбинного масла и многих др.

Также интересны работы [8, 9, 10], по исследованию усталостных повреждений как роторов паровых турбин в целом, так и лопаточного аппарата.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Сталь марки 15X11МФ-Ш является жаропрочной коррозионностойкой сталью мартенситного класса, из которой изготавливают рабочие лопатки паровых турбин. Характеристики жаропрочности, удовлетворительная коррозионная стойкость, в сочетании с высокими прочностными характеристиками, должны обеспечить длительную безаварийную эксплуатацию лопаточного аппарата.

Целью работы является исследование разрушенных лопаток турбины из стали 15X11МФ-Ш после наработки 7800 ч., установление соответствия обследуемого металла требованиям нормативной документации (НД), а также выявление возможных причин повреждения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Исследования металла повреждённых рабочих лопаток паровой турбины, после наработки 7800 ч., изготовленных из стали 15X11МФ-Ш проводили в несколько этапов.

Для определения стандартных механических характеристик металла образцы испытывали на статическое растяжение при комнатной температуре, согласно требованиям НД [11]. Были изготовлены образцы плоские, продольные, без головки типа П. Образцы испытывали на разрывной машине Р-10.

Испытания при комнатной температуре на ударный (динамический) изгиб проводили на маятниковом копре КМ-0,3. Ударную вязкость (KCV) определяли согласно требованиям [12] на образцах сечением 10×5 мм, тип 13.

Твердость металла лопаток по методике [13] измеряли на образцах для металлографических исследований с помощью стационарного твердомера ТШ-2М (диаметр шарика индентора – 5,0 мм и 2,5 мм).

Для металлографического анализа изготавливали поперечные образцы по всему сечению повреждённых лопаток с последующим исследованием структуры всей поверхности. Микроструктуру изучали с помощью микроскопа МЕТ-4Т ULAB на шлифах:

- нетравленных, при увеличении $\times 100$, для определения балла и характера неметаллических включений, согласно требований [14];

- после травления смесью кислот (65-% масс.) $\text{HNO}_3 + (35\text{-}\% \text{ масс.}) \text{HCl}$, при увеличении от $\times 500$ до $\times 800$ с целью установления строения структурных составляющих, согласно методике [15].

Фрактографический анализ поверхности изломов образцов рабочих лопаток для выявления особенностей строения поверхности изломов образцов, микро-механизма разрушения – осуществляли на сканирующем электронном микроскопе Zeiss-EVO 40XVP при увеличении от $\times 150$ до $\times 1000$ по методике, описанной в работе [16]. Образцы из повреждённых рабочих лопаток предварительно были отрезаны и очищены. Микрофрактографические исследования проводили на всей поверхности излома с цифровой фотофиксацией полученных результатов.

В ходе испытаний образцов на разрыв при комнатной температуре установлено:

- значения прочностных характеристик образцов находятся в пределах для $\sigma_b = 780 \dots 820$ МПа, а $\sigma_{0,2} = 650 \dots 670$ МПа, и в целом удовлетворяют требованиям НД [17] – не ниже 750 МПа для предела прочности и 600...770 МПа для предела текучести, соответственно;

- значения характеристик пластичности образцов находятся в пределах $\delta = 14 \dots 15 \%$, $\psi = 65 \dots 67 \%$ и в целом удовлетворяют требованиям НД [17], однако находятся на нижней границе требований.

Испытаниями образцов на ударный изгиб при комнатной температуре и измерениями твердости установлено:

- величина KCV находится в пределах $57,5 \dots 58$ Дж/см², что несколько ниже требований, предусмотренных НД [17], однако полученные характеристики находятся вблизи границ требований (не ниже 59 Дж/см²);

- значения твердости – 249...255 НВ исследуемых лопаток в целом удовлетворяют требованиям НД [17], находясь несколько ниже верхнего предела.

Анализом результатов всего комплекса механических свойств как по статическим так и динамическим критериям, выявлено низкий запас пластичности и конструкционной прочности металла лопаток – величина соотношения $\sigma_{0,2} / \sigma_b$ составляет $0,84 \dots 0,87$, тогда как не должно превышать 0,8 для легированных сталей [18, 19]. Учитывая незначительную наработку металла повреждённых лопаток, что практически исключает какую-либо существенную динамику изменения физико-механических и структурных свойств под влиянием значительных циклических и температурных напряжений, с большой долей вероятности констатируем закладку такой низкой пластичности ещё на этапе производства.

Анализ поверхности нетравленных шлифов выявил множественные неметаллические включения, расположенные хаотично и на всей толщине исследуемого металла (рис. 1).

В этой связи следует отметить, что используемый металл марки «Ш», как заготовка турбинных лопаток, является особо высококачественной сталью, выплавленной электрошлаковым переплавом с гарантированным содержанием таких вредных при-

месей как сера и фосфор, не превышающим 0,015 %. Наличие же большого количества включений может свидетельствовать либо о нарушении технологии выплавки по содержанию серы и фосфора, либо о сегрегации этих элементов в локальных объемах изделия вследствие нарушения режимов термической обработки [20].

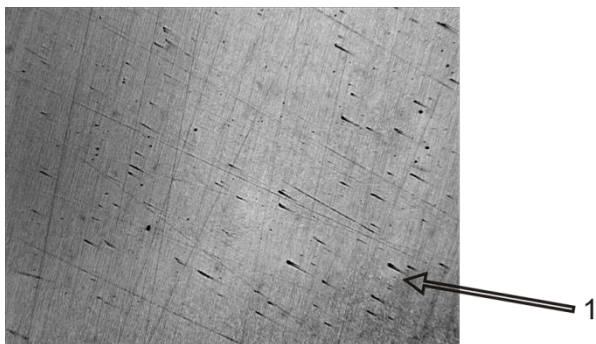


Рис. 1. Неметаллические включения на поверхности образца из лопатки № 59, $\times 100$: 1 – скопления неметаллических включений

Fig. 1. Non-metallic inclusions on the sample surface of the blade number 59, $\times 100$: 1 – conglomeration of non-metallic inclusions

Металлографические исследования образцов повреждённых рабочих лопаток выявили микроструктуру мартенсита отпуска (рис. 2), а при детальном анализе (рис. 3) – структуру мартенсита отпуска, бейнита, троостита и многочисленных карбидов по границам зёрен.

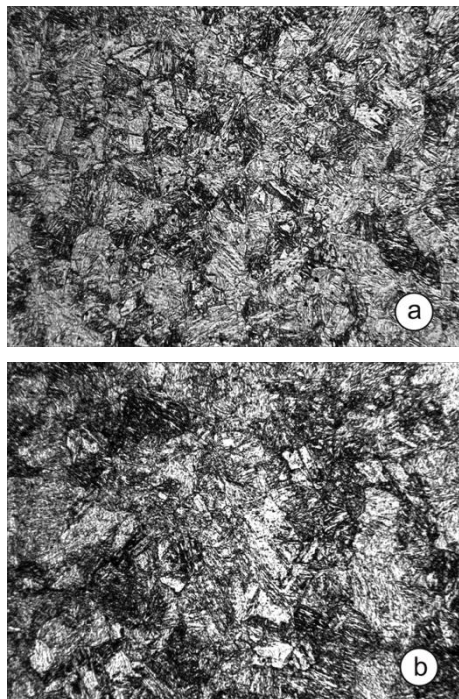


Рис. 2. Микроструктура стали 15X11МФ-Ш лопаток № 59 (a) и № 91 (b), $\times 100$

Fig. 2. Microstructure of steel 15Kh11MF-Sh blades number 59 (a) and 91 (b), $\times 100$

Рекомендуемые режимы термической обработки [21] – закалка от 1030...1060 °C и охлаждение в масле с последующим отпускком при 700...740 °C и

охлаждением в масле, должны обеспечить исходную троостито-сорбитную микроструктуру матрицы. Содержание же таких легирующих элементов как хром (10,0-11,5%), молибден (0,8-0,8%) должны обеспечить надлежащую жаропрочность, благодаря упрочнению матрицы и формированию карбидов типа $M_{23}C_6$, M_6C и др. Также, совместное легирование такими элементами, как ванадий – создаёт дополнительное упрочнение твердого раствора и затрудняет коагуляцию карбидов, что соответственно повышает показатели жаропрочности.

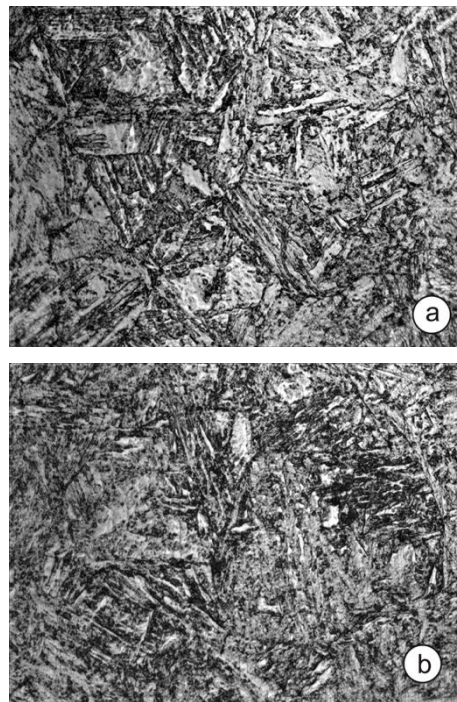


Рис. 3. Микроструктура стали 15X11МФ-Ш лопаток № 59 (a) и № 91 (b) $\times 500$

Fig. 3. Microstructure of steel 15Kh11MF-Sh blades number 59 (a) and 91 (b), $\times 500$

Обозначенный комплекс технологических приёмов на стадии металлургического производства (электрошлакового переплава) и легирования, а также последующей термической обработки заготовок, должен был бы обеспечить высокую жаропрочность, удовлетворительную коррозионную стойкость совместно с надлежащими характеристиками пластичности и вязкости металла.

Анализ данных электронной микрофрактографии образцов в зоне разрушения позволил выявить:

- морфологию выделений на поверхности излома;
- влияния структуры на процесс разрушения;
- ориентировочную величину неметаллических включений.

По результатам микрофрактографического анализа поверхности изломов образцов разрушенных рабочих лопаток выявлены участки откольного микрорельефа в виде плоских фасеток, соизмеримых с размерами зёрен, а также вторичные микротрещины, образовавшиеся на межфазной границе матрица – неметаллическое включение (рис. 4).

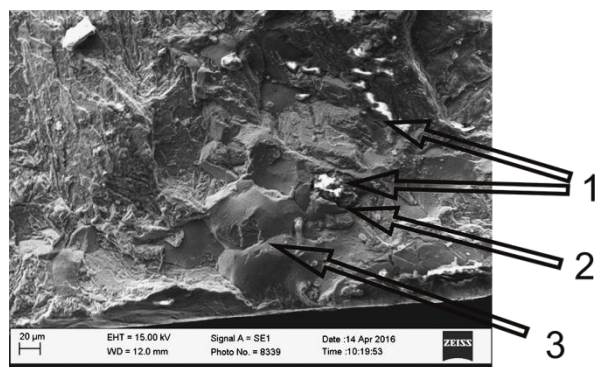


Рис. 4. Область межзёрного разрушения и неметаллические включения в подповерхностной зоне лопатки № 59, $\times 250$: 1 – неметаллические включения; 2 – вторичные микротрещины вокруг включений; 3 – участки откольного микрорельефа

Fig. 4. Area intergrain destruction and non-metallic inclusions on the subsurface area of the blade number 59, $\times 250$: 1 – non-metallic inclusions; 2 – secondary micro-cracks around of the inclusions; 3 – sites of spall microlay

Как видно из рис. 4, откольные фасетки расположены хаотично, а реализация межзёрного микро-механизма разрушения вероятно связана с зернограницными неметаллическими включениями (рис.4, 1).

Известно, что межзёрное (межкристаллитное) разрушение в целом является низкоэнергетическим [22], а его характерный признак – это наличие гладких участков на поверхности разрушения, когда трещина распространяется вдоль границ зёрен (рис.4, 3).

Следовательно, в условиях циклической нагрузки такое хрупкое межкристаллитное разрушение [23] могло возникнуть из-за охрупчивания границ зёрен частицами вторичной фазы – неметаллических включений, которые выделяются как по всей толщине образцов, так и в подповерхностной зоне лопаток (рис. 5).

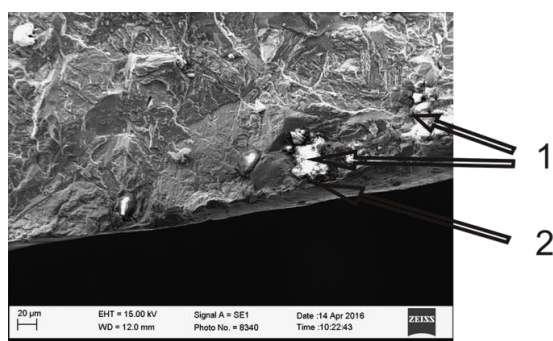


Рис. 5. Область зарождения микротрещины с концентратором в виде неметаллических включений в подповерхностном слое лопатки № 91, $\times 500$: 1 – неметаллические включения; 2 – вторичные микротрещины вокруг включений

Fig. 5. Area intergrain destruction and non-metallic inclusions in the subsurface site of the blade number 59, $\times 500$: 1 – non-metallic inclusions; 2 – secondary micro-cracks around of the inclusions

Следует отметить, что переходу к межкристаллитному хрупкому разрушению также может способствовать химически активная среда [24] (т.е. влажный пар), действие которого в подповерхностной зоне вызывает окисление границ зёрен и межфазных границ матрица – неметаллическое включение.

Для идентификации выявленных включений, изучения их морфологии и состава был проведен локальный химический анализ (рис.6, рис. 7).

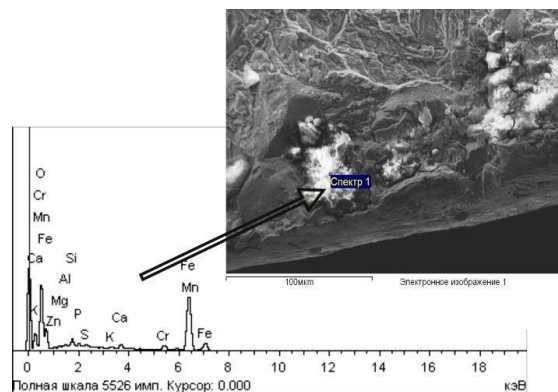


Рис. 6. Химический состав неметаллического включения в подповерхностном слое лопатки № 59

Fig. 6. The chemical composition of the non-metallic inclusion in the subsurface layer of the blade number 59

По результатам локального химического анализа зернограницных включений, обнаруженных с помощью электронного фактографического анализа поверхности изломов лопаток (рис. 4, рис. 5) установлено, что кроме железа и углерода, здесь присутствует значительное содержание таких элементов, как O, Si, S, P и Cr в различных количествах (рис. 6, рис. 7).

Анализируя результаты локального химического анализа неметаллических включений, изображенных на гистограммах распределения неметаллических включений (рис. 6, рис. 7), а также данные табл. 1, можно сделать выводы о преобладающем влиянии содержания кислорода, серы, фосфора и кремния в выявленных включениях.

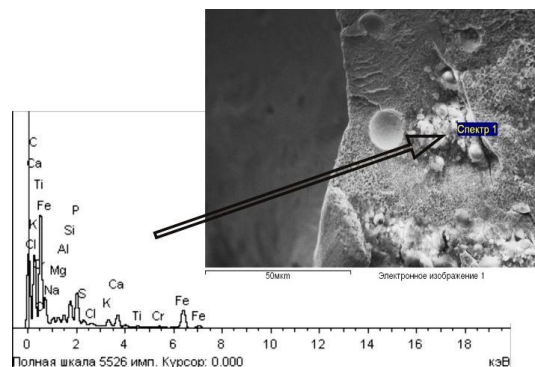


Рис. 7. Химический состав неметаллического включения в подповерхностном слое лопатки № 91

Fig. 7. The chemical composition of the non-metallic inclusion in the subsurface layer of the blade number 91

Таблица 1. Химический состав неметаллических включений на поверхности изломов лопаток.**Table 1.** Chemical composition of inclusions on the fracture surface of blades.

№ пробы (рис.)	Химический элемент	Состав	
		Весовой, %	Атомный, %
6	O	20.94	46.58
	Mg	0.52	0.76
	Al	0.60	0.80
	Si	1.62	2.06
	P	0.91	1.04
	S	0.44	0.49
	K	0.51	0.46
	Ca	1.38	1.22
	Cr	2.75	1.88
	Mn	0.65	0.42
	Fe	68.22	43.48
	Zn	1.47	0.80
7	C	37.92	51.46
	O	38.07	38.79
	Na	0.77	0.54
	Mg	0.63	0.42
	Al	0.75	0.45
	Si	2.05	1.19
	P	3.46	1.82
	S	0.49	0.25
	Cl	0.20	0.09
	K	1.12	0.47
	Ca	2.10	0.85
	Ti	0.23	0.08
	Cr	0.53	0.17
	Fe	11.70	3.41

Известно [25], что наличие фосфора, серы в сочетании с кислородом вызывает образование хрупких неметаллических включений, которые являются очагом зарождения трещины и причиной микрорастривания.

Таким образом, на основании микрофрактографического и локального химического анализов можно сделать вывод, что хрупкие неметаллические включения, выявленные по всему сечению образцов исследуемых рабочих лопаток, а также, в первую очередь, расположенные в подповерхностной зоне лопаток, служили структурными концентраторами напряжений и вызвали межзёрненное хрупкое разрушение в условиях действия значительных циклических нагрузок и наличия агрессивной среды – влажного пара.

ВЫВОДЫ

Металл повреждённых рабочих лопаток, изготовленных из стали 15X11МФ-Ш, в следствии нарушений технологических требований на стадии металлургического производства заготовок, а также последующей термической обработки, претерпел ряд физико-механических и структурных изменений.

1. В результате статических и динамических механических испытаний, выявлен низкий запас

конструкционной прочности металла образцов – величина соотношения $\sigma_{0,2} / \sigma_B$ составляет 0,84...0,87, тогда как не должна превышать 0,8 для легированных сталей, что объясняется закладкой такого низкого показателя ещё на этапе производства.

2. Металлографическими исследованиями установлено следующее:

- на поверхности образцов хаотично и по всей толщине лопаток расположены множественные неметаллические включения;

- в повреждённых рабочих лопатках обнаружены мартенсит отпуска, бейнит, троостит и многочисленные карбиды по границам зёрен, что не соответствует требуемой структуре после рекомендуемой термической обработки – закалки и высокого отпуска.

3. В изломах разрушенных рабочих лопаток обнаружены участки откольного микрорельефа в виде плоских фасеток, соизмеримых с размерами зёрен, а также вторичные микротрещины, образовавшиеся вследствие межкристаллитного разрушения по меж-фазной границе матрица – неметаллическое включение.

4. Локальный химический анализ неметаллических включений показал преимущественное наличие кислорода, серы, фосфора и кремния в них.

5. Показано, что хрупкие неметаллические включения, которые наблюдаются по всему сечению повреждённых рабочих лопаток паровой турбины, и располагаются в подповерхностной зоне изделий, служили структурными концентраторами напряжений и вызвали межкристаллитное хрупкое разрушение в результате совместного действия циклических нагрузок и агрессивной среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугай Н.В., Березина Т.Г., Трунин И.И. 1994. Работоспособность и долговечность металла энергетического оборудования. М.: Энергоатомиздат, 38–39.
2. Шубенко А.Л., Голощанов В.Н., Стрельников И.С., Решитько И.В. 2014. Влияние крупнодисперсной влаги на рабочие процессы влажнопаровых ступеней турбин. / Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. № 11 (130), 28–39.
3. Хромченко Ф.А., Комаров В.А., Карев А.Н., Должанский П.Р. 1999. Технология ремонта рабочих лопаток паровых турбин. / Сварочное производство, № 4., 37–49.
4. Ткачук Ю.М., Студент О.З. 2009. Проблемы теплоэнергетики Украины: анализ причин повреждений элементов паровых турбин. М.сб "Научные заметки". Выпуск №26, 329–334. (Украина).
5. Tkachuk Yu., Rózsahégyi P., Beleznaï R., Student O. 2011. Fracture toughness of steam turbine blades. Вестник ТНТУ. Спецвыпуск, ч. 1. Механика и материаловедение, 106–114. (Украина).

6. Поздышев А.А., Рабенко В.С., Мошкарин А.В. 2004. Особенности повреждений стареющего парка паровых турбин. Энергосбережение и водоподготовка. РП ЦЭТН – ИГЭУ, № 4 (31), 4–12.
7. Шубенко А.Л., Ковальский А.Э., Воробьев Ю.С., Картмазов Г.Н., Романенко В.Н. 2009. Влияние эрозии на основные эксплуатационные характеристики рабочей лопатки последней ступени ЦНД мощной паровой турбины. Проблемы машиностроения, №4, 7 – 16.
8. Бояршинов А.Ю. 2016. Усовершенствование конструкции рабочих лопаток последних ступеней паровых турбин с целью улучшения их эксплуатационных характеристик. Автореф. дис. канд. техн. наук. Харьков, 21. (Украина).
9. Бовсуновский А.П., Черноусенко О.Ю., Штефан Е.В., Башта Д.А. 2010. Усталостные повреждения и разрушения роторов паровых турбин в результате крутильных колебаний. Проблемы прочно-сти. Харьков, 144 – 151.
10. Воробьев Ю.С. Чугай М.А. Романенко В.Н. 2011. Особенности колебаний лопаток турбомашин и компрессоров с повреждениями. Вибрации в технике. II. Машиностроение и материалообработка. № 3 (63). Киев, 39 – 44. (Украина).
11. ГОСТ 1497-84(ИСО 6892-84). 2008. Металлы. Методы испытаний на растяжения. М.: Изд-во стандартов, 24.
12. ГОСТ 9454-78 (СТ СЭВ 472-77, СТ-СЭВ 473-77). 1990. Металлы. Методы испытаний на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах. М.: Изд-во стандартов, 15.
13. ГОСТ 9012-59 (СТ СЭВ 468-88, ИСО 6506-81, ИСО 410-82). 1988. Металлы. Методы испытания твердости по Бринеллю. М.: Изд-во стандартов, 45.
14. ГОСТ 1778-70 (ИСО 4967—79). 1990. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений. М.: Изд-во стандартов, 34.
15. СОУ-Н ЕЕ 20.321: 2009. Металлографические методы исследования элементов теплоэнергетического оборудования. Положение. ОЭП «ГРИФРЕ». Киев, 67. (Украина).
16. Остап О.П., Вольдемаров О.В., Гладыш П.В. 2012. Циклическая трещиностойкость сталей длительно эксплуатируемых гибов паропроводов. Физ.-хим. механика материалов, 14-24. (Украина).
17. ГОСТ 18968-73. 1990. Прутки и полосы из коррозионно-стойкой и жаропрочной стали для лопаток паровых турбин. М.: Изд-во стандартов, 15.
18. Кругасова Е.И. 1981. Надёжность металла энергетического оборудования. М.: Энергоиздат, 236.
19. СОУ-Н МПЕ 40.1.17.401:2004. 2005. Контроль металла и продление срока эксплуатации основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. Типовая инструкция – К.: ОЭП «ГРИФРЕ», 75. (Украина).
20. Христина Васылив, Василий Вынар, Надежда Рацька, Петр Панасюк. 2013. Влияние температуры окисления на микромеханические и трибологические свойства сплава системы Nb-Ti-Al. / MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 15. No 4., 186-192.
21. ГОСТ 5949-75. 1977. Сталь сортовая и калиброванная коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 27.
22. Ostash O.P. 2006. New Approaches in fatigue fracture mechanics. / Materials Science. 42, № 1, 5–19.
23. Николай Когут, Руслан Гуменюк. 2014. Влияние технологических факторов на изменения трещиностойкости термонапряженной арматуры. / MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Vol.16. No.4. 189-192.
24. Мелехов Р.К., Похмурский В.И. 2003. Конструкционные материалы энергетического оборудования. Свойства, деградация. К.: Науч. мысль, 373. (Украина).
25. Гольдшмидт Х. Дж. 1971. Сплавы внедрения. Т1 и Т2. М.: Мир, 424 и 404.

MECHANICAL, MICROSTRUCTURAL AND FRACTOMETRICAL RESEARCHES OF METAL DAMAGED STEAM TURBINE BLADES

Summary. Safe operation of thermal power equipment, its cost-effectiveness, as well as long-term trouble-free operation, in terms of energy savings and absolute operating safety, give priority.

From the point of view increasing the cost of medium- and high-alloy steels, the materials for the blanks of steam turbines rotor blades long trouble-free operation is a priority issue.

The experimental results on damaged rotor blades for steam turbines from steel 15Kh11MF-Sh are presented:

- mechanical testing of samples on a static gap with definition of the characteristics of strength and ductility;
- dynamic impact strength;
- microscopic examination of damaged rotor blades;
- fractographic studies of damaged rotor blades.

It is shown that standard mechanical properties as strength (R_m , $\sigma_{0.2}$), ductility (δ , ψ), and toughness (KCV), which has been provided by means of standard and regulatory documents (RD), showed weak sensitivity to microstructure degradation and its non-compliance requirements of RD.

On the contrary, the results of metallographic and especially electron microscopic examinations allow to identify distinctions on the structural state of the structural elements, the centers of micro and thus the origins of destruction that ultimately resolves satisfactorily perform the task of long-term safe operation of thermal power equipment charge.

To determine possible causes disturbances in production and processing of metal workpieces of rotor blades of steam turbine technology, it is proposed to apply the local analysis and phase inclusions in microstructure conducted by using a scanning electron microscope.

Key words: heat power plant (HPP), heat-resistant steels, microstructure degradation, mechanical properties, residual life time.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА НА ПРИМЕРЕ ЛАМП ДЛЯ ВНЕШНЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

Маркиян Гошко, Виталий Левонюк, Иван Дробот

Львовский национальный аграрный университет

Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: Bacha1991@ukr.net

Markiyan Goshko, Vitaly Levonyuk, Ivan Drobot

Lviv national agrarian university

St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: Bacha1991@ukr.net

Аннотация. В работе наведены основные недостатки в использовании современных энергосберегающих ламп для наружного освещения, а также сделан обзор проблематики по исследованию электротехнических параметров ламп наружного освещения. Представлены результаты экспериментальных исследований, на основе которых рассчитаны электротехнические характеристики ламп, которые используются для наружного освещения. На основе измеренных параметров построено функциональные зависимости освещенности, светотдачи и мощности от напряжения и сделан сравнительный анализ измеренных параметров ламп по отношению к указанным производителем. Рассмотрены вопросы исследования характеристик современных источников света на примере вышеупомянутых ламп. Наведены рекомендации по решению проблем несоответствия параметров ламп задекларированных производителем к фактическим параметрам ламп.

Ключевые слова: источники света, освещение, дуговые ртутные люминесцентные лампы, газоразрядные лампы

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Внешнее искусственное освещение города одновременно выполняет эстетическую, экологическую и экономическую функции, так как является одним из важнейших элементов его благоустройства и архитектурно-художественного оформления. Обеспечение светового комфорта в вечернее и ночное время достигается за счет рационально выбранных количественных и качественных характеристик искусственного освещения, регламентируются нормами [1].

Освещение городов предусматривает нормированную величину – яркость, или освещенность поверхностей дорожных покрытий. Нормы регламентируют значения яркости (освещенности) дорожных покрытий в зависимости от интенсивности движения транспорта, определяют допустимые величины неравномерности распределения яркости по поверхности дорожного покрытия в продольном и поперечном направлениях, а также допустимое значение характеристики слепящего действия уличных светильников. Эти ограничения являются предельными значениями характеристик качества освещения. Поскольку наружное освещение городов является элементом среды обитания горожан, то оно может влиять на их повседневную жизнь. В зависимости от характеристик осветительных установок последние

имеют положительное и отрицательное влияние на качество жизни горожан и окружающую среду [2].

«Светловое загрязнение» – это эффект, создаваемый осветительными установками, кроме освещения зон, для которых они предназначены, дополнительно освещают другие, прилегающие зоны. Например, светильники наружного освещения или осветительные приборы спортивных сооружений, площадей, архитектурных объектов, освещают фасады близлежащих домов и окна жилых домов, нарушает покой жителей. В рекомендациях МКО ограничения уровней вертикальной освещенности, создаваемой излучением осветительных приборов уличного и архитектурного освещения, проникающего через окна домов. Эти ограничения нашли отражение и в действующих в Украине нормам естественного и искусственного освещения [3].

Рассеянный свет светильников сильно влияет на окружающую среду, создавая как дискомфорт для жителей, так и загрязнения ночного небосвода через излучения частицы светового потока в верхнюю полусферу (Световая завеса над городом усложняет работу, например, астрономов и летчиков, кроме того, свидетельствует о перерасходе электроэнергии на наружное освещение) [4].

Вечернее и ночное время выставляет дополнительные требования к внешнему освещению. Важным критерием безопасности перемещения людей, движения транспорта, комфортности и безаварийности является качественное уличное освещение. Для большинства крупных городов, районных центров и сел нынешнее состояние наружного освещения является неудовлетворительным. Большинство уличных светильников не отвечают современным нормативам. Низкая эффективность старых источников света приводит к тому, что потребление энергии на освещение в Украине в 1,7 раза выше, чем в развитых странах. Стоимость электроэнергии в последние годы существенно возросла, и эта тенденция продолжается. Проблема экономии электроэнергии (ЭЭ) приобрела за последние годы исключительное значение, в частности на освещение. В большинстве индустриальных стран мира рассматривают как магистральный путь снижения потребления ЭЭ на освещение из-за замены ламп накаливания (ЛН) на исследуемые нами лампы (дуговые ртутные люминесцентные лампы, газоразрядные лампы). Световая отдача (η) современных ламп наружного освещения в 4 - 5 раз превышает этот параметр для ЛР, а продолжительность горения - в 3-20 раз [5, 6].

Поэтому мы решили экспериментально исследовать доступные нам современные электрические источники света для наружного освещения, на примере дуговой ртутной люминесцентной лампы, натриевой газоразрядной лампы и металло галогенной лампы.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Сегодня для нужд освещения в народно-хозяйственном комплексе Украины используются более чем 260 млн. единиц осветительных приборов, потребляющих примерно 15% электроэнергии от общего производства. Однако эта цифра никоим образом не свидетельствует о максимальной эффективности освещения. Скорее – наоборот [7].

За низкой эффективностью источников света, осветительных приборов (ОП) удельный вес затрат электроэнергии на производство световой энергии в 1,5 раза выше, чем в западных странах. Основными причинами такого положения является:

1. Использование малоэффективных светильников, оснащенных высоко затратными лампами накаливания;

2. Эксплуатация физически изношенных ОП, в которых отражатели и рассеиватели снизили свои оптические характеристики [8].

В данной области было уже сделано много исследований для различных видов и типов ламп на эту тематику [9-12]. В этой работе впервые проводятся исследования на соответствие задекларированных электротехнических параметров производителем к фактическим параметрам ламп для наружного освещения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача исследования – исследовать реальные характеристики современных электрических источников света, которые используются для наружного освещения. Проанализировать соответствие исследованных световых и электрических параметров ламп до задекларированных производителем. Сделать соответствующие выводы и дать рекомендации по решению данной проблемы.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Нами исследовались лампы торговых марок «Искра», «Lumax», «Philips» на соответствие задекларированных светотехнических и электротехнических параметров. Для испытания были закуплены через торговую сеть по 1 лампе каждой торговой марки мощностью 250 Вт. Испытания проводили с использованием стандартных методик [13, 14].

