

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 8

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. Jonsen, 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 Ruzhlyo, 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
Giorgiy F. Tayanowski, Minsk, Belarus
Leonid Tishchenko, Kharkiv, Ukraine
Denis Viesturs, Ulbrok, Latvia
Anatoliy 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 Vinnytsia National Technical University 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, Dubliany

Publishing Office address

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

ISSN 1730-8658
Edition 150+16 vol.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНОГО ЭФФЕКТА В ПРОЦЕССАХ ХОЛОДНОЙ ОБЪЁМНОЙ ШТАМПОВКИ

Ирина Деревенько

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

Irina Derevenko

*Vinnitsia National Agrarian University
Str. Sun, 3, Vinnitsa, Ukraine. E-mail: ira.derevenko@mail.ru*

Аннотация. Одним из направлений совершенствования технологических процессов обработки металлов давлением является повышение скоростей деформирования. При динамических нагрузках, действующих на элементы конструкций, интенсивность нагрузок настолько велика, что в элементах конструкций могут возникнуть пластические деформации. В динамических процессах пластического формоизменения, помимо усиления инерционного сопротивления деформируемого тела, проявляется, так называемый скоростной эффект, определяющий зависимость напряжённого состояния от скоростей деформаций. Скоростные эффекты учитываются при моделировании процессов обработки металлов давлением, в основе которых лежит ударное действие на обрабатываемую заготовку. Экспериментально установлено, что увеличение скорости деформации при нормальной температуре увеличивает предел текучести, как при сжатии, так и при растяжении пластичных материалов. Приведены экспериментальные результаты влияния скорости удара на предел текучести. Из результатов следует, что с ростом скорости удара динамический предел текучести возрастает. Следовательно, в расчётах необходимо учитывать изменение механических характеристик, вызванное динамическими нагрузками. Построены кривые течения стали в условиях квазистатического и динамического нагружения. Определено влияние скорости деформации на вид кривой течения. Оценено влияние скоростного эффекта при расчётах удельной потенциальной энергии. Построены зависимости удельной потенциальной энергии деформаций в статике и динамике в зависимости от интенсивности деформаций. Показано, что удельная потенциальная энергия при динамическом нагружении оказывается большей в сравнении с энергией, затрачиваемой металлом в условиях квазистатического нагружения. Полученные результаты дают возможность уточнить энергосиловые параметры процессов холодной объёмной штамповки.

Ключевые слова: кривая течения, скоростной эффект, потенциальная энергия, статика, динамика.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Процессы холодной объёмной штамповки могут протекать как в статических, так и в динамических условиях нагружения. Одним из направлений совершенствования технологических процессов обработки металлов давлением является повышение скоростей деформирования [1].

Исследование поведения конструкций при динамических нагружениях является одной из актуальных проблем, связанных с широким классом практических задач [2-4]. Эти задачи связаны с интенсивными динамическими нагрузками, действующими на элементы конструкций [5-9], когда интенсивность нагрузок настолько велика, что в элементах конструкций могут возникнуть пластические деформации.

В динамических процессах пластического формоизменения, помимо усиления инерционного сопротивления деформируемого тела, проявляется, так называемый скоростной эффект, определяющий зависимость напряжённого состояния от скоростей деформаций [10-13]. Скоростные эффекты учитываются при моделировании процессов обработки металлов давлением, в основе которых лежит ударное действие на обрабатываемую заготовку [14, 15]. А также при проведении экспертиз, связанных с определением энергии деформации при столкновении автомобилей [16, 17].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Экспериментально установлено, что увеличение скорости деформации при нормальной температуре увеличивает предел текучести, как при сжатии, так и при растяжении пластичных материалов [5]. В работе [10] приведены данные о влиянии скорости деформации на стандартные механические характеристики материалов: предел прочности и предел пропорциональности. В этой же работе приведены экспериментальные результаты влияния скорости удара на предел текучести. Из результатов следует, что с ростом скорости удара до 10 м/с динамический предел текучести возрастает в два раза (сталь 45) и три раза (армко-железо). В расчётах необходимо учитывать изменение механических характеристик, вызванное динамическими нагрузками [16].

В технической литературе [18, 19] приводятся результаты экспериментальных данных, указывающих на влияние скорости деформирования на характеристики кривых течения ряда Fe и Al материалов.

На рис. 1 и рис. 2 показаны результаты испытаний материалов, проведенные авторами работы [18].

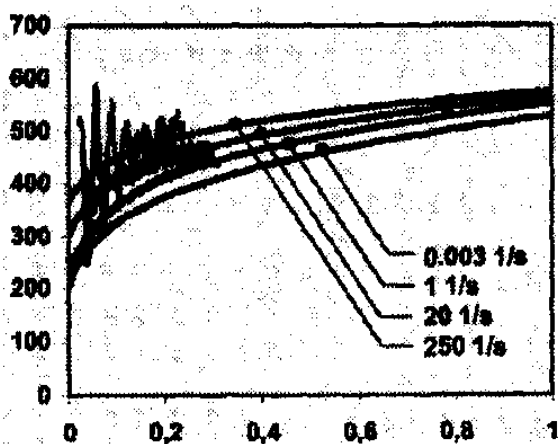


Рис. 1. Аппроксимация и экстраполяция на базе модели Свифта кривых течения при растяжении с различной скоростью стальных листов ZstE180BH [18]

Fig. 1. Approximation and extrapolation based on the model Swift flow curves in tension c different speed steel sheets ZstE180BH [18]

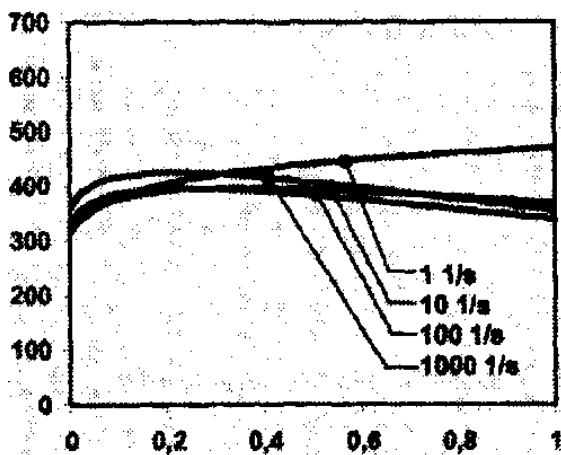


Рис. 2. Кривые течения зависящие от скорости деформирования сплава AlMgSil – F31 [18]

Fig. 2. Flow curves depending on the alloy strain rate AlMgSil – F31 [18]

Кривые получены с применением адиабатической модели к результатам на растяжение и сжатие. Как следует из рисунков, у сталей удельная работа пластического деформирования с возрастанием скорости деформации растет, у алюминиевого сплава – снижается, либо не изменяется.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы – определение влияния скорости деформации на вид кривой течения $\sigma_u = f(\epsilon_u)$.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Если аппроксимировать кривую течения уравнением Людвига:

$$\sigma_u = A \epsilon_u^n \quad (1)$$

То можно записать модель скоростного упрочнения в виде, предложенном в работе [16]:

$$A_v = A \left[1,045 + \frac{\ln(0,0027 + \dot{\epsilon}_u)}{135} \right] \quad (2)$$

Коэффициент n в формуле (1) изменяется в зависимости от скорости деформирования следуя соотношению:

$$n_v = n \exp[-0,1273 \ln(1 + \dot{\epsilon}_u)] \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) A_v – коэффициент аппроксимации кривой течения, учитывающий влияние скорости деформирования; $\dot{\epsilon}_u$ – скорость интенсивности деформаций, n_v – показатель степени, учитывающий влияние скорости деформирования, A и n в формуле (1) – коэффициенты аппроксимации кривой течения, построенной без учета скорости деформирования (квазистатическая деформация).

Построим кривую течения стали в условиях квазистатического и динамического нагружения, например, при скорости $\frac{1}{250 \text{ сек}}$.

С этой целью в формулы (2) и (3) подставим коэффициенты аппроксимации кривой течения A и n стали 20, а скорость интенсивности деформаций $\dot{\epsilon}_u$ примем равной $\dot{\epsilon}_u = \frac{1}{250 \text{ сек}}$. В результате получим для стали 20 коэффициенты $A = 673 \text{ МПа}$, $n = 0,15$ в условиях квазистатического нагружения [20] и $A_v = 731 \text{ МПа}$, $n_v = 0,0742$ в условиях динамического нагружения. На рис. 3 показана кривая течения построенная по аппроксимации (1) для условий статического – (кривая 1) и динамического – (кривая 2) нагружений.

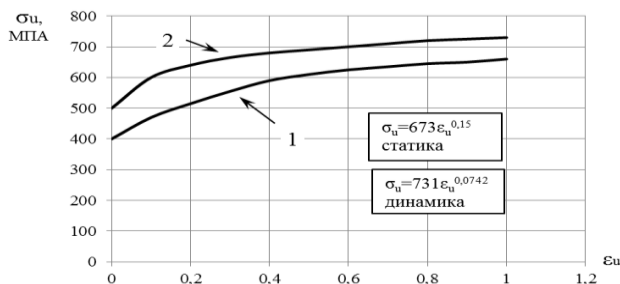


Рис. 3. Кривая течения стали 20, построенная в условиях квазистатического и динамического нагружений

Fig. 3. Current curve of 20 steel, built in a quasi-static and dynamic loading

Как следует из рис. 3 в условиях динамического нагружения кривая 2 расположена выше кривой 1, следовательно, удельная потенциальная энергия оказывается больше по сравнению с энергией, затрачиваемой металлом в условиях квазистатического нагружения. Рассчитаем работу деформации (удельную потенциальную энергию) для случаев статического и динамического нагружений. Для этого проинтегрируем соотношение (1):

$$W_{y0} = \int \sigma_u d\epsilon_u = \int A \epsilon_u^n d\epsilon_u = A \frac{\epsilon_u^{n+1}}{n+1} \quad (4)$$

Подставив в (4) коэффициенты A , n и A_d , n_d получим значения удельной потенциальной энергии в статических и динамических условиях нагружения для различных условий интенсивности деформаций ε_u .

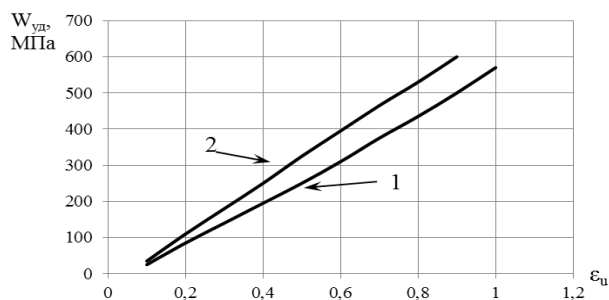


Рис. 4. Удельная потенциальная энергия деформаций в статике и динамике в зависимости от интенсивности деформаций

Fig. 4. The specific strain energy in static and dynamic, depending on the intensity of the strain

На рис. 4 показаны полученные зависимости $W_{уд}(\varepsilon_u)$. Как следует из рисунка эти зависимости линейны, расхождение значений $W_{уд}$, полученных в результате расчёта по принятой модели статическим и динамическим нагружениям для различных уровней деформаций, находятся в пределах 15-30%.

ВЫВОДЫ

1. Оценено влияние скоростного эффекта при расчётах удельной потенциальной энергии.

2. Показано, что при скорости интенсивности деформаций $\dot{\varepsilon}_u = \frac{1}{250} \frac{1}{сек}$ удельная потенциальная энергия при динамическом нагружении оказывается большей на 15–30% в сравнении с энергией, затрачиваемой металлом в условиях квазистатического нагружения.

Полученные результаты дают возможность уточнить энергосиловые параметры процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Майборода В.П., Кравчук А.С., Холин Н.Н. 1986.** Скоростное деформирование конструкционных материалов. – М.: Машиностроение, 264.
2. **Когут Н., Гуменюк Р. 2014.** Влияние технологических факторов на изменения трещиностойкости термонапряженной арматуры // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – Vol.16. No.4. 189-192.
3. **Луцык И., Федорейко В. 2014.** Определение рациональных скоростных режимов электропривода комплекса активного вентилирования на основе адаптивных нейронечётких систем // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – Vol.16. No.4. 193-199.
4. **Орленко Л.П. 1969.** Поведение материалов при импульсных нагрузках / Л.П. Орленко. – М.: Машиностроение, 167.
5. **Огородников В.А. 1989.** Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В.А. Огородников. – Киев, УМК ВО, 152. (Украина).
6. **Радзивончик В.Ф. 1967.** Скоростное пластическое деформирование металлов. Харьков: Харьковск. гос. ун-т, 211. (Украина).
7. **Чурбаев Р.В., Добромислов А.В., Колмогоров В.Л. 1990.** Влияние скорости деформации на пластичность металлов / Физика металлов и металловедение. № 6. 178-183.
8. **Логинов Д.Н. 1999.** Влияние скорости деформирования на пластичность конструкционных материалов с учетом схемы напряженного состояния. Т.1: Тез. докл. междунар. научн. конф. – М: «ЛАТМЭС». 328-329.
9. **Гуляев Ю.А. 1984.** Влияние скорости деформирования на процесс прямого холодного выдавливания осесимметричных деталей // Кузнечно-штамповочное производство. № 70. 12-14.
10. **Титов В.А., Шамарин Ю.Е., Долматов А.И. 2010.** Высокоскоростные методы обработки металлов давлением: Учебник / Киев: КВИЦ, 303. (Украина).
11. **Тутышкин Н.Д. 1973.** Заполняемость и условия работы штампа при высокоскоростной штамповке // Импульсные методы обработки металлов давлением: Сб. тр. Тула: Тульск. политехн. ин-т, 22-27.
12. **Кононенко В.Г., Кушнарченко С.Г., Коллеров В.В. 1978.** Высокоскоростная точная объемная штамповка деталей из титановых сплавов. / Кузнечно-штамповочное производство. № 5. 6-8.
13. **Грушко А.В. 2011.** Определение параметров скоростного упрочнения материала по его твердости / Вестник Национального технического университета «ХПИ»: сб. наук. пр. Темат. вып.: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». № 45. 119-124. (Украина).
14. **Огородников В.А. 2012.** Моделирование процессов обработки давлением на основе гипотезы о силовом и кинематическом подобии параметров деформирования / В.А. Огородников, А.В. Грушко, И.А. Деревенько // Обработка металлов давлением: Сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА. №4(34). 46-52. (Украина).
15. **Грушко А.В. 2011.** Моделирование процесса упрочнения поверхностного слоя заготовки методом конечных элементов при деформирующем протягивании / А.В. Грушко, И.Ю. Ростоцкий // Вестник Сумского державного университета. Серия «Технические науки». – Сумы, № 4. 43-53. (Украина).