Производители указали такие характеристики источников света:

- ДРЛЛ (Искра) - 250 Вт, 1300 лм, срок службы 10000 ч.;
- НГЛ (Lumax) - 250 Вт, 1160 лм, срок службы 10000 ч.;
- МГЛ (Philips) - 250 Вт, 1200 лм, срок службы 8000 ч.

Схема исследования показателей электрических источников света представлена на рис. 1.

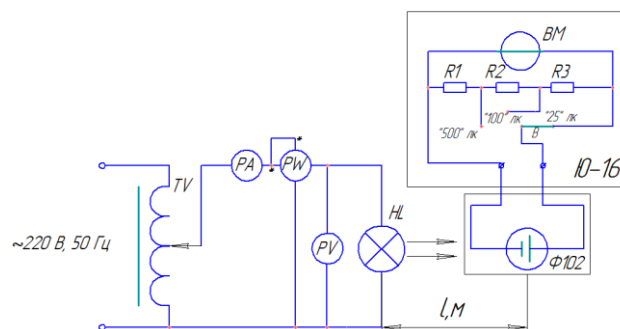


Рис. 1. Схема исследования электрических и светотехнических параметров источников света: TV – автотрансформатор; HL – исследуемая лампа; PA, PV, PW – амперметр, вольтметр и ваттметр соответственно; BM – измерительный механизм; B – переключатель; Ф102 – фотоэлемент; Ю-16 – люксметр

Fig. 1. Scheme study of electrical and photometric parameters of light sources: TV – autotransformer; HL – researched lamp; PA, PV, PW – ammeter, voltmeter and wattmeter respectively; VM – measuring mechanism; B – switch; F102 – photocell; Yu-16 – luxmeter

Значение результатов измерения световых и электрических параметров исследуемых источников света различных торговых марок приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерения параметров ламп

Table 1. The results of the measurement parameters lamps

Лампа «Искра» 250 Вт					
№п/п	I, A	U, В	P, Вт	E, лк	η, лк/Вт
1	0,47	140	65,8	225	3,41
2	0,49	150	73,5	260	3,53
3	0,51	160	81,6	345	4,22
4	0,52	170	88,4	435	4,92
5	0,56	180	100,8	500	4,96
6	0,58	190	110,2	600	5,44
7	0,6	200	120	650	5,41
8	0,61	205	125,05	675	5,39
9	0,63	210	132,3	830	6,27
10	0,65	215	139,75	850	6,08
11	0,7	220	154	1200	7,79
12	0,68	225	153	1165	7,61
13	0,65	230	149,5	1030	6,88
14	0,3	235	70,5	925	13,12
Лампа «Lumax» 250 Вт					
1	1,7	200	290	820	2,82
2	1,82	205	305	943	3,09
3	1,82	210	320	970	3,03
4	1,86	215	350	1035	2,95
5	1,92	220	370	1080	2,91
6	1,92	225	390	1063	2,72

Лампа «Philips» 250 Вт					
1	1,4	120	110	2100	19,1
2	1,5	130	125	2300	18,4
3	1,6	140	130	2450	18,8
4	1,72	160	145	2730	18,8
5	1,86	180	158	3120	19,7
6	1,98	200	170	3440	20,2
7	2,1	220	185	3800	20,5

Проведя эксперименты, мы получили показатели активной мощности при работе ламп на номинальном напряжении 220 В, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика паспортных и измеренных мощностей ламп

Table 1. Comparative characteristics of passport and measured power lamps

Тип источника света	P_3 , Вт	P_{ϕ} , Вт	Разница между фактической и задекларированной мощностью, %
ДРЛЛ (Искра)	250	154	+ 38,4 %
НГЛ (Lumax)	250	370	+ 48 %
КЛЛ (Philips)	250	185	– 26 %

Приведенные результаты исследования свидетельствуют о том, что среди исследованных партий ламп значение активной мощности по всем представленным производителям не соответствует заявленной мощности на упаковке.

На основе проведенных опытов также определили зависимость освещенности E , лк от напряжения питания U , В (табл.1, рис.2) [15-17].

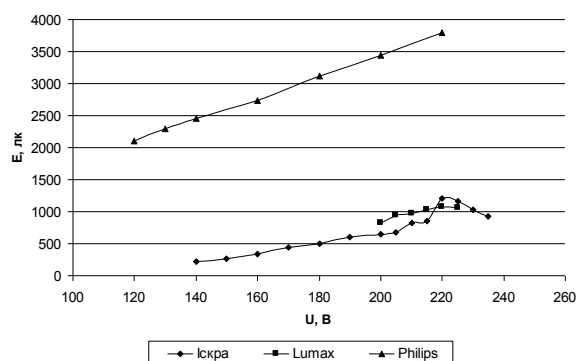


Рис. 2. Зависимость освещенности источников света от напряжения питания

Fig. 2. Dependence illumination light source of supply voltage

На основе этого исследования можно констатировать, что в большинстве конструкций ламп при изменении напряжения питания в пределах 180-230 В освещенность изменяется пропорционально, только у лампы «Искра» эта зависимость является нелинейной.

Критерием энергоэкономичности является световая отдача лампы [18-20]. Эффективность различ-

ных конструкции исследованных нами ламп графически изображено на рис. 3.

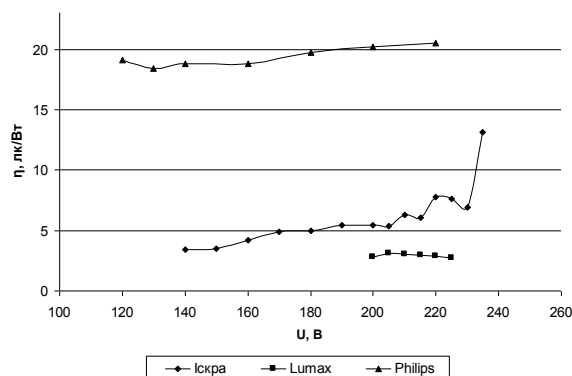


Рис. 3. Зависимость световой лампы от напряжения питания

Fig. 3. The dependence of the light output of the lamp voltage

Более эффективна такая конструкция лампы, в которой световая отдача при номинальном напряжении питания имеет максимальное значение. Этому критерию соответствует лампа торговой марки Philips. Это подтверждается и результатами измерений, приведенных в таблице. 1.

На основе проведенных измерений и расчетов определяли зависимость активной мощности, от напряжения питания – рис. 4.

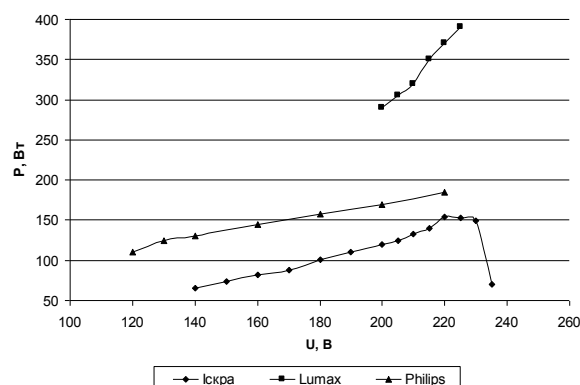


Рис. 4. Зависимость потребляемой активной мощности от напряжения питания

Fig. 4. Dependence of active power consumption from the supply voltage

Значительным недостатком ламп наружного освещения, поступающих на рынок Украины, является несоответствие задекларированных производителями параметров ламп действительным параметрам (по данным исследования – таблица 1).

ВИВОДЫ

1. Значительная часть ламп, поступающих на внутренний рынок Украины не соответствуют декларируемым светотехническим, электрическим параметрам. Как мы видим из исследования, заявленная мощность исследованных торговых марок не соответствует экспериментальным данным, в некоторых случаях превышает почти на 50% – (Lumax),

хотя нужно отметить, что иногда она оказалась ниже заявленной – (Philips) соответственно – 26%.

В свою очередь за светоотдачей на номинальном напряжении 220 В данные можно проранжировать в таком порядке:

- Philips – 20,5 лк/Вт;
- Искра – 7,79 лк/Вт;
- Lumax – 2,91 лк/Вт.

2. Для экспансии рынка энергоэкономичных источников света, жизненно необходимо обеспечить их высокое качество. Для этого необходимо ограничить доступ на рынок Украины некачественной продукции через систему технического регулирования.

3. Кроме того, качественное наружное освещение способствует:

- уменьшению объемов потребления электроэнергии (что крайне актуально в условиях экономического кризиса);
- уменьшению эксплуатационных расходов;
- улучшению экологической ситуации (уменьшение нагрева атмосферы, вредных выбросов (утилизация отходов), эффекта светового загрязнения неба);
- повышению деловой, туристической и инвестиционной активности.

4. Правильно спроектированное наружное освещение также способствует предотвращению преступным действиям. Практика показывает, что акты насилия и преступления против собственности в основном происходят в темных местах, где преступники чувствуют себя комфортно, так как в подобных условиях их трудно разглядеть и запомнить, а потенциальные жертвы практически беспомощны. Собственно соблюдение производителями основных стандартов по производству ламп позволит не только правильно использовать источники света, но и экономить значительное количество средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кожушко Г.М. 2003.** Об эффективности компактных люминесцентных ламп. Светлолюкс. № 2. 37-39.
2. **Боярчук В.М., Татомыр А.В. 2010.** Проектирование систем освещения объектов. Львов. 30. (Украина).
3. **Кнорринг Г.М., Фадин Н.М., Сидоров В.Н. 1992.** Справочная книга для проектирования электрического освещения. Санкт-Петербург. 448.
4. **Лурье М.Г., Райцельский Л.А. 1976.** Устройство, монтаж и эксплуатация осветительных установок. Москва. 264.
5. **Кудрявцев И.Ф. 1975.** Электрический нагрев и электротехнология. Москва, 382.
6. **Веккер А., Мюллер С. 2001.** Источники света: ситуация 2000. // Светотехника. №2. 11-13.
7. **Козловская В.Б. 2007.** Электрическое освещение: справочник. Минск. 255.
8. **Айзенберг Ю.Б. 2006.** Справочная книга по светотехнике. Москва. 972.
9. **Гошко М.О., Дробот И.М., Химка С.М. 2012.** Исследование характеристик современных электрических источников света. / Вестник Львовского национального аграрного университета «Агроинженерные исследования» №16, 390-394. (Украина).
10. **Hoshko M.O. 2014.** The quality characteristics of electric illuminants. IOSR Journal of Humanities and Social Science. – Vol.19, Issue 1.
11. **Гошко М.О., Химка С.М. 2015.** Исследование характеристик современных электрических источников света на примере компактных люминесцентных ламп. // MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, – №17D. 61–65.
12. **Goshko M.O. 2015.** Investigation of contrmporary illuminations characteristics the LED lamps example // ECONTECHMOD (Lublin-Rzeszow). Vol.4, №4. 63 – 70.
13. **Салтыков В.О. 2009.** Освещение городов. Харьков. 221. (Украина).
14. **Пилипчук Р.В. 2006.** Наружное освещение города. // Светлолюкс. №6, 75–79.
15. **Шимони К. 1956.** Теоретическая электротехника. Москва. 773.
16. **Нейман Л. Р. 1981.** Теоретические основы электротехники. Санкт-Петербург. 536.
17. **Уайд Д., Вудсон Г. 1964.** Электромеханическое преобразование энергии. Санкт-Петербург. 539.
18. **Волоцкой Н.В., Дадимов М.С., Николаева Л.Д. 1981.** Освещение открытых пространств. Ленинград. 232.
19. **Айзенберг Ю.Б. 1964.** Что нужно знать о светильниках с люминесцентными лампами. Ленинград. 72.
20. **Василега П.О. 2008.** Электроснабжение. Сумы. 415.

STUDY OF CHARACTERISTICS OF MODERN ELECTRIC LIGHT SOURCES FOR EXAMPLE FOR EXTERNAL LAMP LIGHTING

Summary. In the work imposed by major shortcomings in the use of modern energy-saving lamps for outdoor lighting, as well as an overview of the issues on the study of electrical parameters of outdoor lighting lamps. Pre-presented the results of experimental research-tions, which are calculated on the basis of the characteristics of the lamps that are used for external illuminati-tion. On the basis of the measured parameters according to functionality built lighting, light-giving and power from the tension and made compare-tive analysis of the measured parameters of the lamp-respect to specified by the manufacturer. The questions of studies of the characteristics of modern light sources on the example of the above-mentioned lamps. Place your recommendations to address any incompatibilities-responsible options lamps declared pro-manufac- turer to the actual parameters of the lamps.

Key words: lights, lighting, mercury arc fluorescent lamps, discharge lamps.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОДНОРОДНОСТИ СМЕШИВАНИЯ ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Игорь Дмитрив, Роман Городняк, Галина Дмитрив
Львовский национальный аграрный университет
 Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: dmytriv_igor@ukr.net

Igor Dmytriv, Roman Gorodnyak, Halyna Dmytriv
Lviv national agrarian university
 St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: dmytriv_igor@ukr.net

Аннотация. Статья посвящена экспериментальному исследованию однородности смешивания в зависимости от конструкционно-технологических параметров дозатора-смесителя.

Проанализированы исследования влияния конструкционно-технологических параметров дозаторов-смесителей на процесс смешивания.

Приведена методика проведения экспериментальных исследований однородности смешивания дозатора-смесителя с ротационным конусным диском с криволинейными лопатками. Факторами влияющими на однородность смешивания были аналог импульса кинетической энергии, масштабный коэффициент, угол образующей дозирующего диска.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что весомыми факторами влияющим на однородность смешивания есть угол образующей конуса дозирующего диска и импульс аналога кинетической энергии. С увеличением импульса аналога кинетической энергии однородность уменьшается.

При аналоге импульса кинетической энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g) = 0,01226-0,11732$ кг/м, угле образующей конуса дозирующего диска $\alpha = 0-20$ град. и масштабном коэффициенте $R_p / R_D = 0,6-1,4$ однородность смешивания у дозатора-смесителя с конусным дисковым рабочим органом с криволинейными лопатками находится в пределах 95,51-99,67 %.

Ключевые слова: однородность смешивания, уравнения регрессии, аналог импульса кинетической энергии, конусный диск.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Эффективное кормление животных в современных условиях базируется на комбикормах приготовленных и сбалансированных с помощью минеральных компонентов. Количество этих компонентов в сравнении с основными составляющими незначительно и составит от 2 до 10 % от общей массы комбикорма.

Поэтому одной из задач приготовления смеси – равномерное распределение по всему объему компонента, который вводится в комбикорм. Параметром, характеризующим равномерность распределения компонента в объеме смеси и эффективность работы дозатора-смесителя, есть однородность смеси, который определяется экспериментальным путем.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

По мнению Мальцева Г.С. [1] процесс смешивания характеризуется как пространственное вероятностное распределение двух и более компонентов с целью получения однородной по составу, физико-механическими и другими свойствами среды - смеси.

На сегодня известно около двадцати методов оценки однородности смеси [2]. Однако, единого мнения о параметре определяющим качество полученной смеси нет. Целесообразным считается использование безразмерных параметров.

Наибольшее практическое применение получили: математическое ожидание (m), избирательная дисперсия ($\bar{\sigma}^2$) и выборочное среднее отклонение ($\bar{\sigma}$) концентрации основного компонента в пробах смеси, которые рассчитываются по формулам. Безразмерным параметром оценки однородности смеси, который рассчитывается по этим величинами, являются коэффициент вариации (неоднородности) [3].

Исследуя процесс смешивания Иванова А. П. [4] пришла к выводу, что качество приготовления сыпучей смеси напрямую зависит от мощности N , которая затрачивается на процессы, протекающие в шнеково-лопастных смесителях.

В своих исследованиях Альошкин В.Р. и Роцин П.М. считали, что степень однородности смеси это отношение содержания контрольного компонента в пробе к содержанию того же компонента в рецептурной смеси [5].

Белянчикова Н.Н. предлагает оценивать качество смеси коэффициентом равномерности смешивания, который учитывает содержание компонентов в пробе и смеси [6].

При традиционных способах оценки качества смешивания материалов (весовой, рассев на ситах, оптический) коэффициент неоднородности смеси определяется после завершения процесса смешивания [7, 8]. Эти способы оценки качества смешивания материалов достаточно трудоемки и требуют значительных затрат времени на проведение анализа качества. В последнее время предложены новые способы оценки качества смеси. В работах [9-11] используется способ определения коэффициента неоднородности смеси сыпучих материалов, различающихся по цвету. При нахождении концентрации ключевого компонента содержание пробы сначала

распределяют равномерным слоем на ровной поверхности, затем фотографируют или сканируют.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обоснование конструкционно-технологических параметров дозатора-смесителя с ротационным конусным диском с криволинейными лопатками влияющих на повышение однородности смешивания компонентов комбикормов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Анализируя конструкционные особенности дозаторов-смесителей и учитывая исследования их рабочего процесса [12-15], в соответствии с разработанной методики использования теории размерностей [12, 13] количество факторов, влияющих на качество процесса смешивания удалось уменьшить, что позволило провести планируемый эксперимент исследования качества смешивания, при этом учитывая все факторы, которые влияют на однородность смеси.

Экспериментальные исследования проводятся в соответствии с разработанной методики. Для получения математической модели эксперимента использовали не композиционный план второго порядка Бокса-Бенкена на трех уровнях с пятикратной повторяемостью опытов.

Исходя из результатов теоретических исследований [16] выбраны значения пределов факторов для определения однородности смешивания дозатора-смесителя компонента, вводится (табл. 1).

Табл. 1. Уровни факторов и их кодовые значения при определении однородности смешивания

Tab. 1. Levels factors and their importance in determining code mixing uniformity

Фактор	Обозначение	Размерность	Уровни факторов			Интервал варьирования ε
			верхний	нулевой	нижний	
			Кодовые значения			
			+1	0	-1	
Аналог импульса кинетической энергии $\frac{Q \cdot \omega}{K_p \cdot g}$	x_1	кг/м	0,11732	0,06479	0,01226	0,05253
Масштабный коэффициент R_p/R_D	x_2		1,4	1	0,6	0,4
Угол образующей конуса дозирующего диска, α	x_3	град.	20	10	0	10

Основными факторами влияющими на однородность смешивания дозатора-смесителя есть аналог импульса кинетической энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$, угол образующей конуса дозирующего диска α и масштабный фактор R_p/R_D .

Аппроксимация экспериментальных данных выполнена полиномиальной функцией второго порядка. Рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии и приведены для натуральных значений факторов. Уравнения регрессии которое характеризует зависимость однородности у смешивания дозатора-смесителя от аналога импульса кинетической энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ и масштабном коэффициенте

R_p/R_D при угле образующей дозирующего диска в натуральных значениях имеет вид:

$$y = 0,0883921 \cdot \frac{Q \cdot \omega}{K_p \cdot g} + 0,088567 \cdot \alpha - 0,0990177 \cdot \frac{R_p}{R_D} \quad (1)$$

Значимость коэффициентов регрессии проверяли с помощью критерия Стьюдента (t-критерия) для выбранного показателя значимости (0,95) и степени свободы [17]. Проведя сравнение каждого коэффициента, пришли к выводу что все коэффициенты значимы.

Пригодность уравнения регрессии для описания реальной зависимости критерия оптимизации от факторов проводилось с использованием критерия Фишера (F-критерий) по известной методике [17-19] из условий (2):

$$F_p \leq F_T - \text{модель адекватна};$$

$$F_p \geq F_T - \text{модель неадекватна}, \quad (2)$$

где: F_T – табличное значение F-критерия для степени свободы главной дисперсии $f_1 = 24$ и дисперсии адекватности $f_2 = 108$ – составляет $F_T = 1,6$ [16-18]; $F_{рас}$ – расчетное значение критерия Фишера будет равно $F_{рас} = 1,5882$.

Учитывая $F_p \leq F_T$, поэтому с 95% вероятностью можно констатировать, что модель адекватна.

Графическое изображение зависимости однородности смешивания дозатора-смесителя компонента, который вводится приведены на (рис. 1-3).

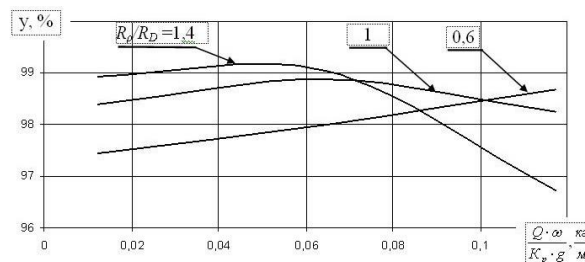


Рис. 1. Зависимость однородности у смешивания дозатора-смесителя от аналога импульса кинетической энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ при масштабном коэффициенте R_p/R_D и угле образующей дозирующего диска $\alpha = 20$ град

Fig. 1. Dependence y uniformity mixing dispenser-mixer from analog pulse kinetic energy $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ scale factor R_p/R_D and at an angle of generatrix dosing drive: $\alpha = 20^\circ$

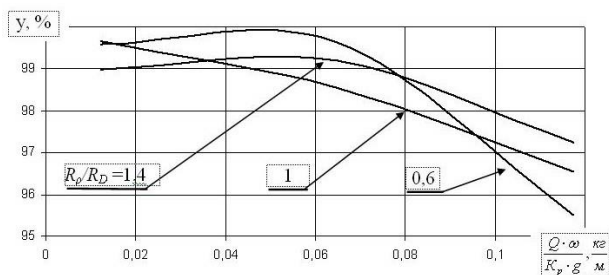


Рис. 2. Зависимость однородности у смешивания дозатора-смесителя от аналога импульса кинетической энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ при масштабном коэффициенте R_p / R_D и угле образующей дозирующего диска $\alpha = 10$ град

Fig. 2. Dependence y uniformity mixing dispenser-mixer from analog pulse kinetic energy $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ scale factor R_p / R_D and at an angle of generatrix dosing drive: $\alpha = 10^\circ$

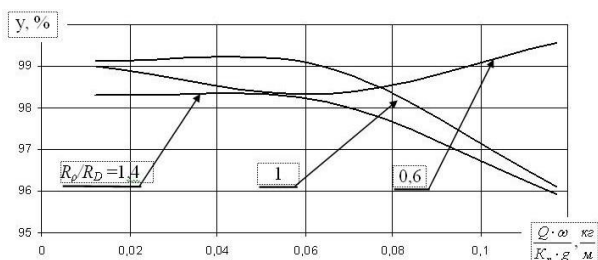


Рис. 3. Зависимость однородности у смешивания дозатора-смесителя от аналога импульса кинетической энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ при масштабном коэффициенте R_p / R_D и угле образующей дозирующего диска $\alpha = 0$ град

Fig. 3. Dependence y uniformity mixing dispenser-mixer from analog pulse kinetic energy $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ scale factor R_p / R_D and at an angle of generatrix dosing drive: $\alpha = 0^\circ$

Анализ графических зависимостей (рис. 1 - 3) показал, что характер изменения однородности смешивания дозатора-смесителя является одинаковым для всего интервала изменения факторов. Так, при угле образующей дозирующего диска 20 и 0 градусов увеличение аналога импульса энергии при масштабном коэффициенте 0,6, способствует увеличению однородности смешивания. Во всех остальных случаях при увеличении аналога импульса кинетической энергии и уменьшении масштабного коэффициента и угла образующей дозирующего диска однородность смешивания дозатора-смесителя уменьшается

Плоскость отклика уравнения регрессии для определения однородности смешивания дозатора-смесителя представлена на рис. 4.

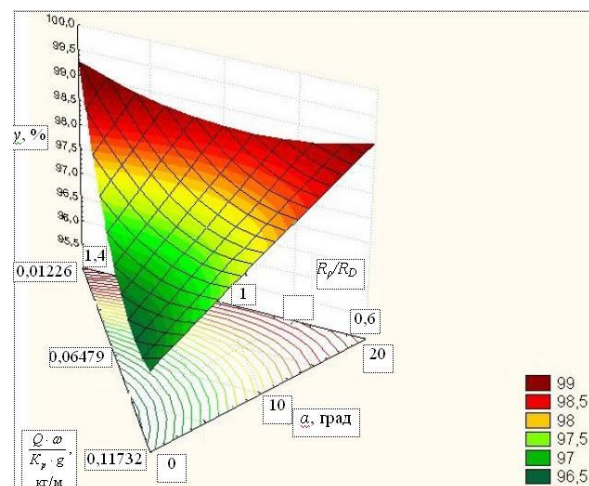


Рис. 4. Зависимость однородности у смешивания дозатора-смесителя от аналога импульса кинетической энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$, масштабного коэффициента R_p / R_D и угла образующей дозирующего диска α

Fig. 4. Dependence y uniformity mixing dispenser-mixer from analog pulse kinetic energy $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ scale factor R_p / R_D , angle α generatrix dosing drive

Анализ показывает, при аналоге импульса кинетической энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g) = 0,0122-0,1173$ кг/м, угле образующей дозирующего диска $\alpha = 0-20$ град. и масштабном коэффициенте $R_p / R_D = 0,6-1,4$ однородность смешивания дозатора-смесителя находится в пределах 95,5127-99,6703%.

ВЫВОДЫ

1. Полученное уравнение регрессии (1), описывает взаимосвязь однородности у смешивания дозатора-смесителя с конусным дисковым рабочим органом с углом образующей α дозирующего диска, аналогом импульса энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ и масштабным коэффициентом R_p / R_D .

2. С уменьшением аналога импульса энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g)$ при увеличении угла образующей дозирующего диска α от 0 до 20 градусов однородность у смешивания дозатора-смесителя с конусным дисковым рабочим органом растет.

3. При аналоге импульса кинетической энергии $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g) = 0,01226-0,11732$ кг/м, угле образующей дозирующего диска $\alpha = 0-20$ град. и масштабном коэффициенте $R_p / R_D = 0,6-1,4$ однородность смешивания дозатора-смесителя с конусным дисковым рабочим органом находится в пределах 95,51-99,67 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мальцев Г.С. 2007.** Снижение энергетических затрат с обоснованием конструктивно-режимных параметров дозатора-смесителя кормов: дис. ... канд. техн. наук. – Пенза. 150. (Россия)
2. **Макаров Ю.И., Зайцев Ю.И. 1982.** Новые типы машин и аппаратов для переработки сыпучих материалов – М.: МИХМ. 75.
3. **Макаров Ю.И., Зайцев Ю.И. 1981.** Классификация оборудования для переработки сыпучих материалов // Химическое и нефтяное машиностроение. № 6. 33-35.
4. **Иванова А.П., Пискарева Т.И., Межуева Л.В., Гунько В.В. 2014.** Математическая модель структуризации доминирующих показателей процесса // Вестник Оренбургского государственного университета № 9 (170). 187-189.
5. **Алешкин В.Р., Рошин П.М. 1985.** Механизация животноводства. – М.: Агропромиздат. 336.
6. **Белянчиков Н.Н., Белехов И.П., Кожевников Г.П., Тургиев А.К. 1989.** Механизация технологических процессов. – М.: Агропромиздат. 400.
7. **Макаров Ю.И. 1973.** Аппараты для смешения сыпучих материалов. – Москва: Машиностроение. 216.
8. **Комбикорма. 2002.** Ч. 4: Корма. Комбикорма. Комбикормовое сырье. Методы анализа: ГОСТ 13496.0-80 / М-во заготовок СССР. – Москва: Изд-во стандартов. 160.
9. **Воронин В.В. 2013.** Критерии и способы оценки качества смешивания сыпучих материалов // Электрон. науч. журн. "Инженер. вестн. Дона". – Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1400> (дата обращения: 09.09.2013).
10. **Ильченко В.Д., Гучева Н.В. 2010.** Результаты экспериментов по смешиванию сыпучих материалов в вибрационном смесителе // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. Т.10, №7 (50). 1067-1071.
11. **Гучева Н.В. 2009.** Исследования вибрационного смешивания сыпучих зернистых материалов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. Т.9, спецвып., ч.1. 151-163.
12. **Городняк Р.В. 2015.** Оптимизация числа факторов методом моделирования при плановом эксперименте / Р.В. Городняк // Измерение, контроль и диагностика в технических системах: сборник тезисов докладов. – Винница. 19-20. (Украина).
13. **Дмитриев В.Т., Городняк Р.В. 2015.** Контроль качества смешивания на основе теории размерностей // Управление качеством в образовании и промышленности: опыт, проблемы и перспективы, тезисы докладов. – Львов. 138-139. (Украина).
14. **Дмитриев В., Городняк Р., Дмитриев Г. 2009.** К вопросу моделирования сжиженного потока компонентов комбикорма // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко «Совершенствование технологий и оборудования производства продукции животноводства» - Вып. 79. 224-229. (Украина).
15. **Городняк Р.В. 2015.** Результаты экспериментальных исследований производительности дозатора-смесителя компонентов комбикормов // Научный вестник национального университета биоресурсов и природно пользования Украины. - Киев -212/2. 81-87. (Украина).
16. **Дмитриев В., Городняк Р., Дмитриев Г. 2015.** Аналитическая модель движения частицы по поверхности конуса дискового ротационного дозатора-смесителя дисперсных материалов // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin. – Rzeszow 2015. – Vol. 17, № 9. 79-82.
17. **Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. 1980.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов – 2е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос. Ленингр. отделение. 168.
18. **Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. 1976.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Наука. 279.
19. **Вознесенский В.А. 1981.** Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях – М.: Финансы и статистика, – 263.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES
HOMOGENEITY MIXING DISPENSER-MIXER
COMPONENTS OF ANIMAL FEED

Summary. The article is devoted to the experimental study of the homogeneity of mixing, depending on the constructional and technological parameters of the dispenser-mixer.

Study analyzed the impact of construction-technological parameters of dosing mixers in the mixing process.

The technique of experimental studies of homogeneity of mixing dispenser-mixer with rotary cone disc with curved blades. The factors affecting the mixing homogeneity of kinetic energy were analogue pulse scaling factor, forming an angle of the metering drive.

Analysis of the experimental results showed that a significant factor affecting the uniformity of the mix is the angle of the cone of the metering disc and momentum kinetic energy counterpart. With an increase in the kinetic energy of an analog pulse uniformity decreases.

When analogue kinetic energy pulse $Q \cdot \omega / (K_p \cdot g) = 0,01226-0,11732 \text{ kg / m}$, the angle of the cone of the metering disk $\alpha = 0-20^\circ$ and a scale factor $R_p / R_d = 0.6-1.4$ y uniformity mixing dispenser-mixer with conical rotary working body with curved blades is in the range 95,51-99,67%.

Key words: mixing uniformity, the regression equation, the pulse of kinetic energy, cone drive.

СТРУКТУРА ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

*Александр Сидорчук¹, Анатолий Тригуба², Василий Ковалишин³,
Петр Шолудько², Леонид Сидорчук²*

¹ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»
ул. Вокзальная, 11, Глеваха, Украина. E-mail: sydov@ukr.net

²Львовский национальный аграрный университет

Ул. В. Великого, 1, Дубляни, Украина. E-mail: trianamik@gmail.com

³Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности
Ул. Клепаривська, 35, Львов, Украина. E-mail: ldubzh.lviv@mns.gov.ua

*Oleksandr Sydorchuk¹, Anatoliy Tryguba², Vasyl Kovalyshyn³,
Petro Sholudko², Leonid Sydorchuk²*

¹National Scientific Center "Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture"
St. Vokzalna, 11, Glevaha, Ukraine. E-mail: sydov@ukr.net

²Lviv National Agrarian University

St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: trianamik@gmail.com

³Lviv State University of Life Safety

Str., Kleparivska, 35, Lviv, Ukraine. E-mail: ldubzh.lviv@mns.gov.ua

Аннотация. Проанализированы действующие научно-методические основы управления программами и портфелями проектов. Обоснована целесообразность совершенствования действующего инструментария определения структуры процесса формирования государственных целевых программ развития технологически интегрированных систем.

Обосновано, что управленческий процесс формирования государственных целевых программ развития технологически интегрированных систем состоит из четырех групп управленческих процессов, содержащие шестнадцать основных управленческих операций, выполнение каждой из которых дает возможность получить свой результат.

Обосновано, что механизм формирования государственных целевых программ развития технологически интегрированных систем должен включать такие основные операции, как ценностный анализ имеющихся систем для определения противоречий и выявления проблем, ценностный анализ желаемых систем для определения вариантов сценариев стратегических путей, преобразований и действий, которые обеспечивают выполнение этих преобразований, определение стратегического пути.

Для обоснования стратегического плана развития технологически интегрированных систем, прежде всего, обосновывается стратегический путь и концептуальный план, которые соответственно принадлежат к процессам управления стратегией и архитектурой. Они дают возможность обосновать сценарии преобразования имеющихся технологически интегрированных систем в состояние «как будет» благодаря выполнению множества действий, которые обеспечат получение максимальной системной ценности, лежащий в основе согласования интересов между участниками соответствующих программ, устранение противоречий и проблем в функционировании соответствующих систем

Отмечено результаты процесса формирования государственных целевых программ развития технологически интегрированных систем.

Ключевые слова: управления, процесс, формирование, государственные целевые программы, развитие, технологически интегрированные системы.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Развитие технологически интегрированных систем (ТИС) в различных отраслях экономики государства осуществляется на основании реализации соответствующих государственных целевых программ. В последние годы разработано ряд государственных и региональных целевых программ развития различных отраслей экономики государства, которые основаны на действующих нормативно-законодательных актах. Однако, эти программы в полном объеме не выполнены из-за того, что их формирование и реализация осуществляется без учета научных достижений методологии управления программами [9-20].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Существующие методологии управления программами и портфелями проектов не учитывают того, что объективность процесса управления ими достигается при оценке состояния «как есть» и состояния «как будет» той или иной ТИС [4-8]. В то же время, разработана методология Р2М управления программами развития предприятий хотя и рассматривает программу как средство реализации стратегии, однако, не может в полной мере быть использована для управления программами развития ТИС, которые отличаются от других программ тем, что в их состав входят отдельные программы и портфели

проектов, касающихся развития взаимосвязанных между собой систем.

Иными словами, обоснование структуры процесса формирования государственных целевых программ развития ТИС требует усовершенствования, каким бы учитывались взаимосвязи между такими управленческими сферами, как управление стратегией, определение миссии этих программ, управление их архитектурой и оценкой. В работах [18-20] частично эти взаимосвязи учтено, однако не предвидится системного рассмотрения таких основных управленческих операций как ценностный анализ имеющихся систем для определения противоречий и выявления проблем, ценностный анализ желаемых систем для определения вариантов сценариев стратегических путей, преобразований и действий, которые обеспечивают выполнение этих преобразований, определение стратегического пути и т.д.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обосновать структуру процесса формирования государственных целевых программ развития ТИС.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Государственные целевые программы развития ТИС призваны устранить существующие проблемы по их функционированию. Основой выявления этих проблем является анализ противоречий, характерных для ТИС. Государственные целевые программы развития ТИС реализуются стратегическими планами, которые касаются перевода ТИС из состояния «как есть» в желаемое состояние «как будет». В частности, в стратегическом плане отражается стратегический путь изменения этого состояния благодаря устранению имеющихся противоречий. В то же время, устранение противоречий характерных для функционирования ТИС за состояния «как есть» позволяет повысить показатели системной их ценности ($Ц_c$). При этом всегда существует конечное множество вариантов сценариев ($C_{ш}$) стратегии (стратегического пути ($Ш_c$)), каждый из которых имеет свои показатели системной ценности $Ц_c$, которые отличаются от показателей системных ценностей, полученных за других сценариев реализации государственных целевых программ. Процесс формирования той или иной государственной целевой программы развития ТИС должен базироваться на рациональном варианте сценария ($C_{ш}^p$) стратегии, который обеспечивает получение максимальных показателей ценности $Ц_c$.

Обоснование стратегического пути ($Ш_c$) развития ТИС требует идентификации противоречий (C_y), характерных для существующих состояний этих систем (рис.). Для осуществления этого управленческого процесса следует прогнозировать показатели ценности $Ц_c$ функционирования ТИС за состояния «как есть». Это позволяет определить функциональные показатели объектов конфигурации ТИС, которые лежат в основе определения показателей их ценности. На основании показателей ценности функционирования ТИС за состояния «как есть» определяются их противоречия C_y . Анализ противоречий C_y делает возможным выявление проблем ($П_p$)

функционирования ТИС за состояния «как есть», которые являются основой обоснования изменений в структуре указанных систем, что принадлежит к управленческому процессу профилирования миссии ($П_m$) соответствующей программы. Каждый из вариантов этих изменений является основанием для формирования множества сценариев $\{C_{ш}\}$ реализации стратегии (стратегического пути) и оценки показателей их системной ценности ($Ц_c$).

Среди множества сценариев $\{C_{ш}\}$ реализации стратегии (стратегического пути) развития ТИС выбирают рациональный ($C_{ш}^p$), который обеспечивает получение максимальных показателей системной ценности ($Ц_c \rightarrow \max$):

$$C_{ш}^p \in \{C_{ш}\}, C_{ш}^p : Ц_c \rightarrow \max. \quad (1)$$

На основании выше сказанного можно утверждать, что стратегический путь ($Ш_c$) развития ТИС должен обеспечивать получение максимальных показателей системной ценности ($Ц_c \rightarrow \max$). Для прогнозирования этих показателей следует смоделировать функционирования ТИС за состояния «как будет» для каждого из вариантов сценариев перевода ТИС из состояния «как есть» в желаемое состояние «как будет», что позволяет выбрать среди них оптимальный сценарий (C_n^p). Этот сценарий C_n^p предусматривает выполнение множества преобразований, касающихся изменения структуры ТИС из состояния «как есть»:

$$C_n^p \forall \{\rho\}. \quad (2)$$

Указанные процессы относятся к профилированию миссии ($П_m$) государственных целевых программ развития ТИС, что обеспечивает обоснования множества возможных сценариев преобразований $\{C_n\}$ этих систем. При известных сценариях преобразований $\{C_n\}$ формулируются задачи (3) и цели (S_c), которые следует выполнить для перевода ТИС из состояния «как есть» в желаемое состояние «как будет».

Каждый из сценариев преобразований $\{C_n\}$ требует выполнения одного или нескольких действий, которые выполняются по своим сценариям $\{C_d\}$. При этом, существует конечное множество вариантов сценариев действий $\{C_d\}$, которые обеспечивают выполнение преобразований ТИС из состояния «как есть» в желаемое состояние «как будет». Среди этого множества всегда существует рациональный вариант сценария действий (C_d^p), который реализуется при минимальных затратах ресурсов ($R \rightarrow \min$) на преобразование соответствующих систем:

$$C_d^p \in \{d\}, d : R \rightarrow \min. \quad (3)$$

Рациональный вариант сценария C_d^p действий включает множество действий, которые относятся к отдельным проектам (π), которые являются составными программ ($П$) развития ТИС.

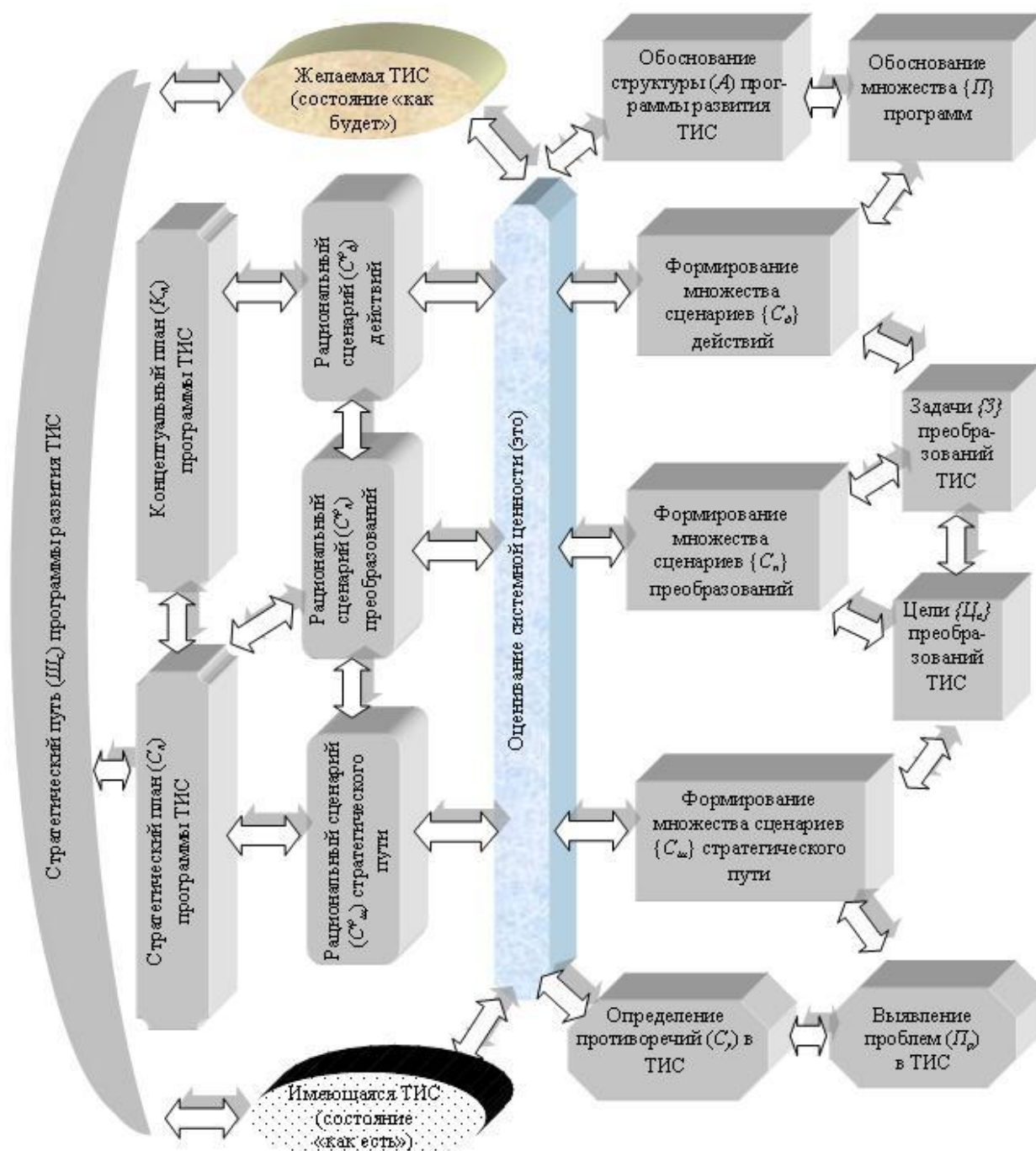


Рис. 1. Структура процесса формирования государственных целевых программ развития ТИС

Fig. 1. Structure of process of forming the state target programs of development the technologically integrated systems

Формирование множества проектов (π) и программ (Π), входящих в состав государственных целевых программ развития ТИС, требует выполнения процесса обоснования структуры программы (A_{pn}), принадлежащего к управлению архитектурой этих программ [8]. Особенностью управления архитектурой государственных целевых развития ТИС является то, что проекты (π), которые обеспечивают преобразование одних систем должны согласовываться с проектами (π), обеспечивающие преобразование других систем, входящих в состав отдельной программы (Π):

$$A_{pn} = (\pi : \{d\} \leftrightarrow \Pi : \{\pi\}). \quad (4)$$

В то же время, отдельные проекты (π) могут касаться различных систем, требующих преобразования, и входить в состав различных программ. Каждый из множества сценарии преобразований $\{C_n\}$ дает возможность сформулировать задачи ($З$) и цели (S_e), которые следует решить по изменению ТИС благодаря выполнению проектов (π) и программ (Π).

На основании управления архитектурой государственных целевых программ развития ТИС обосновывается рациональная их структура (A_{pn}), которая базируется на рациональном варианте сценария действий (C^p_d), обеспечивающий получение максимальных показателей системной ценности ($Ц_c$)

от их реализации. Для определения этих показателей ценности $Ц_c$ осуществляется моделирование государственных целевых программ развития ТИС.

Обоснована рациональная структура (A_{pn}) государственных целевых программ развития ТИС, включающая множество проектов $\{\pi\}$ и программ $\{P\}$ является основой разработки их концептуального плана (K_n):

$$K_n = (\{\pi\}, \{P\}). \quad (5)$$

При известных концептуальном плане (K_n), рациональных сценариях преобразований (C^n_p) и стратегического пути (C^n_u) перевод ТИС из состояния «как есть» в желаемое состояние «как будет», выполняется разработка стратегического плана (C_n) государственных целевых программ развития ТИС, что относится к процессу управления стратегией этих программ. Итак, для разработки стратегического плана C_n используют результаты профилирования миссии ($П_m$), определение стратегии (C_m) и архитектуры (A_{pn}) государственных целевых программ развития ТИС.

Кроме выше указанных процессов, весомыми в формировании государственных целевых программ развития ТИС являются процессы управления их оценкой (V_o). Эти процессы касаются как определения рациональных сценариев преобразований (C^n_p) и действий (C^n_d) относительно перевода ТИС из состояния «как есть» в желаемое состояние «как будет», так и обоснования рационального сценария стратегического пути (C^n_u) реализации государственных целевых программ развития ТИС. Выполнение указанных процессов предполагает особенности моделирования функционирования ТИС за состояния «как будет» для каждого из вариантов указанных сценариев и определение их системной ценности ($Ц_c$). Кроме того, для определения показателей системной ценности ($Ц_c$) функционирования ТИС за состояния «как есть» выполняется их моделирование, на основании которого идентифицируются противоречия (C_y) и выявляются проблемы ($П_p$) функционирования этих систем.

Задача управления оценкой показателей системной ценности ($Ц_c$) сводится к определению рационального соотношения между показателями системной ценности ($Ц_c$) и затратами ресурсов на функционирование ТИС при фиксированной их конфигурации и прогнозируемых характеристиках проектного среды. Противоположные тенденции изменения показателей системной ценности ($Ц_c$) и затрат ресурсов на функционирование ТИС являются основанием для идентификации рациональной конфигурации этих систем, множества преобразований и действий, которые обеспечат выполнение перевода этих систем из состояния «как есть» в желаемое состояние «как будет» по критерию максимальных показателей системной ценности ($Ц_c \rightarrow \max$).

Прежде всего, на основании оценки показателей системной ценности ($Ц_c$) от функционирования ТИС осуществляется идентификация противоречий (C_y) и выявляются проблемы ($П_p$) функционирования

этих систем, которые являются основой для профилирования миссии ($П_m$) государственных целевых программ их развития и обоснования их архитектуры (A_{pn}). Для каждого из множества сценариев преобразований $\{C_n\}$ и действий $\{C_d\}$ относительно перевода ТИС из состояния «как есть» в желаемое состояние «как будет» определяются показатели системной ценности $Ц_c$, которые являются критерием определения их рациональных сценарии преобразований (C^n_p) и действий (C^n_d).

Процессы определения противоречий (C_y) и выявление проблем ($П_p$) функционирования ТИС имеют две составляющие, которые касаются их идентификации по состояниям «как есть» и «как будет». Между указанными процессами выполняется процесс управления стратегией (C_m), который обеспечивает формирование изменений состояния ТИС благодаря устранению противоречий (C_y) и проблем ($П_p$) на основании повышения показателей системной ценности ($Ц_c$).

Следующим этапом процесса управления оценкой (V_o) ТИС является согласование интересов участников соответствующих программ благодаря распределению между ними полученных показателей системной ценности $Ц_c$, что дает возможность избавиться имеющихся противоречий (C_y).

Итак, управленческий процесс формирования государственных целевых программ развития ТИС состоит из четырех групп управленческих процессов, содержащие шестнадцать основных управленческих операций, выполнение каждой из которых дает возможность получить свой результат. Для обоснования стратегического плана развития ТИС прежде всего обосновывается стратегический путь и концептуальный план, которые соответственно принадлежат к процессам управления стратегией и архитектурой. Они дают возможность обосновать сценарии преобразования имеющихся ТИС в состояние «как будет» благодаря выполнению множества действий, что обеспечит получение максимальной системной ценности, лежащий в основе согласования интересов между участниками соответствующих программ, устранения противоречий и проблем в функционировании соответствующих систем.

ВЫВОДЫ

1. Формирование государственных целевых программ развития технологически интегрированных систем предусматривает выполнение четырех групп управленческих процессов, содержащие шестнадцать основных управленческих операций, выполнение каждой из которых дает возможность получить свой результат (рис. 1.).

2. Механизм формирования государственных целевых программ развития технологически интегрированных систем включает такие основные операции, как ценностный анализ имеющихся систем для определения противоречий и выявления проблем, ценностный анализ желаемых систем для определения вариантов сценариев стратегических путей, преобразований и действий, которые обеспечивают выполнение этих преобразований, определение стратегического пути.

3. Дальнейшие исследования следует выполнять по разработке информационно-аналитической системы формирования государственных целевых программ развития технологически интегрированных систем с учетом обоснованной структуры управленческих процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закон Украины «О государственном прогнозировании и разработке программ экономического и социального развития Украины». Ведомости Верховной Рады Украины. 2000, №25, 38. (Украина).
2. О государственных целевых программах [Электронный ресурс]: Закон Украины от 18.03.2004 № 1621-IV. Электронная система «Нормативные акты Украины», 46. (Украина).
3. Об утверждении временных методических рекомендаций по разработке государственных целевых программ [Электронный ресурс]: приказ Министерства экономики и по вопросам европейской интеграции Украины от 08.05.2003 г. № 114. Электронная система «Нормативные акты Украины», 68. (Украина).
4. **Bushuyev S.D. 2010.** Kreativnyye tekhnologii v upravlenii proyektami i programmami / S.D. Bushuyev, N.S. Bushuyeva, I.A. Babayev i dr. K.: Sammit kniga, 768. (Украина).
5. The Standard for Portfolio Management. – Project Management Institute, 2006. 65.
6. The Standard for Program Management. – Project Management Institute, 2006. 65.
7. Руководство к своду знаний по управлению проектами: Руководство PMBOK, 4-е изд., PMI, 2008, 436. (Украина).
8. Руководство по управлению инновационными проектами и программами / под ред. С.Д. Бушуева. – [т.1, версия 1.2]. К.: Наук. свет, 2009, 173. (Украина).
9. **Krasowski E., Sydorchuk O., Sydorchuk L. 2015.** Modeling and Management of the Technical and Technological Potential in Agricultural Production. Teka: An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes, Lublin-Rzeszow, Vol. 15, No. 4, 79-84.
10. **Тригуба А.Н. 2014.** Обоснование сценариев реализации технологически интегрированных программ развития молочного скотоводства. MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, Vol.16, No 4, 181-188.
11. **Тригуба А.Н., Рудинец Н.В., Сидорчук Л.Л. 2011.** Управление конфигурацией и работами в интегрированных проектах молочного скотоводства. Монография. – Луцк: ЛНТУ, 230 (Украина).
12. **Tryhuba A. 2014.** Argumentation of the parameters of the system of purveyance of milk collected from the private farm-steads within a single administratinv district. Econtechhod : An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. – Lublin-Rzeszow, Vol. 3, No. 4, 23-27.
13. **Сидорчук А.В., Тригуба А.Н., Маланчук А.В. 2013.** Оценка ценностей сервисных программ аграрного производства. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin; Rzeszow, Vol.15 (4), 153-159.
14. **Сидорчук А.В., Тригуба А.Н. 2014.** Метод определения концептуального плана программ развития молочного скотоводства. Управление развитием сложных систем: сб. науч. работ. КНУБА, Вып. 17 65-70. (Украина).
15. **Тригуба А., Сидорчук Л., Шелега О., Сивакowska Е.** Управление ценностью проектов технико-технологических обслуживающих кооперативов. MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, Vol.17, No 3, 160-166.
16. **Сидорчук А.В., Тригуба А.Н., Рудинец Н.В. 2009.** Системный подход к управлению содержанием и временем в интегрированных проектах молочного скотоводства. Научные записки Международного гуманитарного университета. – Одеса, Вип.16, 24–27. (Украина).
17. **Сидорчук А., Тригуба А., Макарчук О. 2012.** Оптимизация длительности жизненного цикла интегрированных программ сбора зерновых культур // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, Vol.14 (4), 131-140.
18. **Сидорчук А., Тригуба А., Боярчук О. 2016.** Инструментарий реализации государственных целевых программ развития молочного животноводства. Тез. XIII-й Межд. конф. Управление проектами в развитии общества: Проекты в условиях глобальных угроз, рисков и вызовов. – Киев: КНУБА, 236-238. (Украина).
19. **Сидорчук А., Тригуба А. 2014.** Факторная модель ценности систем-продуктов государственных целевых программ развития сельскохозяйственного производства. Научный журнал НТУ: Управление проектами, системный анализ и логистика, №13, 156-162. (Украина).
20. **Сидорчук А., Тригуба А. 2014.** Методика формирования государственных целевых программ развития сельскохозяйственного производства. Межвед. темат. науч.зб. «Механизация и электрификация сельского хозяйства». Выпуск 99, Том 2. – Глеваха, 452-462. (Украина).

STRUCTURE OF PROCESS OF FORMING THE
STATE TARGET PROGRAMM
OF DEVELOPMENT THE TECHNOLOGICALLY
INTEGRATED SYSTEMS

Summary. Analyzed the existing scientific and methodical bases of management of programs and project portfolios. The expediency of improving the existing instruments for determining the structure of the process of formation of state programs of development of technology of integrated systems.

It is proved that the administrative process of forming the state programs of development of

technologically integrated system consists of four groups of management processes, containing sixteen basic management operations, the performance of each of which gives you the opportunity to get your result.

It is proved that the mechanism of formation of the state target programs of development of technologically integrated systems should include the following basic operations as a value-analysis of available systems to determine conflicts and identify problems, value analysis of the desired systems for identifying options for strategic ways scenarios change and actions that ensure the implementation of these reforms, definition of the strategic path.

To justify the strategic development plan of integrated systems technology primarily substantiates strategic way and conceptual plan, which according to

belong to the strategy and architecture of the control processes. They make it possible to justify such scenarios the conversion of existing technologically integrated systems in the state of "how to be" through the implementation of a set of actions that will provide maximum value system underlying the coordination of interests between the parties to relevant programs and eliminate contradictions and problems in the functioning of the relevant systems

Noting the results of the process of formation of state programs of development of technology of integrated systems.

Key words: management process, the formation, the state target program, the development of technologically integrated system.

КОНТИНУАЛЬНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛИНЕЙНОЙ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Дмитрий Гречин, Андрей Герман, Иван Дробот

Львовский национальный аграрный университет

Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: german_and@meta.ua

Dmitrij Hrechyn, Andrij Herman, Ivan Drobot

Lviv national agrarian university

St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: german_and@meta.ua

Аннотация. Объект исследования: линейная асинхронная машина с массивным зубчатым ферромагнитным бегуном – как электромеханический преобразователь энергии, состоящий из шихтованного статора, на сердечнике которого расположена обмотка с произвольным пространственным распределением проводников по пазам, и зубчатого проводящего ферромагнитного бегуна. Создана континуальная математическая модель ее электромагнитного поля при заданных токах фаз обмотки статора, состоящая из семи слоев. Электромагнитное поле в машине двумерное: вектор магнитного потенциала и вектор плотности тока имеют только составляющую вдоль оси вращения, а вектор магнитной индукции и вектор напряженности магнитного поля – только составляющие в плоскости поперечного сечения машины. Нижнее воздушное пространство, воздушный промежуток и верхнее воздушное пространство – линейные изотропные непроводящие среды (воздух) и электромагнитное поле в этих слоях удовлетворяет уравнению Лапласа. Ядро бегуна, зубцовая зона бегуна, зубцовая зона статора и ядро статора – нелинейные ферромагнитные среды, характеристика намагничивания которых задана в виде двух скалярных функций и электромагнитное поле в этих слоях удовлетворяет уравнениям Максвелла. Ядро бегуна и его зубцовая зона проводящие ферромагнитные среды, а зубцовая зона статора и ядро статора – непроводящие ферромагнитные среды.

Ключевые слова: линейная асинхронная машина, математическая модель, электромагнитное поле, зубчатый проводящий ферромагнитный бегун, контактные и граничные условия.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Математическое моделирование нестационарных электромагнитных полей в двухслойной проводящей ферромагнитной безгистерезисной плите имеет практическое значение – накопить инженерный опыт с целью его распространения на анализ переходных процессов в линейных асинхронных машинах, индукционного нагрева, неразрушающего контроля и т.п. Применим полученные в работах [1-6] результаты к моделированию электромагнитных полей в линейных асинхронных машинах с массивными зубчатыми ферромагнитными бегунами. Для этого необходимо решить комплекс задач, который включает:

- формулирование основных положений математической теории линейных асинхронных маши-

нах с массивными зубчатыми ферромагнитными бегунами, ориентированной на применение численных методов анализа и корректно учитывающих магнитную нелинейность, неоднородность и анизотропию материала бегуна и поверхностный эффект в их взаимосвязи, как это сделано в [1-6];

- создание цифровых математических моделей как уточненных инженерных методик расчета нестационарных электромагнитных полей, характеристик и процессов в линейных асинхронных машинах с массивными зубчатыми ферромагнитными бегунами.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследование электромагнитных процессов в проводящих ферромагнитных элементах конструкций электрических машин является актуальной и одной из самых тяжелых задач электродинамики. Исчерпывающее ее решения с учетом сложности геометрии граничных поверхностей, неоднородности, нелинейности и анизотропности сред возможно только на основании численных методов анализа и с применением современной вычислительной техники. Однако для понимания сущности явлений и накопления инженерного опыта в этой области важная роль принадлежит изучению электромагнитных процессов при сравнительно простых геометриях предельных поверхностей, которыми являются бесконечные параллельные плоскости и коаксиальные цилиндрические поверхности. Как показал анализ литературы, даже в этих случаях решение задачи под заданным углом зрения остается далеким от завершения.

В работе [1] опубликовано алгоритм расчета переходных электромагнитных процессов в бесконечной проводящей однородной изотропной плите, обусловленных расположенными на ее поверхностях периодическими токовыми слоями, которые изменяются во времени по произвольным заданным законам.

По этому алгоритму была составлена программа расчета электромагнитных процессов в плите и выполнено и проанализировано ряд расчетов электромагнитных процессов и электромагнитных полей в проводящей плите при различных возбуждениях.

Так, в работе [2] проанализированы результаты расчета переходных электромагнитных процессов в бесконечной плите, обусловленных равномерными и противоположно направленными токовыми слоя-

ми, которые меняются скачкообразно от нуля до заданного значения и наоборот. Приведено распределение по толщине плиты магнитной индукции и плотности тока в различные моменты времени для материала плиты с реальной и линейной характеристиками намагничивания. Обоснован вывод о недопустимости использования при расчетах переходных процессов в плите методов, основанных на линеаризации характеристики намагничивания материала плиты.

В работе [3] проанализированы результаты расчета неустановившихся и установившихся электромагнитных полей в проводящей ферромагнитной плите, обусловленных гармоничными бегущими вдоль одной поверхности плиты линейными плотностями токов при различных скоростях и амплитудах токовых слоев, без учета и с учетом насыщения ферромагнетика. Приведены распределения электромагнитных полей по толщине плиты. Показано, что амплитуды обусловленных насыщением высших пространственных гармонических переменных является соизмеримыми с амплитудами их основных гармоник.

В работе [4] проанализированы результаты расчета неустановившихся и установившихся электромагнитных полей в бесконечной однородной проводящей ферромагнитной плите, обусловленных гармоничными бегущими вдоль поверхностей плиты линейными плотностями токов при их различных начальных фазах, без учета и с учетом насыщения ферромагнетика. Приведены распределения электромагнитных полей по толщине плиты.

В работе [5] охарактеризованы семейство годографов (фигуры Лиссажу) для векторов магнитной индукции и напряженности магнитного поля в проводящей ферромагнитной плите, соответствующие различным амплитудам и скоростям движения возбуждающих поле токовых слоев с учетом и без учета насыщения материала плиты.

В работе [6] проанализированы результаты расчета полей в двухслойной ферромагнитной плите, верхний слой которой анизотропный, а нижний – изотропный, обусловленных расположенным на ее поверхности периодическим вдоль одной из координат токовыми слоями, которые изменяются во времени по произвольному заданному закону.

Проведенный анализ результатов расчетов дает возможность сделать следующие выводы.

Электромагнитные процессы в проводящей ферромагнитной плите, возбуждаемые равномерными и противоположно направленными токовыми слоями на ее поверхностях, количественно и качественно зависят от насыщения, поэтому применение к их расчета методов, основанных на линейном приближении характеристики намагничивания является недопустимым.

В установившихся процессах при гармоничных распределениях плотностей токов на поверхностях плиты и их изменении во времени с гармоничными законами амплитуды обусловленных насыщением высших пространственных гармонических переменных B_x, B_y, H_x, H_y , A и плотности тока J в плите и

амплитуды высших временных гармонических этих переменных могут быть соизмеримыми с амплитудами их основных гармонических, что отражается на распределении плотности мощности в поперечном сечении плиты и, как следствие, неравномерности нагрева плиты.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Линейная асинхронная машина с массивным зубчатым ферромагнитным бегуном, в частности, с зубчатым, является чрезвычайно сложным с точки зрения электромагнитных процессов объектом, и задача ее математического моделирования практически имеет решение только при ряде упрощающих допущений:

- машина имеет бесконечную длину;
- зубцовые зоны статора и бегуна заменены эквивалентными сплошными гомонизованными анизотропными средами.

Эти допущения позволяют свести задачу расчета поля в двумерной области, которая состоит из слоев, граничные поверхности которых параллельны.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

На рис. 1 в прямоугольной декартовой системе координат $0xyz$ изображена область расчета электромагнитного поля линейной асинхронной машины с массивным зубчатым ферромагнитным бегуном, которая состоит из семи слоев: нижнего воздушного пространства ($-\infty < y \leq 0$); ярма бегуна ($0 \leq y \leq y_2$); зубцовой зоны бегуна ($y_2 \leq y \leq y_3$); воздушного промежутка ($y_3 \leq y \leq y_4$); зубцовой зоны статора ($y_4 \leq y \leq y_5$); ярма статора ($y_5 \leq y \leq y_6$) и верхнего воздушного пространства ($y_6 \leq y \leq \infty$).



Рис. 1. Область расчета электромагнитного поля линейной асинхронной машины

Fig. 1. Field of the calculation of the electromagnetic field of the linear induction machine

Примем [1], что пространственный полупериод поля вдоль оси $0x$ имеет размер τ , толщина первого слоя от $-\infty$ до 0 ; второго слоя a_2 ; третьего слоя a_3 ; четвертого слоя a_4 ; пятого слоя a_5 ; шестого слоя a_6 ; седьмого слоя от y_6 до $+\infty$.

Электромагнитное поле в машине двумерное:

вектор A магнитного потенциала и вектор J плотности тока имеют только составляющую вдоль оси Oz , параллельную возбуждающих токов, а вектор B магнитной индукции и вектор H напряженности магнитного поля – только составляющие в плоскости поперечного сечения машины. Поле периодическое вдоль оси Ox с периодом 2τ .