16. **Огородников В.А. 2005.** Энергия. Деформации. Разрушение. (Задачи автотехнической экспертизы). Монография / В.А. Огородников, В.Б. Киселев, И.О. Сивак. – Винница. УНИВЕРСУМ, Винница, 204. (Украина).
17. **Огородников В.А. 2005.** Учет скоростного упрочнения материалов при оценке энергии пластического деформирования элементов конструкции автомобиля / Огородников В.А., Грушко А.В., Захаров В.В. // Известия ТулГУ. Серия. Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением. – Тула: ТулГУ. Вып. 3. 26-33.
18. **Werner H. und Gese H. 2002.** Zur Bedeutung dehnratenabhängiger Werkstoffkennwerte in der Crashsimulation. Kennwertermittlung für die Praxis. Tagungsbild Werkstoffprüfung. 139-146.
19. **Dell H.; Gese H.; Kepler L.; Werner H., Hooputra H. 2001.** Continuous Failure Prediction Model for Nonlinear Load Paths in Successive Stamping and Crash Processes, SAE – Paper 2001 – 01 – 1131, New Sheet Steel Products and Steel Metal Stamping (SP – 1614), SAE 2001 world Congress, Michigan, March 5 – 8. 113–122.
20. **Огородников В.А. 2011.** Параметры напряженного состояния диаграмм пластичности / В.А. Огородников, И.А. Деревенько, Л.И. Алиева // Обработка металлов давлением: Сб. научн. тр. – Краматорск: ДГМА. №4 (29). 10–18. (Украина).

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF SPEED IN COLD DIE FORGING

Summary. Curves flow of steel in terms of quasi-static and dynamic loading. The influence of strain rate on the type of flow curve. It is shown that a change is necessary to consider the mechanical characteristics, caused by the dynamic loads. The effect effect when calculating the speed of the specific energy. It is shown that the specific potential energy is greater in comparison with the dynamic loading with Energy metal consumed in the quasi-static load conditions. The results make it possible to be made more precise thread-power parameters processes.

Key words: curve flow, speed effects, potential energy, statics, dyna.

THE TECHNOLOGIES OF TARGETED ENERGY SUPPLY IN FOOD INDUTRY

Oleg Burdo, Sergey Terziev, Aleksandr Zykov, Nataliya Ruzhitskaya

Odessa National Academy of Food Technologies

Str. Canatna, 112, Odessa, Ukraine. E-mail: terma_onaft@rambler.ru

Summary. The food production is characterized by high energy consumption. The quantity of energy that is used for food production is 10 times higher than human needs to obtain with food for vital activity. At the same time, food technologies develop on the way of stable growth of energy consumption. The innovative solutions are needed to change this situation. The technologies of directed energy action are one of these solutions. They are characterized by the fact that energy is not dissipated in the product but it is applied directly to the object. This only takes a necessary to process energy. The effectiveness of this approach is demonstrated by such processes as an inactivation of microorganisms, raw dehydration and extraction of target components. During yeast cell inactivation, the energy consumption was 10 times lower than the conventional pasteurization needs. The raw material temperature was 32 °C. This effect is achieved because the microwave radiation in the pasteurizer influenced directly on the cells. In addition, the barodiffusion effect can be achieved by using the technologies of directed energy action. In the extraction process, the target component yield can be significantly increased because of this effect. In addition, this effect allows you to remove the water from the capillaries of the product without turning it into vapor. However, the maximum energy effect from the use of directed energy technologies could be obtained by transferring to the object only necessary amount of energy. The determination of this amount requires the creation of appropriate modeling techniques. For analyzed processes the mathematical models were obtained by using the theory of similarity as a function of the energy acting on the process parameters. These models allow us to design brand new energy-efficient equipment.

Key words: nanotechnologies, barodiffusion, food technologies, simulation, energy.

INTRODUCTION

Food production is a power-intensive industry in all developed countries [13-14]. Food technologies are being developed by the way of stable increasing of energy consumption. The energy efficiency factor of a food chain is less than 10% (Fig. 1).

Serious energy problems are typical for industries with raw material dehydration. Drying is always the most power-intensive process [15]. At the same time, the requirements to food products safety [19] are becoming stricter, and enterprise operation ecological conditions are being regulated. It is obviously that food technologies are to be moved up to innovative principles of solving problems of energy and ecology.

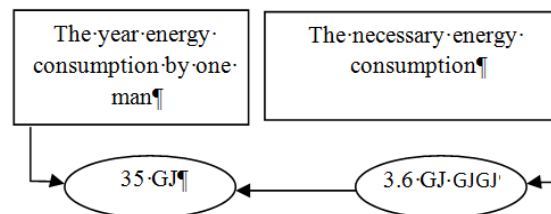


Fig. 1. Food chain energy consumption

PURPOSE OF WORK

The purpose of the work is search of ways of decrease food technologies energy consumption. Solving of assigned tasks is based on modern principles of transfer processes organization. In Odessa National Academy of Food Technologies “Food Nanotechnologies” the laboratory technologies of directed energy delivery to food material elements [4] are used in combinations with principles of [4, 11]:

- nanoenergytechnologies;
- vacuum and wave technologies;
- barodiffusion initiation;
- mechanodiffusion phenomena.

Food products, received by offered principles, save raw material functional properties almost fully, their production requires less energy consumption, and deep treatment and wasteless technologies take environmental load down to the minimum.

FOOD ENERGY TECHNOLOGIES ANALYSIS

The main process of most food technologies is thermal treatment. This process determines the quality of final product, energy consumption and its production cost. Scientific and technical contradictions between increasing requirements to food product quality, its energy intensity and heat-and-mass transfer technique are obvious. A number of main food technologies solve the problems of energy resources usage paradoxically (table 1)

A hypothesis, that solution of these contradictions is in field of search of new heat-mass exchange organization principles, usage of unique capabilities of combined influences on transfer processes, forming the complex combinations of motive forces, directed to efficient target components extraction, is being put forward.

Hypothesizes are based on new principles and nanotechnologies (NT) involvement [11]. Food NT (FNT) may be developed in two directions - revolutionary FNT with predominant influence of chemical interaction, and evolutionary ones – with predominant influence of physical processes.

Table 1. The paradoxes of energy technologies of food industry

№	Problem	Customary solutions	Hypothesis
1	The deactivation of micro-organisms	Energy is transferred to the whole volume of product with microorganisms	It is possible to establish the address energy transfer directly to microorganism.
2	The product dehydration	Energy is supplied to an intermediate flow that transforms water into vapor.	It is possible to establish the address energy transfer directly to the water in the products volume.
		All water converts to vapor before removing.	It is possible to organize the water removing in two-phase flow.
3	The target components extraction	Dissolving of compounds and its diffusion into extract.	The additional transfer of insoluble components from cells and intercellular space is possible.

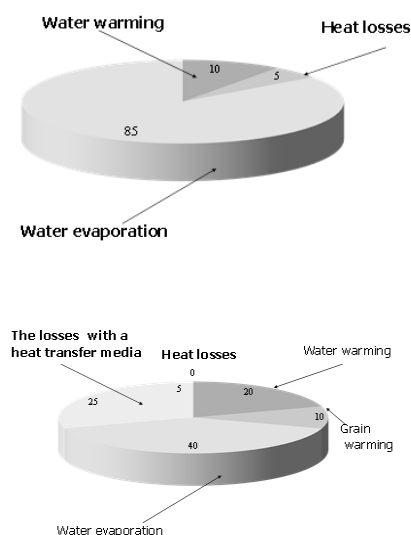
The first is manipulation of nanoscale elements for assembly of artificial products (milk, meat etc.). These technologies are based on “bottom-up” mechanism. This direction is quite difficult and disputable. Both modifications of separate complexes and imparting new properties to them can be attributed to the first direction. The second direction is control of transfer processes at food raw nanoscale objects level, improvement of traditional production processes, products and their applications by full using of nanoscale surface effects. This new, perspective scientific direction firstly was presented by authors [6].

The subjects of researches in FNT are microorganisms (from 7 nm), nanopores and nanocapillaries of vegetable material (from 5 nm), cell walls (7...30 nm), protein (10...100 nm), polysaccharides (1...100nm) and water molecules ($\approx 0,15\text{nm}$). These are the objects, which the main steps of food technologies are aimed at. That is why biotechnology, sterilization, extraction, drying, juice output processes etc. can be organized at nanoscale level. The principles that can be implemented when moving up food productions into nanotechnologies will allow to decrease the energy intensity, to decrease considerably the level of thermal influence upon raw materials and product, to create basically new products. It is presented that it is reasonably to search the possibilities to control the transfer processes at food raw nanoscale objects level by full using of nanoscale surface effects. The paradigm and scientific fundamentals of food nanotechnologies being elaborated at Odessa National Academy of Food Technologies include hypothesis of barodiffusion transfer from nanoscale raw material elements [5], thermodynamic scheme of nanoprocess and heat-mechanic model of vegetable cell [3], mass transfer kinetic model [4]. Development of FNT scientific fundamentals is associated with modeling of directed energy action technologies. Energetic becomes not only a characteristic, a main result of technology, but also a means of transfer processes in different systems elements kinetics control. Development of technologies is to go the way of directed energy action (DEA) and to those raw material elements, which require energy action. Even so, thermo labile elements of material should be exposed to the minimal energy action. Special attention is to be paid to micro- and nanoscale structures of material.

These elements in traditional technologies are not considered practically.

Moisture removal is one of the main tasks in food technologies. The two principles are used: vaporization and drying. The task of these processes is to convert water into vapor. But energy consumptions per moisture unit removal are quite different (fig. 2).

While energy efficiency factor of the most imperfect vaporization process is 85%, the one of the best drying technologies is no more than 40% (fig. 2).

**Fig. 2.** The dehydration energetic

The problems of energy intensity decrease and ready product safety increase are impotent in processes of extraction, concentration, pasteurization etc. The use of address energy delivery technologies, nanoenergytechnologies can solve the mentioned problems of food industry in complex.

RESULTS

Drying. The reason of high energy intensity of drying is that in convective dryers the task of high mass-transfer coefficient values achievement is solved by increase of drying agent velocity. But increase of flow rate causes the proportional increase of heat leakage. These contradictions have no practical solution and energy efficiency reserves in convective dryers are exhausted.

In convective grain dryers, as a rule, the necessary temperature of drying agent is reached by mixing of hot

gases with air from outside. The more is mixing degree, the more is heat leakage with waste heat carrier. The ways of solving scientific-practical contradictions in drying are associated with search of new heat transfer organization principles. The classification of innovative approaches includes two directions: gradient and gradientless. The base of new approaches is the following hypotheses.

Hypothesis 1. Modern technique (high efficient heat conductors – heat pipes (HP) and thermosyphons) allow to organize address energy delivery:

- to material surface trough all volume;
- to act on boundary layer of viscous disperse product by the heat conducting module itself.

Complex researches of such systems are made in works [3, 15]. The design of thermosyphons and their autonomy allow to provide the uniform heat supply to product moving layer by the correlation of heat transfer areas of evaporation and condensation zones.

Hypothesis 2. Using of electromagnetic energy sources will allow organizing the targeted energy transfer straightly to moisture in product and initiating the powerful barodiffusion flow of water from product solid phase.

While in traditional schemes temperature and moisture content gradients do not coincide, in volume selective electromagnetic energy supply conditions maximal values of temperature and moisture content are deep inside the product (fig. 3).

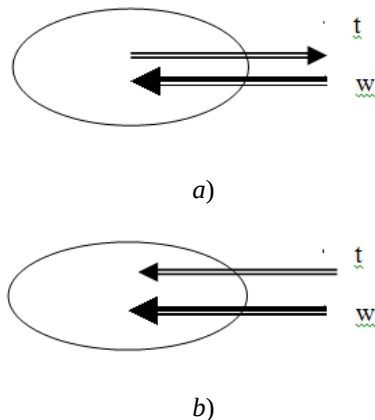


Fig. 3. The gradients of temperature and moisture content: a) conventional drying; b) innovative dehydration technology

Exactly this factor allows to initiate powerful hydrodynamic flow from capillary structure under microwave field condition, the mechanism of which is given in [1, 4].

Laminar barodiffusion delivers water to the surface of the product, and turbulent one – directly to the air medium volume [1].

The mechanism of combined nano- and micro-transfer of water from fibrous structure to air is explained by electrodiffusion model (fig. 4). Consecutive series of diffusion resistances consists of the sum:

$$\Sigma R = R_{NC} + R_{MC} + R_{MO}.$$

The convective mass output process from the product surface to the air flow has the lowest diffusion resistance (R_{MO}). The water moves inside product micro – capillaries to the product external surface overcoming

the diffusion resistance (R_{MC}). The process is the convective diffusion in tightened conditions (j_1). The nano - capillaries diffusion resistance is designated as (R_{NC}). It is the highest diffusion resistance because the diffusion processes tightness is maximal.

The moisture flow from the capillaries (j_2) is realized under an impulse electromagnetic field (IEMF) action. Really, it is a barodiffusion, its action is determined by pressure rising in capillaries P_c (fig. 5). Some capillaries, in which the vapor phase generating conditions are formed, begin the liquid to throw out capillaries to the external media periodically.

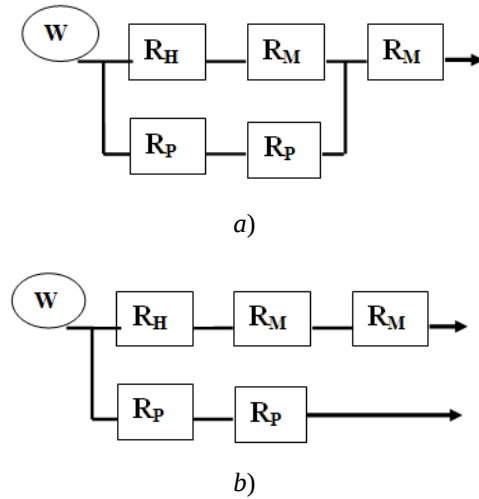


Fig. 4. Heat and mass transfer in laminar (a) and turbulent (b) barodiffusion

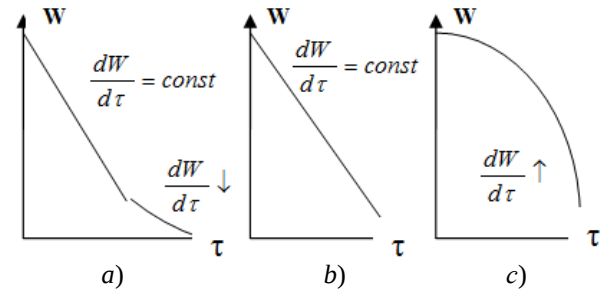


Fig. 5. Dehumidification curves. a) conventional drying; b) laminar barodiffusion; c) turbulent barodiffusion

Specific barodiffusion flow as a liquid-vapor mixture and as a fog was registered by authors visually while experimental modeling process.

That is why drying lines look specifically. While in traditional drying schemes periods of constant and falling velocities, in innovative dryers microwave energy provides constant inflow of product surface by moisture at the expense of laminar barodiffusion (fig. 5, a).

If turbulent barodiffusion regime is realized, moisture is ejected directly to the air flow as a spray (fig. 5, b). It is paradoxical, but dehydration process goes with increasing dehydration velocity. Such pictures are got experimentally [1]. The lowest value of drying speed during first period of operation is explained by that surface moisture blocks barodiffusion process that begins to be developed when part of surface moisture is removed.