Нижнее воздушное пространство, воздушный промежуток и верхнее воздушное пространство – это линейные изотропные непроводящие среды (воздух) и электромагнитное поле в этих слоях удовлетворяет уравнению Лапласа. Ядро бегуна, зубцовая зона бегуна, зубцовая зона статора и ядро статора – это нелинейные ферромагнитные среды, характеристика намагничивания которых задана (см. [1]) в виде двух скалярных функций:

$$H_x = H_x(B_x, B_y); \quad H_y = H_y(B_x, B_y). \quad (1)$$

И электромагнитное поле в этих слоях удовлетворяет уравнениям Максвелла. Ядро бегуна и его зубцовая зона является проводящей ферромагнитной средой, а зубцовая зона статора и ядро статора – непроводящей ферромагнитной средой. С другой стороны, ядро бегуна и статора изотропные среды, а их зубцовые зоны – гомонизованные анизотропные.

Электромагнитное поле в слоях линейной машины описывается такими уравнениями [1].

В нижнем пространстве уравнением Лапласа:

$$\frac{\partial^2 A_1(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_1(x, y, t)}{\partial y^2} = 0. \quad (2)$$

В ядре бегуна уравнениями Максвелла:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_{y2}(x, y, t)}{\partial x} - \frac{\partial H_{x2}(x, y, t)}{\partial y} &= -\geq_2 \frac{\partial A_2(x, y, t)}{\partial t}; \\ B_{x2}(x, y, t) &= \frac{\partial A_2(x, y, t)}{\partial y}; \quad B_{y2}(x, y, t) = -\frac{\partial A_2(x, y, t)}{\partial x}. \end{aligned} \quad (3)$$

В зубцовой зоне бегуна уравнениями Максвелла:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_{y3}(x, y, t)}{\partial x} - \frac{\partial H_{x3}(x, y, t)}{\partial y} &= -\geq_3(y) \frac{\partial A_3(x, y, t)}{\partial t}; \\ B_{x3}(x, y, t) &= \frac{\partial A_3(x, y, t)}{\partial y}; \quad B_{y3}(x, y, t) = -\frac{\partial A_3(x, y, t)}{\partial x}. \end{aligned} \quad (4)$$

В воздушном промежутке уравнением Лапласа:

$$\frac{\partial^2 A_4(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_4(x, y, t)}{\partial y^2} = 0. \quad (5)$$

На зубах ядра статора уравнениями Максвелла:

$$\begin{aligned} \frac{H_{y5}(x, y, t)}{x} - \frac{H_{x5}(x, y, t)}{y} &= J_5(x, y, t); \\ B_{x5}(x, y, t) &= \frac{H_{y5}(x, y, t)}{y}; \quad B_{y5}(x, y, t) = -\frac{H_{x5}(x, y, t)}{x}. \end{aligned} \quad (6)$$

В ядре статора уравнениями Максвелла:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H_{y6}(x, y, t)}{\partial x} - \frac{\partial H_{x6}(x, y, t)}{\partial y} &= 0; \\ B_{x6}(x, y, t) &= \frac{\partial A_6(x, y, t)}{\partial y}; \quad B_{y6}(x, y, t) = -\frac{\partial A_6(x, y, t)}{\partial x}. \end{aligned} \quad (7)$$

В верхнем пространстве уравнением Лапласа:

$$\frac{\partial^2 A_7(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_7(x, y, t)}{\partial y^2} = 0. \quad (8)$$

где: A – векторный магнитный потенциал соответствующего слоя машины, B_x, B_y, H_x, H_y – проекции на оси системы координат соответственно вектора B магнитной индукции и вектора H напряженности магнитного поля слоя; γ – удельная электрическая проводимость слоя.

Магнитные свойства среды с учетом (1).

Первого слоя:

$$\begin{aligned} H_{x1}(x, y, t) &= v_0 B_{x1}(x, y, t); \\ H_{y1}(x, y, t) &= v_0 B_{y1}(x, y, t), \end{aligned} \quad (9)$$

где: v_0 – удельный магнитное сопротивление пустоты.

Второго слоя:

$$\begin{aligned} H_{x2}(x, y, t) &= H_{x2}(B_{x2}(x, y, t), B_{y2}(x, y, t)); \\ H_{y2}(x, y, t) &= H_{y2}(B_{x2}(x, y, t), B_{y2}(x, y, t)). \end{aligned} \quad (10)$$

Третьего слоя:

$$\begin{aligned} H_{x3}(x, y, t) &= H_{x3}(B_{x3}(x, y, t), B_{y3}(x, y, t)); \\ H_{y3}(x, y, t) &= H_{y3}(B_{x3}(x, y, t), B_{y3}(x, y, t)). \end{aligned} \quad (11)$$

Четвертого слоя:

$$\begin{aligned} H_{x4}(x, y, t) &= v_0 B_{x4}(x, y, t); \\ H_{y4}(x, y, t) &= v_0 B_{y4}(x, y, t). \end{aligned} \quad (12)$$

Пятого слоя:

$$\begin{aligned} H_{x5}(x, y, t) &= H_{x5}(B_{x5}(x, y, t), B_{y5}(x, y, t)); \\ H_{y5}(x, y, t) &= H_{y5}(B_{x5}(x, y, t), B_{y5}(x, y, t)). \end{aligned} \quad (13)$$

Шестого слоя:

$$\begin{aligned} H_{x6}(x, y, t) &= H_{x6}(B_{x6}(x, y, t), B_{y6}(x, y, t)); \\ H_{y6}(x, y, t) &= H_{y6}(B_{x6}(x, y, t), B_{y6}(x, y, t)). \end{aligned} \quad (14)$$

Седьмого слоя:

$$\begin{aligned} H_{x7}(x, y, t) &= v_0 B_{x7}(x, y, t); \\ H_{y7}(x, y, t) &= v_0 B_{y7}(x, y, t). \end{aligned} \quad (15)$$

Контрактные условия имеют вид:

на контакте первого и второго слоев (при $y = 0$):

$$A_1(x, 0, t) = A_2(x, 0, t); \quad H_{x1}(x, 0, t) = H_{x2}(x, 0, t); \quad (16)$$

на контакте второго и третьего слоев (при $y = y_2$):

$$A_2(x, y_2, t) = A_3(x, y_2, t); \quad H_{x2}(x, y_2, t) = H_{x3}(x, y_2, t); \quad (17)$$

на контакте третьего и четвертого слоев (при $y = y_3$):

$$A_3(x, y_3, t) = A_4(x, y_3, t); \quad H_{x3}(x, y_3, t) = H_{x4}(x, y_3, t); \quad (18)$$

на контакте четвертого и пятого слоев (при $y = y_4$):

$$A_4(x, y_4, t) = A_5(x, y_4, t); \quad H_{x4}(x, y_4, t) = H_{x5}(x, y_4, t); \quad (19)$$

на контакте пятого и шестого слоев (при $y = y_5$):

$$A_5(x, y_5, t) = A_6(x, y_5, t); \quad H_{x5}(x, y_5, t) = H_{x6}(x, y_5, t); \quad (20)$$

на контакте пятого и шестого слоев (при $y = y_6$):

$$A_6(x, y_6, t) = A_7(x, y_6, t); \quad H_{x6}(x, y_6, t) = H_{x7}(x, y_6, t). \quad (21)$$

ВЫВОДЫ

1. Разработана континуальная математическая модель электромагнитного поля линейной асинхронной машины с массивным зубчатым ферромагнитным бегуном при заданных токах фаз в двумерной постановке, в основе которой лежит семислойная структура. Каждый ее элемент однородной, изотропный или анизотропный, проводящий или непроводящий, с линейными или нелинейными магнитными свойствами. Для каждого слоя составлены уравнения электромагнитного поля, записанные магнитные свойства, сформулированы контактные условия. На этом основании легко разработать дискретное отображение поля.

2. Создана математическая модель учитывает все важнейшие факторы, влияющие на распределение электромагнитного поля в их взаимосвязи, а именно: насыщение магнитопровода машины, магнитную анизотропию ее магнитопровода, реальное гармоничное распределение плотности тока зубцового слоя машины, электрическую проводимость бегуна машины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Filc R., Stefaniak Z., Hreczyn D. 2000.** Modelowanie matematyczne niestacjonarnego pola elektromagnetycznego w płycie ferromagnetycznej. *Prace XXIII Międzynarodowej Konferencji z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów IC. Gliwice, Ustron*, 67-72.
2. **Гречин Д.П. 2001.** Анализ одномерных электромагнитных полей в ведущей ферромагнитной плите при скачкообразных отнято. *Электроэнергетические и электромеханические системы*. № 418, 38-42.
3. **Гречин Д.П. 2001.** Анализ бегущих электромагнитных полей в ведущей ферромагнитной плите при односторонних возбуждениях. *Электроэнергетические и электромеханические системы*. № 421, 45-50.
4. **Гречин Д.П. 2001.** Исследование бегущих электромагнитных полей в ведущей ферромагнитной плите при двусторонних возбуждениях. *Электроэнергетические и электромеханические системы*. № 435, 47-51. (Украина).
5. **Hreczyn Dmytro, Stefaniak Zenon, Filc Roman. 2001.** Figury Lissajous dla bieżącego pola elektromagnetycznego w przewodzącej płycie ferromagnetycznej. *Zastosowania elektromagnetyzmu w nowoczesnych technikach i informatyce. Wenecja*. 54-55.
6. **Stefaniak Z., Filc R., Hreczyn D. 2002.** Modelowanie pola elektromagnetycznego w dwuwarstwowej przewodzącej płycie ferromagnetycznej. *Zastosowania elektromagnetyzmu w nowoczesnych technikach i informatyce. Warszawa-Białowieża*. 75-76.
7. **Маляр В. С., Маляр А. В., Гречин Д. П. 2004.** Аппроксимация характеристик намагничивания электротехнических сталей. *Теоретическая электротехника*. №57, 78-85. (Украина).
8. **Dmytro Hrechyn. 2005.** Modeling of Non-Stationary Electromagnetic Field in Infinite Two-Layer Conducting Ferromagnetic Plate. *Proceedings of the XIII International Symposium on Theoretical Electrical. Lviv, Ukraine*. 36-38.
9. **Иванов-Смоленский А. В. 1969.** Электромагнитные поля и процессы в электрических машинах и их физическое моделирование. / Под ред. А.В. Иванов-Смоленский. М.: Энергия, 304 (Украина).
10. **Фильц Р.В. 1990.** Дискретные аналоги дифференциальных операторов и их применение в задачах электромеханики. *Электромеханика*. №3, 5-16.
11. **Фильц Р.В., Лябук Н.Н. 1991.** Математическое моделирование явнополюсных синхронных машин. Львов: Свит, 176.
12. **Фильц Р.В. 1989.** Векторная базисная функция Тейлора и её применение в задачах электродинамики. *Электромеханика*. №9, 5-10. (Украина).
13. **Корн Г., Корн Т. 1978.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Энергия. 832.
14. **Маляр В.С., Глухивский Л.И., Маляр А.В., Гречин Д.П., Гавдьо И.Р. 2003.** Расчет магнитной цепи однофазного асинхронного двигателя с расщепленными полюсами. *Энергетика*. №3, 17-25.
15. **Маляр В.С., Глухивский Л.И., Гавдьо И.Р., Гречин Д.П. 2007.** Влияние сопротивления короткозамкнутого витка на характеристики асинхронного двигателя с экранированными полюсами. *Вестник НУ "Львовская политехника"*. №596, 162-167. (Украина).
16. **Маляр В., Маляр А., Гречин Д. 2007.** Метод формирования жесткости механической характеристики асинхронного двигателя. *Теоретическая электротехника*. № 59, 138-143. (Украина).
17. **Дробот И.М. 2015.** Структурно-математическая модель системы автоматизированного электропривода вентиляции птичника. *Motrol. – Lublin. Vol. 17, No 4*, 67-70.
18. **Гречин Д.П. 2009.** Моделирование нестационарного электромагнитного поля в бесконечной двухслойной ведущей ферромагнитной трубе. *Электроэнергетические и электромеханические системы*. №654, 71-73. (Украина).
19. **Маляр В.С., Гавдьо И.Р., Гречин Д.П. 2010.** Параметрическая чувствительность асинхронного двигателя с экранированными полюсами. *Вестник НУ "Львовская политехника"*. №671, 57-61. (Украина).
20. **Маляр В., Гречин Д., Гавдьо И. 2011.** Математическая модель магнитного состояния асинхронного двигателя с экранированными полюсами. *Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, №13D*. 171-181.

CONTINUAL MATHEMATICAL MODEL
ELECTROMAGNETIC FIELD LINEAR INDUCTION
MACHINES

Summary. Object of research: linear asin-chrono machine with massive serrated ferromagnetic-netic runner - like electro-transformation-input The energy, consisting of laminated Staten pa, at the core of which is winding with arbitrary spatial distribution conductors in the grooves, and a gear conductive fer-ferromagnetic runner . Created continual mathematical model of its electromagnetic field with given currents of the stator winding phase, which consists of seven layers. The electromagnetic field in a two-dimensional machine: magnetic vector potential and current density vector has only a component along the axis of rotation, and the magnetic induction vector and the vector of the magnetic field - only account-ing in the cross-sectional plane of the machine. Lower-her airspace, the air gap

and the upper air space - iso tropic linear conductive medium (air) and electromagnetic-netic field in these layers satisfies the Laplace equation. Jarmo runner runner tooth area, the tooth of the stator and the yoke of the stator area - nonlinear ferromagnetic environment, characteristic of the magnetization of which is given in the form of two scalar functions, and the electromagnetic field in these layers satisfies the Maxwell equations. Jarmo runner and perforated zone ferromagnetic conductive medium, and the stator tooth zone and the yoke of the stator - nonconductive ferromagnetic medium. Recorded field equations, the magnetic properties of the layers, contacts and boundary conditions.

Key words: linear induction machine, mathematical model of the electromagnetic field, a tooth-conductive ferrimagnetic chaty runner, contact and boundary conditions.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЗОНА

Олег Цуркан, Дмитрий Присяжнюк, Александр Герасимов, Александр Коломиец
Винницкий национальный аграрный университет
Ул. Солнечная, 3, Винница, Украина. E-mail: tsurkan_ov@i.ua

Oleg Tsurkan, Dmitriy Prisyazhnyuk, Aleksandr Gerasimov, Aleksandr Kolomiyets
Vinnytsia National Agrarian University
St. Solnechnaya, 3, Vinnytsia, Ukraine. E-mail: tsurkan_ov@i.ua

Аннотация. Сушка является одним из важнейших этапов подготовки зерна к хранению в сельскохозяйственном производстве. В настоящее время достаточно широкое распространение для выполнения данного технологического процесса нашел конвективный метод сушки. Но наряду со своими преимуществами данный метод имеет и ряд весомых недостатков, одним из существенных которых является значительная энергоемкость. В связи с этим достаточно интенсивными темпами происходит научный поиск по разработке путей и методов снижения энергоемкости конвективного способа обработки. Одним из таких методов является использование вибрационного влияния с применением физических эффектов, в частности с добавлением озона в сушильный агент [1-4].

Использование вибротехнологий при сушке интенсифицирует процесс обработки зернового сырья за счет быстрого обновления его поверхности, которая контактирует с сушильным агентом, а использование при этом озона приводит к снижению энергоемкости процесса и зараженности зерна болезнями и вредителями, что является особенно актуальным в послеуборочной обработке.

Ключевые слова: сушка, процесс, вибрация, сырье, зерно, обработка, эффект, озон, агент.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В работах И.Ф. Бородина, Т.П. Троцкой заложено основы энергосберегающей сушки зерна озонородной смесью (электроактивированным сушильным агентом). Авторами выдвинут ряд гипотез механизма воздействия воздуха с содержанием озона на процесс сушки и сделана попытка теоретического обоснования тепло- и массообменных процессов в присутствии озона, а также внедрение озонородной сушки в сельском хозяйстве [5]. Однако, учитывая сложность проблемы, обоснована гипотеза сушки зерна в озонородной среде до сих пор не разработана и сушка в озонородной среде не получила практического применения.

В данной работе проанализированы проведенные испытателями экспериментальные и теоретические исследования процесса сушки зерна с использованием озонородной смеси и осуществлена оценка эффективности ее влияния и обоснованы пути дальнейшего совершенствования этого процесса.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Полезность и актуальность использования вибротехнологий в процессе сушки освещены в работах [6, 7]. Теоретическими и экспериментальными исследованиями процесса сушки специфического сельскохозяйственного сырья посвящены работы [8-11]. Результаты применения физических эффектов с целью интенсификации процесса сушки и последующего хранения сельскохозяйственной продукции приведены в работах [12-16]. Детальный обзор и классификация вибрационного и сушильного оборудования осуществлены в работах [17, 18].

В работе [19] подробно приведены особенности влияния озонородной смеси на характеристики зернового сырья при сушке в зависимости от концентрации озона, времени сушки и т. д. Установлено зависимость между изменением загрязненности зерна спорами грибов (фузариум, аспергиллюс) и концентрации озона в составе сушильного агента

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы является обоснование целесообразности использования вибрационного воздействия и озонородной смеси для сушки в процессе послеуборочной обработки зернового сырья.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Перспективным методом повышения скорости сушки является внедрения вибротехнологий. Влияние вибрационных колебаний на слой материала дает возможность его активного перемешивания. Траектория, частота и амплитуда колеблющегося движения определяют интенсивность перемешивания материала, что определяется скоростью движения его частиц. Колеблющееся движение обеспечивает разрыхленное состояние слоя материала и создает условия, при которых большая часть их поверхности принимает участие в тепломассообмене с теплоносителем [8].

Вибрационные колебания увеличивают и обновляют поверхность теплообмена независимо от способа подвода тепла, происходит интенсивное снятие влаги, увеличивается скорость сушки. Процесс сушки происходит равномерно по всему слою, не вызывая местный перегрев материала. Вибрационная сушка является мощным средством темпера-

турного регулирования процесса, что особенно важно для термочувствительных материалов.

Анализ процесса вибрационной сушки, технических характеристик и конструктивных особенностей разных типов вибрационных сушилок свидетельствует о том, что наметились две основные тенденции их развития. Во-первых, за счет удачных конструктивных решений (организации возбуждения колебаний, способа нагрева продукции, сочетания технологических функций перемешивания, сушки, разделения на фракции, гранулирования, уплотнения, формирования оболочки, транспортировки) улучшаются общие технико-экономические показатели процесса. Во-вторых, интенсификация теплообменных процессов осуществляется с применением физических эффектов, что позволяет коренным образом изменить подходы к организации процесса сушки вообще, а также создает возможности сушки продукции, к которой предъявляются чрезвычайно высокие, часто взаимоисключающие

(противоречивые) требования к процессу и сохранению ее качества для нужд различных отраслей производства.

Потребности в качественном сырье, а также экономически продиктована необходимость повышения основных показателей производства ставят требования к созданию новых технологий сушки, которые учитывали бы физико-химические, биологические, пищевые, вкусовые качества продукции, а также обеспечивали бы ее дальнейшее сохранение.

Процесс сушки должен полностью исключить такие негативные факторы, как клейстеризация крохмала и денатурализация белков, образование конгломератов и ухудшение вкусовых качеств, а также размножение болезней и вредителей [20].

Проведем обзор основных типов существующих сушилок [21].

Камерные сушилки (рис. 1) являются герметичными камерами, внутри которых высушенный материал в зависимости от его вида располагается на сетках, противнях, зажимах и других приспособлениях.

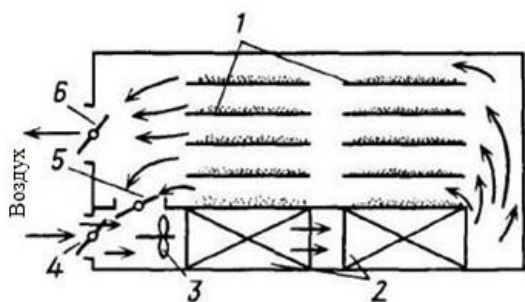


Рис. 1. Камерная сушилка: 1 – полки для загрузки высушиваемого материала; 2 – калорифер; 3 – вентилятор; 4, 5, 6 – заслонки для регулировки потерь свежего, рециркулирующего и отработанного воздуха

Fig. 1. Chamber dryer: 1 – shelves for loading drying material; 2 – heater; 3 – fan; 4, 5, 6 – dampers for regulation lost fresh, circulating and waste air

Свежий воздух с помощью вентилятора 3 через калорифер 2 подают в пространство камеры, внутри которой находятся полки 1 из высушиваемым материалом.

К преимуществу камерных сушилок относится простота их конструкции. К недостаткам: периодичность действия; большие затраты ручного труда на загрузку и выгрузку материала; низкая производительность; неравномерность высушивания через неподвижный толстый слой материала.

Как правило, камерные сушилки применяют для сушки небольших количеств материала и при достаточно большой продолжительности процесса.

Туннельные сушилки, как правило, являются аппаратами непрерывного действия, представляющие собой длинные камеры (рис. 2). Внутри туннеля по рельсам медленно перемещается ряд вагонеток 1, загруженных высушиваемым материалом. Поток нагретого воздуха нагнывается вентилятором 2 через калорифер 3, проходит вдоль туннеля, омывая высушиваемый материал (в данном случае противоток) и испаряя влагу. Торцы туннеля закрываются плотно прилегающими дверями-шлюзами 4, периодически открываются для удаления из донного конца вагонетки с высушенным материалом и загрузки с другого конца вагонетки с влажным материалом.

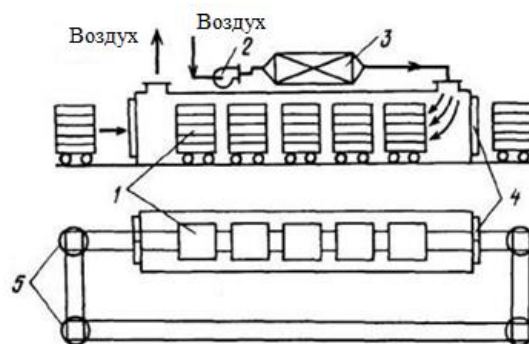


Рис. 2. Туннельная сушилка: 1 – вагонетки с высушиваемым материалом; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – герметичные двери; 5 – поворотные круги

Fig.2. Tunnel dryer: 1 – trolley with drying material; 2 – fan; 3 – heater; 4 – airtight doors; 5 – turntables

Преимущество – непрерывность действия. Недостаток – неравномерность сушки из-за плохого перемешивания материала.

Ленточные сушилки (рис. 3) предназначены для сушки сыпучих (зернистых, гранулированных, грубодисперсных) и волокнистых материалов, а также готовых изделий и полуфабрикатов. В этих сушилках сушка осуществляется непрерывно при атмосферном давлении. В сушильной камере 2 высушиваемый слой движется на бесконечных лентах (транспортерах), натянутых между ведущими 4 и ведомыми 7 барабанами. При пересыпании материала с ленты на ленту увеличивается поверхность его контакта с сушильным агентом, что увеличивает скорость сушки. Ленточные сушилки бывают прямоточные и противоточные.

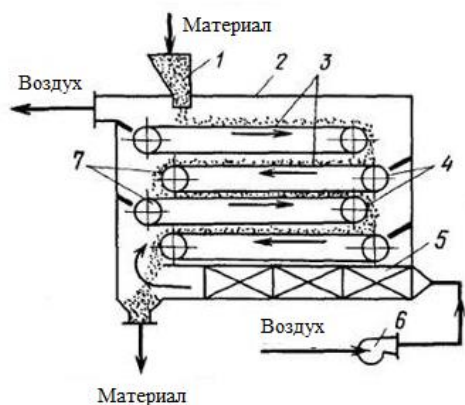


Рис. 3. Ленточная многоярусная сушилка: 1 – питатель; 2 – сушильная камера; 3 – ленточные транспортеры; 4 – ведущие барабаны; 5 – калорифер; 6 – вентилятор; 7 – ведомые барабаны

Fig. 3. Tape multistage dryer: 1 – feeder; 2 – drying chamber; 3 – conveyor belts; 4 – driving drums; 5 – heater; 6 – fan; 7 – guided drums

Основными недостатками ленточных сушилок являются: большая металлоемкость; сложность обслуживания; высокая удельная производительность (с 1 м² ленты).

Барабанные сушилки (рис. 4) предназначены для непрерывной сушки кусковых, зернистых и сыпучих материалов: зерна, семян подсолнечника.

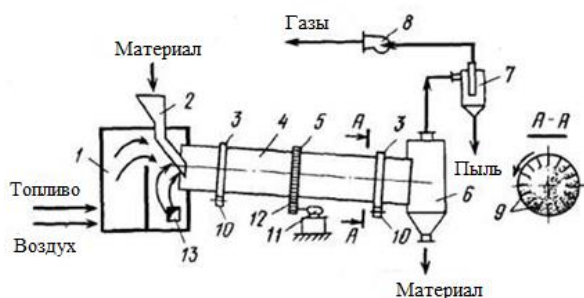


Рис. 4. Барабанная сушилка: 1 – топка; 2 – питатель; 3 – бандаж; 4 – барабан; 5 – зубчатый венец; 6 – разгрузочная камера; 7 – циклон; 8 – вентилятор; 9 – подъемно-лопастная насадка; 10 – опорные ролики; 11 – электропривод; 12 – зубчатая передача; 13 – окно для подачи вторичного воздуха

Fig. 3. Drum dryer: 1 – furnace; 2 – feeder; 3 – bandages; 4 – drum; 5 – crown gear; 6 – loading chamber; 7 – cyclone; 8 – fan; 9 – lifting blade attachment; 10 – support rollers; 11 – electric drive; 12 – gear; 13 – window for supplying secondary air

Барабанная сушилка состоит из цилиндрического сварного барабана 4, установленного с небольшим наклоном к горизонту (2-7°) и опирается с помощью бандажей 3 на ролики 10. Барабан приводится во вращение электроприводом 11 через зубчатую передачу с помощью венчика 5. Частота вращения барабана обычно не превышает 5-8 об / мин. Материал подается в барабан питателем 2 и поступает на внутреннюю насадку 9, расположенную вдоль почти всей длины барабана. Насадка, тип которой определяется свойствами высушиваемого ма-

териала, обеспечивает равномерное распределение и хорошее перемешивания материала по сечению барабана, а также его контакт с сушильным агентом при пересыпании.

Шахтные сушилки (рис. 5) являются установками непрерывного действия. При сталом режиме работы зерно непрерывно поступает в верхнюю часть шахты. Зерно движется вниз за счет силы тяжести и сыпучест. Агент сушки движется поперек потока зерна.

Благодаря тому, что слой зерна в шахте разрыхленный и зерно при движении вращается в разных направлениях, улучшается его взаимодействие с агентом сушки и ускоряется влагообмен. Скорость движения зерна и время нахождения его в шахте регулируют с помощью выпускного устройства. Продолжительность нахождения зерна в шахте примерно 40 минут, и за один проход его влажность снижается на 4-6%.

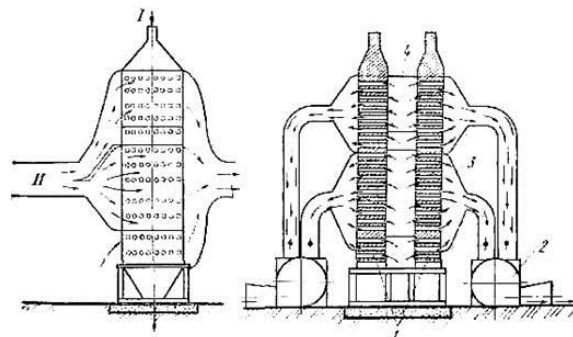


Рис. 5. Технологическая схема шахтной зерносушилки: 1 – шахты; 2 – вентилятор; 3 – диффузор; 4 – напорная камера агента сушки; I – зерно; II – агент сушки

Fig. 5. The technological scheme of mine dryer: 1 – mines; 2 – fan; 3 – diffuser; 4 – pressure chamber of drying agent; I – grain; II – drying agent

Преимущество шахтных сушилок состоит в том, что в них можно в широких пределах регулировать продолжительность пребывания зерна в сушильной камере и достаточно надежно обеспечивать поддержание заданного температурного режима сушки зерновой массы.

Шахтные сушилки имеют серьезные технологические недостатки. Главный из них заключается в ограниченном уровне снятия влаги за один проход зерна через шахту, равном 4-6%. Поэтому для полного высушивания зерна иногда приходится проводить обработку в несколько приемов. Передержка частично просушенного зерна в ожидании повторных проходов через сушилку является причиной снижения его качества.

Как видно, одним из основных недостатков традиционных сушилок является неравномерность сушки зернового сырья при выполнении технологического процесса. Данную проблему позволяют решить вибрационные сушилки, которые значительно интенсифицируют процесс сушки за счет постоянного обновления площади взаимодействия высушиваемого материала с сушильным агентом.

Для реализации технологического процесса сушки известна установка с виброкипящим слоем для сушки сельскохозяйственной продукции АИ-КВО (рис. 6) [20].

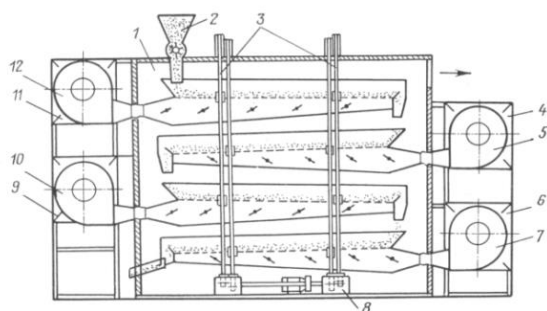


Рис. 6. Вибросушильная установка АИ-КВО: 1 – сушильная камера; 2 – загрузочный бункер; 3 – вертикальные тяги; 4, 6, 9, 11 – паровые калориферы; 5, 7, 10, 12 – вентиляторы; 8 – эксцентриковый привод

Fig. 5. Vibro-drying plant AI-KVO: 1 – drying chamber; 2 – charging hopper; 3 – vertical tractions; 4, 6, 9, 11 – steam heaters; 5, 7, 10, 12 – fans; 8 – eccentric drive

Она представляет собой камеру, в которой находятся четыре сушильных короба, расположенных один под другим и попарно соединенных вертикальными тягами, которые связаны с эксцентриковым приводом и рессорами. Пары коробов колеблются с помощью эксцентриков, перемешивая и просушивая при этом материал, находящийся в коробах, продувая его сушильным агентом.

Известная сушилка для сыпучих материалов в виброкипящем слое, которая может быть использована для сушки (рис. 7) [23].

Она представляет собой сушильную камеру, соединенную гибкими элементами с напорной камерой. Вибросушилка выполнена, как лабиринт, образованный ребрами, которые установлены перпендикулярно газораспределительной решетке и в шахматном порядке относительно друг друга. Материал на решетке подвергается псевдооживлению и перемещается по лабиринту сушилки под действием колебаний.

Для увеличения интенсивности теплоотдачи теплообменным поверхностям нагрева предоставляются горизонтальные колебания двухвальным вибратором направленного действия. При этом вблизи поверхности создаются зоны локального псевдооживления.

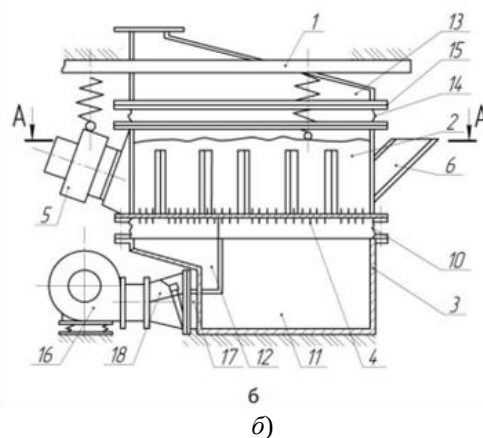
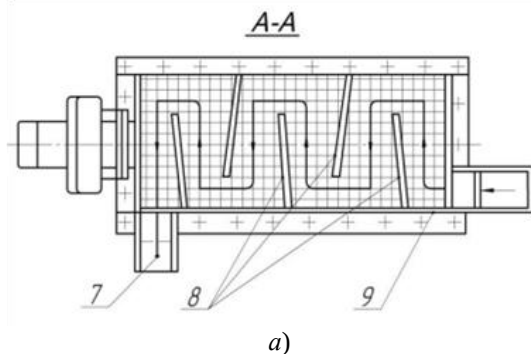


Рис. 7. Вибросушилка для сыпучих материалов: а – общий вид вибросушилки; б – разрез сушильной камеры; 1 – рама; 2, 3 – сушильная и напорная камеры; 4 – газораспределительная решетка; 5 – виброприводы; 6, 7 – загрузочный и разгрузочный лотки; 8 – ребра; 9 – стенки камеры; 10, 14 – гибкие элементы; 11, 12 – секции подачи теплоносителя и подачи воздуха; 13 – короб; 15 – упругий элемент; 16 – вентилятор; 17 – калорифер; 18 – система подачи воздуха

Fig. 7. Vibration dryer for bulk materials: а – general view of the vibration dryer; б – cut of the dryer chamber; 1 – frame; 2, 3 – drying and pressure chambers; 4 – gas distribution lattice; 5 – vibratory drives; 6, 7 – loading and unloading trays; 8 – edges; 9 – chamber walls; 10, 14 – flexibilities; 11, 12 – sections of coolant and air supply; 13 – box; 15 – elastic element; 16 – fan; 17 – heater; 18 – air supply system

Многоярусная вибрационная сушилка (рис. 8) обеспечивает равномерность нагрева продукции различной влажности и засоренности. Наклонные лотки, расположенные один над другим на спиральных пружинах внутри корпуса, с помощью вертикальных штанг, кулачкового механизма и рычажной системы совершают колебания в вертикальной плоскости. Частота колебаний лотков в пределах 6,5...16 Гц регулируется изменением шкивов на ременной передаче привода, а амплитуда в пределах 4,5...10 мм - изменением эксцентриситета кулачков механизма. Каждый лоток с трех сторон огражден гибкими уплотнениями, которые предотвращают выход сушильного агента и просыпание продукции, которая попадает в загрузочный бункер, затем по лоткам проходит первую и вторую зоны с разной температурой теплоносителя и далее направляется в зону охлаждения и на выход [18].

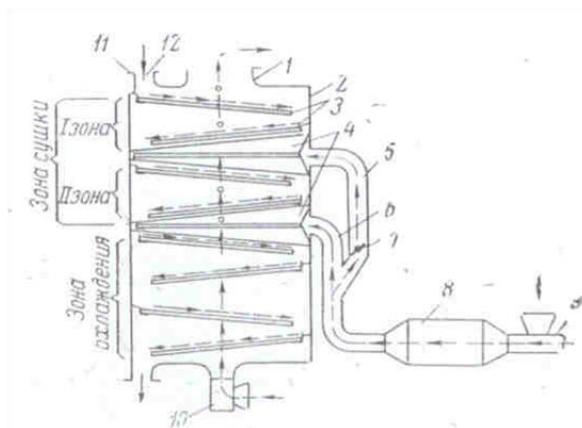


Рис. 8. Многоярусная вибрационная сушилка для сушки продукции различной влажной и засоренности: 1 – патрубок; 2 – металлический секционный корпус прямоугольного сечения; 3 – наклонные лотки; 4 – распределительные коллекторы; 5, 6 – трубопроводы; 7, 12 – заслонки; 8 – нагреватель; 9, 10 – вентиляторы; 11 – загрузочный бункер

Fig. 8. Multistage vibrating dryer for drying various wet and littered products: 1 – pipe; 2 – metal sectional rectangular housing; 3 – sloped trays; 4 – distribution manifolds; 5, 6 – pipelines; 7, 12 – valves; 8 – heater; 9, 10 – fans; 11 – loading hopper

В сушилке (рис. 9) вибрации подвергается поток, по которому перемещается виброкипящий слой, все частицы материала интенсивно двигаются, каналы и конгломераты разрушаются, чем исключается налипание [6].

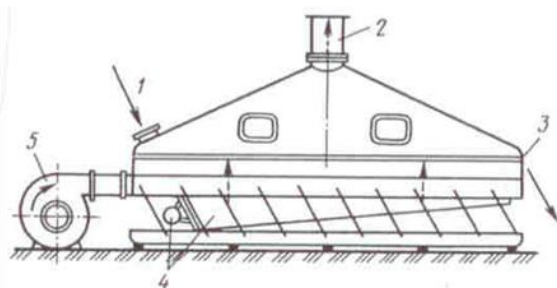


Рис. 9. Сушильный агрегат с колеблющимся транспортером и кипящим слоем для продукции склонной к созданию сгустков: 1 – загрузочное отверстие; 2 – вытяжной канал; 3 – выходное отверстие; 4 – вибровозбудитель; 5 – вентилятор

Fig. 9. The drying unit with oscillating conveyors and fluidized bed for products prone to creating clots: 1 – charging opening; 2 – exhaust channel; 3 – outlet; 4 – vibration exciter; 5 – fan

Наряду с интенсивным внедрением вибрационных сушилок в процесс сушки зерна широкую популярность приобретают сушилки, в которых в качестве сушильного агента является воздух, насыщенный озоном определенной концентрации [24]. При этом используется проточный электроозонатор на основе коронного разряда, который монтируется в воздуховоде, по которому агент сушки подается в зерновую массу. Мощность электроозонатора составляет 0,1...0,15 кВт, масса - 15 кг. Агент сушки, про-

ходя через разрядный промежуток электроозонатора, насыщается озоном и ионами, которые взаимодействуют с зерновой массой. Технология сушки зерна озонородной смесью, получаемой в проточном электроозонаторе, была испытана в производственных условиях на бункерах активного вентилирования БВ-40 (рис. 10) и бункерной сушилке СБВС-5 (рис. 11).

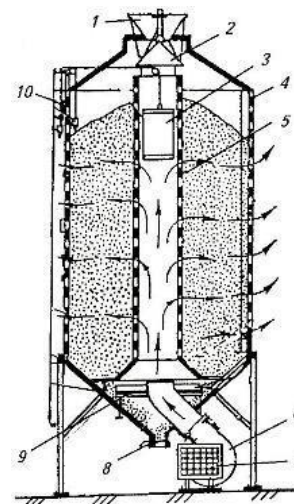


Рис. 10. Бункер активного вентилирования БВ-40: 1 – распределитель; 2 – конус; 3 – клапан; 4 – корпус; 5 – воздухораспределительная труба; 6 – вентилятор; 7 – электрокалорифер; 8 – разгрузочное устройство; 9 – регулировочное кольцо; 10 – датчик уровня

Fig. 10. Bunker active ventilation BV-40: 1 – distributor; 2 – cone; 3 – valve; 4 – hull; 5 – air distribution tube; 6 – fan; 7 – electroheater; 8 – unloading device; 9 – regulatory ring; 10 – level sensor

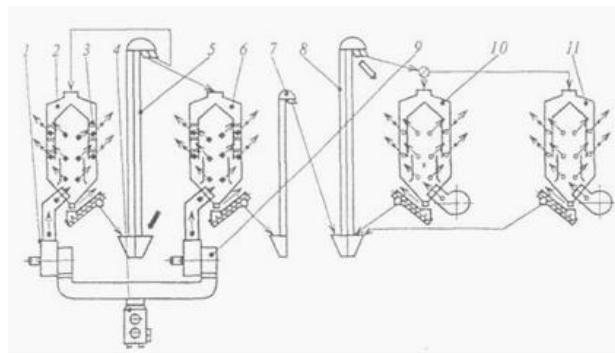


Рис. 11. Бункерная сушка СБВС-5: 1, 9 – центробежные вентиляторы Ц-14-46-8; 2, 8 – сушильные установки; 3 – инверторы; 4 – печной блок ТВ-1,5А; 5, 8 – норрии 2НПЗ-20; 7 – норрии НПЗ-20; 10, 11 – бункеры БВ-4А

Fig. 11. Hopper dryer SBVS-5: 1, 9 – centrifugal fans TS-14-46-8; 2, 8 – drying installations; 3 – inverters; 4 – furnace unit TV-1,5A; 5, 8 – bucket elevators 2NPZ-20; 7 – bucket elevators NPZ-20; 10, 11 – hoppers BV-4A

В бункерах активного вентилирования сушка ячменя с начальной влажностью 24% проводилась при влажности атмосферного воздуха 80...92% и те-

температуре 12...15 °С. Показатели процесса сушки до кондиционной влажности зерна приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели сушки зерна в бункерах активного вентилирования

Table 1. Indicators of drying grain in active ventilation bunkers

№ п/п	Название показателя	Значение показателя		Эффективность
		БВ-40 с озоноатором	БВ-40	
1	Производительность установки по влажному материалу, т/ч	0,44	0,26	в 1,69 увеличилась
2	Производительность установки по сухому материалу, т/ч	0,39	0,23	в 1,7 увеличилась
3	Удельный расход электроэнергии на тонну материала, кВт·ч/т	99	225	в 2,27 уменьшился
4	Срок вентилирования, ч	90	150	в 1,67 уменьшился
5	Исходная влажность материала, %	24	24	-
6	Температура сушки, °С	21,4	21,5	-

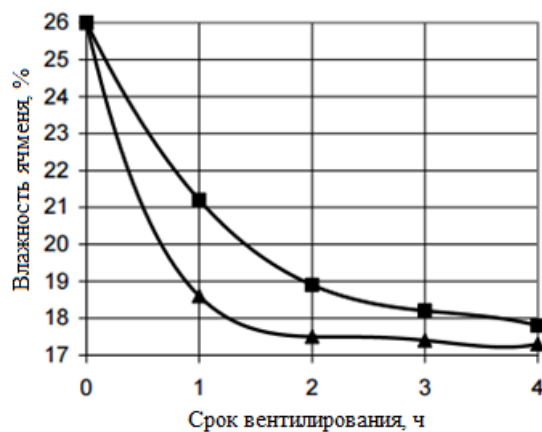
Из данных табл. 1 видно, что производительность бункера по сухому материалу увеличилась в 1,7 раза, а удельный расход энергии на тонну снизился в 2,27 раза.

В процессе испытания озонаторной установки при сушке ячменя в сушилке СБВС-5 определялись следующие показатели: исходная влажность зерна, температура и относительная влажность агента сушки, температура зерна, показатели качества зерна. Пробы на влажность высушиваемого зерна делались через каждый час работы в трехкратной последовательности. Кинетические зависимости изменения влажности зерна представлены на рис. 12, а показатели сушки в табл. 2.

Таблица 2. Показатели сушки зерна в сушилке СБВС-5

Table 2. Indicator of drying grain in dryer SBVS-5

№ п/п	Название показателя	Значение показателя		Эффективность
		Сушка подогретым воздухом	Сушка подогретой озонозовоздушной смесью	
1	Производительность установки по влажному материалу, т/ч	5,4	9,98	в 1,85 увеличилась
2	Производительность установки по сухому материалу, т/ч	4,9	9,32	в 1,9 увеличилась
3	Удельный расход электроэнергии на 1 кг испаренной влаги, кВт·ч/т	0,231	0,153	в 1,51 уменьшился
4	Срок вентилирования (до 14% влажности), ч	10,1	5,4	в 1,87 уменьшился
5	Исходная влажность материала, %	26,2	26,2	-
6	Температура сушки, °С	48	48	-



▲ – сушка подогретой озонозовоздушной смесью;
■ – сушка подогретым воздухом

Рис. 12. Кинетические зависимости изменения влажности ячменя

Fig. 12. Kinetic dependence of changing moisture of barley

Анализ этих результатов показывает, что производительность сушилки по сухому материалу увеличилась в 1,9 раза, а удельный расход энергии на 1 кг испаренной влаги снизился в 1,51 раза [24].

Зерно, высушенное озонозовоздушной смесью, высаживалось в полевых условиях на участках площадью 50 м² дважды в каждую. Оценка воздействия

озона на качество зерна определялась по наличию и количеству растений, пораженных болезнями, а также по величине урожая по сравнению с растениями, семена которых были обработаны ядохимикатами. Данные по урожайности приведены в табл. 3.

Таблица 3. Урожайность ячменя Скороход
Table 3. Yields of barley Skorokhod

Вид обработки	Концентрация озона, мг/м ³	Урожайность по участкам, ц/га	Средняя урожайность за видом обработки, ц/га
Ядохимикаты	-	49	49,5
		50	
Озон	6	57	56
		55	
Озон	10	61	60
		59	

С табл. 3 видно, что урожайность при концентрации озона 6 мг/м³ выше на 13,1%, а при

10 мг/м³ – на 21,2%, чем при обработке ядохимикатами. Таким образом, применение озонозооной смеси при сушке зерна позволяет не только повысить производительность и снизить удельный расход энергии, но и значительно влияет на урожайность.

ВЫВОДЫ

1. Обзор традиционных методов и технологий для сушки зернового сырья показал их серьезные недостатки, которые в основном относятся к высокой энергоемкости процесса и неравномерному качеству обработки высушиваемого материала.

2. Основываясь на современном развитии вибротехнологий и широкого внедрения использования свойств озона, было доказано эффективность их использования для сушки зернового сырья при послеуборочной обработке.

3. Рассмотренные в работе конструкции и технологии не полностью исчерпывают возможности использования вибрации и озона, хотя свидетельствуют о целесообразности их применения и сочетания не только в аграрном производстве, но и в других отраслях с целью интенсификации процессов и получения качественной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глушенко Л.Ф., Глушенко Н.А. 1987. Использование электроактивированного воздуха для сушки биологических объектов // Электронная обработка материалов. – № 2. 73–75.
2. Креймерис И.Б., Дрюкас К., Трюненс В. 1987. Консервирование и сушка влажного зерна с применением озона // НИИМЭСХ. – XIX. 44–51.
3. Пат. 2196417, RU, A01F25/00. Способ сушки зерна и семян [Текст] / А.В. Голубкович, А.Г. Чижиков. – № 2001110265/13, заявл. 16.04.2001, опубл. 20.01.2003. – www. fips. ru.

4. Пат. 2315460(13), (19)RU(11), (51) МПК A01C1/00. Способ и комплекс для обработки зерна, семян и помещений озоном [Текст] / Ю.М. Лужков, Ю.М. Соломонов, Н.В. Карягин и др. – № 2006128437/13, заявл. 07.08.2006, опубл. 27.01.2008. – www. fips. ru.
5. Троцкая Т.П. 1985. Сушка зерна с помощью озонозооной смеси // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – № 1. 36–39.
6. Куцакова В.Е., Богатырев А.Н. 1987. Интенсификация тепло-массообмена при сушке пищевых продуктов. М.: Агропромиздат. – 236.
7. Членов В.А., Михайлов Н.В. 1967. Виброкипящий слой. М.: Стройиздат. – 224.
8. Голубкович А.В., Чижиков А.Г. 1991. Сушка высоковлажных семян и зерна. М.: Росагропромиздат. – 174.
9. Голубкович А.В. 1987. Теория и технология сушки семян овощных и бахчевых культур. М.: Агропромиздат. – 140.
10. Берник П.С., Цуркан О.В., Герасимов О.О. 2006. Оптимизация ресурсосберегающей технологии вибрационной сушки высоко-влажных семян // Сборник научных работ Таврийской государственной агротехнической академии (выпуск 44). – Мелитополь: ТДАТА. – 3-10. (Украина).
11. Берник П.С., Цуркан О.В., Герасимов О.О. 2006. Энергосберегающая технология вибрационной сушки бахчевых культур // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенка «Современные направления технологии и механизации процессов перерабатывающих и пищевых производств» (выпуск 45). – Харьков. – 180 – 192.
12. Тарушкин В.И., Лубников С.И., Дашников В.Н. 1999. Новая конкурентоспособная автоматизированная технология сушки семян. Журнал «Вестник семеноводства в СНГ». №3. 26-32.
13. Хлист Е.Б., Литвинчук А.А., Троцкая Т.М. 2003. Озоновые технологии в производстве. М.: МГУ им. Ломоносова. – 27.
14. Герасимов О.О. 2006. Применение обеззараживающего действия озона в процессах сохранения сельхозпродукции // Сборник научных работ Винницкого государственного аграрного университета. – Винница.
15. Бандура В.М. , Цуркан О.В., Паламарчук В.И. 2015. Экспериментальное исследование технологических параметров процесса инфракрасной сушки движущегося шара сырья масличных культур // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 17. No.4. 211-214.

16. **Паламарчук И.П., Цуркан О.В., Паламарчук В.И. 2015.** The analysis of theoretical and experimental research results of infrared vibrowave conveyor dryer main parameters // ТЕКА. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, Poland: Polish academy. Vol. 15. No.3. 121-126.
17. **Зимин Е.М., Крутов В.С. 1999.** Усовершенствование конструктивно-технологических схем установок для сушки зерна в кипящем слое. Журнал "Механизация и электрификация сельского хозяйства". №2-3. 10-12.
18. **Калиновская О.П. 1979.** Применение вибрационной сушки в комбикормовой промышленности. М. ЦНИИТЭМ Минзага СССР. – 42.
19. **Ксенз Н.В., Попандопуло К.Х. 2009.** Повышение качества зерна на основе использования озонородных смесей // Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия. – Зерноград.
20. **Цуркан О.В., Герасимов О.О. 2010.** Основные тенденции развития и применения вибрационного оборудования для сушки специфической сельскохозяйственной продукции // Винницкий национальный аграрный университет.
21. Конструкции сушилок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <<http://studopedia.org/1-19171.html>>. – Назвние с экрана.
22. **Кац З. А., Рысин А. П. 1972.** Сушка пищевых продуктов в виброкипящем слое [Текст] / З. А. Кац, – М. : ЦНИИТЭИ Пищепром. – 44.
23. Вибромашина для сушки гранулированных и зернистых материалов в виброкипящем слое [Текст] : пат. 84564 Украина, МПК F26B 17/00 (2013.01) / Чубик Р. В., Зозуляк И. А., Мокрицкий Р. Б., Зозуляк О. В. Винницкий национальный аграрный университет. № u 2013 05064; заяв 19.04.2013; опубл. 25.10.2013, бюл. № 20. – 6.
24. **Ксенз Н.В., Попандопуло К.Х. 2010.** Энергосберегающая технология сушки зерна // Механизация и электрификация животноводства, растениеводства.

FEATURES OF THE PROCESS AND EQUIPMENT FOR DRYING GRAIN RAW MATERIALS USING OZONE

Summary. Drying is one of the most important stages of preparing grain for storage in agricultural production. Currently, fairly widespread to complete this process found convective drying. But along with its advantages, this process has a number of significant deficiencies, one of the most significant of which is the significant energy consumption. In this connection, there is enough intensively scientific search for ways to develop methods and snition processing method convective energy consumption. One such method is the use of vibration impact with the use of physical effects, in particular with the addition of ozone into the drying agent [1-4].

The use of vibration technology in drying intensifies the process of grain raw material processing through rapid updating its surface, which is in contact with a drying agent, and the use of at the same time ozone leads to lower process energy consumption and contamination of grain pests and diseases, which is particularly relevant in the post-harvest processing.

Key words: drying, process, vibration, raw materials, grain, processing, effect, ozone, agent.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СОЛОМЫ И ТРЕСТЫ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

Елена Налобина

*Национальный университет водного хозяйства и природопользования
Ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина. E-mail: nalobina08@rambler.ru*

Olena Nalobina

*National Universiti of Water and Nature Resources,
Str. Soborna, 11, Rivne, Ukraine. E-mail: nalobina08@rambler.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты исследований влияния внедрения усовершенствованной технологии получения соломы льна-долгунца комбайновым способом на показатели качества льняной соломы, тресты и выход волокна. Представлены схемы модернизированных рабочих органов: очесывающего барабана и зажимного транспортера льноуборочного комбайна, внедрение которых позволило ввести в известный технологический процесс получения соломы льна-долгунца дополнительную операцию – плющения комлевой части стеблей ленты льна, которая поступает в камеру очеса.

С целью проведения исследований были изготовлены модернизированные рабочие органы, описание работы которых представлены в данной работе. Для решения задачи уменьшения потерь семян и обрыва стеблей в процессе очеса нами предполагалось разделение влияния на семенную и стебельную части растения в очесывающем аппарате. Автором экспериментальным путем проведена оценка эффективности работы очесывающего (базового) и плющильно-очесывающего аппарата. С этой целью определены следующие показатели: чистота очеса стеблей, количество поврежденных стеблей в ленте, потери стеблей, состав вороха льна. Оценка показателей льняной тресты, полученной из соломы после ее вылежки, оценивалась такими показателями: разрывное усилие, гибкость, группа цвета.

Экспериментальным путем также подтверждена эффективность применения предложенной конструкции зажимного транспортера, модернизация которого позволяет одновременно с транспортированием ленты стеблей выполнять плющение наиболее толстой части ленты – зоны комлей.

Приведенные в работе результаты экспериментальных исследований позволили подтвердить эффективность введения в технологию комбайнового получения льняной соломы комбинированной операции плющения-очеса и плющения комлей.

Ключевые слова: солома льна-долгунца, треста льняная, уборка льна, процесс очеса.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Целесообразность развития льняного комплекса в Украине обусловлена наличием благоприятных погодных условий и наличием трудовых ресурсов для выращивания и первичной обработки льна. В данное время состояние льняной отрасли очень сложное. Одной из причин разрушения отрасли есть

низкое качество получаемого сырья: льняной соломы, тресты и, как следствие волокна, что привело к его низкой конкурентоспособности на рынке льняной продукции.

Решение актуальной научно-практической задачи повышения качества льняной соломы и тресты базировалось на глубоком анализе показателей, которые формируются на последовательных этапах их получения, выявления их взаимных связей и взаимного влияния. Это позволило выявить причины потерь характеристик качества, определить наиболее «слабые места» в технологиях получения соломы и тресты льна-долгунца, обосновать направление повышения конкурентоспособности льняной продукции. Одним из путей решения задач, направленных на повышение качества соломы и тресты, нами выбрано усовершенствование очесывающего аппарата льноуборочного комбайна. Выбор такого направления базируется на результатах литературного анализа [2, 4-6, 15] и результатов экспериментальных исследований, выполненных в рамках «Отраслевой программы развития льноводства в Украине» [1].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Выполнение уборочных работ комбайновым способом предусматривает: теребление стеблей льна, их транспортировку, очесывание, расстил, оборачивание лент и формирования рулонов. Каждая из этих технологических операций влияет на показатель пригодности слоя стеблей к трепанию, и в дальнейшем - на качество первичной переработки льняного сырья [14,16]. Обоснование закономерностей влияния параметров рабочих органов льноуборочного комбайна на показатели качества льняной соломы приведены в работах Г.А. Хайлиса [20]. В частности, выполнены исследования формирования растянутости ленты в ходе теребления стеблей. Исследования, направленные на изучение закономерностей формирования растянутости под влиянием делителей теребильного аппарата выполнены в работе Е.А. Налобной [6, 7]. Автором установлено, что растянутость стеблей, которая начинает формироваться во время их взаимодействия с делителями, растет в теребильных ручьях. Экспериментально установлено, что растянутость стеблей в теребильных ручьях на 25-30% больше, чем растянутость, которую формируют делители. [6]. Следующей операцией является очес, который характеризуется обрывом стеблей и формированием угловой дезориен-

тации стеблей в ленте [10-12]. Исследования процесса очесывания наиболее полно изложены в работах [19]. Процесс предполагает воздействие зубцов очесывающего барабана на верхушки стеблей, зажатые в криволинейном ручье транспортера. Под действием зубьев гребней очесывающего барабана на семенные коробочки, в первую очередь, разрушаются крупные коробочки. Семена льна хаотически вылетают из разрушенных коробочек и попадают на подвижную ленту очесанных стеблей и вместе с ними выносятся за камеру очеса, что есть причиной потерь семян. Кроме того накопление разрушенных коробочек на ленте соломы увеличивает сопротивление ленты очесу, что ведет к обрыву и излому стеблей [19]. Деформация стеблей в ходе выполнения операции очеса объясняется также влиянием зажимного транспортера [13]. В ходе транспортирования ленты стеблей, зажатой между ремнями транспортера, через камеру очеса происходит относительное смещение стеблей, что ведет до их разрушения, а также к увеличению растянутости ленты.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью выполненных исследований:

- 1) усовершенствование конструкций зажимного транспортера и очесывающего барабана льноуборочного комбайна с целью повышения качества соломы льна-долгунца и, как следствие, тресты и волокна;
- 2) оценка показателей технологической эффективности работы модернизированного очесывающего аппарата, оснащенного плющильными вальцами;
- 3) оценка показателей качества льняной тресты полученной из соломы после ее вылежки.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

С целью проведения исследований были изготовлены модернизированные рабочие органы и установлены на льноуборочном комбайне. Показатели для оценки соломы льна – долгунца выбирали согласно [17]. Качество льняной тресты и волокна оценивали согласно стандартных методик, приведенной в Государственных стандартах Украины [3, 18].

Для решения задачи уменьшения потерь семян и обрыва стеблей в процессе очеса нами предполагалось разделить влияние на семенную и стебельную части растения в очесывающем аппарате (рис. 1). Предложенная конструкция [8, 9] позволит удалять семена путем разрушения коробочек, а потом разрушать связи в системе коробочки-стебли.

Исследования плющильно-очесывающего аппарата проводились после его изготовления и установки на льнокомбайн ЛК-4А по трем направлениям: 1) оценка параметров льняной соломы на выходе с льноуборочного комбайна; 2) оценка льняной тресты; 3) оценка параметров волокна. Результаты представлены в таблице 1.

Результаты оценки показателей льняной тресты полученной из соломы после ее вылежки приведены в таблице 2.

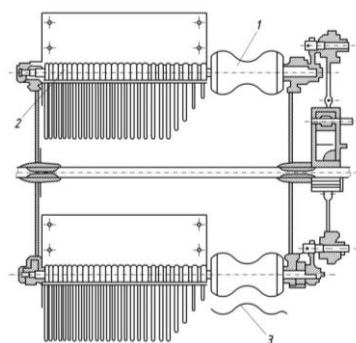


Рис.1. Схема плющильно-очесывающего аппарата: 1 – вальцы плющильные, 2 – гребни с зубцами, 3 – опорная пластина

Fig. 1. Scheme of the squashing-combing apparatus: 1 – squashing rolls, 2 – bar with fingers, 3 – support blade

Изменения показателей гибкости и разрывного усилия объясняется уменьшением повреждаемости стеблей в ходе протекания процесса очеса.

Очесывающий аппарат льноуборочного комбайна, кроме выше рассматриваемого очесывающего барабана, содержит зажимной транспортер, конструкция которого также влияет на формирование показателей качества льняной соломы. Нами предложена усовершенствованная конструкция зажимного транспортера, целью которой есть уменьшение выхода стеблей в путанину, повышения равномерности продавливания стеблей и повышение качества волокна. Изменена конструкция прижимного приспособления. Она выполнена в виде пластины, к которой приваренные блоки из трех пружин с прижимными валками, каковые заканчиваются фигурными выступами для проминания комлевой части стеблей (рис. 2).

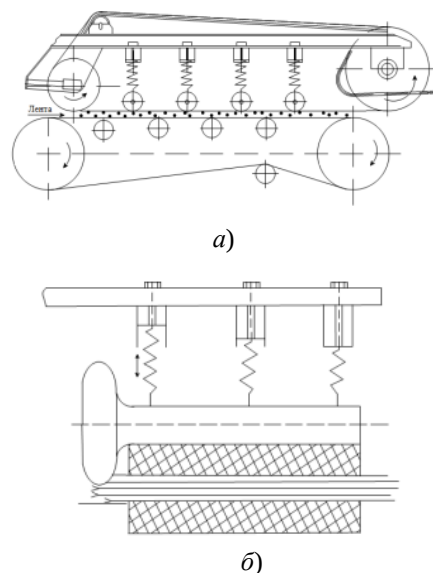


Рис. 2. Схема усовершенствованного зажимного транспортера: а – общий вид; б – вид ролика с выступом

Fig. 2. Scheme of improved gripping conveyor: a – general view, b – view of the roll with the raised portion

Таблица 1. Результаты оценки эффективности работы очесывающего (базового) и плющильно-очесывающего аппарата

Table 1. Results of the research of combing (basic) and squashing-combing apparatus efficacy

Вид оборудования	Чистота очесывания ленты льна, %	Поврежденность стеблей, %	Потери стеблей, %	Состав льняного вороха		
				путаница, %	целые и поврежденные коробочки, %	поврежденные семена, %
Очесывающий аппарат ЛК – 4А	96,36	3,54	0,092	0,84	41,3	0,032
Плющильно- очесывающий аппарат	98,78	2,65	0,055	0,53	16,5	0,011

Таблица 2. Показатели качества льняной тресты

Table 2. Quality of retted straw

Сорт льна	Показатели			
	Разрывное усилие, Н	Гибкость, мм	Группа цвета	Примечание
Гладиатор	22,60	34,60	2,0	Базовый аппарат
Чаривный	22,90	35,30	2,0	
Гладиатор	23,00	34,90	2,2	Модернизированный аппарат
Чаривный	23,25	35,83	2,2	

Таблица 3. Показатели качества льняной тресты и выхода длинного волокна

Table 3. Quality of retted straw and output of long fiber

Показатели	Варианты выполнения технологического процесса	
	Базовая технология	Технология с использованием модернизированного оборудования
Номер тресты	1,5	2,0
Выход длинного волокна, %	16,9	18,94

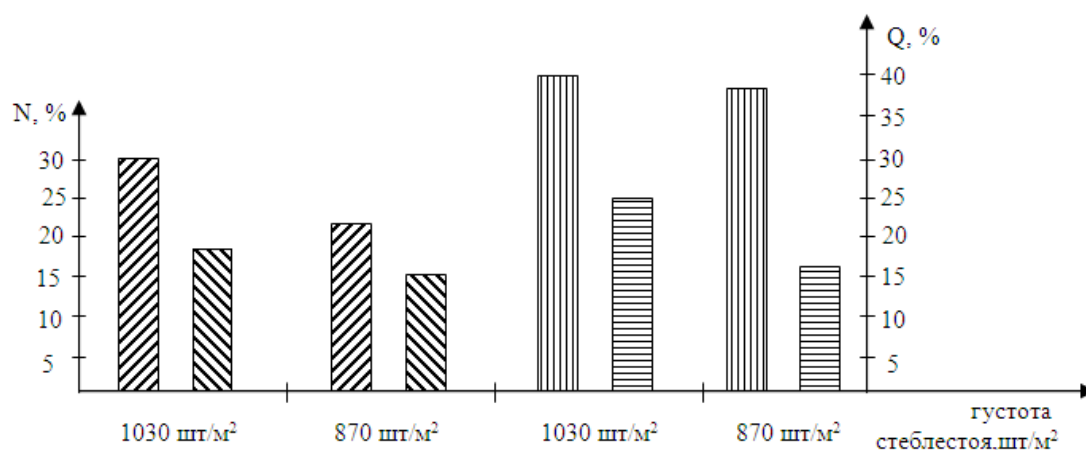


Рис. 3. Гистограмма распределения показателей N, % – поврежденных стеблей и Q, % – перекошенных стеблей при условии транспортирования ленты льняной соломы транспортером базовой конструкции (комбайн ЛК – 4А) и усовершенствованной (▨, ▩ – N, %; ▧, ▪ – Q, %;)

Fig. 3. Histogram of the index proportioning N, % - bruised stems, Q, % - crooked stems on condition that the flax straw is transported by the transporter of basic construction (the combine LK – 4A) and by the transporter of improved construction (▨, ▩ – N, %; ▧, ▪ – Q, %;)

Результаты исследований работы зажимного транспортера приведены на рис. 3.