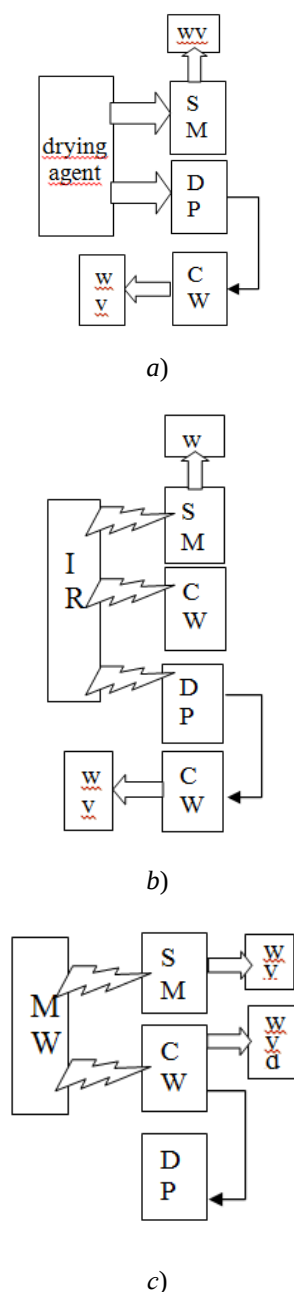


Fig. 6. Drying schematic. a) conventional drying; b) infrared drying; c) microwave drying

A type of electromagnetic energy is also important (fig. 6).

In traditional convective scheme drying agent gives energy firstly to surface moisture (SM), then to dry part of product (DP), which passes energy to water in capillaries (CW). This way traditional convective drying goes (fig. 6, a), the result of which is wet vapor flow (WV). In infrared (IR) drying (fig. 6, b) capillary moisture is particularly removed by electromagnetic energy and particularly like in convective drying [2, 20].

In microwave drying (fig. 6, c) a flow of wet vapor and water drops from capillaries at the expense of barodiffusion can be registered. The proportion of this mixture characterizes dehydration process energy cost per unit. The more is drops portion the lower is energy consumption.

In convective dryer, the energy conversion is following. Energy conversion by the scheme "fuel – water

vapor" has efficiency coefficient 50%, and with drying efficiency coefficient of 40 % useful energy is 8 MJ. It is equivalent to 3 kg of removed moisture from product.

In offered dryer with electromagnetic energy supply received result (reduced to primary resource, the fuel) is twice higher (table 2), and technically possible level is 50 kg of moisture.

Table 2. Drying process energy transformation

Scheme	Fuel specific energy	Useful energy	Removed water amount
Conventional	40 MJ	8 MJ	3 kg
Microwave	40 MJ	12-16 MJ	6 kg

The vegetables and wheat grain placed in thick layer on the scales bracket in the centre of microwave chamber was researched. Experimental part of research included tests with different loads (grain weight) and different MW-radiation power. The results of weight measures and layer temperature were registered by computerized complex [4]. During the tests series the dependences of material dehydration speed on product load value in microwave chamber, and on magnetron radiation power were studied.

At different but constant for each test series microwave radiation power specific weight of grain changed in limits $G=1.32-5.26 \text{ kg/m}^2$. Data about grain moisture content was registered by electronic scales registrations and mass balance. The relations of grain moisture content change at constant microwave radiation power are determined in the result of experimental data. At lower powers process dynamics decreases proportionally.

It is ascertained that there is initial section on drying lines, which corresponds to the layer warming up and its length changes from 0.5 to 2.5 minutes. Section length depends on load value. After warming up section grain layer moisture content changes almost linearly. Drying time for the maximal load was about 7 min.

The temperature curves are also significant in terms of demonstrating the potential of microwave heating technology. During each test a temperature of grain layer was registered simultaneously mass change. Maximal layer temperature for the maximal load $G = 5,26 \text{ kg/m}^2$ was 55°C , parameter reach at this value in 2,5 min after heating start at full magnetron power. With decrease of load of microwave chamber layer the heating speed increased and at load $G=1,32 \text{ kg/m}^2$. The layer temperature reached 80°C during the first minute, and after 1.5 min the layer temperature was more than 100°C .

Power was changed by standard means, magnetron worked in impulse regime. Gradations of power change scale on plot correspond the values of electric power consumed by magnetron (fig. 7).

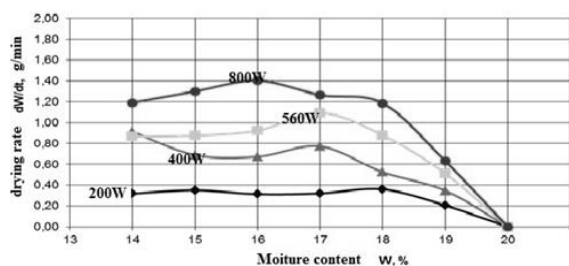


Fig. 7. Drying curve of wheat

Received relations show the dynamics of dehydration process and allow to estimate drying speed changes. It is obvious that there is no speed decrease till the experiment end. Also a straight relation between drying speed and radiation power is traced. In the regime of 400 W constant increase of drying speed is observed. These experiments confirm hypotheses and dehydration mechanisms put forward (fig. 4, 5).

Extraction. The instant coffee, oils and cognac production prospective on the microwave technologies base was investigated. The coffee bean extraction modern technologies are characterized by many contradictions. On the one hand there is a problem the valuable components from beans maximal value extraction to reach. The effective method of solving such problem is the process temperature and pressure increasing inside the apparatus and stepped extraction. On the other hand, high pressure in the apparatus complicates the use of flow-through schemes and use of stirring rod in the construction. As a result modern technology of the extraction from coffee beans is characterized by bulkiness, laboriousness, energy intensity [3]. The extraction from coffee beans traditional methods capabilities is practically exhausted.

The microwave extractor sample has been created. The combined electro – physical action on the extraction process is allowing to intensify mass transfer processes in several times. It also realizes intensive and soft modes of extraction [3]. The extraction degree of components from beans shows a 15% growth. The pressure inside apparatuses is atmospheric, process temperature is not higher than 100°C. Energy consumption is decreased by 50%. Test samples of instant liquid coffee concentrate “JIKO” have good taste properties [3]. In cognac production the tests of extractor with electromagnetic intensifier have passed successfully. In different operation regimes intensity of mass-transfer increased dozens and thousands times. The testing results confirmed the proposed mechanism of combined extraction process and the technology perspectives.

The relation between Sherwood number (Sh) and numbers of Reynolds (Re), Schmidt and Bu number at $Re < 2300$ in extraction processes is determined

$$Sh = 36,58 (Re)^{0,33} (Sc)^{0,33} (Bu)^{1,54}. \quad (1)$$

Some invited degustators discovered the great special mention of product positive structural changing and foremost the aromatic constituents changing. The possibility of building the alcohol flavor at nanoscale level appears.

Microorganisms' inactivation processes.

Research of particular nanoscale objects (viruses, cells, proteins etc.) are dealt with during decades. Con-

ceptions of self-organization, biological information storage and transmission, molecular recognizing were formulated at previous sciences development stages. But analysis of these problems using nanotechnological approaches, broadening of problem scope to interdisciplinary level will give a new powerful impulse in researches. Due to serious fundament in chemical, microbiological and biotechnological phenomena in food systems food nanotechnologies has serious reason to become the most perspective sphere of modern stage of science and technology development.

Energy efficiency coefficient of traditional pasteurization is no more than hundredth parts of percent. The scheme of energy supply is utterly uneconomical: microorganisms receive it from heated product. The main part of energy is wasted on product biologically active constituents' quality decrease. From the positions of food nanotechnologies, it is possible to organize selective energy supply directly to microorganisms.

Efficiency of such scheme is determined by difference of dielectric characteristics of product and microorganism, apparatus construction, which allows to realize this difference fully [16-18]. The requirements to this apparatus are established, fatal temperatures for wine yeast cells are reached at product temperature 32...42 °C with product treatment during 2 min. Values of energy efficiency coefficient increased essentially (table 3).

Table 3. Characteristics of nano sterilizer

Parameter	Conventional way	Result	
		Achieved	Expected
Energy consumption, MJ/kg	0,2	0,02	$2 \cdot 10^{-5}$
Temperature, °C	80...100	30	10...20
Efficiency, %	0,004	0,04	20...40

If only temperature factor is taken into account as lethal for microorganisms, assigned task becomes purely thermal. But to estimate particular microorganism temperature in time and flow motion conditions is still unsolvable task. Conventional method of receiving generalized variables equation structure for associated tasks of hydraulics and heat-transfer solving is dimensional analysis method. Use of these methods in pasteurization research is not known [5].

DISCUSSIONS

Authors explain received results by that at drying and extraction processes combination with impulse electromagnetic field action a flow from capillaries and nanocapillaries is initiated (fig. 4, 5). The frequency of ejections from capillaries and the number of functioning capillaries increases with the rise of microwave radiation power – N. Mass flow j_2 is determined by effective specific mass-transfer coefficient β_p and pressure differential in capillary P_C and flow P_E .

Flow j_2 is created by powerful hydrodynamic motive force, it turbulizes the boundary layer, and can be several orders more than classical diffusion flow j_1 . A problem to represent this flow influence in classical mass

transfer equations appears. On the basis of similarity theory principles a new dimensionless group – energy action number which takes into account electromagnetic field action, is offered.

Correlation between radiation energy and energy, necessary for similar processes in conventional technologies, determines both energy efficiency of equipment and mass transfer regime. Up to certain Bu number values laminar liquid motion regimes in solid phase canals take place. The Bu number can show the conditions of transition to more intensive mass transfer that is logically to be called turbulent barodiffusion regime. In general form the number of energy action describes ratio of energy consumption of innovation technology (Q) and basic version (traditional technology): $Bu = Q/Q_0$.

For analyzed processes the structures of models in generalized variables and correlations for Bu number calculation are defined by similarity theory methods (table 4).

Table 4. Calculation models

Process	Bu number	Process model
Activation and inactivation of microorganisms	$Bu = N(\zeta VCp\Delta t)^{-1}$	$Fo = A Re^n Pr^m Bu^k$
Extraction	$Bu = N(rwd^2 \rho)^{-1}$	$Sh = A Re^n Sc^m Bu^k$
Drying	$Bu = N(rV \rho)^{-1}$	$Sh = A Re^n Sc^m Pe^p Bu^k$

In relations N is radiation power; V is volume flow of removed water; r is latent heat of phase transition; dis determinative measurement; ρ is a density.

This number generalized bases of experimental data in dehydration and extraction processes successfully [4]. It is envisaged that Bu number can appropriately characterize energy specificity of all problems used in DEA-technologies.

Usage of DEA-technologies in drying of food materials gives a possibility to intensify the process considerably [4]. Organization of two-phase flow composed of vapor and highly dispersed water drops from material volume leads to the result which cannot be estimate by

traditional thermal efficiency (table 5). And Bu number allows to give such estimation.

Base version (№1) is for traditional convective dryers. Modernization of dryers by thermosyphon heat utilization system is №2. Dryers of third generation are noted for that in product preheating zone address energy delivery is realized by vaporizing thermosyphons. In dryers (№4) such address energy delivery is organized in drying zone. This decreased heat energy loss with outgoing heat carrier essentially.

Dryers of fourth generation, in which energy is delivered to water in product, do not have conventional heat efficiency coefficient at all and Bu number shows drying technology development trends.

Formulated hypotheses are confirmed practically, the facts, that can be explained only from nanosciences positions, exist. Such facts, received at the Department of Processes and Apparatuses of ONAFT are: changings and transformations of product flavoring and aromatic complexes structure, products sterilization at low temperatures etc. The cause of these facts is common – electromagnetic field action.

In cognac production the tests of extractor with electromagnetic intensifier have passed successfully. In different operation regimes the intensity of mass-transfer increased dozens and thousands times. The testing results confirmed the proposed mechanism of combined extraction process and the technology perspectives. Degustators discovered the great special mention of product positive structural changing and foremost the aromatic constituents changing.

In food production raw materials have nanoscale elements. These natural nanostructures determine the quality of product and efficiency of technology. Organization and control of action on these natural nanostructures with combination of nano- and macrokinetics capabilities under process impulse-cyclical character conditions opens new perspectives in food technologies.

Formulated hypotheses are confirmed by numerous experiments. Conventional methods do not provide such intensification degree as barodiffusion technologies usage does [6-10].

Table 5. The energy efficiency of the drying equipment

Moisture removing way	Specific energy consumption MJ/kg	Thermal efficiency, %	Bu number
Basic convective dryers	6 – 8	0,3 – 0,38	2,6 – 3,5
Grain dryers			
- basic 1 st generation	4,26 – 6,3	0,36 – 0,5	1,85 – 2,7
-upgraded 1 st generation	3,8 – 5,1	0,45 – 0,6	1,67 – 2,22
- block dryers 2 nd generation	3,54	0,65	1,54
- recuperative 2 generation	2,7 – 2,88	0,8 – 0,85	1,18 – 1,25
-3 generation (achieved result)	1,9	-	0,82
- 3 generation (expected result)	0,2	-	0,09

Data received as a result of experimental modeling allows to estimate the appropriateness of building experimental multifunctional apparatus based on microwave radiators cascade [5].

CONCLUSIONS

1. For food systems decrease of consumed energy quantity will not only increase energy efficiency coefficient and decrease product cost price but also decreases level of heat action on product. This will bring to keeping of thermolabile and biologically active food material constituents. For example, food products and ready-to-serve food, received by NET will answer the requirements of functional nutrition.

2. Local action on nanoscale elements of food material allow to give new approaches to processes in agricultural sector. New scientific area in food nanotechnologies – the control of transfer processes on nanoscale food structures phase boundary is being developed [12]. Energetic action may become the instrument of such control. This area is called “DEA-technologies” i.e. technologies of directed (selective) energy action on athermal elements. Subsection of the area is nanonegdytechnologies – technologies of targeted energy supply to food material nanoscale elements.

3. For some nanoprocesses (fig. 4), progressing at combined nano- and microprocesses action, it is possible to set the modeling tasks when nanoscale influence mechanisms are obvious or predictable. Thus a powerful instrument of nanokinetics initiation is impulse electromagnetic field. Exactly in IEMF conditions it is possible to organize directed local energy supply to polar molecules of food material, i.e. to implement SEA-technologies.

4. Innovative microwave drying is special for that drying process does not slow down even at final drying periods. It overcomes traditional convective technologies in efficiency and productivity several times. Microwave drying of herbs, tea, spice, mushrooms, fruits, cereals, vegetables, fish, and meat is characterized by high efficiency, low treatment time and comparative low process temperature that provide very high integrity of healthy substances and vitamins.

REFERENCES

1. **Azoev G.L., 2011.** Nano market: from nanotechnologies to nanostaff. Moscow, Binom, 319. (in Russian).
2. **Bandura V., Tsurkan O., Palamarchuk V. 2015.** Experimental study of process parameters infrared drying moving ball of raw oilseeds. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Vol.17. No.9. 211-214.
3. **Burdo O.G., 2008.** Energy monitoring of food production. Odessa. Poligraf, 244.
4. **Burdo O.G., 2013.** Food nanotechnologies. Kher-son, 294.
5. **Burdo O.G., 2005.** The nanoscale effects in food-production technologies. Journal of Engineering Physics and Thermophysics vol. 78(1). 90-96.
6. **Burdo O.G., 2010.** The dryers' evolution. Odessa, Poligraf, 368.
7. **Burdo O.G., 2012.** The energetic of food nano-technologies. Problemele energeticii regionale, Chisinau, №1. 69- 79.
8. **Burdo O.G., Terziev S.G., Yarovoy I.I., Borsch A.A., 2012.** The electromagnetic technologies of dehydration. Problemele energeticii regionale, Chisinau, №1(18). 69-79.
9. **Burdo O.G., Rybina O.B., 2010.** Processes of microorganisms inactivation in microwave field. Odessa, Poligraf, 200.
10. **Burdo O.G., Terziev S.G., Ruzhitskaya N.V., Makievskaya T.L., 2014.** The coffee waists processing. Kiev, EnterPrint, 228.
11. **Burdo O.G., Zykov A.V., Terziev S.G., Ruzhitskaya N.V. 2016.** The Nanotechnological Innovation in Food Industry. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) – Vol. 6 - Issue 3. P. 144-150.
12. **Burdo O.G., 2006.** Nanotechnologies. Odessa, ONAFT, vol. 28(2). 242-251.
13. **Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants. 2013** Energy Volume 52, 1 April 2013. 210-221.
14. **Energy efficient cities: assessment tools and benchmarking practices 2010 /** World Bank; ed. R.K. Bose. – Washington: The World Bank. – XVIII, 227.
15. **Gromadzki G. 2007.** Energy game: Ukraine, Moldova and Belarus between the EU and Russia /G. Gromadzki, W. Konończuk; Stefan Batory Found. – Warsaw: Stefan Batory Found, 47.
16. **Javier Raso-Pueyo, Volker Heinz. 2010.** Pulsed Electric Fields. Technology for the Food Industry: Fundamentals and Applications. Springer Science & Business Media, 246p.
17. **Narsetti R., Curry R. D., McDonald K. F., Clevenger T. E. and Nichols L. M., 2006.** Microbial Inactivation in Water Using Pulsed Electric Fields and Magnetic Pulse Compressor Technology in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 34, no. 4, pp. 1386-1393, Aug. 2006.
18. **Pilar Mañas, Laura Barsotti, J.Claude Cheftel. 2001.** Microbial inactivation by pulsed electric fields in a batch treatment chamber: effects of some electrical parameters and food constituents, Innovative Food Science & Emerging Technologies, Volume 2, Issue 4, December 2001, pp. 239-249.
19. **Xiaodong Wang. 2010.** Winds of change: East Asia's sustainable energy future / [et al.]; World Bank. – Washington: The World Bank. – XVII, 154.
20. **Zavaliy A., Rutenko V., Krivoruchko S., 2014.** Energy efficiency unit of infrared drying of grape pomace in a continuously moving layer MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Vol. 16, No. 5. 153-162.

ТЕХНОЛОГИИ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ ЭНЕРГИИ В ПИЩЕВОЙ ИНДУСТРИИ

Аннотация. Производство пищи характеризуется высокой энергоемкостью. Количество энергии потребляемой для производства пищи в 10 раз превышает количество необходимой человеку энергии, потребляемой с пищей. При этом пищевые технологии развиваются по пути стабильного роста энергопотребления. Для изменения сложившейся ситуации необходимы принципиально новые решения. Одним из таких решения являются технологии направленного энергетического действия. Они характеризуются тем, что энергия не рассеивается во всем продукте, а подводится непосредственно к объекту воздействия. При этом расходуется только необходимое на процесс количество энергии. Эффективность такого подхода показана на примере таких процессов как инаktivация микроорганизмов, обезвоживание сырья, и извлечение целевых компонентов. При инаktivации дрожжевых клеток были бы достигнута 10кратное снижение энергопотребления по сравнению с традиционной пастеризацией. Температура сырья составляла 32°C. Этот эффект достигнут за

счет того, что микроволновое излучение в пастеризаторе воздействовало непосредственно на клетки. Также, используя технологии направленного энергетического действия можно добиться бародиффузионного эффекта. Этот эффект позволяет значительно увеличить выход целевого компонента в процессе экстракции. Также этот эффект позволяет удалить воду из капилляров продукта без превращения её в пар. Но максимальный энергетический эффект от использования технологий направленного энергетического действия можно получить подводя к объекту только необходимое количество энергии. Определение этого количества требует создания соответствующих методов моделирования. Для анализируемых процессов математические модели были получены с использованием теории подобия в виде зависимости числа энергетического действия от параметров процесса. Полученные модели позволяют проектировать принципиально новое энергоэффективное оборудование.

Ключевые слова: нанотехнологии, бародиффузия, энергия, пищевые технологии, моделирование.

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА СТЕРИЛИЗАЦИИ МЯСНЫХ ПАШТЕТОВ

Виктор Куций¹, Виталий Янович², Алина Гурич², Николай Любин²

¹Подольский государственный аграрно-технический университет

Ул. Шевченко, 13, Каменец-Подольский, Украина

²Винницкий национальный аграрный университет,

Ул. Солнечная, 3, Винница, Украина. E-mail: yanovichvitaliy@mail.ru

Victor Kutsiy¹, Vitaliy Yanovich², Alina Gurich², Nikolai Lyulin²

¹Podolskiy State Agrarian and Engineering University

St. Shevchko, 13, Kamenets-Podolskiy, Ukraine.

²Vinnitsia National Agrarian University,

Str. Sun, 3, Vinnitsa, Ukraine. E-mail: yanovichvitaliy@mail.ru

Аннотация. Микробиологично стабильный продукт должен отвечать требованиям промышленной стерильности: в стерилизованном продукте должны отсутствовать микроорганизмы, которые могут развиваться при температурах хранения, установленных для данного вида консервов. Но промышленная стерилизация не ставит своим заданием обеспечение полной стерильности продукт, так как абсолютная стерильность может быть достигнута нагреванием и продолжительной выдержкой банок с продуктом при высоких температурах, при которых продукт непригоден к употреблению.

Обеспечение безопасности продуктов питания в значительной степени зависит от контроля в сырье и готовых изделиях окончательного количества ветпрепаратов, радионуклидов, пестицидов, токсичных веществ. Оптимизация режимных и конструктивных параметров автоклава обеспечивает лучшие условия для удаления воздуха, сокращается время проудвки, уменьшаются потери пара, исключается подача перегретого пара в автоклав и необходимость нагрева, а также охлаждения промежуточного теплоносителя - воды. Сравнительный анализ рецептурного состава и тепловых режимов аналогичных паштетных продуктов свидетельствует, что предложенная рецептура консервированного паштета из мяса индеек имеет оптимальный состав ингредиентов, которые обеспечивают сбалансированность химического состава продукта для наиболее полного его усвоения организмом человека. Тепловой процесс стерилизации изученных аналогов мясных паштетов имеет жесткое действие на продукт и увеличенную продолжительность во времени на 10-15 минут, что в конечном итоге негативно влияет на пищевую ценность продукта. По результатам проведенных исследований установлен оптимальный режим стерилизации при температуре [1, 2] 115°C и стерилизующем эффекте 6 усл. мин. На основании данных выполненных исследований определен срок годности консервированного паштету 12 месяцев при температуре хранения от 0 до 20 °C.

Ключевые слова: автоклав, стерилизация, процесс, тепломассобмен, режим.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Стерилизация является основным и наиболее надежным среди всех методов хранения продуктов в пищевой промышленности и общественном питании. Современным методом развития данного процесса заключается в нахождении таких способов и режимов стерилизации, которые обеспечивают как необходимую деактивацию микрофлоры, так и сохранение пищевой ценности продукта. Целью представленных экспериментальных исследований являлось подтверждение теоретических предположений процесса стерилизации консервов, оптимизация его рецептурного состава и определение эффективных режимных параметров исследуемого оборудования при условии увеличения качественных характеристик исходной продукции. Данные исследования проводились при использовании общепринятых и стандартных методик, которые применяются для изучения физико-химических и бактериологических показателей мясных продуктов.

Консервы стерилизуют с целью уничтожения микрофлоры, которая способна развиваться в консервах при обычных условиях хранения и вызывать порчу консервов, а также образовывать продукты жизнедеятельности (токсины), опасные для жизни человека. К таким микроорганизмам относятся токсикогенные спорообразующие анаэробы *Cl. botulinum* и гнилостные анаэробы *Cl. sporogenes*, *Cl. putrificum*, *Cl. perfringens*. Самые опасные из них бактерии *Cl. botulinum* - возбудителя ботулизма. Споры этих клостридий не погибают при многочасовом кипячении. *Cl. botulinum* являются сапрофитами и развиваются только на неживых тканях, но в процессе жизнедеятельности они производят токсин - чрезвычайно опасный нервно-паралитический яд. Однако, кроме вероятности пребывания в консервах спор *Cl. botulinum* в содержании консервов может быть другая гнилостная микрофлора, которая имеет значительно более высокую термостойкость, к примеру, *Cl. sporogenes*. Такая постановка задач исследований обуславливает их актуальность и перспективы производственного внедрения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

При выборе температуры и продолжительности нагрева консервов в автоклавах исходят, в первую очередь, из того, что правильно установленный режим стерилизации должен обеспечить микробиологическую стабильность консервов. Режим стерилизации должен гарантировать надлежащую степень угнетения микроорганизмов, потенциально вредных для здоровья человека, а также тех, которые могут стать причиной порчи консервов при хранении. При этом следует учитывать, что термическое действие должно быть по возможности минимальным для обеспечения высоких органолептических свойств и пищевой ценности готовых продуктов. Одним из наиболее важных факторов, от которых зависит эффективность стерилизации, является активная кислотность продуктов. В зависимости от значения активной кислотности pH изменяется продолжительность стерилизации. В кислой среде термостойкие анаэробы практически не развиваются, а развивающиеся, не являются термостойкими. Таким образом, со снижением кислотности продолжительность стерилизации снижается. Потенциально опасные для здоровья человека продукты со значением pH 4,2-7,0. Таким образом данная задача решается путем создания вертикального автоклава, в котором нивелируется влияние перегретой пары, и, как следствие, необходимость нагрева и охлаждения промежуточного теплоносителя за счет введения в систему теплообменника-смешивателя и изменения направления подачи острой пары. На рисунке представлена принципиальная схема разработанного вертикального автоклава.

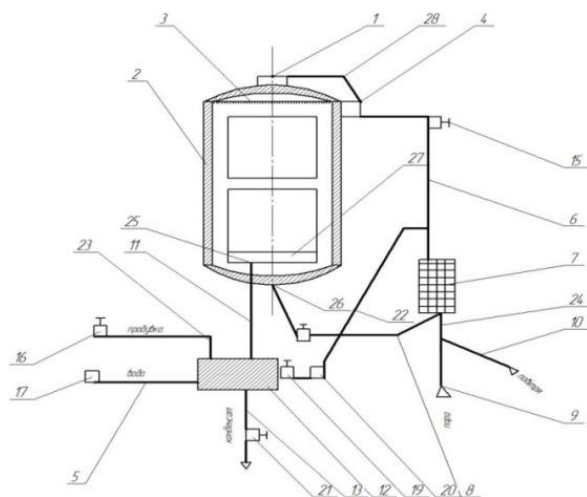


Рис. 1. Модифицированная схема вертикального автоклава периодического действия

Fig. 1. Scheme of the vertical batch type autoclave with a modified design parameters

Вертикальный автоклав имеет крышку 1, шарнирно присоединенную к корпусу 2, в верхней части которого размещается сетка 3 для рассеивания входных потоков пары либо воды; соединительную петлю 4, через ось которой проходит герметический шарнир 5; трубопроводы 6, 8 соответственно для входа и выхода теплоносителя со смешивающим теплообменником 7; трубопроводы 9, 10 для подачи па-

ры и сжатого воздуха; емкость 11 и патрубки 12, 13 для вывода конденсата; вентильные краны 14, 15, 16, 17, 19, 21; заглушку 18, циркуляционный насос 20, трубопроводы 22, 24, 28, термометр 23, соединительные патрубки 25, 26 и сетку 27 для распределения потоков пары.

Вертикальный автоклав работает следующим образом.

Погружают корзины с консервными банками в корпус 2, закрывают и герметизируют крышку 1. Открывают кран 16 для подачи пара через трубопровод 9 в смешивающий теплообменник 7, где находится вода, которая частично испаряется при взаимодействии с горячим паром. Новообразовавшийся пар регистрируется термометром 23 и через шарнир в петле 4, крышку 1 поступает в сетку 3, где рассеивается сжатый воздух с автоклава через сборник конденсата 12 и кран 16. Когда весь воздух выйдет с корпуса 1, закрывают кран 16 и начинают подавать пар по трубопроводу 9, что способствует увеличению давления и соответственно рабочей температуры. При достижении необходимых эксплуатационных параметров давления и температуры закрывают кран 15 и открывают кран 14 для перемещения пара через смешивающий теплообменник 7 в днище корпуса 2. Все это время стерилизация проводится в среде нагнетенной пары. Охлаждение начинают с подачи в автоклав дополнительного воздуха, чтобы не повредить тару при падении давления в следствие конденсации пары.

После окончания процесса стерилизации прекращают подачу пара и при помощи открытия и закрытия вентильных кранов 14, 15 начинают порционное транспортирование холодной воды через трубопровод 17 к автоклаву. Включают циркуляционный насос 20 для перемешивания конденсата с холодной водой. Регулировка потоков 15, 14 способствует транспортировке нагретой жидкости по трубопроводу 22 к сетке 3 для ее орошения потоками над банками. Нагретая вода, что прошла через шары банок, стекает в сборник конденсата 12, куда продолжает поступать и холодная вода. [3-5]

Через некоторое время начинают постепенно выпускать из автоклава воздух по трубопроводу 29 и открывая крышку 1 выгружают сетки с банками. Воду из емкости для конденсата 12 выпускают по трубопроводу 13 и частично оставляют в трубопроводе 22. Далее, при подаче пара, во время следующего цикла стерилизации, остаток воды и закрытый кран 19 мешают попаданию пара в корпус 2.

Такое сочетание конфигураций теплообменных элементов и системы подачи острого пара дает возможность значительно интенсифицировать термическую обработку сырья, соответственно увеличить производительность уменьшая потребленные энергозатраты на представленный технологический процесс. [6-9]

При расчете необходимой летальности для возбудителей специфического порчи *Cl. sporogenes*, применяем конечную формулу расчета [1, 7, 4]

$F_n = D(4 + \lg CG) = 0.9(4 + \lg 1 \times 100) = 5,4$, (1)
 где: D – термостойкость микроорганизма; C – начальная концентрация спор тест-культур, спор/см³; G – объем продукта в одной банке.

Исходя из вышеприведенных расчетов и имеющейся информации зарубежных и отечественных ученых для аналогичных продуктов, необходимая летальность для консервов должна составлять 6 усл. мин. (округленно 5,4 усл. мин. до ближайшего высшего целого значения).