Экспериментальные данные, которые представлены на рис. 3 подтверждают эффективность применения предложенной конструкции зажимного транспортера. Видим, что установка зажимного транспортера, оснащённого прижимным устройством с дифференцированным давлением прижимных пружин и вальцами с фигурными выступами, как видим из полученных графических результатов, позволила уменьшить число поврежденных и прокошенных стеблей в ленте льна, которая транспортируется и очесывается зубьями очесывающего барабана.

Эффективность введения в технологию комбайнового получения льняной соломы комбинированной операции плющения-очеса и плющения комлей оценивалась также через показатели качества льняной тресты и показатели выхода длинного волокна (табл. 3).

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что формирование показателей качества льняного сырья (соломы, тресты) происходит поэтапно. Существенное влияние оказывают рабочие органы льноуборочного комбайна, в том числе очесывающий аппарат.

2. Модернизация очесывающего барабана и зажимного транспортера позволяет повысить чистоту очеса с 96,36% до 98,78%, уменьшить повреждения стеблей с 3,54% до 2,65%, уменьшить показатель перекоса стеблей, что ведет к повышению таких показателей тресты как гибкость, разрывное усилие, цвет.

3. Учитывая, что комлевая часть стеблей льна имеет больший диаметр чем верхушечная, и в ходе вылеживания тресты это ведет к неравномерному формированию показателей, которые оценивают качество тресты по длине стебля, введена дополнительная операция плющения путем изменения конструкции прижимного устройства зажимного транспортера, эффективность которой подтверждена экспериментально.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Galyzeva programa rozvitku lonarstva v Ukrainina 2000-2010 r.r. URL: <<http://www.minagro.gov.ua/page/7203> (dataobra)>
2. **Kobek W., Manys B., Pechowiak S. 1978.** Odwracanieizbieranieslomylnianej. Mechanizacja rolnictwa, №14, – P 18 – 22.(in Polish)
3. **Lon Tipanij. 2001.** Tehnichni umovi: DSTU 4015: Publ. 30.03.2001.12p. (in Ukrainian).
4. **Makaev V.I. 2004.** Udoshkonalennjarozdilnogospodobuzbirannjalonu-dovgunca z metojupolipshennijajakostiprodukcii//Problemilegkoj I tekstilnojpromishlenostiUkraini.-Kherson, №1(8) – 96-100.
5. **Markov V.V., SuslovN.N., Trifonov V.G., Ipatov A.M. 1974.** Pervichnaya obrabotka lubjanich volokon – M., Legkaja induatrija, - 415.

6. **Nalobina O.O. 2008.** Mechaniko-technologichni osnovi vzaemodii robochich organovy lonozbiralnogo kombaina z roslinnim materiom//Disertatsiya na soiskaniya uchenoy stepenid.t.n. – Kijev:NAU, - 341.
7. **Nalobina O.O. 2006.** Lonozbiralniy kombainy (osnovy teorii i rozrachunku mehanizmv ta pytannija ekspluatacii) // monografiya. – Luck, RVV LDTU, - 208.
8. **Nalobina O.O., Seleznirov D.E., Khajlis G.A.2011.** Plyushchilno-ochisualny aparat. Patent Ukraina, №59976.
9. **Nalobina O.O., Seleznirov D.E. 2012.** Plyushchilno-ochisualny aparat. Patent Ukraina, №75616
10. **Nalobina O.O., Seleznirov D.E. 2012.** Doalidzhenniya procesu obchisuvaniya stebel plyushchilno-ochisualnym aparatom // Zbirniknaukovychprac VNAU. - №11, t.1(65), - 171-176.
11. **Nalobina O.O., Seleznirov D.E. 2012.** Doalidzhenniya roboty plyushchilno-ochisualnogo aparata lionozbiralnogo kombayna // Mechanizaciya i elektrofikaciya silskogogospodarstva. - № 96, 148-154.
12. **Nalobina O.O., Seleznirov D.E. 2012.** Rezultaty doslidzhchen procesiv rujnuvanniya v sistemi steblo-korobochki lonu-dolgunca // Naukovi notatki. – Luck: KVV LNTU, № 39. – 128-133.
13. **Nalobina O.O., Polishchuk L.M. 2015.** Issledovaniya vliyaniya modernizacii zazhimnogo transportera lnoyborochnogo kombaina na pokazateli kachestva lnyanoy solomy //Nauka i Innovacjie: Volume 10: budownictwo i architektura, Rolnictwo, geografia I geologia, ecologia, chemia I chemiczne technologie: materiały XI Międzynarodowa naukowa konferencja –7-15 października. – 22-25.
14. **Pashin E.L., Lapshin A.B., Krugliy I.I. 2001.** Zavisimost technologicheskogo kachestva lna ot ego svoystv i usloviy proizvodstva // Vechnik RASIN, №3. – 78-81.
15. Soloma lnyanaya. Trebovaniya prizagotovkah: GOST 28285-89. Publ.01.07.1990. 18h. (Mezhgosudarstvenniy standart) – M., Standartinform.
16. **Tolstushko N. 2013.** Issledovaniye formirovaniya rulona vusovershenstvovanoj presovalnoj kamere press-podborshika /N. Tolstushko / MOTROL. Commission of Motorization
17. Tresta liyna. Tehnichni umovy. DSTU 41:2003. Publ. 01.01.2004.17p. (in Ukrainian)-K., Derzhstandart.
18. **Chernikov V.G., Porfiriev S.G., Rostovcev R.A. 2004.** Ochesyvayushchie aparaty lnouborochnyh mashin // monografiya. – M.: VIM.-240.
19. **Khaylis G.A. 1985.** Lnouborochnye mashyny-M.:Mashinostroeniye. – 232.
20. **Shkarievskij G. 2014.** Otdelnije rezultaty issledovaniya dejatelnosti proizvoditeleselskokhozjastvennoj produkcii Ukrainy / G. Shkarievskij, R. Shkarievskij / MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2014.Vol. 16.No.3.138 -143.

STUDY TOWARDS IMPROVING THE QUALITY OF STRAW AND FLAX TRUSTS

Summary. The article presents the results of the study of influence of the improved technology of flax straw production by combines on the flax straw quality, retted straw and fiber yielding.

The schemes of the improved working tools are presented, namely the carding cylinder and the gripping conveyor of the flax combine; their use allowed to include the operation of blade butts squashing in the de-seed camera into straw obtention technological process.

The improved working tools were made in order to do the research, their description is included in this work. We suggest different actions on the seeds and stems in the combing apparatus in order to reduce the seed wastes and stem breaks during the combing process.

The author experimentally evaluated the efficacy

of combing (basic) and squashing-combing apparatus. The following characteristics were chosen for this purpose: stem combing cleanness, the number of the broken stems, stem wastes, composition of the thrashed piles. Next characteristics were chosen to evaluate the retted straw: disruptive effort, flexibility and color group.

The experiment also proved the efficacy of the suggested gripping conveyor construction, its modernization allows transporting the conveyor belt and simultaneous squashing the thickest part of the blades, i.e. the butts.

The results of the experiment, presented in the work, prove that the integrated operation of squashing-combing and butt squashing is effective, it makes the flax straw producing technology more efficient.

Keywords: flax straw, retted straw, flax cleaning, combing process.

ЦЕЛЕВАЯ МЕХАНОАКТИВАЦИЯ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ КАК СРЕДСТВО МОДИФИКАЦИИ БАЗОВОГО СЫРЬЯ МИМ-ТЕХНОЛОГИИ

Елена Соленая, Виталий Янович

*Винницкий национальный аграрный университет,
Ул. Солнечная, 3, Винница, Украина. E- mail: yanovichvitaliy@mail.ru*

Solonaya Elena, Yanovich Vitaliy

*Vinnytsia National Agrarian University ,
Str. Sun, 3 , Vinnitsa, Ukraine . E- mail: yanovichvitaliy@mail.ru*

Аннотация. В статье приведена схема МИМ-технологии для производства сложно конфигурационных высокоточных деталей, которая реализует идею комплексного применения методов литья полимерных материалов и инжекционного спекания металлического порошка.

Для повышения эксплуатационных показателей изготовленных деталей по выше обозначенной технологии предлагается осуществлять предварительную модификацию структуры базового металовидного наполнителя путем его высокоинтенсивной целевой механоактивации в вибрационной мельнице, колеблющейся движение помольной камеры которой позволяет значительно повысить силовое воздействие технологического наполнителя на обрабатываемый материал, а как следствие эффективно реализовать процесс механоактивации металовидного сырья повысив его эксплуатационные характеристики в конечном изделие .

Ключевые слова: инжекционное литье, механоактивация, модификация структуры, металовидный наполнитель, вибрационная мельница

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Производство металлических элементов сложного профиля способом инжекционного литья порошка (ИЛП) сегодня считается одним из наименее финансово и энергоемких при условии получения высокого качества точности и нивелирования вторичных остатков при механической обработке [1-3]. Значительная популяция данного способа, как в США так и в странах Западной Европы, приходится на конец 90-х годов, когда менее чем за год объемы продукции изготовленной по данной технологии увеличились вдвое. Темпы применения деталей, произведенных с помощью ИЛП - технологий в этих странах остаются достаточно высокими.

Специализированным направлением данной технологии является литье металлических деталей под давлением «Metal Injection Molding» (MIM). В качестве базового сырья в данной технологии используется полимеризованные гранулы на базе металлического порошка и связующего материала.

Процесс литья под давлением металлических изделий открывает новые возможности для дизайнера изделий . Изделия, отлитые с помощью данного процесса, имеют более высокую плотность (96-100 %) и намного лучше механические свойства по сравнению с изделиями изготовленными по технологии порошковой металлургии.

На сегодня в условиях интенсивного развития науки и техники создаются новые механизмы и агрегаты разноцелевого назначения, эксплуатация которых сопровождается значительными динамическими нагрузками и отрицательными воздействиями агрессивных сред, что приводит к повышению требований к качественным показателям базовых материалов.

Поэтому актуальным является поиск путей повышения показателей качества базовых материалов, что применяются в производстве сложноконфигурационных деталей на основе МИМ технологии, в частности путем предварительной структурной модификации металлического наполнителя за счет его механоактивации.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

МИМ-технология применяется во всех индустриальных областях, например, в автомобильной промышленности, при производстве драгоценностей, запчастей, металлических конструкций и медицинского оборудования, а также при изготовлении различных механизмов. По сравнению с точным литьем, процесс инжекционного литья под давлением металлических изделий дает минимально допустимые отклонения размеров и отличное качества поверхности [4, 5]. По сравнению со стальными отливками, структура в процессе металлического литья под давлением является гомогенной по всей толщине изделия. Тенденция к деформации при последующей термической обработки выражена гораздо меньше. Нержавеющая и низколегированная сталь может вообще не подвергаться термической обработке. Огромные преимущества этот процесс оказывает при производстве очень точных изделий, в тех случаях, когда соответствующий материал очень трудно или вообще не поддается механической обработке на станках [6].

Метод инжекционного литья под давлением металлических изделий предоставляет значительные возможности для его автоматизации. Важным шагом в направлении использования этих возможностей является производство оборудования для непрерывной переработки сырья Catamold®, которое уже работает в настоящее время во многих РИМ-компаниях.

Следует отметить, что первые внедрения МИМ-технологии пришлось при изготовлении стрелкового оружия. В этой области МИМ-технология набирает новых перспектив. Многолетнее сотрудниче-

ство объединяет Австрийскую компанию Wittmann Battenfeld с Индийской фирмой IndoUS MIM Tec Pvt. Ltd. Фирма основана в 2001 году и за короткое время стала одной из известных в мире производителей литья металлических изделий стрелкового оружия.

Большая часть деталей, изготовленных МИМ-методом, принадлежит промышленности по изготовлению часов. Такие компании как Swatch, Seiko, Citizen уже давно используют этот метод для изготовления корпуса часов и звеньев для браслетов наручных часов.

В последние годы МИМ-технология применяется в автомобильной промышленности при изготовлении деталей для дверных замков, деталей рулевого управления, деталей трансмиссии, замков зажигания [1, 2, 4, 5].

Нашлось применение МИМ-технологии также и в медицинской отрасли. Так, МИМ-технология уже давно реализуется при изготовлении зубных брикетов, титановый порошок используется для зубных штифтов, имплантатов для опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы и при производстве миниатюрного хирургического инструмента.

Инжекционное литье порошка позволяет изготовить широкий спектр готовых компонентов с высокими техническими показателями давая огромное преимущество при производстве крупносерийных сложноконфигурационных деталей, по сравнению с традиционными методами литья.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью выполненных исследований – анализ технологии инжекционного литья сложноконфигурационных металлических деталей.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Процесс инжекционного литья из порошка является одним из самых адаптированных технологий формирования деталей. Сущность данной технологии состоит в комплексном применении литья полимерных материалов с технологиями инжекционного спекания металлического порошка.

Схематику процесса инжекционного литья порошка отражено на рис. 1.

На первой стадии из порошка и связующего вещества (пластификатора) готовят так называемую «молочную смесь» или компаунд Feedstock. В данной базовой форме, процесс ИЛП предусматривает сочетание металлического порошка и пластика в пропорции - 60% порошка, и 40% - связующего материала. В зависимости от плотности, готовое изделие весит от 85 до 98% веса порошка. Порошки, как правило, имеют достаточно малые размеры частиц - до 20 микрон (20 мкм или $\approx 0,0008$ дюймов).

Связующее полимерная смесь, которая обеспечивает смазку и сцепление порошка играет решающую роль для поддержки текучести сырья при литье и прочности готовой заготовки. Состав связующего вещества состоит из основной и термической части. Основная связующего испаряется во время расщепления, а термическая во время спекания. Химические свойства связующего вещества влияют на процесс ее удаления. Смешивание такой смеси выполняется при температуре от 100 до 200 °С и с помощью двухшнековых экструдеров. На выходе из экструдера смесь перемалывается в гранулы путем дозирования количества порошка или связующего можно изменять величину усадки и другие параметры. Комбинация порошка и связующего смеси и представляет собой сырье (компаунд) для производства.

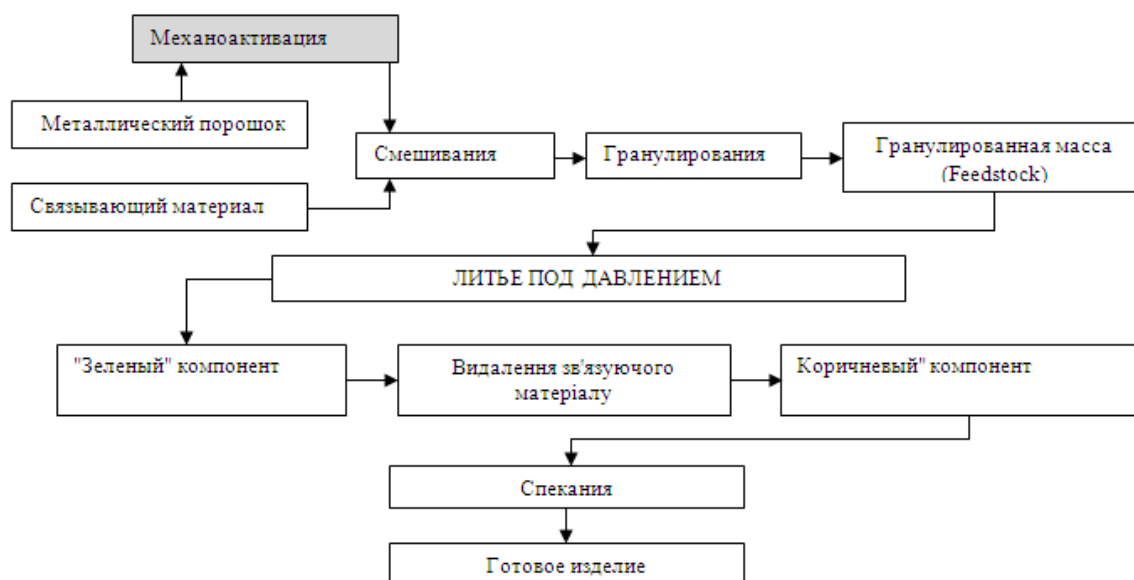


Рис. 1. Схематика процесса инжекционного литья порошка

Fig. 1. Schematics of the process of powder injection molding

После чего из смеси порошка с размерами частиц от 0,001 до 0,02 мм, и полимерного связующего материала, проводят формовку деталей на отливной машине, аналогичной Термопластавтоматы с соответствующими припусками на усадку, которая в РИМ процессе доходит до 26% в сторону. Данное оборудование впрыскивает смесь расплавленного полимера и твердого порошка под давлением в полость литейной формы. Во время процесса литья, порошок не испытывает никаких изменений, поскольку максимальная температура плавления соединения гораздо ниже температуры плавления порошка. Отлитую спрессованную заготовку охлаждают в полости литейной формы до затвердевания полимера. Такие спрессованные детали называют - «зелеными заготовками».

Следующей стадией является удаление связующего (пластификатора), в котором основная часть массы удаляется путем нагревания, растворения, кристаллизации или других способов в зависимости от состава союза. Удаление проходит не изменяя при этом сложившейся заготовки. После удаления связующего полученные детали носят название «коричневые заготовки» и испытывают высокотемпературного спекания частиц, которое происходит между уплотненными порошками до точки активации атомного движения. В большинстве порошков данное явление начинается задолго до температуры плавления. Результатом данного процесса является усадка готовой детали, которая обычно на 15% меньше размера полости базовой формы в которую она была отлита. После спекания нет никаких признаков присутствия порошков и полимеров, поэтому рабочие характеристики продуктов, изготовленных путем ИЛП, могут составить конкуренцию другим промышленным изделиям из металла и имеют большое преимущество за счет свойств присущим полимерным структурам (рис. 2).



Рис. 2. Детали изготовлены с помощью МИМ-технологии

Fig. 2. Parts are manufactured using MIM technology

Одним из средств повышения качественных характеристик исходной продукции, в частности повышение прочности и уменьшения пористости структуры исходного образца в результате МИМИ

технологии, есть предварительная энергонасыщенных механоактивация базового металлического состава [7-9, 12, 13].

Для реализации высокоактивного изменения структуры базового наполнителя в виде металлического порошка была разработана вибрационная мельница [10, 14-18], в котором обеспечивается колеблющийся движение помольной камеры выполненной в виде двух параллельно расположенных цилиндрических контейнеров размещенных под углом к горизонту соединенные переходным патрубком для эффективной транспортировки измельченной массы [19, 20].

На рис. 3 представлена принципиальная схема разработанной вибрационной мельницы, на рис. 4 представлено ее практическую реализацию.

Вибрационная мельница содержит электродвигатель 1, эластичную муфту 2 соединенную с приводным валом 3 на котором размещаются дебалансы 4, помольных камеру выполненную в виде двух параллельно расположенных цилиндрических контейнеров 5, 6 расположенных под углом α и β к горизонту, соединенных переходным патрубком 7 и наполненные технологическим наполнителем 8, упругие элементы 9, траверсы 10 патрубки 11 и 12 соответственно для подачи и разгрузки обрабатываемого материала.

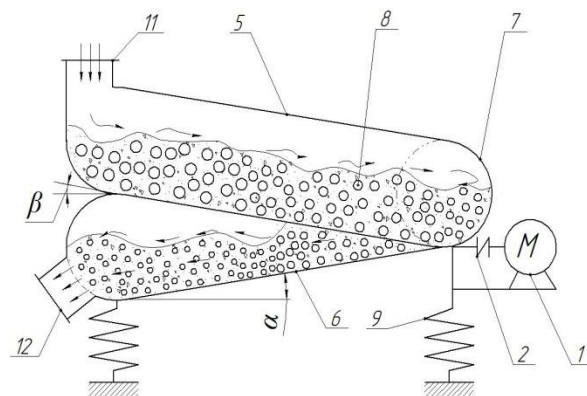


Рис. 3. Принципиальная схема вибрационной мельницы: 1 – электродвигатель; 2 – эластическая муфта; 3 – приводной вал; 4 – дебалансы; 5, 6 – цилиндрические контейнера; 5, 8 – переходные патрубки; 8 – технологический наполнитель; 9 – упругие элементы; 10 – траверсы; 11, 12 – патрубки для подачи и разгрузки обрабатываемого материала

Fig. 3. Schematic diagram of the vibratory mill: 1 – electric motor; 2 – flexible coupling; 3 – a power shaft; 4 – unbalance; 5, 6 – cylindrical container; 5, 8 – transitional tubes; 8 – technological filler; 9 – elastic elements; 10 – crosspiece; 11, 12 – tubes for supplying and discharging the treated material

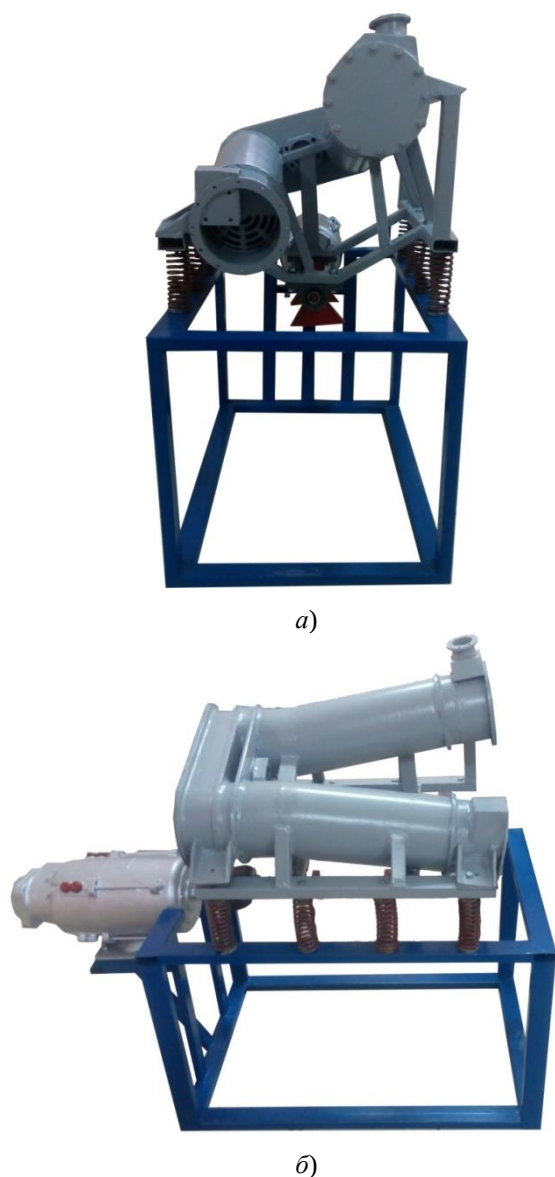


Рис. 4. Конструктивная реализация вибрационного мельницы: а) вид спереди; б) вид сверху

Fig. 4. The design, the vibratory mill: a) the front view; b) top view

Вибрационная мельница работает следующим образом. При включении электродвигателя 1 крутящий момент через эластичную муфту 2, передается на приводной вал 3 с дебалансами 4, в результате вращения которых в жестко размещенных траверсах 10 возникает комбинированная силовая и моментная неуравновешенность помольной камеры, выполненной из цилиндрических контейнеров 5, 6 и переходного патрубка 7, что в свою очередь в процессе заполнения технологическим наполнителем 8 и образует винтообразную помольную камеру. Обрабатываемый материал непрерывно поступает через загрузочный патрубок 11 и под действием силового воздействия технологического наполнителя активно по винтообразной траектории транспортируется к патрубку 12 на вывантаженный с вибрационного мельницы.

Колебательное движение помольной камеры данной мельницы позволяет значительно повысить

силовое воздействие технологического наполнителя на обрабатываемый материал, а как следствие эффективную реализацию процесса механоактивации металловидного сырья исследуемой технологии инъекционного литья.

ВЫВОДЫ

В результате анализа технологии инъекционного литья сложноконфигурационных металлических деталей установлено, что одним из средств высокоэффективной модификации данного процесса является целевая механоактивация базового сырья в виде металловидного порошка. Предложено перспективное оборудование для реализации данной технологической обработки в виде вибрационной мельницы, характеризующееся высокоактивным движением помольной камеры складной геометрии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Липатов Ю.С. 1984.** Будущее полимерных композиций К.: Наук. Думка, 250. (Украина)
2. **Калиничев Э.Л. 1985.** Оборудование для литья под давлением: Расчет и конструирование М.: Машиностроение. 256.
3. **Ashby M. 2002.** Materials and Design, the Art and Science of Materials Selection in Product Design' Butterworth Heinemann, Oxford. 87.
4. **Beebhas C. 1991.** Mutsuddy. Injection molding / Beebhas C. Mutsuddy // Ceramic and Glasses. Vol. 4. 173 – 180.
5. **Ивженко В.В. 2008.** Исследование влияния параметров инъекционного литья термопластичных масс на основе порошков AlN, Si₃N₄, SiC, WC на процесс формованиязаготовок. Породо-разрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Вып. 11. 407 – 411.
6. **Новиков Н.В. 2004.** Оборудование для инъекционного литья термопластичных масс на основе керамических и металлокерамических порошков. Порошковая металлургия. № 9., 119 – 127.
7. **Молчанов В. И., Юсупов Т. С. 1981.** Физические и химические свойства тоикодиспергированных м и нералов. М., Недра. 320
8. **Dunitz, J.D. 1991.** Phase transitions in molecular crystals from a chemical viewpoint / J.D. Dunitz // Pure Appl. Chem. V. 63, № 2. - 177-185.
9. **Kalinkina E.V.1999.** Changes of Ca and Mg Silicate MineralsInfuced by Grinding and Interaction with Water. Department of Chemical and Metallurgical Engineering Division of Inorganic. Chemistry. 1–47.
10. **Boldyrev V.V. 1996.** Mechanochemistry and mechanical activation. Materials Sci. Forum. Vol. 225-227. - 511-519.
11. **Аракчеева А.В., Пушаровский Д.Ю., Гекимянц В.М. 1997.** Кристаллография. Т. 42. № 1. 54–64.
12. **Boldyrev V. V. 2002.** Powder Technol. Vol. 122, No. 2–3. 247.

13. **Nasir A. 2005.** Development and testing of hammer mill. Department of Mechanical Engineering. № 8(3), 124-130.
14. **Rilley R.V. 1996.** Theory and practice of grinding. Chemical and process engineering. № 4, 189-195.
15. **Bond F.C. 1998.** Some recent advances in grinding theory and practice. Brit. Fnang. № 9, 84-93.
16. **Gonzalez A.T.J. 1995.** Milling process of durum wheat. Options Mediterrancennes. №2, 43-51.
17. **Crowley, K.J. 2002.** Cryogenic grinding of indomethacin polymorphs and solvates : assessment of amorphous phase formation and amorphous phase physical stability / K.J. Crowley, G. Zografi // J.Pharm. Sci. - Vol. 91. - P. 492-507.
18. **Солоная Е.В., Любин В.С. 2013.** Тримасная вибрационная мельница с четырьмя вибровозбудителями. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol.15. No.4, 219-224.
19. **Yaroshevich N. 2011.** Double multiple synchronization of the mechanical vibroexciters connected with linear oscillatory system. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin, Vol. 6. 294–302.
20. **Паламарчук И.П., Липовой И.Г., Янович В.П. 2009.** Развитие конструктивных схем виброцентробежных технологических машин для реализации процессов механической обработки сельскохозяйственного сырья. Вибрации в технике и технологиях. №2(54), 105-115. (Украина)/

THE TARGET MECHANOACTIONATION TARGET
AS A MEANS OF MODIFICATION OF BASIC
MATERIAL MIM-TECHNOLOGY

Summary. The article shows a diagram of the MIM-technology for the production of high-precision parts complicated configuration that implements the idea of the integrated application of methods of casting and plastics injection sintering metal powder.

To improve the operating characteristics of the produced parts for the above indicated technologies are invited to pre-modification of the structure of the base metal filler by its high-intensity target mechanical activation in a vibratory mill, oscillating movement of the grinding chamber which can significantly improve the physical impact of technological filler on the processed material, and as a result of effective implementation of the mechanical activation process metal raw operational improve its performance in the final product.

Key words: injection molding, mechanical activation, a modification of the structure, metal filler vibration mill.

К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ ПРОПАШНОГО КУЛЬТИВАТОРА

Павел Федирко, Петр Краснолуцкий, Виталий Хрустинский
Подольский государственный аграрно-технический университет

Ул. Шевченко, 13, Каменец-Подольский, Украина. E-mail: kraspp@ukr.net

Pavlo Fedirko, Petro Krasnolutsky, Vitaly Khrustynsky
Podolskiy State Agrarian and Engineering University

St. Shevchko, 13, Kamenets-Podolskiy, Ukraine. E-mail: kraspp@ukr.net

Аннотация. В статье изложен короткий обзор активных рабочих органов пропашных культиваторов и обоснована целесообразность применения для междурядной обработки картофеля почвообрабатывающих фрез сложной конфигурации, поскольку при этом возможно не только рыхление почвы, но и ее управляемое перемещение на гребни. Авторами предложена конструкция конусообразного ротора, ось вращения которого наклонена в продольно-вертикальной плоскости вершиной по направлению поступательного движения агрегата. Конструктивно ротор состоит из сплошного наконечника и диска основания, которые соединены между собой пластинчатыми ножами, расположенными по образующим условного конуса. На поверхности пластинчатых ножей жестко закреплены рыхлящие лопатки. Для корректирования траектории отбрасываемой почвы и ее дополнительного крошения над ротором установлен щиток. Грядиль секции с рабочим органом шарнирно присоединен к раме культиватора и фиксируется в определенном положении нажимной штангой регулировочно-предохранительного устройства. Привод ротора целесообразно осуществлять от гидромотора. На основании теоретического анализа определены требуемые размеры угла при вершине и радиус основания ротора, исходя из заданной ширины и глубины обработки. Также выведены уравнения, описывающие траекторию движения точки ротора, векторы абсолютной скорости и ее составляющих. Результаты предварительных экспериментов в целом подтвердили выдвинутую гипотезу о возможности применения ротора для рыхления и окуливания, а также позволили уточнить его некоторые параметры. В частности, установлена интенсивность воздействия различных участков ротора на почву, а также влияние частоты вращения и угла наклона ротора на качественные показатели его работы.

Ключевые слова: орган рабочий ротационный, обработка междурядная, культиватор-окуликов, ось вращения наклонная, траектория почвенной фрезы, векторы скорости.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последнее время в связи с ужесточением экологических требований вновь усилился интерес к разработке почвообрабатывающих машин с усовершенствованными рабочими органами, позволяющими минимизировать количество проходов агрегатов и внесение гербицидов. Прежде всего, это касается

междурядной обработки пропашных культур, в частности, картофеля [1].

Многочисленными исследованиями доказано, что качественная обработка почвы в период ухода за посадками способствует повышению урожайности на 25...30 % [2, 3]. Однако серийные культиваторы с пассивными и бесприводными рабочими органами не обеспечивают требуемой степени уничтожения сорняков, крошения почвы, уплотняют откосы гребней [4]. Это ухудшает условия произрастания клубней и обуславливает необходимость многократного проведения обработки. Более высокие качественные показатели имеют активные рабочие органы (далее сокращенно АРО), из которых наиболее распространены почвенные фрезы с горизонтальной осью вращения, расположенной фронтально к направлению движения агрегата [5-7]. Недостатками известных конструкций таких пропашных культиваторов является сравнительно высокая энерго- и металлоемкость, возможность использования лишь на ранних стадиях развития растений, необходимость в достаточно широкой защитной зоне рядка, которая практически не обрабатывается [8]. Поэтому разработка АРО сложной геометрии, позволяющей выполнять рыхление почвы и окуливание растений с оптимальными показателями культивации, является актуальной.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Почвенные фрезы изучали А.Д. Далин, И.М. Панов, Ф.М. Канарев, М.М. Севернев, Ю.И. Матяшин, И.М. Гринчук, М.Д. Подскребко, Г. Бернацки. Ними разработана достаточно полная теория взаимодействия ножей фрезы с почвой, а также методики расчета конструктивно-технологических параметров и режимов работы агрегатов. Однако эти исследования охватывают лишь АРО с горизонтальным или вертикальным расположением оси вращения, снабженные, как правило, Г-образными ножами [9].