Для разработки научно обоснованного режима стерилизации консервированных паштетов из мяса индеек (расчета стерилизующего эффекта) использовали оборудование и производственные мощности ООО «Каменец – Подольский мясокомбинат», в частности его структурное подразделение – консервный цех.

Исследования проводились с использованием промышленных вертикальных автоклавов периодического действия Б6-КА2-В-2. Пользуясь техническими средствами измерения, осуществляли измерения температуры автоклава и продукта для каждого режима стерилизации. На основании полученных данных построили графики кривых нагревания автоклава, продукта и летальности (рис. 2, 3 4). Согласно полученным практическим результатам определили эффект стерилизации для каждого режима обработки (рис. 2, 3, 4)

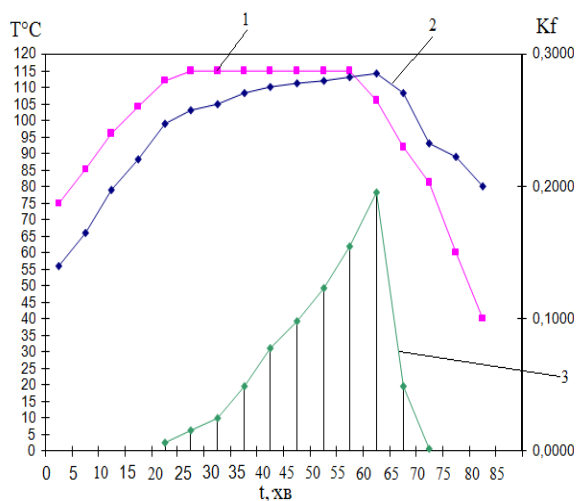


Рис. 2. Диаграмма режима стерилизации № 1 при $F_f = U \times \Sigma K_f = 5 \times 0,8 = 4$ усл. мин.: K_f – переводной коэффициент; 1 – кривая прогрева автоклава; 2 – кривая прогрева продукта; 3 – кривая летальности

Fig. 2. Sterilization Mode Chart at number 1 $F_f = U \times \Sigma K_f = 5 \times 0,8 = 4$ us. min: K_f – transfer coefficient. 1 – the curve of the autoclave warm; 2 – curve of the product warm-up; 3 – mortality curve

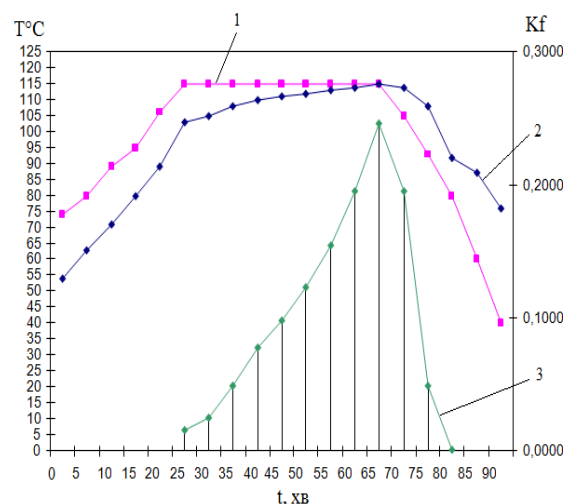


Рис. 3. Диаграмма режима стерилизации № 2 при $F_f = U \times \Sigma K_f = 5 \times 1,2 = 6$ усл. мин.: K_f – переводной коэффициент; 1 – кривая прогрева автоклава; 2 – кривая прогрева продукта; 3 – кривая летальности

Fig. 3. Sterilization Mode Chart at number 2 $F_f = U \times \Sigma K_f = 5 \times 1,2 = 6$ um. min: K_f – transfer coefficient. 1 – the curve of the autoclave warm; 2 – curve of the product warm-up; 3 – mortality curve

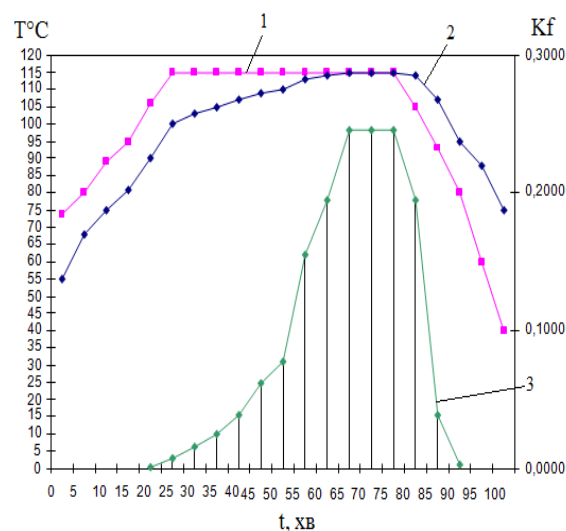


Рис. 4. Диаграмма режима стерилизации № 3 при $F_f = U \times \Sigma K_f = 5 \times 1,6 = 8$ усл. мин.: K_f – переводной коэффициент; 1 – кривая прогрева автоклава; 2 – кривая прогрева продукта; 3 – кривая летальности

Fig. 4. Sterilization Mode Chart at number 3 $F_f = U \times \Sigma K_f = 5 \times 1,6 = 8$ cond. min: K_f – transfer coefficient. 1 – the curve of the autoclave warm; 2 – curve of the product warm-up; 3 – mortality curve

При обосновании рационального режима стерилизации недостаточно только провести математический анализ данных теплофизических измерений в процессе термообработки, важно провести также микробиологические исследования качества сырья и паштетов. Результаты проведенных исследований по каждому режиму стерилизации представлены в таблице 1.

Данные таблицы 1 свидетельствуют об отсутствии микробиологической контаминации сырья, которое использовалось для производства мясных паштетов [11-14].

Таблица 1. Результаты микробиологических исследований сырья

Table 1. The results of microbiological tests of raw materials

Микроорганизмы, которые были обнаружены в продукции	Шкурка свиная		Мясо индюков	
	факт	норма	факт	норма
Патогенные, в т.ч. сальмонеллы, в 25 г.	не выяв.	не допуск.	не выявл.	не допуск.
L. monocytogenes,	не выяв.	не до-	не выявл.	не допуск.

Значительное внимание при выполнении исследований привлекалось к изучению такого показателя как активность воды. В основном в пищевых продуктах значение активности воды выше 0,95. Большинство микроорганизмов развиваются при a_w ниже этого уровня. В проведенных исследованиях значение активности воды во всех образцах находится в пределах 0,96-0,97, что свидетельствует о высоком уровне стабильности качества паштетов, прошедшие тепловую обработку при различных стерилизационных эффектах на протяжении 4, 6 и 8 усл. мин. [15, 16].

В последних научных публикациях по биохимии пищевых продуктов часто встречается такой показатель как окислительно-восстановительный потенциал (редокс-потенциал).

Установлено, что во время окислительных или восстановительных реакций изменяется электрический потенциал веществ, окисляются или восстанавливаются: одно вещество, отдавая свои электроны и заряжаясь положительно, окисляется; другое, приобретая электроны и заряжаясь отрицательно, восстанавливается. Разность электрических потенциалов между ними и есть окислительно-восстановительный потенциал или редокс-потенциал. Редокс-потенциал является мерой химической активности элементов или их соединений в обратимых химических процессах, связанных с изменением заряда ионов в растворах. Чем выше концентрация компонентов, способных к окислению, тем выше показатель редокс-потенциала. Такие вещества, как кислород и хлор, открытые до принятия электронов и имеют высокий электрический потенциал, соответственно, окислителем может быть не только кислород, но и другие вещества, в частности, хлор, а вещества типа водорода, наоборот, охотно отдают электроны и имеют низкий электрический потенциал. Наибольшую окислительную способность обладает кислород, восстановительной - водород, но между ними располагаются и другие вещества, присутствующие в продукте менее интенсивно, выполняющие роль то окислителей, то восстановителей.

Значение окислительно-восстановительного потенциала для каждой из представленных реакций может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Окислительные процессы снижают показатель кислотно-щелочного равновесия (чем выше редокс-потенциал, тем ниже pH), восстановительные – способствуют повышению pH. В свою очередь pH влияет на величину редокс-потенциала [12, 13].

Известно, что редокс-потенциал свидетельствует о возможности протекания в процессе хранения окислительных процессов в пищевых продуктах, на что необходимо обратить внимание при исследованиях этого показателя в процессе хранения. Однако необходимо отметить, что данный показатель не является информативным в процессе обоснования различных стерилизационных эффектов, так как полученные значения его, а также перекисного, кислотного и тиобарбитурового числа находятся на одном уровне. Аналогичность технологического процесса, его продолжительности, используемого оборудования обуславливают идентичность реакций взаимодействия кислорода и присутствующих веществ в продукте до стерилизации, что подтверждается равной степенью окислительных процессов [17, 18].

Что нельзя сказать об изменениях витаминов группы В в процессе тепловой обработки в зависимости от уровня тепловой нагрузки. Содержание витамина В1 уменьшилось на 50% при стерилизующем эффекте 8 усл. мин. по сравнению с 4 усл. мин., В2 – на 52,8%, РР – на 12,1%, что свидетельствует о снижении витаминов группы В при увеличении тепловой нагрузки в исследуемых паштетах.

Стерилизация является важнейшим процессом, определяющим качество консервов. Консервы стерилизовали при температуре 115° С. При таких высоких температурах значительно возрастает скорость гидролиза составляющих компонентов мяса, в том числе белков, а также происходит распад продуктов гидролиза, в том числе аминокислот. Степень гидролиза возрастает с повышением температуры и увеличением продолжительности стерилизации. При стерилизации происходит более глубокая деструкция белков, о чем свидетельствуют результаты исследований приведенные на диаграмме (рис. 5, 6, 7)

Как видно из представленных рисунков, с увеличением тепловой нагрузки количество свободных аминокислот возрастает с 8,26 до 10,2 г/100г, что свидетельствует об увеличении скорости гидролитического распада белков в продукте при возрастании продолжительности нагревания.

При нагревании во влажной среде до температуры свыше 100 °С ускоряются процессы гидролиза триглицеридов и насыщенных наполнением удвоенных связей радикалов жирных кислот гидроксильными группами. Вследствие частичного распада жира увеличивается количество свободных жирных кислот. При увеличении тепловой нагрузки – стерилизационного эффекта с 4 до 8 ум. мин. (рис 5, 6) возрастает количество жирных кислот в продукте с 12,5 до 14,6 %.

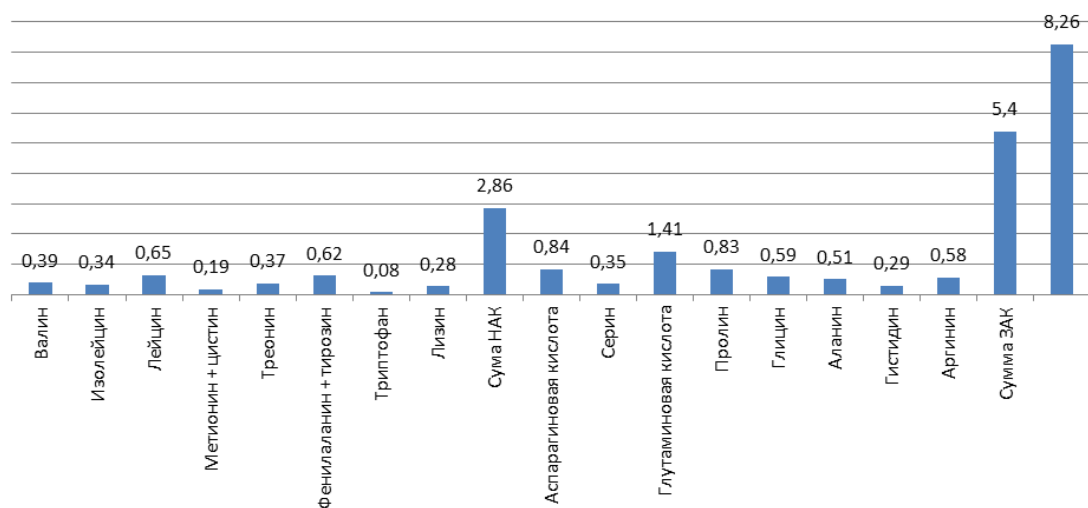


Рис. 5. Диаграмма аминокислотного состава при 4 ус. мин

Fig.5. Diagramma. amino acid composition at 4 km. min

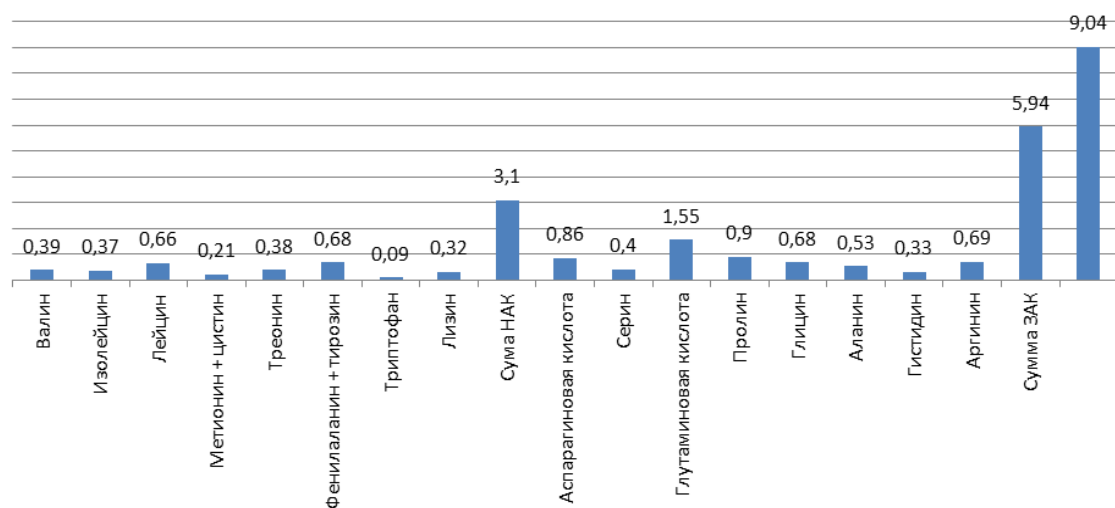


Рис. 6. Диаграмма аминокислотного состава при 6 ус. мин

Fig. 6. Aminokislотноgo composition at 6 m. min

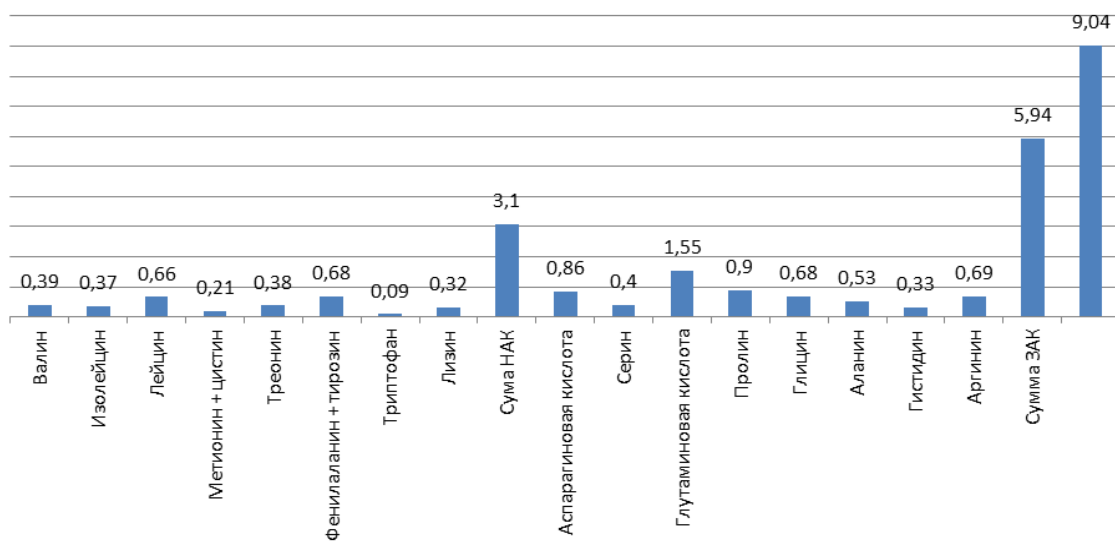


Рис. 7. Диаграмма аминокислотного состава при 8 ус. мин

Fig. 7. Diagramma amino acid composition at 8 liters. min

Таблица 2. Жирнокислотный состав паштетов при разных стерилизационных эффектах

Table 2. Fatty acid composition of pastes with different sterilization effects

Наименования	Содержание жирных кислот, %		
	Стерилизующий эффект, ус. мин.		
	8	6	4
Миристиновая	2,6	2,9	2,4
Пентадекановая	0,5	1,0	0,7
Пальмитиновая	23,8	25,2	24,1
Пальмитолеиновая	2,7	3,3	3,3
Маргариновая	1,0	1,3	1,0
Стеариновая	16,5	14,4	15,1
Олеиновая	35,0	36,9	38,2
Линолевая	7,9	6,9	7,1
Линоленовая	0,6	1,0	0,9
Нонадекановая	1,3	0,4	0,9
Арахидиновая	0,4	0,1	0,1
Бегеновая	0,1	0,1	0,1
Докозгексадекановая	1,0	1,5	0,6
ПНЖК	14,6	13,0	12,5