Некоторыми учеными разрабатывались АРО более сложной конфигурации. Так, В. Тарасюк предложена горизонтальная фреза с шнековыми приставками конической формы для отсыпки почвы на гребни [10]. Разнообразные варианты лопастных эллипсоидных АРО с разрыхлительными элементами исследовались З. Ловкисом, С. Геруком [11, 12], М. Чаткиным [9] и другими учеными. Привлекает внимание предложенная З. Ловкисом и

В. Лахмаковым конструкция АРО в виде набора пластинчатых ножей, расположенных по образующим цилиндра с осью вращения, наклоненной в плоскости, перпендикулярной направлению движения агрегата. Размеры и угол наклона ротора подобраны таким образом, что при его вращении образуется своеобразный «клин», контуры которого идентичны профилю поля, требуемого при нарезке гребней или окучивании [13]. Каждый из этих вариантов имеет свои преимущества и недостатки, сочетание которых можно в общем случае сформулировать так: высокое качество крошения при достаточной линейной скорости агрегата, соответствующей производительности обычного культиватора, требует значительной частоты вращения ротора, что сопровождается повышением энергозатрат, неравномерностью глубины обработки и угрозой повреждения культурных растений [14].

Рабочая гипотеза данных исследований основана на предположении, что наклонное расположение оси вращения ротора сложной конфигурации в продольно-вертикальной плоскости обеспечивает высокое качество крошения почвы, снижение энергозатрат и возможность оперативного регулирования показателей работы посредством изменения не только скоростных режимов, но и угла установки ротора [15]. Объектом данных исследований являлся активный ротационный рабочий орган конусообразной формы с осью вращения, расположенной наклонно в продольно-вертикальной плоскости (рис. 1).

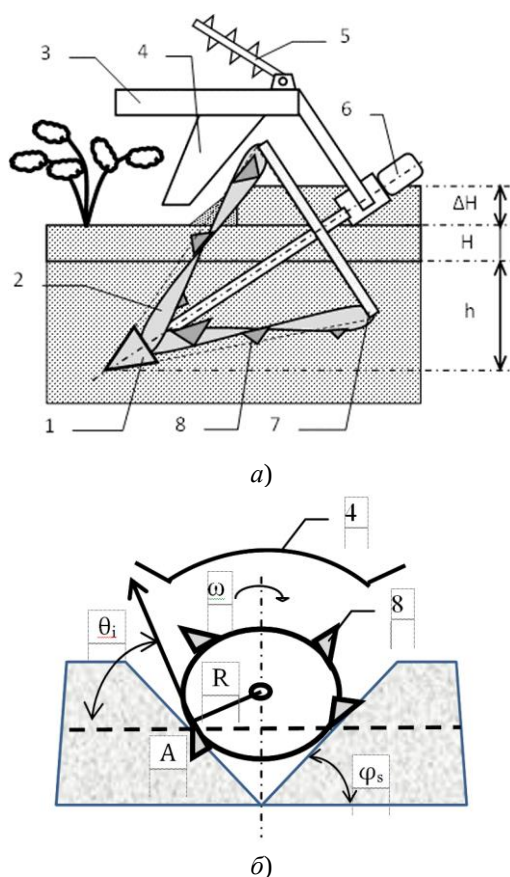


Рис. 1 Схема активного рабочего органа в продольной (а) и поперечной плоскостях (б): 1 – наконечник; 2 – нож пластинчатый; 3 – грядиль; 4 – щи-

ток; 5 – штанга; 6 – гидромотор; 7 – диск; 8 – лопатка

Fig. 1. Scheme of device in the longitudinal (a) and transverse planes (b): 1 – a tip; 2 – segmented blade; 3 – beam; 4 – plate; 5 – rod; 6 – motor; 7 – disk; 8 – blade

Конструктивно ротор выполнен в виде жестко закрепленных на валу сплошного конического наконечника 1 и диска-основания 7, которые соединены между собой расположенными на условной поверхности конуса пластинчатыми ножами 2, снабженными разрыхлительными лопатками 8. Грядиль секции 3 шарнирно присоединен к раме культиватора и фиксируется в определенном положении нажимной штангой 5 регулировочно-предохранительного устройства. Привод ротора целесообразно осуществлять от гидромотора 6. Для корректирования траектории отбрасываемой почвы над ротором установлен щиток 4, выполняющий также роль ботвоотвода при обработке картофеля на поздних стадиях его развития. Ширина обрабатываемой полосы и профиль формируемых гребней регулируются изменением угла наклона ротора, а качество крошения почвы – изменением его частоты вращения [15, 16]. Следует отметить, что в трудах отмеченных ранее ученых кинематика рабочих органов рассматривается в плоскости вращения фрезбарабана или же отдельных разрыхлительных элементов, а не в пространстве, поэтому характер математических зависимостей не пригоден для моделирования предложенного рабочего органа [9]. Между тем, учет числа возможных движений рабочих элементов позволяет дать своеобразную оценку характера их взаимодействия с почвой, выявить условия передачи энергии для получения заданного направления их воздействия на почву с целью придания последней определенных свойств с минимальными затратами, установить закон движения точек АРО и частиц почвы.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

С учетом изложенного были сформулированы следующие задачи: получить аналитические выражения, определяющие размеры ротора и описывающие его кинематику, а также провести предварительные эксперименты для проверки указанных теоретических предположений и конкретизировать основные параметры ротора для дальнейших исследований.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Угол при вершине ротора 2γ установлен нами из условия:

$$\mu \leq \operatorname{tg} \gamma < f, \quad (1)$$

где: μ – коэффициент Пуассона для почвы; f – коэффициент трения движения почвы по стали.

Соблюдение указанного условия (для супесчаных и суглинистых почв $\gamma = 20 \dots 35^\circ$ [17]) позволяет создать в почве первичные разрушающие напряжения без сгуживания перед наконечником. Отметим, что данный параметр соответствует пропорциям биологических прототипов разрабатываемого устройства – крота и бурозубки обыкновенной [18].

Для изготовления экспериментальной установки был принят $\gamma = 25^\circ$.

Считая поперечное сечение гребней равнобедренной трапецией, из элементарных геометрических построений требуемую ширину и глубину обработки можно определить из соотношений:

$$m = M - B - 2(H + \Delta H) \operatorname{ctg} \varphi_s, \quad (2)$$

$$h = \frac{3}{2} \frac{\Delta H [B + \operatorname{ctg} \varphi_s (2H + \Delta H)]}{M - B - \operatorname{ctg} \varphi_s (2H - 5\Delta H)}, \quad (3)$$

где: m – ширина обработки; M – ширина междурядья; B – ширина бровки (верхней части) гребня; H – высота гребня до обработки, м; ΔH – толщина слоя насыпаемой почвы; φ_s – угол откоса гребня, град., h – глубина обработки, м.

Из таких же построений следует, что для предотвращения разрушения откосов гребней при выходе лопатки из почвы в точке А (рис. 1б) должно соблюдаться условие:

$$\theta_i \geq \varphi_s + \operatorname{arctg} f_s, \quad (4)$$

где: θ_i – угол между направлением движения лопатки (касательная к основанию) и горизонтальной плоскостью XOY ; f_s – коэффициент внешнего трения почвы.

Принимая $\varphi_s = \operatorname{arctg} f_s$ после несложных преобразований можно получить формулу для определения радиуса ротора:

$$R = \sqrt{\frac{m^2}{4(\sin^2 2\varphi_s - \cos^2 2\varphi_s \operatorname{tg}^2 \alpha)}}, \quad (5)$$

где: α – угол наклона ротора, град.

По результатам расчетов авторами построена номограмма для определения геометрических параметров ротора и глубины обработки в зависимости от исходного профиля гребней и угла естественного откоса почва.

Из формулы 5 следует, что угол наклона ротора не должен превышать значения $\alpha = 2\varphi_s$. При дальнейшем увеличении угла α отрыв почвы от пласта и ее сдвиг на гребень возможны только в том случае, если рыхлящие элементы будут расположены с некоторым углом разворота и наклона к образованной ротором поверхности вращения; характер процесса работы при этом в принципе совпадает с работой вертикальной фрезы.

В дальнейшем нами также учтено то, что при значительных углах наклона ротора ($\alpha > 75^\circ$) расчетные размеры ротора делают невозможным его практическое применение – например, при $\alpha = 84^\circ$ расчетный радиус основания ротора должен составлять 0,82 м. То есть при значительных углах наклона ротор не способен выполнять одновременно с рыхлением функции окучника без применения дополнительных устройств. Минимально допустимый угол наклона α обусловлен углом конусности γ , поскольку при $\alpha < \gamma$ основание ротора будет работать в неразрыхленной почве.

Так как любая точка поверхности ротора движется одновременно по окружности и поступательно, то траекторией ее движения является винтовая линия, которая описывается системой уравнений [17, 19]:

$$X_i = v_f t,$$

$$\begin{aligned} Y_i &= R \cos \omega t, \\ Z_i &= R \sin \omega t, \end{aligned} \quad (6)$$

где: X_i, Y_i, Z_i – текущие координаты рассматриваемой точки (м); v_f – поступательная скорость ротора (м/с); ω – угловая скорость его вращения (с^{-1}); ωt – угол поворота ротора от начальной точки отсчета за время t .

Для такой траектории фрезерования в отличие от трохоиды характерно постоянство величины скорости резания и радиуса кривизны пространственной кривой (отсутствие гребешков). Однако при установке ротора под некоторым углом α к почве его кинематика существенно изменяется.

Для определения уравнений траектории движения расположим в основании ротора две координатные системы $\Sigma(X, Y, Z)$; $\Sigma'(X', Y', Z')$ с общим началом в точке O ; при этом координатная система $\Sigma(X, Y, Z)$ образуется поворотом системы $\Sigma'(X', Y', Z')$ вокруг оси OY' на угол α , равный углу наклона ротора к почве (рис. 2). Полагаем, что ротор вращается по часовой стрелке от точки отсчета O_1 и при этом $v_f = 0$.

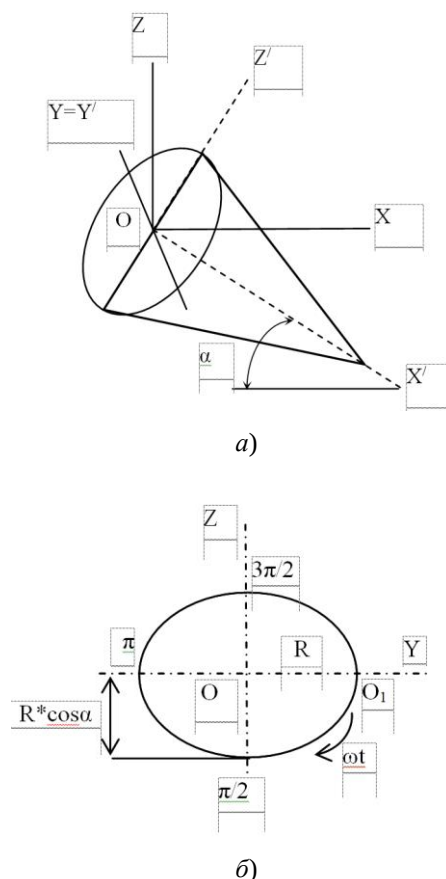


Рис. 2 Схемы к определению уравнений движения точки ротора

Fig. 2 Schemes to the definition of the equations of motion in terms of the rotor

Тогда в системе координат $\Sigma'(X', Y', Z')$ уравнение движения имеет вид:

$$\begin{aligned} X'_i &= 0, \\ Y'_i &= R \cos \omega t, \\ Z'_i &= -R \sin \omega t. \end{aligned} \quad (7)$$

Пользуясь правилами поворота декартовой системы координат [20], получаем уравнение точки ротора для системы координат $\Sigma (X, Y, Z)$:

$$\begin{aligned} X_i &= -R \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t, \\ Y_i &= R \cdot \cos \omega t, \\ Z_i &= -R \cdot \cos \alpha \cdot \sin \omega t. \end{aligned} \quad (8)$$

Для любой точки поверхности ротора текущий радиус вращения:

$$R_i = (L - l_i) \cdot \operatorname{tg} \gamma, \quad (9)$$

где: L – длина ротора; l_i – расстояние от начала координат до проекции рассматриваемой точки на ось вращения.

Тогда при поступательном движении вращающегося ротора движение каждой его точки описывается системой уравнений:

$$\begin{aligned} X_i &= v_f t - (L - l_i) \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega t, \\ Y_i &= (L - l_i) \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \omega t, \\ Z_i &= -(L - l_i) \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \alpha \cdot \sin \omega t. \end{aligned} \quad (10)$$

Дифференцируя эти уравнения по $\partial(\omega t)/\partial t$ при постоянных величинах v_f ; L ; l_i ; γ ; α , можно определить величины v_{xi} ; v_{yi} ; v_{zi} , которые являются составляющими абсолютной скорости v_a :

$$\begin{aligned} v_{xi} &= v_f - \omega(L - l_i) \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \alpha \cdot \cos \omega t, \\ v_{yi} &= -\omega(L - l_i) \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \sin \omega t, \\ v_{zi} &= -\omega(L - l_i) \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \alpha \cdot \cos \omega t. \end{aligned} \quad (11)$$

$$v_a = \sqrt{v_{xi}^2 + v_{yi}^2 + v_{zi}^2} = v_f \sqrt{1 - 2\lambda \sin \alpha \cos \omega t + \lambda^2} \quad (12)$$

где: λ – показатель кинематического режима:

$$\lambda = \frac{\omega R_i}{v_f} = \frac{\omega(L - l_i) \operatorname{tg} \gamma}{v_f}. \quad (13)$$

Проанализируем полученные результаты. В плоскости XOZ проекцией траектории движения является эллипс с полуосями R и $R \cdot \cos \alpha$. В плоскости XOY траектория движения проецируется как синусоидальная линия. Если принять, что выделенное сечение ротора заглублено в почву наполовину, то есть $h = R \cdot \cos \alpha$, то можно четко выделить три периода: вход в почву до максимального заглубления ($\omega t = 0 \dots \pi/2$); движение в почве до выхода на поверхность ($\omega t = \pi/2 \dots \pi$) и движение рыхлящего элемента над поверхностью ($\omega t = \pi \dots 2\pi$). Из приведенных выше соотношений очевидно, что абсолютная скорость элемента (по сути – скорость резания) и ее составляющих не является постоянной величиной.

Для дальнейшего кинематического анализа целесообразно рассмотреть графики изменения абсолютной скорости и ее составляющих в зависимости от угла поворота ротора ωt , построенные по зависимостям 11 и 12.

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы. При внедрении рыхлящего элемента ротора в почву и ее последующем заглублении (угол поворота $\omega t = 0 \dots \pi/2$) вертикальная составляющая v_z плавно убывает от максимума до нуля при постепенно возрастающих значениях v_y и v_a . Такое соотношение скоростей свидетельствует о том, что подводимая к ротору энергия затрачивается на внедрение ножа с лопаткой в почву ($v_z \approx v_{z \max}$), а затем при повороте ротора на угол $\omega t > \pi/2$ на отрыв почвы от дна борозды и сдвиг ее в сторону.

В точке выхода ножа с лопаткой из почвы $\omega t = \pi$ составляющая v_z направлена вверх и имеет максимальное значение при нулевой величине v_y . Это подтверждает предположение о том, что при определенных условиях почва может увлекаться лопаткой и отбрасываться не только на ближний к точке выхода гребень (в данном случае налево), но и на противоположный.

Характер изменения абсолютной скорости v_a зависит от угла наклона ротора α . Для снижения энергоемкости процесса желательно, чтобы в период контакта ножа с почвой величина $|v_a|$ приближалась к минимально возможному значению, а в точке выхода ножа из почвы – наоборот, достигала максимального значения.

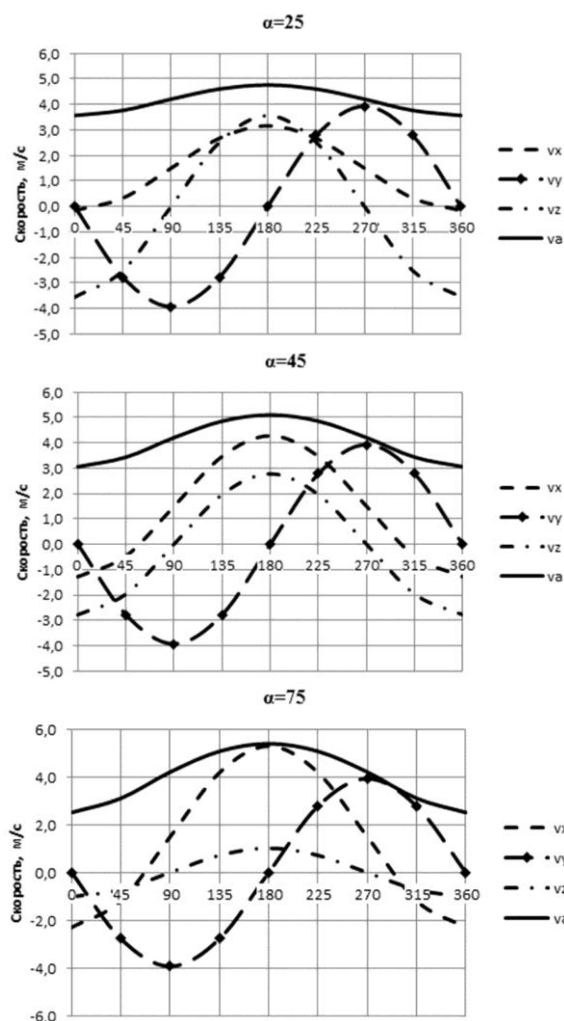


Рис. 3. Изменение абсолютной скорости точки ротора и ее составляющих при различных углах наклона α ; прочие условия: $R = 0,15$ м; $\omega = 26,2$ с $^{-1}$; $v_f = 1,5$ м/с

Fig. 3. Change the point of absolute speed of the rotor and its components at different angles of inclination α ; Other conditions: $R = 0,15$ m; $\omega = 26,2$ s $^{-1}$; $v_f = 1,5$ m / s

Как видно из представленных графиков, данному виду фрезерования присущ именно такой характер изменения абсолютной скорости v_a . Причем разница между $v_{a \max}$ и $v_{a \min}$ тем больше, чем больше угол наклона α . Однако увеличение угла наклона

ротора сверх 45^0 сопровождается резким уменьшением вертикальной составляющей v_z , что, очевидно, негативно отражается на равномерности отсыпки почвы по гребням.

Отличительной особенностью разрабатываемого рабочего органа является то, что интенсивность воздействия его различных частей на почву неодинакова, поскольку показатель кинематического режима λ при неизменной частоте вращения вала изменяется от $\lambda_i=0$ в вершине ротора до $\lambda_i=\lambda_{\max}$ в его основании. Установить закономерность этого изменения можно из элементарных геометрических преобразований. Для диска-основания ротора и для произвольной точки i его поверхности, лежащей на радиусе R_i от оси вращения, величина λ из уравнения 13 составляет:

$$\lambda_0 = \frac{\omega R_0}{v_f}; \lambda_i = \frac{\omega R_i}{v_f}. \quad (14)$$

Тогда показатель кинематического режима для произвольной точки поверхности с учетом выражения 9 составит:

$$\lambda_i = \lambda_0 \frac{tg\gamma}{R_0} (L - l_i) \quad (15)$$

где: $(L - l_i)$ – расстояние от вершины ротора до рассматриваемой точки, м.

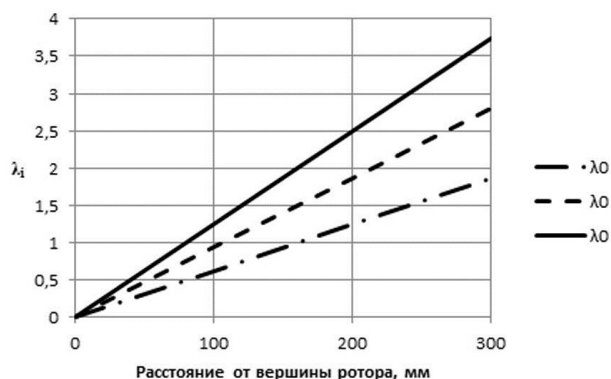


Рис. 4. Изменение показателя кинематического режима λ по длине ротора

Fig. 4. Change in kinematic mode λ along the length of the rotor

Как видно из построенного графика, при любом реальном показателе кинематического режима основания ротора его передняя часть на расстоянии порядка 80...100 мм от вершины работает в зоне скольжения как пассивный орган, поскольку $\lambda_i < 1$. Установка режущих элементов на поверхности ротора в этой зоне неэффективна. Поэтому на лабораторной модели ротора эта его часть была выполнена в виде сплошного наконечника, воздействие которого на почву сравнимо с действием пассивного трехгранного клина с равными углами 2γ .

Поисковые эксперименты проводились при таких диапазонах варьирования установочных параметров: угол наклона ротора α изменялся в пределах $25^0 \dots 75^0$, частота вращения ротора 100; 170 и 250 мин^{-1} , поступательная скорость 0,47; 1,0; 1,48 м/с. Установлено, что качество крошения почвы, как и следовало ожидать, повышается с возрастанием по-

казателя кинематического режима и ухудшается с возрастанием угла наклона ротора (при $\alpha=25^0$ показатель качества крошения $K_k = 64 \dots 95\%$, а при $\alpha=75^0$ величина $K_k = 55 \dots 74\%$). Эксперименты показали, что допустимое качество отсыпки почвы на гребни возможно при угле наклона ротора до $\alpha=65^0$. При дальнейшем увеличении угла наклона практически вся взрыхленная почва остается в междурядье. Важным является также то, что в зоне прохождения сплошного наконечника при углах наклона ротора сверх 35^0 остается «след» уплотненной почвы. Для устранения этого явления считаем целесообразным изменить конструкцию рабочего органа так, чтобы он представлял собой стрелчатую лапу с прикрепленным к ней ротором без сплошного наконечника.

ВЫВОДЫ

1. Предложена конструкция ротационного рабочего органа конусообразной формы с осью вращения, расположенной наклонно в продольно-вертикальной плоскости. Предполагается, что наклонное расположение оси вращения ротора обеспечивает высокое качество крошения почвы, снижение энергозатрат и возможность оперативного регулирования показателей работы изменением частоты вращения и угла установки ротора.

В результате кинематического анализа получены аналитические выражения, описывающие характер изменения абсолютной скорости точки ротора и ее составляющих и построены соответствующие графики, подтверждающие предположение о том, что при определенных условиях почва может увлекаться лопаткой и отбрасываться не только на ближний к точке выхода гребень, но и на противоположный. Кроме того, особенностью ротора является то, что интенсивность воздействия его различных частей на почву неодинакова, поскольку показатель кинематического режима λ при неизменной частоте вращения вала изменяется от $\lambda_i=0$ в вершине ротора до $\lambda_i=\lambda_{\max}$ в его основании. При любом реальном показателе кинематического режима основания ротора его передняя часть на расстоянии порядка 80...100 мм от вершины работает в зоне скольжения как пассивный орган, поскольку $\lambda_i < 1$. Установка режущих элементов на поверхности ротора в этой зоне неэффективна.

2. В результате поисковых экспериментов установлено, что качество крошения почвы повышается с возрастанием показателя кинематического режима и ухудшается с возрастанием угла наклона ротора. Допустимое качество отсыпки почвы на гребни возможно при угле наклона ротора до $\alpha=65^0$. При дальнейшем увеличении угла наклона практически вся взрыхленная почва остается в междурядье.

Важным является также то, что в зоне прохождения сплошного наконечника при углах наклона ротора сверх 35^0 остается «след» уплотненной почвы. Для устранения этого явления считаем целесообразным изменить конструкцию рабочего органа так, чтобы он представлял собой стрелчатую лапу с прикрепленным к ней ротором без сплошного наконечника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Петровец В.Р. 2012.** Технологии и машины для посадки картофеля и междурядной обработки пропашных культур. – Горки: БГСХА, 144.
2. **Бахтин А. А. 2003.** Разработка и обоснование параметров ротационного рабочего органа для междурядной обработки картофеля: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Казань, 145.
3. **Касимов Н. Г. 2005.** Обоснование основных параметров и режимов работы ротационного рабочего органа для ухода за растениями картофеля: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Ижевск, 141.
4. **Пастухов В., Беловол С. 2014.** Обоснование параметров процесса обработки почвы в междурядьях ротационным рабочим органом // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – 2014. Vol.16. No7. 140-149.
5. Комплекс технических средств для возделывания картофеля фирмы "GRIMME". Available online at: <<http://techagro.ru/index.php?id=385>>
6. Междурядные фрезерные культиваторы Badalini Available online at: <http://www.agro-sistema.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=169&Itemid=143>
7. Современный культиватор – увеличение производительности с новыми технологиями Available online at: <<http://lida-region.ru/news-576>>
8. **Zamoiska K.V. 2008.** The rotation soil loosens parameter substations. – Manuscript. The candidate's thesis of engineering sciences, the speciality 05.05.11 – Lvov. (Ukraine)
9. **Чаткин М.Н. 2008.** Повышение эффективности функционирования комбинированных почвообрабатывающих машин с ротационными активными рабочими органами: Дис... доктора техн. наук: 05.20.01. – Саранск, 385.
10. **Тарасюк В.А. 1976.** Изыскание и исследование активных рабочих органов для междурядной обработки картофеля: Дис. ...канд. техн. наук 05.20.01. – М. 132.
11. **Ловкис З.В. 1990.** Интенсификация технологических процессов возделывания картофеля активными рабочими органами : Автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01. – Минск, 35.
12. **Герук С.Н. 1988.** Технологический процесс и основные параметры машины с активными рабочими органами для поверхностной обработки почвы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Горки, 15.
13. **Лахмаков В.С. 1989.** Подготовка почвы с нарезкой гребней под картофель комбинированной машиной: Дис....канд. техн. наук; 05.20.01. – Минск, 186.
14. **Ферендюк А. 2014.** Анализ баланса мощности фрезерного культиватора с вибрационными рабочими органами // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture-2014. Vol.16. No.4. 157-161.
15. **Ловкис З.В., Краснолуцкий П.П., Краснолуцкий Г.П. 1991.** Окучник : а. с. 1639440 А1 СССР МПК5 А01 В13/02 // Бюллетень. - 1991. - № 13, 2.
16. **Краснолуцкий П.П. 1991.** Интенсификация междурядной обработки гребней картофеля ротационным культиватором: Дис. канд. техн., наук: 05.20.01. – Минск, 126.
17. **Матяшин Ю.И., Гринчук И.М., Егоров Г.М. 1988.** Расчет и проектирование ротационных почвообрабатывающих машин. – М.: Агропромиздат, 176.
18. **Громов И.М., Гуреев А.А., Новиков Г.А. и 1963.** Млекопитающие фауны СССР. – Ч.1. – М.: 638.
19. **Бендера И.Н. 1986.** Комбинированный плуг с гидроприводом роторов, оборудованных режущими элементами: Дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – Минск, – 255.
20. **Воднев В.Т., Наумович А.Ф., Наумович Н.Ф. 1988.** Основные математические формулы. – Минск, 269.

TO JUSTIFICATION PARAMETERS OF THE COMPLICATED CONFIGURATION ROTOR FOR THE TILLED CROPS CULTIVATOR

Summary. The article features a short review of the operating elements of interrow cultivators. It also proves the feasibility of the complex configuration rotary tiller's usage for interrow potato cultivation as the mechanism allows not only soil loosening but also its controlled movement.

The authors suggest designing the cone-shaped rotor to that its rotation axis is tilted in the longitudinal vertical plane of the apex in the direction of the unit's progressive motion. Structurally, the rotor consists of a solid tip and a disk in the base that are linked by lamellar blades arranged along a conditional cone. Ripper shovels are rigidly fixed on the surface of lamellar blades. A plain flap is installed above the rotor to correct the projected trajectory of the soil and its further crumbling. A main beam with operating elements is pivotally attached to the cultivator's frame and is fixed in position by regulation and the safety device's push bar. It's rational to actuate the rotor using a hydraulic motor. Based on theoretical analysis, the required angle on the top and the radius of the rotor's base are calculated based on a predetermined width and depth of cultivation. Formulas describing the trajectory of the rotor, the absolute velocity vector and its components are equated. Preliminary experiments have generally confirmed the hypothesis that the rotor can be used for loosening and hilling, and allow us to clarify some of its basic parameters. In particular, the authors find the intensity of impact that the various parts of the rotor have on the soil, and the influence of the rotor speed and the angle of inclination have on the quality indicators of its performance.

Key words: working rotary body, the processing of row, cultivator-hiller, the rotation axis is tilted, the trajectory of the soil cutter, velocity vectors.

РАСЧЕТ ПОТОКА ЗЕРНОСМЕСИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОМ РЕШЕТЕ МЕТОДОМ БУБНОВА-ГАЛЁРКИНА

Владимир Бурлака¹, Александр Ольшанский², Максим Слипенко¹, Ольга Малец¹

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко

Ул. Алчевских, 44, Харьков, Украина. E-mail: teoriyaTMM@gmail.com

²Харьковский государственный университет питания и торговли,
Ул. Клочковская, 333, Харьков, Украина. E-mail: OlshanskiiVP@gmail.com

Volodymyr Burlaka¹, Oleksandr Olshanskiy², Maksym Slipchenko¹, Olga Malec¹

¹Kharkiv national technical university of agriculture named after Petro Vasilenko,
St. Alchevskiyh, 44, Kharkiv, Ukraine, E-mail: teoriyaTMM@gmail.com

²Kharkiv state university of food technology and trade,
St. Klochkovska, 333, Kharkiv, Ukraine, E-mail: OlshanskiiVP@gmail.com

Аннотация. При больших скоростях течений сдвига сыпучей среды для описания движения зерновой смеси по цилиндрическом решете предложено использовать квадратичную зависимость касательного напряжения от скорости деформации сдвига. Для нее получено нелинейное дифференциальное уравнение движения, которое приходится интегрировать численными методами или решать краевую задачу приближенно аналитическими методами. В статье получено решение дифференциального уравнения движения методом Бубнова-Гальоркина. Указанным методом построено два приближенных решения нелинейного дифференциального уравнения движения при квадратичной реологические зависимости касательного напряжения в смеси от скорости деформаций сдвига. В первом решении распределение скорости по толщине подвижного слоя аппроксимировано степенной, а во втором - тригонометрической функциями. Для установления точности расчетов предложенными решениями проведен анализ погрешностей. При сравнении результатов, полученных интегрированием численными методами на компьютере и аппроксимацией степенной функции установлено, что такая аппроксимация дает завышенные значения скорости. Относительная погрешность составляет порядка 4%. Фактически она пригодна только для получения верхней оценки скорости движения. Установлено, что расчетные формулы второго решения более точные, чем первого. Так при расчете максимальной скорости потока зерновой смеси погрешность одной из предложенных аппроксимаций тригонометрическими функциями составляет десятки доли процента. Таким образом, компактные формулы, полученные аппроксимацией тригонометрическими функциями, вполне пригодны для инженерных расчетов параметров потока зерновой смеси. Исследовано влияние различных факторов на скорость установившегося потока виборазреженной зерносмеси. Показано, что скорость потока существенно зависит не только от толщины подвижного слоя, но и от значений постоянных в реологической зависимости.