При микроструктурном исследовании образцов паштета после термической обработки на протяжении 4 ус. мин. (рис. 5) установлено, что образец характеризуется плотной компоновкой структурных элементов фарша. Основная масса фарша представлена мелкозернистой белковой массой, созданной в результате механического измельчения мышечной ткани. В структуре мелкозернистой белковой массы равномерно распределены фрагменты мышечной соединительной ткани, жировые капли (размером 5-10 мкм.), частички специй, растительного белка.

Белковые частички плотно взаимосвязаны друг с другом. Мелкозернистая белковая масса пронизана мелкими микрокапиллярами с четко очерченными границами размером 120-200 мкм.

Микроструктура образцов паштета после термической обработки на протяжении 6 ус. мин. (рис. 6) характеризуется неким разрыхленным в сравнении с предыдущими образцами, компоновкой структурных элементов. Микроструктурные изменения компонентов, что входят в состав продукта характеризовались гомогенизацией структуры ядер, мышечных волокон и фрагментов соединительной ткани. Белковые частички менее плотно взаимосвязаны друг с другом. Мелкозернистая белковая масса разрыхлена микрокапиллярами размером 350-450 мкм., местами взаимосвязанными друг с другом [19, 20].

Увеличение времени термической обработки до 8 ус. мин. приводит к последующему разрыхлению структурных элементов фарша, мелкозернистая белковая масса пронизана отдельными большими микрокапиллярами размером 400-500 мкм.

ВЫВОДЫ

Анализ полученных данных показал, что возрастание термического действия приводит к разрыхлению структурных элементов фарша в результате снижения степени взаимосвязи белковых частичек. Размеры микрокапилляров, которые пронизывают массу фарша, возрастают до 400-500 мкм. Увеличение числа и размеров микрокапилляров связано с увеличением количества слабо связанной влаги в продукте. Однако необходимо отметить, что тепловой обработки при стерилизующем эффекте 4 ус. мин. недостаточно, так как обнаруживаются отдельные нежелательные микроорганизмы.

Учитывая результаты проведенных исследований и необходимую летальность $F_n = 6$ ус. мин., целесообразно принять оптимальным режим тепловой обработки при температуре 115 °С и стерилизующем эффекте 6 ус. мин.

Для реализации представленных исследований была разработана принципиальная схема и сконструирована экспериментально-промышленная модель стерилизатора вертикального исполнения, которая позволила минимизировать термическое действие на технологическую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Паламарчук И., Зозуляк О., Герасимов А. 2013.** Разработка систем управления процессом сушки сипучего сырья. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin, Vol. 15, № 4. 314-323.
2. **Пирог Т.П. 2004.** Общая микробиология. К.: НУХТ, 471. (Украина).
3. **Бандура В., Цуркан О., Паламарчук И. 2015.** Экспериментальное исследование технологических параметров Процесса инфракрасной сушки движущегося шара сырья масличных культур. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin, Vol. 17, №4. 211-214.
4. **Pastukhov A., Danin V. 2011.** Model development for fresh baked bread natural and forced cooling. 6th Baltic Conference on Food Science and Technology. 209-214.
5. **Столяр Т. 1980.** Условия, определяющие качество мяса индеек. Птицеводство. № 4, 20-28.
6. **Флауменбаум Б.Л. 1993.** Технология консервирования плодов, овощей, мяса и рыбы. М.: Колос, 320.
7. **Фотина Т.И. 2002.** Пути снижения контаминации тушек птицы условно-патогенной микрофлорой. Научные труды Крымского ГАУ. Вып. 74. 121-123.
8. **Чернуха И.М. 2003.** Биотехнологические процессы комплексной переработки животноводческого сырья с использованием методов модификации и компьютерного моделирования сырьевых компонентов и готовой продукции. М.: ВНИИМП, 142.

9. **Bagley E.B. 1987.** Measurement and interpretation of rheological properties of foods. Food Technology. №3. 96-99.
10. **Bailey M.E. 1989.** Meat proteins in Food Emulsifiers, G. Charalambous, G. Doxastakis, Editors. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. 187-204.
11. **Barbut S. 1995.** Effects of calcium level on the structure of pre-heated whey protein isolate gels. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie. Vol. 28. 598-603.
12. **BeMiller J.N. 1996.** Carbohydrates in Food Chemistry. Marcel Dekker, New York. 157-223.
13. **Bertrand D. 1992.** Application of multivariate analyses to NIR spectra of gelatinized starch. Applied Spectroscopy. Vol. 46, 1420-1425.
14. **Bigelow W.D. 1920.** Heat Penetration in Processing Canned Foods. National Canners Association, 128
15. **Boye J.I. 1997.** Molecular and microstructural studies of thermal denaturation and gelation of 3-lactoglobulins A and B. Journal of Agricultural Food Chemistry. Vol. 45. 1608-1618.
16. **Das K.P. 1990.** Stability of food emulsions: Physicochemical role of protein and nonprotein emulsifiers. Advances in Food and Nutrition Research. Vol. 34. 81-201.
17. **Demetriades K. 1997.** Physical properties of whey protein stabilized emulsion as related to pH and NaCl. Journal of Food Science. Vol. 62(2). 342-347.
18. **Fairley P. 1993.** Ultrasonic characterization of aerated foods. University of Leeds, 79
19. **Galazka V. B. 1995.** Developments in high pressure food processing. Food Technology Intern. Europe. №4. 123-125.
20. **Gaonkar A.G. 1995.** Ingredient Interactions: Effects on Food Quality. Marcel Dekker, 453.

RATIONALE FOR OPTIMUM MODE STERILIZATION MEAT PATE

Summary. Mikrobiologichno stable product must meet the requirements of industrial sterility: in sterilizovannom product should otsustvovat microorganisms that can evolve at storage temperatures, set for canned food of this species. But industrial sterilizatsiya puts his task to ensure complete sterility of the product, since the absolute sterility can be achieved by heating and prolonged exposure cans s product at high temperatures at which the product is not suitable for upotrebleniyu.

Securing food largely depends on the control of the feedstock and the final products of the final number of veterinary preparations, radionuclides, pesticides, toxic materials. Optimization of operating and design parameters of the autoclave provides the best conditions for the removal of air, reducing the time the purge, reduced vapor loss, excluded the supply of superheated steam into the autoclave and the need for heating and cooling tekzhe intermediate heat carrier - water. Comparative analysis of prescription composition and thermal conditions similar pashtetnyh products indicates that the proposed formulation of canned foie turkey meat has the optimal composition of ingredients that provide a balance between the chemical composition of the product to the fullest of its assimilation by the human body. Heat sterilization process studied analogues of meat pates has a hard effect on the product in time and increased duration of 10-15 minutes, which ultimately negatively affects the nutritional value of the product. The results of the studies is set at the optimum temperature sterilization mode 115°C, and the sterilizing effect of 6 cond. min. Based on the data of the research is defined shelf life of canned pashtetu 12 months at a storage temperature of 0 to 20°C.

Key words: autoclave, sterilization, process, heat and mass transfer, mode.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ИНСУЛИНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ВИБРАЦИОННО-ПЛАНЕТАРНЫМ СПОСОБОМ

Игорь Паламарчук, Игорь Липовый

Винницкий национальный аграрный университет

Ул. Солнечная, 3, Винница, Украина. E-mail: igorlipovyi@mail.ru

Igor Palamarchuk, Igor Lipoviy

Vinnytsia National Agrarian University

St. Solnechnaya, 3, Vinnytsia, Ukraine. E-mail: igorlipovyi@mail.ru

Аннотация. Обосновано способ механического обезвоживания инсулиносодержащего сырья за счет придания рабочим барабанам планетарного движения и дополнительного колебания в горизонтальной плоскости. Определено значение давления, возникающего в барабане вибрационно-планетарной установки, проведен сравнительный анализ влияния вибрационной составляющей на величину этого давления в зависимости от угловых скоростей движения водила и барабана и от степени его загрузки.

Ключевые слова. инсулин, обезвоживание, вибропланетарное движение, движущая сила, давление.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Инсулин является одним из важнейших лекарственных препаратов, от которого зависят жизни миллионов людей во всем мире. Его производят из поджелудочных желез крупного рогатого скота, свиньи или штучным способом с помощью генной инженерии [1-4].

И хотя сейчас все больше и больше отдается предпочтение искусственному инсулину, производство животного инсулина не прекращается (особенно свиного) в силу доступности и дешевизны сырья, а также при современных степенях очистки он вызывает меньше побочных эффектов у пациентов [1, 3, 4].

Из всей сложной цепочки технологического процесса получения инсулина выделим стадию отделения свободной (и несвободной) влаги от промежуточного сырья или кристаллов. Для этого обычно применяют центрифугирование, сепарацию, реже простое фильтрование [4].

Применение обычных центрифуг с одним вращающимся барабаном, где продукт подвергается воздействию только центробежной силы, в современных условиях является довольно затратным, так как рабочие емкости этих машин должны быть довольно большими и розгоняться до значительных угловых скоростей вращения [5, 6]. Использование центрифуг с планетарным и одновременно вибрирующим движением рабочих барабанов может существенно интенсифицировать и качественно улучшить процесс обезвоживания, значительно увеличивая движущую силу механического отжатия, что обуславливает актуальность и перспективу данных исследований [7].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ исследований в области обезвоживания влажных дисперсных материалов показывает, что это достаточно сложный технологический процесс. На его протекание влияют прежде всего физико-механические свойства продукта, такие как начальная влажность, упругость, вязкость, пластичность, внутренне трение между частицами твердой фазы, адгезия, когезия и другие свойства, а также характеристики и режимы работы технологического оборудования [7, 8]. При этом в процессе удаления влаги структурно-механические и технологические свойства продукта могут изменяться в больших пределах. Это определяет сложность исследования фильтрационных реологических свойств технологического сырья и самого процесса в целом [8-10].

Также следует отметить, что сравнительно легко удаляется свободная и капиллярно-связанная влага при использовании механического отжатия, а для извлечения абсорбционно-связанной и осмотической жидкости нужно приложить значительные усилия [11-13].

Для уменьшения сопротивления, которое возникает в процессе движения жидкости по микропорам продукта, сырье можно обработать теплом или дополнительно его структурировать [10, 14, 15].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Оценка эффективности и обоснование способа определения движущей силы механического обезвоживания инсулиносодержащего сырья за счет сравнительного анализа и определения движущей силы центробежного, центробежно-планетарного, вибрационного и вибрационно-планетарного действия.

Для решения данной цели были поставлены следующие задачи:

- провести сравнительный анализ центробежного, вибрационного, планетарного и комбинированного вибропланетарного технологического действия в плане интенсивности создаваемого силового поля;
- выбрать принципиальную схему и экспериментальную модель установки для комбинированного вибропланетарного обезвоживания инсулиносодержащего сырья;

– определить движущую силу механического отжатия для представленных выше способов технологического действия на продукцию;

– оценить закономерности изменения создаваемого в рабочей зоне давления от кинетических характеристик исследуемых технических систем.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В лаборатории Винницкого национального аграрного университета разработан комплект оборудования для механического обезвоживания продукции пищевой и перерабатывающей промышленности, для которых характерно либо вибрационное, либо центробежное, либо планетарное технологическое воздействие, либо их комбинация. При центробежном воздействии рост движущей силы процесса определяется конструктивными параметрами рабочих органов и угловой скорости их вращения. Вибрационное действие позволяет за счет знакопеременных ускорений в зоне контакта существенно увеличить интенсивность силового поля. Планетарный режим движения рабочих органов в следствие

особенностей кинематики механизма дает возможность значительно повысить потенциал механического влияния на обрабатываемую продукцию.

Предполагается, что комбинация действий представленных выше факторов создает наиболее благоприятные условия для эффективного механического обезвоживания упруго-пластической продукции в плане как интенсификации силового влияния, так и уменьшения степени повреждаемости исходного сырья [16].

Одним из результатов этих работ явилась вибрационно-планетарная машина, принципиальная схема и внешний вид которой показаны на рис. 1 [17-20]. Отличительной особенностью данной машины является возможность рабочего барабана одновременно вращаться вокруг собственной оси, центральной оси и выполнять колебания в горизонтальной плоскости. Кроме того, в установке имеется возможность независимого регулирования угловых скоростей вращения контейнера и водила, что позволяет в широких пределах выбирать режимы ее работы.

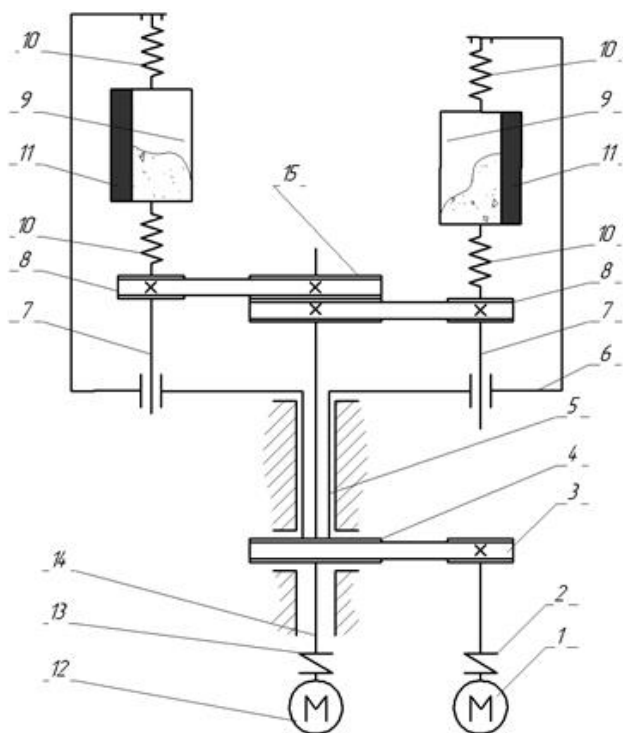


Рис. 1. Вибрационно-планетарная машина: а) принципиальная схема; б) внешний вид; 1, 12 – приводные двигатели; 2, 13 – упругие муфты; 3, 8 – клиноременная передача; 4 – ведомый шкив привода; 5 – пустотелый вал; 6 – водило; 7 – приводной вал контейнера; 9 – контейнер; 10 – упругие элементы; 11 – дебалансы; 14 – центральный вал; 15 – центральный шкив

Fig. 1. Oscillation-planetary machine: а) principle scheme; б) appearance; 1, 12 – drive engines; 2, 13 – resilient muffs; 3, 8 – wedge-belt drive; 4 – driven pulley; 5 – hollow shaft; 6 – carrier; 7 – drive shaft of the container; 9 – container; 10 – elastic elements; 11 – unbalances; 14 – central shaft; 15 – central pulley

Для определения динамических характеристик при обезвоживании продукции в вибрационно-планетарной машине рассмотрим схему показанную на рис. 2.

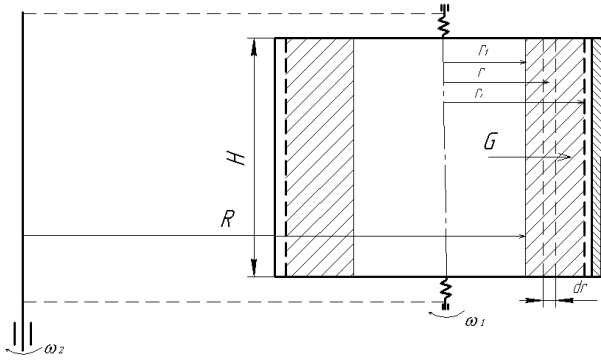


Рис. 2. Расчетная схема для определения движущей силы вибрационно-планетарного обезвоживания

Fig. 2. Calculation scheme for determination the motive force of oscillation-planetary dewatering

Выделим внутри шара продукции, находящейся в барабане, элементарный слой толщиной dr на расстоянии r от его оси вращения и определим для сравнения давление, которое будет создаваться на этот слой при только вращательном движении барабана (обычное центрифугирование), при только планетарном движении и при вибрационно-планетарном его движении. Масса выделенного кольцевого шара равна:

$$dm = 2\pi r dr \cdot H \cdot \rho, \quad (1)$$

где: ρ – плотность продукции; H – высота шара продукции.

Известно, что в обычной центрифуге давление, которое создается на этот слой продукции, можно определить по формуле:

$$p = \frac{1}{2} \rho \omega_1^2 (r_2^2 - r_1^2), \quad (2)$$

где: ω_1 – угловая скорость вращения барабана центрифуги.

При планетарном движении рабочей емкости рабочее давление на указанный слой продукции будет определяться центробежной силой вследствие ее вращения вокруг собственной оси F_{e1} и центробежной силой от вращения водила с контейнерами F_{e2} . При этом, учитывая (1), имеем:

$$dF_{e1} = 2\pi H \rho \omega_1^2 r^2 dr \text{ и} \\ dF_{e2} = 2\pi H \rho \omega_2^2 (R + r) r dr, \quad (3)$$

где: ω_2 – угловая скорость вращения водила.

Тогда суммарная сила давления будет равна:

$$dG = dF_{e1} + dF_{e2} = 2\pi H \rho \omega_1^2 r^2 dr + \\ + 2\pi H \rho \omega_2^2 (R + r) r dr. \quad (4)$$

Давление, создаваемое на продукцию (выделенный кольцевой слой), равно:

$$dp = \frac{dG}{S}, \quad (5)$$

где: $S = 2\pi H$ – боковая поверхность кольцевого цилиндра.

Тогда:

$$dp = \rho \omega_1^2 r^2 dr + \rho \omega_2^2 (R + r) dr. \quad (7)$$

Интегрируя данное равенство, получим выражение для среднего давления при центробежно-планетарном обезвоживании:

$$p_1 = \frac{1}{2} \rho (\omega_1^2 + \omega_2^2) (r_2^2 - r_1^2) + \rho \omega_2^2 R (r_2 - r_1). \quad (8)$$

Если одновременно с планетарным движением барабан установки будет совершать колебания в горизонтальной плоскости, то на выделенный слой загрузки будет действовать дополнительная сила:

$$dF_{виб} = m_0 \omega_1^2 e \frac{dr}{r}, \quad (9)$$

и дополнительное давление:

$$p_2 = \frac{m_0 \omega_1^2 e}{2\pi H} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right), \quad (10)$$

где: m_0 – масса дисбаланса; e – эксцентриситет.

Суммарное давление внутри барабанов вибрационно-планетарной машины будет равно:

$$p = p_1 + p_2 = \frac{1}{2} \rho (\omega_1^2 + \omega_2^2) (r_2^2 - r_1^2) + \\ + \rho \omega_2^2 R (r_2 - r_1) + \frac{m_0 \omega_1^2 e}{2\pi H} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (11)$$

На рис. 3 показан график зависимости получаемого давления от соотношения угловых скоростей вращения рабочей емкости и водила. График показывает увеличение давления от увеличения указаний угловых скоростей.

Также было исследовано влияние вибрационного движения рабочих емкостей на давление, создаваемое на технологическую загрузку (12):

$$q = \frac{p}{p_1} = \frac{\frac{1}{2} \rho (\omega_1^2 + \omega_2^2) (r_2^2 - r_1^2) + \rho \omega_2^2 R (r_2 - r_1) + \frac{m_0 \omega_1^2 e}{2\pi H} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)}{\frac{1}{2} \rho (\omega_1^2 + \omega_2^2) (r_2^2 - r_1^2) + \rho \omega_2^2 R (r_2 - r_1)}$$

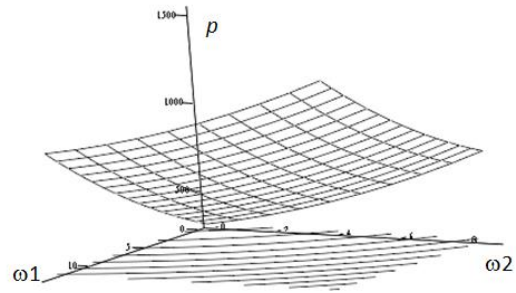


Рис. 3. Зависимость давления внутри барабана от соотношения угловых скоростей вращения рабочей емкости и водила

Fig. 3. Dependence of pressure inside the drum from the ratio of the angular speeds of the working capacity and carrier

Увеличение давления в зависимости от степени загрузки барабана показано на рис. 4; от изменения угловой скорости вращения водила – на рис. 5 и от изменения угловой скорости вращения контейнера – на рис. 6.

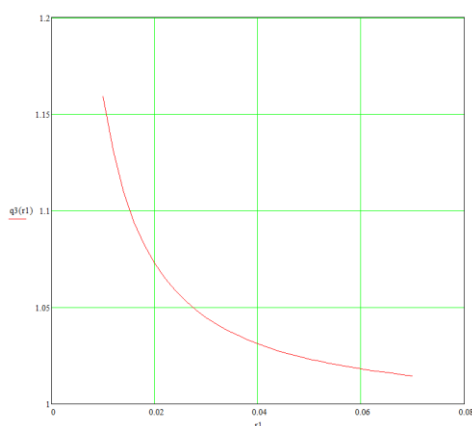


Рис. 4. Влияние степени загрузки контейнера на изменение давления в результате его вибрационного движения

Fig. 4. Influence of the degree of container loading on the change of pressure as a result of its oscillation motion

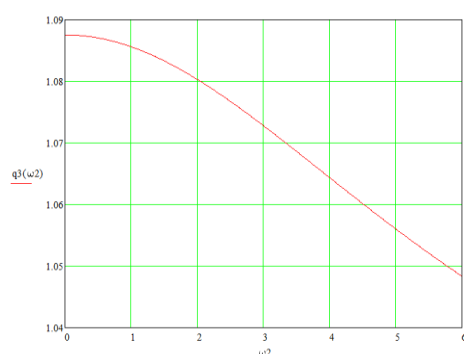


Рис. 5. Влияние угловой скорости вращения водила на изменение давления в результате его вибрационного движения

Fig. 5. Influence of the angular velocity of the carrier on the change in pressure as a result of its oscillation motion

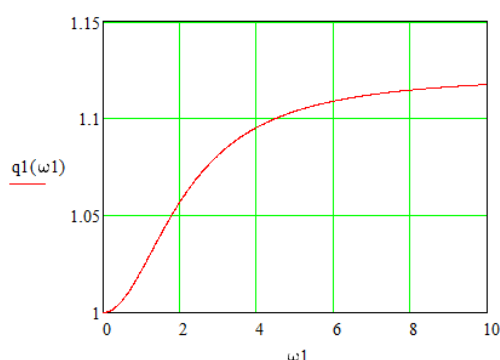


Рис. 6. Влияние угловой скорости движения контейнера на изменение давления в результате его вибрационного движения

Fig. 6. Influence of the angular velocity of the container on the change of pressure as a result of its oscillation motion

Как видно из графиков влияние вибрации на увеличение давления уменьшается с увеличением степени загрузки и с увеличением угловой скорости

водила, а с увеличением угловой скорости контейнера вначале увеличивается, потом практически не меняется.

ВЫВОДЫ

1. Представлены эффективные технологические схемы реализации обезвоживания упруго-пластической продукции за такими критериями оценки как производительность, энерго- и материалозатраты, повреждаемость исходного сырья.

2. Разработана принципиальная схема и экспериментальная модель вибропланетарной машины для обезвоживания инсулиносодержащего сырья, в которой реализована комбинация представленных выше силовых факторов воздействия.

3. Определено давление, возникающее внутри барабана, который совершает вибрационно-планетарное движение.

4. Получены графические зависимости влияния кинематических характеристик исследуемых технических систем на движущую силу данных процессов, которые отображают:

- увеличение давления на технологическую загрузку с увеличением угловых скоростей движения водила и рабочего барабана;
- влияние вибрационной составляющей на давление внутри барабана, которая с увеличением угловой скорости движения водила его уменьшает;
- увеличение давления от вибрационной составляющей с увеличением степени загрузки (с уменьшением r_1);
- выравнивание влияния вибрационной составляющей на уровне 10-11% с увеличением угловой скорости движения контейнера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Чуешов В.И., Хохлова Л.М., Ляпунова О.О. 2003.** Технология лекарств промышленного производства. / Под ред. В.И. Чуешова. Х.: Изд-во НФаУ, 720.
2. **Коваленко Д.С., Сабашникова Г.П. 1966.** Использование эндокринно-ферментного сырья для производства органопрепаратов. К.: Техніка, 364.
3. **Бобылев Р. В., Грядунова Г.П., Иванова Л.А. 1991.** Технология лекарственных форм. / Под ред. Л.А. Ивановой. Учебник в 2-х томах. Том 2. М.: Медицина, 544.
4. **Рейн Л.М., Грицай Е.В. 1982.** Технология субпродуктов, эндокринноферментного и специального сырья. М.: Легкая и пищевая промышленность, 184.
5. **Шкоропад Д.Е., Новиков О.П.** Центрифуги и сепараторы для химических производств. М.: Химия, 1987. 256.
6. **Гельперин Н.И. 1981.** Основные процессы и аппараты химической технологии. Кн.1.-М.: Химия, 384.

7. **Ткаченко С.Й., Спивак О.Ю. 2008.** Сушильные процессы и установки. Учебное пособие. Винница: ВНТУ, 76.
8. **Свидерская, О. И., Яровой В.Л. 2010.** Современные методы и оборудование для обезвоживания пивной дробины механическим путем. Пищевая промышленность. Вып. 9. 141-143. (Украина).
9. **Сенькив Я.Б., Лебедев И.А., Комарова Л.Ф., Сошилов В.А. 2011.** Механическое обезвоживание волокнистых минеральных сорбентов. Ползуновский вестник № 4-2, 182-183.
10. **Гаркушин, Ю.К. 2001.** Современное состояние теории механического обезвоживания и методов его интенсификации. Обогащение полезных ископаемых. Науч. техн. сб. Вып. 12 (53). 39-47.
11. **Муштаев В.И. 1988.** Сушка дисперсных материалов. М. Химия, 352.
12. **Паламарчук И.П., Цуркан О.В., Зозуляк О.В., Герасимов О.О. 2012.** Интенсификация процессов обезвоживания семян за счет использования вибрационного и электроосмотического эффектов. Вибрации в технике и технологиях. №1(65), 110-115. (Украина).
13. **Ольшанский В., Слипченко М., Харченко С. 2016.** О скорости движения сепарируемой зерносмеси в цилиндрическом виброрешете. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Vol. 18. No. 7. 55-60.
14. **Искович-Лотоцкий Р.Д., Любин Н.В. 2013.** Обоснование эффективности процессов обезвоживания при помощи вибрационной и виброударной нагрузки. Вибрации в технике и технологиях. №4(72). 96-100. (Украина).
15. **Севастьянов И., Иванчук Я. 2013.** Теоретические исследования процессов потокового виброударного фильтрования влажных дисперсных сред в пищевой промышленности. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Vol. 15. No 4. 90-96.
16. **Паламарчук И.П., Липовый 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).
17. **Берник П.С., Паламарчук И.П., Липовый И.Г. 2000.** Машина для вибропланетарной обработки. Декларационный патент на изобретение UA 32665 А. (Украина).
18. **Паламарчук И.П., Зозуляк О.В., Липовый И.Г. 2014.** Разработка математической модели процесса виброцентробежной сушки кератиносодержащего сырья. Научные труды Одесской национальной академии пищевых технологий. Вып. 45, том 2. 124-128. (Украина).
19. **Берник П.С., Паламарчук И.П., Липовый И.Г. 1997.** Динамика вибрационно-планетарной машины для обработки деталей в свободно гранулированной среде. XXXVII Sympozjum "Modelowanie w mechanike". Gliwice, Polska. 31-36.
20. **Зозуляк О.В., Липовый И.Г. 2013.** Закономерности движения исполнительных органов вибрационного фильтрационно-центробежного обезвоживателя. Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки». Ростов-на-Дону. 215-218.