Ключевые слова: скорость движения, поток смеси, цилиндрическое виборешето, квадратичная

реологическая зависимость, метод Бубнова-Галеркина.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Сепарация зерна - это важный этап послеуборочной обработки урожая, от которого зависит качество посевного материала, то есть будущий урожай, а также качество зерна, идущего на изготовление продуктов питания. Поэтому уже на протяжении многих лет проводится усовершенствование методов сепарации и идет создание новой техники, направленной на энергосбережение и интенсификацию процесса сепарации. Одним из путей решения этой задачи является проведение виборешетного сепарирования на центрифугах [1]. Но при больших скоростях движения зерносмеси по решету виборешетной центрифуги уменьшается процент проходовой фракции (отсепарированной части смеси), а при малых скоростях движения падает производительность решета. Поэтому анализ потока зерносмеси с исследованием влияния различных факторов на скорость движения зернового слоя, имеет важное практическое значение с точки зрения рационального использования виборешетной центрифуги.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Среди различных континуальных математических моделей движения смесей при виборешетной сепарации [1-5], особенно гидродинамических [6-9], в последнее время получили распространение теории, где использовано линейную зависимость касательного напряжения от скорости деформаций сдвига [10-14]. При таком подходе движение сыпучего материала по виборешету описывается классическими уравнениями вязкой жидкости. Но, по мнению авторов [15-19], при больших скоростях течений сдвига сыпучей среды, к которому можно отнести и сепарированной смеси, вместо линейной, целесообразно использовать квадратичную зависимость касательного напряжения от скорости сдвига. Одним из первых к этому выводу пришел Багнолд на основании собственных исследований [20]. Квадратичная реологическая зависимость приводит к нели-

нейному дифференциальному уравнению движения, которое приходится интегрировать численными методами на компьютере или решать краевую задачу приближенно аналитическими методами. К таким аналитическим относится и метод Бубнова-Галеркина, который оказался эффективным при построении приближенных решений нелинейных задач не только в механике твердого деформируемого тела, но и в механике жидкости и газа. Здесь используем его для расчета установившегося потока виброразреженного сыпучего материала. Отметим, что названный метод уже использовали для расчета движения сепарированных смесей, но по плоскому виброрешету, при линейной постановке задачи в [4, 21].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является выведение и апробация формул для расчета кинематических параметров установившегося вертикального движения слоя виброразреженной зерновой смеси по внутренней поверхности цилиндрического решета вертикальной центрифуги, с использованием квадратично-нелинейной реологической зависимости с двумя коэффициентами. Ставится также задача теоретического исследования влияния различных факторов на скорость движения смеси и производительность решета. Средством достижения цели выбрано математическое моделирование с использованием метода Бубнова-Галеркина.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Чтобы вывести нелинейное дифференциальное уравнение движения смеси, заменим известную линейную реологическую зависимость на нелинейную. Для этого используем формулы из [9]:

$$\begin{aligned} \tau &= \mu \frac{du}{dr}; \\ u &= \frac{\rho g}{2\mu} \left(R_0^2 \ln \frac{r}{R} - \frac{r^2 - R^2}{2} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

где: τ – касательное напряжение; $u = u(r)$ – скорость установившегося вертикального движения смеси с удельной массой ρ ; g – ускорение свободного падения; r – радиальная координата; R – радиус решета; $R_0 = R - h$ – радиус свободной цилиндрической поверхности смеси с толщиной слоя h ; μ – реологическая постоянная или динамический коэффициент вибровязкости.

В соответствии с (1) получаем следующее распределение касательного напряжения по толщине подвижного слоя:

$$\tau = \frac{\rho g}{2} \left(\frac{R_0^2}{r} - r \right). \quad (2)$$

Далее, следуя [19], вместо вышеописанной формулы Ньютона, принимаем:

$$\tau = \left(\mu + \mu_* \left| \frac{du}{dr} \right| \right) \frac{du}{dr}, \quad (3)$$

где: μ, μ_* – реологические постоянные.

Равенство правых частей в (2), (3), приводит к линейному дифференциальному уравнению:

$$\mu_* \left| \frac{du}{dr} \right| \frac{du}{dr} + \mu \frac{du}{dr} - \frac{\rho g}{2} \left(\frac{R_0^2}{r} - r \right) = 0. \quad (4)$$

Учитывая, что $\frac{du}{dr} < 0$, уравнению движения (4) придаем форму:

$$\left(\frac{du}{dr} \right)^2 - \frac{\mu}{\mu_*} \frac{du}{dr} - \frac{\rho g}{2\mu_*} \left(r - \frac{R_0^2}{r} \right) = 0. \quad (5)$$

Его будем интегрировать при граничных условиях:

$$\left. \frac{du}{dr} \right|_{r=R_0} = 0; \quad u(R) = 0. \quad (6)$$

Далее построим два приближенных решения краевой задачи.

Первое приближенное решение подаем в виде:

$$u(r) = A \left[h^2 - (r - R_0)^2 \right], \quad (7)$$

где: A – неизвестный постоянный множитель.

Выражение (7) удовлетворяет краевым условиям (6).

Используя метод Бубнова-Галеркина, после подстановки (7) в (5), получаем уравнение:

$$\begin{aligned} \int_{R_0}^R \left[4A^2 (r - R_0)^2 + 2A \frac{\mu}{\mu_*} (r - R_0) - \right. \\ \left. - \frac{\rho g}{2\mu_*} \left(r - \frac{R_0^2}{r} \right) \right] \left[h^2 - (r - R_0)^2 \right] dr = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Вычислив табличные интегралы в (8), имеем:

$$\frac{8h^5}{15} A^2 + \frac{h^4}{2} \frac{\mu}{\mu_*} A + B = 0, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{где: } B = \frac{\rho g R_0^4}{2\mu_*} \left[\eta(2 - \eta) \left(\frac{\eta^2 - 1}{2} - \ln \eta \right) + \right. \\ \left. + 2(\eta - 1) - \frac{2}{3}(\eta^3 - 1) + \frac{1}{4}(\eta^2 - 1)^2 \right]; \\ \eta = R/R_0. \end{aligned}$$

Решением уравнения (9) является:

$$A = \sqrt{a^2 - b} - a, \text{ причем } a = \frac{15}{32h} \frac{\mu}{\mu_*}; \quad b = \frac{15B}{8h^5}.$$

Подставив A в (7), получаем приближенное распределение скорости по толщине подвижного слоя смеси.

Отметим, что вычисления максимальной скорости потока можно проводить (без определения A) по формуле:

$$\max u = u(R_0) = \sqrt{\left(\frac{15h}{32} \frac{\mu}{\mu_*} \right)^2 - \frac{15B}{8h}} - \frac{15h}{32} \frac{\mu}{\mu_*}. \quad (10)$$

При этом средняя скорость u_{cp} и объемная производительность решета Q составляют:

$$u_{cp} = \frac{1}{h} \int_{R_0}^R u(r) dr = \frac{2}{3} u(R_0); \quad (11)$$

$$Q = \frac{4\pi}{3} \left(R - \frac{h}{2} \right) h u(R_0).$$

Итак, основные кинематические параметры потока смеси выражаются формулами через $u(R_0)$.

Чтобы получить информацию о погрешностях этих формул, проведем вычисления $u(R_0)$ при $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$; $R = 0,3075 \text{ м}$ и разных значениях h, μ, μ_* . Результаты, полученные по формуле (10) записаны в числителе в табл. 1. Для сравнения, в знаменателе этой таблицы записаны результаты численного интегрирования уравнения (5) на компьютере.

Таблица 1. Вычисленные двумя способами $\max u = (R_0)$

Table 1. Calculated in two ways $\max u = (R_0)$

μ , Па·с	μ/μ_* , c	$h=0,008\text{м}$	$h=0,012\text{м}$	$h=0,016\text{ м}$
Значения $10 u(R_0) \text{ м/с}$				
0,5	0,01	<u>3,26</u> 3,14	<u>6,60</u> 6,34	<u>10,80</u> 10,36
0,5	0,05	<u>2,00</u> 1,92	<u>3,86</u> 3,71	<u>6,11</u> 5,87
0,5	0,10	<u>1,54</u> 1,48	<u>2,92</u> 2,81	<u>4,58</u> 4,41
0,6	0,01	<u>2,83</u> 2,73	<u>5,77</u> 5,55	<u>9,48</u> 9,10
0,6	0,05	<u>1,78</u> 1,71	<u>3,45</u> 3,31	<u>5,48</u> 5,26
0,6	0,10	<u>1,38</u> 1,32	<u>2,62</u> 2,52	<u>4,13</u> 3,97
0,7	0,01	<u>2,50</u> 2,42	<u>5,14</u> 4,94	<u>8,47</u> 8,14
0,7	0,05	<u>1,61</u> 1,55	<u>3,13</u> 3,00	<u>4,98</u> 4,78
0,7	0,10	<u>1,25</u> 1,20	<u>2,39</u> 2,30	<u>3,77</u> 3,63
0,8	0,01	<u>2,25</u> 2,17	<u>4,64</u> 4,47	<u>7,68</u> 7,38
0,8	0,05	<u>1,47</u> 1,41	<u>2,88</u> 2,76	<u>4,59</u> 4,40
0,8	0,10	<u>1,15</u> 1,11	<u>2,21</u> 2,12	<u>3,49</u> 3,36
0,9	0,01	<u>2,04</u> 1,98	<u>4,23</u> 4,08	<u>7,03</u> 6,75
0,9	0,05	<u>1,36</u> 1,31	<u>2,67</u> 2,56	<u>4,26</u> 4,09
0,9	0,10	<u>1,07</u> 1,03	<u>2,06</u> 1,98	<u>3,25</u> 3,13
1,0	0,01	<u>1,87</u> 1,81	<u>3,89</u> 3,76	<u>6,48</u> 6,24
1,0	0,05	<u>1,27</u> 1,22	<u>2,49</u> 2,39	<u>3,99</u> 3,82
1,0	0,10	<u>1,00</u> 0,96	<u>1,93</u> 1,85	<u>3,06</u> 2,94

Сравнение числовых результатов показывает, что приближенная формула (10) дает завышенные значения скорости. Относительная погрешность формулы составляет порядка 4%. Фактически она пригодна только для получения верхней оценки скорости движения. Это касается и формул (11).

Далее рассмотрим второй способ решения. Второе приближенное решение нелинейной задачи представим в виде:

$$u(r) = C \cdot \cos \frac{\pi(r-R_0)}{2h}, \quad (12)$$

где: C – неизвестный постоянный множитель.

Выражение (12) удовлетворяет краевыми условиями (6). Подставив его в (5), методом Бубнова-Галеркина получаем уравнение:

$$\int_{R_0}^R \left[C^2 \frac{\pi^2}{4h^2} \sin^2 \frac{\pi(r-R_0)}{2h} + C \frac{\pi}{2h} \frac{\mu}{\mu_*} \sin \frac{\pi(r-R_0)}{2h} - \frac{\rho g}{2\mu_*} \left(r - \frac{R_0^2}{r} \right) \right] \cdot \cos \frac{\pi(r-R_0)}{2h} dr = 0. \quad (13)$$

Вычислив табличные интегралы, уравнению (13) придаем форму:

$$C^2 \frac{\pi}{6h} + C \frac{\mu}{2\mu_*} - \frac{\rho g}{\mu} \left[\frac{2h}{\pi} \left(R - \frac{2h}{\pi} \right) - R_0^2 \Phi(h, R) \right] = 0, \quad (14)$$

$$\text{где: } \Phi(h, R) = \int_{R_0}^R \frac{1}{r} \cos \frac{\pi(r-R)}{2h} dr. \quad (15)$$

Интеграл $\Phi(h, R)$ относится к специальным квадратурам. Его можно выразить через интегральные косинус $ci(x)$ и синус $si(x)$, если принять во внимание, что [19]:

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{\cos x}{x} dx = ci(x_2) - ci(x_1),$$

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{\sin x}{x} dx = si(x_2) - si(x_1).$$

Таким образом:

$$\Phi(h, R) = \cos \frac{\pi R_0}{2h} \left[ci \left(\frac{\pi R}{2h} \right) - ci \left(\frac{\pi R_0}{2h} \right) \right] +$$

$$+ \sin \frac{\pi R_0}{2h} \left[si \left(\frac{\pi R}{2h} \right) - si \left(\frac{\pi R_0}{2h} \right) \right].$$

Поскольку в практике сепарирования зерна $h \ll R_0$, $R_0 < R$, то аргументы интегральных косинуса и синуса настолько велики, что для них подробно указано значение специальных функций в таблицах [23, 24]. Поэтому для вычисления специальных интегралов приходится пользоваться асимптотическими формулами [24]:

$$si(x) = -\frac{\cos x}{x} f_1(x) - \frac{\sin x}{x} f_2(x),$$

$$ci(x) = \frac{\sin x}{x} f_1(x) - \frac{\cos x}{x} f_2(x),$$

$$\text{где: } f_1(x) = 1 - \frac{2!}{x^2} + \frac{4!}{x^4} - \dots; \quad f_2(x) = \frac{1}{x} - \frac{3!}{x^3} + \frac{5!}{x^5} - \dots.$$

В асимптотическом приближении имеем:

$$\Phi(h, R) = \frac{2h}{\pi R_0} \left[\frac{R_0}{R} + \frac{2h}{\pi R_0} - 2 \left(\frac{2h}{\pi R_0} \right)^2 \right] +$$

$$+ O \left(\left(\frac{2h}{\pi R_0} \right)^2 \right). \quad (16)$$

Интеграл (15) можно так же представить в виде:

$$\Phi(h, R) = \int_0^h \frac{1}{R_0 + \xi} \cos \frac{\pi \xi}{2h} d\xi.$$

Вычислять, используя геометрическую прогрессию:

$$\frac{1}{R_0 + \xi} = \frac{1}{R_0} \frac{1}{1 + \xi/R_0} \approx \frac{1}{R_0} \left(1 - \frac{\xi}{R_0} + \frac{\xi^2}{R_0^2} - \dots \right).$$

Таким образом получаем приближение:

$$\Phi(h, R) = \frac{2h}{\pi R_0} \left[1 - \frac{h}{R_0} \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) + \frac{h^2}{R_0^2} \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \right) \right] + O \left(\left(\frac{2h}{\pi R_0} \right)^2 \right). \quad (17)$$

С целью выяснения точности формул (16) и (17), проведено вычисления $\Phi(h, R)$ при $R = 0,3075$ м и разных h . Полученные результаты записано в табл. 2, где также указано значение интеграла (15), вычисленные с высокой точностью на компьютере.

Таблица 2. Значения $\Phi(h, R)$, полученные тремя способами

Table 2. Values $\Phi(h, R)$ obtained in three ways

$h, \text{ м}$	численное интегрирование	формула (16)	формула (17)
	Значения 100 $\Phi(h, R)$		
0,004	0,83504	0,83505	0,83505
0,008	1,68421	1,68418	1,68421
0,012	2,54790	2,54775	2,54792
0,016	3,42655	3,42606	3,42661
0,020	4,32059	4,31937	4,32077

Из табл. 2 следует, что точность формулы (17) несколько выше, чем формулы (16), хотя погрешности обеих формул несущественны. Далее, используя выражения (14), (17), получаем формулу максимальной скорости потока:

$$\max u = u(R_0) = C = \sqrt{\alpha^2 + \beta} - \alpha. \quad (18)$$

$$\text{Тут } \alpha = \frac{3h\mu}{2\pi\mu_*};$$

$$\beta = \frac{6\rho gh^2}{\pi^2 \mu_*} \left\{ R - \frac{2h}{\pi} - R_0 \left[1 - \frac{h}{R_0} \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) + \frac{h^2}{R_0^2} \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \right) \right] \right\}$$

При этом:

$$u_{cp} = \frac{C}{h} \int_0^h \cos \left(\frac{\pi \xi}{2h} \right) d\xi = \frac{2}{\pi} u(R_0); \quad (19)$$

$$Q = 4h \left(R_0 + \frac{h}{2} \right) u(R_0).$$

Результаты вычислений $u(R_0)$ по формуле (18) при $\rho = 750$ кг/м³; $R = 0,3075$ м и разных h, μ, μ_* записаны в табл.3.

Таблица 3. Значения $u(R_0)$, вычисленные по формуле (18)

Table 3. Values $u(R_0)$, calculated by the formula (18)

$\mu, \text{ Па} \cdot \text{с}$	$\frac{\mu_*}{\mu}, \text{ с}$	$h = 0,008 \text{ м}$	$h = 0,012 \text{ м}$	$h = 0,016 \text{ м}$
		Значения 10 $u(R_0) \text{ м/с}$		
0,5	0,01	3,08	6,27	10,27
0,5	0,05	1,92	3,71	5,88
0,5	0,10	1,48	2,81	4,42
0,6	0,01	2,67	5,47	9,01
0,6	0,05	1,70	3,31	5,26
0,6	0,10	1,32	2,52	3,97
0,7	0,01	2,36	4,86	8,04
0,7	0,05	1,54	3,00	4,78
0,7	0,10	1,20	2,30	3,63
0,8	0,01	2,12	4,38	7,27
0,8	0,05	1,41	2,75	4,40
0,8	0,10	1,11	2,12	3,36
0,9	0,01	1,92	4,00	6,65
0,9	0,05	1,30	2,55	4,08
0,9	0,10	1,03	1,98	3,13
1,0	0,01	1,76	3,67	6,13
1,0	0,05	1,21	2,38	3,82
1,0	0,10	0,96	1,85	2,94

Сравнение приближенных результатов в табл. 3 и точных в табл. 1 (знаменатели) подтверждает более высокую точность второго решения краевой задачи. Погрешность формулы (18) при $\mu_*/\mu \geq 0,05$ с составляют десятые доли процента. Таким образом, компактные формулы (18), (19) вполне пригодны для инженерных расчетов параметров потока зерновой смеси.

ВЫВОДЫ

1. Использование метода Бубнова-Галеркина позволило получить компактные расчетные формулы, пригодные как для оценки сверху, так и для приближенных вычислений параметров потока зерновой смеси в цилиндрическом виброцентробежных решете.

2. Проведенные расчеты обнаружили существенное влияние на скорость потока не только толщины подвижного слоя смеси, а и значений обоих постоянных в реологической зависимости касательного напряжения от скорости деформаций сдвига.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Тищенко Л.Н. 2004.** Интенсификация сепарирования зерна / Л.Н. Тищенко – Харьков: Основва, – 224.
2. **Тищенко Л.Н. 2010.** Моделирование процессов зерновых сепараторов / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко, М.В. Пивень и др. – Харьков: Миськдрук, – 360.
3. **Тищенко Л.Н. 2012.** Колебания зерновых потоков на виброрешетах / Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Харьков: Миськдрук, – 267.

4. **Тищенко Л.Н. 2012.** Колебательные процессы в зерновых смесях на решетках виброцентробежных сепараторов /Л.Н. Тищенко// MOTROL „Motorization and pover industry in agriculture” – Poland: Lublin, Vol 14D. – 30-39.
5. **Тищенко Л.Н. 2013.** Динамика виброцентробежной зерноочистки /Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. и др. – Харьков: Миськдрук, – 440.
6. **Тищенко Л.Н. 2010.** Гидродинамика сепарирования зерна /Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Харьков: Миськдрук – 174.
7. **Тищенко Л.Н. 2011.** Виброрешетная сепарация зерновых смесей /Л.Н. Тищенко, В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. – Харьков: Миськдрук, – 280.
8. **Тищенко Л.Н. 2011.** Динамика извлечения легких примесей пневмосепарирующим устройством виброцентробежного сепаратора / Л.Н. Тищенко, М.В. Слипченко // Вибрации в технике та технологиях. – № 1 (61). –186-193.
9. **Тищенко Л.Н. 2012.** Вибросепарирование плоским решетом неоднородного слоя зерна / Л.Н. Тищенко // MOTROL „Motorization and pover industry in agriculture” – Poland: Lublin, Vol 14D. – 21-30.
10. **Тищенко Л.Н. 2012.** Моделирование потока зернового слоя на решетке с учетом просеивания / Л.Н. Тищенко // MOTROL „Motorization and pover industry in agriculture” – Poland: Lublin, Vol 14D. – 39-48.
11. **Тищенко Л.Н. 2012.** Уравнения динамики зерновой смеси на тарельчатом разбрасывателе виброцентробежного сепаратора / Л.Н. Тищенко, М.В. Слипченко // Вибрации в технике та технологиях. – № 1 (65). –123-127.
12. **Тищенко Л.Н. 2013.** К применению механики сплошных сред для описания движения зерновых смесей на виброрешетах / Л.Н. Тищенко, С.А. Харченко // MOTROL „Motorization and pover industry in agriculture” – Poland: Lublin, Vol 15D. - №7 – 94-99.
13. **Тищенко Л.Н. 2013.** Обоснование процесса сегрегации зерновых смесей при сепарировании виброцентробежными решетками /Л.Н. Тищенко, М.В. Пивень, В.В. Бредихин // MOTROL „Motorization and pover industry in agriculture” – Poland: Lublin, Vol 15D. - №7 – 105-112.
14. **Слипченко М.В. 2014.** Исследование очистки зерновых смесей при сходе с тарельчатого разбрасывателя пневмосепарирующего устройства виброцентробежного сепаратора / М.В. Слипченко // Motrol. Commission and Energetics in Agriculture. –Vol.16, No 7. – 84-91.
15. **Savage S., Jeffrey D. 1981.** The stress tensor in a granular flow at high shear rates // Journal Fluid Mech., Vol. 110. 255-272.
16. **Savage S.B. 1983.** Granular flows down rough Inclines - Review and extension // Mechanics of granular materials, Elsevier Scince publishers, Amsterdam. 261-282.
17. **Долгунин В.Н. 2005.** Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение / В.Н. Долгунин, В.Я. Борщев - М.: Машиностроение – 73.
18. **Шваб А.В. 2011.** Модель движения высококонцентрированной гранулированной среды / А.В. Шваб, М.С. Марченко // Вестник Томского государственного университета. - №3(15) – 110-116.
19. **Тищенко Л.Н. 2014.** Способ повышения эффективности пневмосепарирования зерновых смесей в пневмосепарирующих устройствах / Л.Н. Тищенко, С.А Харченко, Ю.П. Борщ и др. // Весник ХНТУСГ: Механизация сельскохозяйственного производства. – Вып. 148. – 150-158.
20. **Bagnold R.A. 1954.** Experiments on a gravity free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear / R.A. Bagnold // Proc. Roy. Soc. – London - 49-63.
21. **Кучеренко С.И. 2010.** К расчету характеристик движения зерновой смеси на виброрешете конечной ширины / С.И. Кучеренко, В.В. Бурлака, В.П. Ольшанский и др. // Вестник ХНТУСХ: Механизация сельскохозяйственного производства. – Вип. 93. Т.1. – 19-24.
22. **Градштейн И.С. 1962.** Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Наука – 1100.
23. **Абрамовиц А. 1979.** Справочник по специальным функциям (с формулами, графиками и математическими таблицами) / А. Абрамовиц, И. Стиган. – М.: Наука. – 832.
24. **Янке Е. 1977.** Специальные функции / Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Леш. – М.: Наука – 344.

CALCULATION OF GRAIN MIXTURE FLOW ON CYLINDRICAL VIBROCENTRIFUGAL SIEVE BY BUBNOV-GALERKIN'S METHOD

Summary. At high flow velocity shear loose medium to describe the movement of grain mixture in a cylindrical sieve asked to use quadratic dependence tangent stress on the rate of shear strain. At high flow velocities of shear of a granular medium to describe the motion of the grain mixture in the cylindrical sieve is proposed to use quadratic dependence of tangent stress on the of shear strain. For it obtained nonlinear differential equations of motion, which must be integrated by numerical methods or solve boundary problem approximate by analytical methods. In the paper obtained solution of differential equations of motion by Bubnov-Halorkin's method. The specified method built two approximate solutions of nonlinear differential equations of motion in the quadratic dependence of rheological tangent tension in a mixture of shear deformation velocity. In the first solution velocity distribution on moving layer thickness approximated by power function and the second - trigonometric functions. To establish the accuracy of calculations suggested solutions was made errors analysis. When comparing the results, obtained by

integration of numerical methods on computer and power function approximation found that this approximation gives an inflated value rate. The relative error is about 4%. In fact, it is suitable only for obtaining maximum estimate speed. Established that the calculation formula of second solution more accurate than the first. Since the calculation of the maximum flow velocity of grain mixture, error of one of the proposed approximations trigonometric functions are less than tenths of a percent percent. So compact approximation formula derived by trigonometric

functions are quite suitable for engineering calculations flow parameters of the grain mixture. The influence of various factors on steady velocity of flow vibrorarefied grain mixture. It is shown that the flow velocity are greatly depends not only on the thickness of the moving layer, but also on the values of constants in rheological dependence.

Key words: motion velocity, mixture flow, cylindrical vibrosieve, quadratics rheological dependence, Bubnov-Galerkin's.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Василий Дмитрив, Юрий Лаврик.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПУЛЬСАТОРА ПОПАРНОГО ДЕЙСТВИЯ.....	3
<i>Павло Гладыш, Анатолий Кондырь.</i> МЕХАНИЧЕСКИЕ, МИКРОСТРУКТУРНЫЕ И ФРАКТОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛА ПОВРЕЖДЁННЫХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН.....	9
<i>Маркиян Гошко, Виталий Левонюк, Иван Дробот.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА НА ПРИМЕРЕ ЛАМП ДЛЯ ВНЕШНЕГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	17
<i>Игорь Дмитрив, Роман Городняк, Галина Дмитрив.</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОДНОРОДНОСТИ СМЕШИВАНИЯ ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	21
<i>Александр Сидорчук, Анатолий Тригуба, Василий Ковалишин, Петр Шолудько, Леонид Сидорчук.</i> СТРУКТУРА ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ.....	25
<i>Дмитрий Гречин, Андрей Герман, Иван Дробот.</i> КОНТИНУАЛЬНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛИНЕЙНОЙ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ.....	31
<i>Олег Цуркан, Дмитрий Присяжнюк, Александр Герасимов, Александр Коломиец.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЗОНА.....	37
<i>Елена Налобина.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СОЛОМЫ И ТРЕСТЫ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА	45
<i>Елена Соленая, Виталий Янович.</i> ЦЕЛЕВАЯ МЕХАНОАКТИВАЦИЯ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ КАК СРЕДСТВО МОДИФИКАЦИИ БАЗОВОГО СЫРЬЯ МИМ-ТЕХНОЛОГИИ.....	51
<i>Павел Федирко, Петр Краснолуцкий, Виталий Хрустинский.</i> К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ ПРОПАШНОГО КУЛЬТИВАТОРА.....	57
<i>Владимир Бурлака, Александр Ольшанский, Максим Слипченко, Ольга Малец.</i> РАСЧЕТ ПОТОКА ЗЕРНОСМЕСИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОМ РЕШЕТЕ МЕТОДОМ БУБНОВА-ГАЛЁРКИНА.....	63

List of the Reviewers

- | | | | |
|----|----------------|----|---------------|
| 1. | R. Kuzminskyi | 5. | S. Kovalyshyn |
| 2. | I. Palamarchuk | 6. | O. Kalahan |
| 3. | V. Tymochko | 7. | S. Syrotyuk |
| 4. | I. Bendera | 8. | S. Myagkota |

Editors of the “MOTROL” magazine of the Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture would like to inform both the authors and readers that an agreement was signed with the Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling at the Warsaw University referred to as “ICM”. Therefore, ICM is the owner and operator of the IT system needed to conduct and support a digital scientific library accessible to users via the Internet called the “ICM Internet Platform”, which ensures the safety of development, storage and retrieval of published materials provided to users. ICM is obliged to put all the articles printed in the “MOTROL” on the ICM Internet Platform. ICM develops metadata, which are then indexed in the “Agro” database.

We are pleased to announce that the magazine “MOTROL – Motorization and Energetics in Agriculture” (ISSN 1730-8658) has undergone a positive evaluation of the IC Journals Master List 2013, the result of which is granting the ICV Index (Index Copernicus Value) 6.56 pts. The resulting score was calculated on the basis of a survey submitted by the Editorial Team as well as assessments made by the professionals from Index Copernicus. We invite you to familiarize yourself with the methodology of IC Journals Master List evaluation:

<http://journals.indexcopernicus.com/masterlist.php?q=motrol>

Impact factor of the “MOTROL” journal according of the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture is 2,3 (June 2016).

GUIDELINES FOR AUTHORS (2016)

The journal publishes the original research papers. The papers (min. 8 pages) should not exceed 12 pages including tables and figures. Acceptance of papers for publication is based on two independent reviews commissioned by the Editor.

Authors are asked to transfer to the Publisher the copyright of their articles as well as written permissions for reproduction of figures and tables from unpublished or copyrighted materials.

Articles should be submitted electronically to the Editor and fulfill the following formal requirements:

- Clear and grammatically correct script in English,
- Format of popular Windows text editors (A4 size, 12 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2,5 cm),
- Every page of the paper including the title page, text, references, tables and figures should be numbered,
- SI units should be used.

Please organize the script in the following order (without subtitles):

Title, Author(s) name (s), Affiliations, Full postal addresses, Corresponding author's e-mail

Abstract (up to 200 words), Keywords (up to 5 words), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion (a combined Results and Discussion section can also be appropriate), Conclusions (numbered), References, Tables, Figures and their captions

Note that the following should be observed:

An informative and concise title; Abstract without any undefined abbreviations or unspecified references; No nomenclature (all explanations placed in the text); References cited by the numbered system (max 5 items in one place); Tables and figures (without frames) placed out of the text (after References) and figures additionally prepared in the graphical file format jpg or cdr.

Make sure that the tables do not exceed the printed area of the page. Number them according to their sequence in the text. References to all the tables must be in the text. Do not use vertical lines to separate columns. Capitalize the word 'table' when used with a number, e.g. (TableI).

Number the figures according to their sequence in the text. Identify them at the bottom of line drawings by their number and the name of the author. Special attention should be paid to the lettering of figures – the size of lettering must be big enough to allow reduction (even 10 times). Begin the description of figures with a capital letter and observe the following order, e.g. Time(s), Moisture (% vol), (% m^3m^{-3}) or (% gg^{-1}), Thermal conductivity ($\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$).

Type the captions to all figures on a separate sheet at the end of the manuscript.

Give all the explanations in the figure caption. Drawn text in the figures should be kept to a minimum. Capitalize and abbreviate 'figure' when it is used with a number, e.g. (Fig. I).

Colour figures will not be printed.

Make sure that the reference list contains about 30 items. It should be numbered serially and arranged alphabetically by the name of the first author and then others, e.g.

7. Kasaja O., Azarevich G. and Bannel A.N. 2009. Econometric Analysis of Banking Financial Results in Poland. Journal of Academy of Business and Economics (JABE), Vol. IV. Nr 1, 202–210.

References cited in the text should be given in parentheses and include a number e.g. [7].

Any item in the References list that is not in English, French or German should be marked, e.g. (in Italian), (in Polish).

Leave ample space around equations. Subscripts and superscripts have to be clear. Equations should be numbered serially on the right-hand side in parentheses. Capitalize and abbreviate 'equation' when it is used with a number, e.g. Eq. (I). Spell out when it begins a sentence. Symbols for physical quantities in formulae and in the text must be in italics. Algebraic symbols are printed in upright type.

Acknowledgements will be printed after a written permission is sent (by the regular post, on paper) from persons or heads of institutions mentioned by name.