DETERMINATION OF DYNAMIC DESCRIPTIONS
OF MECHANICAL DEHYDRATION OF
INSULINOCODERGING OF RAW
MATERIAL BY OSCILLATION-PLANETARY
METHOD

Summary. In this article was grounded method of mechanical dewatering raw material containing insulin by giving workers the drums of planetary motion and an additional oscillation in the horizontal plane. During research was determined value of the pressure vibration occurring in the drum of the oscillation-planetary equipment, was comparated analysis of influence of oscillation constituent is conducted on the size of this pressure depending on the angular velocities of the carrier and the drum and its degree of loading.

Key words: Insulin, dewatering, vibroplanetary motion, motive force, pressure.

СТАБИЛИЗАЦИЯ СКОРОСТИ ВИБРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЫПУЧЕЙ ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Леонид Ярошенко¹, Роман Чубик², Олег Омелянов¹, Микола Омелянов¹

¹*Винницкий национальный аграрный университет*

Ул. Солнечная, 3, Винница, Украина. E-mail: volvinlv@gmail.com

²*Дрогобычский государственный педагогический университет имени Ивана Франко*

Ул. И. Франко, 24, Дрогобыч, Украина. E-mail: administrator@drohobych.net

Leonid Yaroshenko, Roman Chubyk, Oleg Omelianov, Mykola Omelianov

¹*Vinnytsya National Agrarian University*

St. Sonyachna, 3, Vinnytsya, Ukraine. E-mail: volvinlv@gmail.com

²*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University*

St. Franko, 24, Drohobych, Ukraine. E-mail: administrator@drohobych.net

Аннотация. Обоснован способ позволяющий существенно понизить энергоёмкость процесса монослойной сушки зерновой продукции инфракрасным излучением в ходе которого зерно при вибротранспортировании монослоем с непрерывным подбрасыванием на вибrolотке равномерно облучается и нагревается со всех сторон в зоне тепловой обработки, после чего прогретое зерно обдувают холодным воздухом при вибротранспортировании его с непрерывным подбрасыванием на вибrolотке с отверстиями. Для обеспечения минимальных затрат энергии на привод вибrolотков монослойной сушилки используется их резонансный режим работы. В сушилках такого типа очень важно обеспечить равномерное пребывания отдельных частиц зерна в зонах с различными технологическими характеристиками (прогрев лучами и продувка воздухом) воздействия на сыпучий материал. Из этого следует, что при изменении частоты колебаний вибrolотков необходимо постоянно изменять и амплитуду, таким образом, чтобы скорость вибротранспортирования зерновой продукции монослоем по вибrolотку была неизменной и технологически обусловленной. Поэтому при создании схем управления данными сушилками решена задача стабилизации скорости виброперемещения частиц сыпучего зернового материала. Разработана и научно обоснована система автоматического управления технологическими параметрами вибрационной монослойной сушилки перемежающегося нагрева инфракрасными лучами которая позволяет, в результате обратной связи по частоте и амплитуде колебаний вибrolотка, стабилизировать скорость вибротранспортирования сыпучей зерновой продукции монослоем по вибrolотку, а также постоянно поддерживать технологически оптимальные параметры колебаний вибrolотка при минимальных энергозатратах на вибропривод при обеспечении вибротранспортирования с непрерывным подбрасыванием и проворачиванием зёрен продукции в монослой.

Ключевые слова: вибrolоток, резонанс, монослой, вибротранспортирование, амплитуда, частота, возмущающая сила.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В сельскохозяйственном производстве сушка зерновой продукции есть одним из наиболее часто используемых и энергоёмких процессов, что делает актуальными вопросы сокращения энергоёмкости работы зерновых сушилок. Достигнуть этого возможно путём выбора соответствующей технологии при использовании дополнительных факторов интенсификации процесса сушки [1]. Поскольку интенсивность сушки зависит от условий тепломассообмена в системе, а именно от переноса тепла и массы внутри тела и на границе раздела фаз то повысить её можно в основном за счет увеличения мощности теплового потока или за счет повышения динамичности внешнего силового поля или вследствие увеличения площади контакта взаимодействующих фаз [2, 3].

Существенно понизить энергоёмкость процесса сушки зерновой продукции позволяет способ вибро-монослойной сушки инфракрасным излучением [4, 5] при котором зерно при вибротранспортировании монослоем с непрерывным подбрасыванием на вибrolотке равномерно облучается и нагревается со всех сторон в зоне тепловой обработки, после чего прогретое зерно обдувают холодным воздухом при вибротранспортировании его с непрерывным подбрасыванием на вибrolотке с отверстиями.

Поскольку качество и производительность процесса сушки при данном способе существенно зависит от времени и равномерности нагрева зерна, а для уменьшения затрат энергии на его вибротранспортирование, вибrolотки должны работать в резонансном режиме [6, 7], возникает вопрос стабилизации скорости монослойного вибротранспортирования сыпучей зерновой продукции на вибрационных лотках сушилки.

Поэтому, очень важно в сушилках такого типа обеспечить равномерное пребывания отдельных частиц зерна в зонах с различными технологическими характеристиками (прогрев лучами и продувка воздухом) воздействия на сыпучий материал, а это не входит в задачу только виброперемещения. Поэтому при создании схем и устройств управления данными сушилками приходится решать задачи по стабили-

зации скорости виброперемещения частиц сыпучего зернового материала.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Известно много вибромашин, работающих на принципе вибрационного перемещения сыпучего материала, в частности известных зарубежных производителей Venanzetti Vibrazioni (Италия), Comessa (Франция), Allis Chalmers (США), реализующих целую гамму технологических процессов. Известны вибромашины с разделением рабочего органа на зоны (секции) [8-11], общая длина рабочего органа таких вибромашин может достигать до 25 м.

Конструктивная схема вибрационной монослойной сушилки перемежающегося нагрева инфракрасными лучами представлена на рис. 1.

Машина работает следующим образом (рис. 1). При включении приводных электродвигателей 11 они начинают вращаться навстречу друг другу в каждом виброприводе, что приводит к динамической синхронизации их вращения, в результате чего генерируются поступательные колебания лотков 4 и 5 углом β к плоскостям их рабочих дорожек. Под действием этих колебаний, сыпучая продукция, подается через загрузочный люк 14 распределяется монослоем на поверхности лотков и начинает передвигаться вдоль лотков. Причем, с помощью дебалансного груза, устанавливается режим вибротранспортирования с непрерывным подбрасыванием сыпучей продукции, что приводит к хаотическому проворачиванию частиц продукции при их перемещении вдоль лотков.

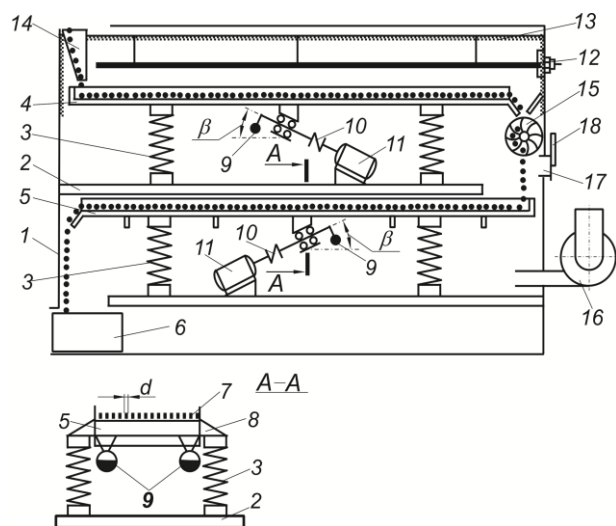


Рис. 1. Конструктивная схема вибрационной монослойной сушилки перемежающегося нагрева инфракрасными лучами

Fig. 1. Structural scheme of the vibrational of monolayer dryer of infrared rays intermittent heating

Непрерывное хаотическое проворачивание гранул сыпучей продукции при перемещении вдоль термического лотка 4, над которым находятся термогенератор 12 способствует равномерному их облучению со всех сторон инфракрасным излучением, которое проникает на определенную глубину и при-

водит к интенсивному быстрого и равномерного прогрета гранул продукции.

После прохождения термического лотка, прогретая сыпучая продукция подается через барабанную крыльчатку 15 на колосниковые лотки 5, где обдувается атмосферным воздухом, который нагнетается вентилятором 16. При этом нарушается равновесное состояние влаги в гранулах, давление паров воды в них становится больше за парциальное давление паров воды в воздухе и влага начинает интенсивно выделяться из гранул сыпучей продукции. Перемещение гранул сыпучей продукции вдоль колосникового лотка, также сопровождается их непрерывным хаотическим проворачиванием, что способствует равномерному обдуванию гранул потоком воздуха, а следовательно отводу от них влаги. Обработанная продукция подается в бункер 6. Поскольку инфракрасное излучение позволяет создать очень интенсивный тепловой поток, что способствует быстрому прогреванию гранул продукции, а процесс удаления из них влаги требует значительно большего промежутка времени, то скорость вибротранспортирования на колосниковом лотке устанавливается меньше.

Значительный вклад в развитие управляемых вибрационных технологических машин был сделан такими учеными как Божко А. Э. [12] (развитие теории управления электромагнитным виброприводом), Сердюк Л. И. [13] в теоретические основы проектирования управляемого дебалансного вибропривода и Денисов П. Д. [14, 15] в практическое развитие и в совершенствование их конструкций.

Системы управления виброприводами с обратной связью при управлении несколькими параметрами виброприводов одновременно, а также адаптивные вибрационные технологические машины с обратной связью по частоте и амплитуде колебаний рабочего органа разработаны и подробно рассмотрены в работах [16-18].

Однако остаётся нерешенной проблема разработки и теоретического обоснования работы автоматических систем управления регулируемые дебалансными виброприводами позволяющими стабилизировать скорость монослойного вибротранспортирования сыпучей зерновой продукции на вибрационных лотках.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработать метод стабилизации скорости вибротранспортирования сыпучей зерновой продукции на вибрационных лотках монослоем при непрерывном подбрасывании и проворачивании зерен продукции для обеспечения точности соблюдения оптимальных параметров и качества сушки.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для обеспечения минимальных затрат энергии на привод вибротростков монослойной сушилки необходимо реализовать их резонансный режим работы, при котором частота ω_e возмущающей силы развиваемой вибровозбудителями вибротростков будет

совпадать с частотой ω_c их собственных (свободных) колебаний.

В области резонанса ($\omega_s \approx \omega_c$) направления возмущающей силы и сил инерции от движения вибрототка совпадают и его упругая система сама несмотря на внешние силы придает массе m_n необходимое ускорение, за счет циклического преобразования потенциальной энергии упругой подвески в кинетическую энергию вибрототка и наоборот, а затраты внешних сил (энергия привода) расходуется только на преодоление сил сопротивления и трения.

В процессе работы вибрационной монослойной сушилки масса сыпучего зернового материала находящегося на вибрационных лотках постоянно изменяется вследствие изменения степени заполнения лотков, влажности зерна его размеров наличия примесей и т. д., что приводит к изменению массы колеблющихся частей вибрототка m_n и собственной (резонансной) ω_c частоты колебаний которая, как известно [13], определяется из зависимости:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{c_n}{m_n}}, \quad (1)$$

где: c_n – жёсткость упругой подвески вибрототка.

Поэтому в процессе работы вибросушилки частоту колебаний вибрототков необходимо постоянно изменять и подстраивать под меняющуюся частоту их собственных колебаний. Однако, при этом будет изменяться и скорость вибротранспортирования зерновой продукции по вибрототку, а следовательно время её пребывания в зоне обработки инфракрасным излучением, что приведёт к изменению температуры её нагрева зерна и нарушению технологии сушки и качества высушенной продукции.

Из этого следует, что при изменении частоты колебаний вибрототков необходимо постоянно изменять и амплитуду, таким образом, чтобы скорость вибротранспортирования зерновой продукции монослоем по вибрототку была неизменной и технологически обусловленной.

Предложенный метод стабилизации скорости вибротранспортирования в сыпучей зерновой продукции монослоем по вибрототках базируется на обеспеченные равенства (стабильности) во времени скорости вибротранспортирования v_c при любой загрузке вибрототка на рабочей (собственной, резонансной) частоте его колебаний. Данная скорость согласно [6, 7, 19, 20] равна:

$$v_c = k A_z \omega_z \cos \beta - \frac{g \sin \alpha}{\lambda}, \quad (2)$$

где: ω_z и A_z – заданные технологически оптимальные параметры (угловая скорость и амплитуда) колебаний вибрототка; α – угол наклона к горизонту вибрототка; β – угол направления колебаний вибрототка к горизонту; $\lambda = \frac{A_z \omega_z^2 \sin \beta}{g \cos \alpha}$ – коэффициент вибрационной перегрузки (режима), k – справочный коэф-

фициент, зависящий от характеристик транспортируемого материала и рабочей поверхности вибрототка.

Данный метод позволяет постоянно поддерживать резонансный режим работы вибрототка благодаря коррекции частоты ω_{δ} а при резонансной частоте вибрототка проводить стабилизацию скорости вибротранспортирования зерновой продукции монослоем путем коррекции амплитуды колебаний рабочего органа A_{δ} , что обеспечивает минимальные энергозатраты на вибропривод лотков при неизменном оптимальном значении технологических параметров сушки.

На рис. 2 изображена функциональная схема автоматической системы стабилизации скорости вибротранспортирования сыпучей продукции монослоем на вибрототках.

Вибрационная сушилка 1 состоит из неподвижной рамы 2, на которую при помощи упругих элементов 3 установлен вибрототок 4. Дебалансный вибропривод лотка состоит из электродвигателя 5 и соединённого с ним при помощи эластичной муфты дебалансного вала 6. На вибрототке 4 закреплен датчик вибрации 7, который соединен с входом детектора сдвига фаз 8, блоком синтеза 9 и элементом сравнения амплитуды 10. Выход элемента синтеза 9 соединен с элементом сравнения амплитуды 10. Выход детектора сдвига фаз 8 соединен со входом элемента сравнения сдвига фаз 11, а на второй вход элемента сравнения сдвига фаз 11 поступает заданное значение сдвига фаз от задатчика 12. Выход элемента сравнения частоты 11 соединен с регулятором частоты циклической возмущающей силы 13, а выход элемента сравнения амплитуды 10 – с регулятором амплитуды циклической возмущающей силы 14. Выходы элементов 13 и 14 соединены со входом усилителя 15, выход которого соединен со вторым входом детектора сдвига фаз 8 и виброприводом вибрационной сушилки 1. Два остальных входа элемента синтеза 9 соединены с элементом задачи технологически оптимальных параметров колебаний вибрототка 16.

Автоматическая система управлением виброприводом вибрототка работает следующим образом. Информация о колебаниях вибрототка 4 от датчика вибрации 7 в виде электрического сигнала поступает на вход детектора сдвига фаз 8, а на второй вход данного детектора поступает сигнал от блока усиления 15, который питает вибропривод вибрототка. Амплитуда силы, которую развивает вибропривод F зависит от статического момента дебалансов относительно оси приводного вала и частоты вращения последнего [16] и может изменяться путем регулирования статического момента дебалансов относительно оси приводного вала [21].

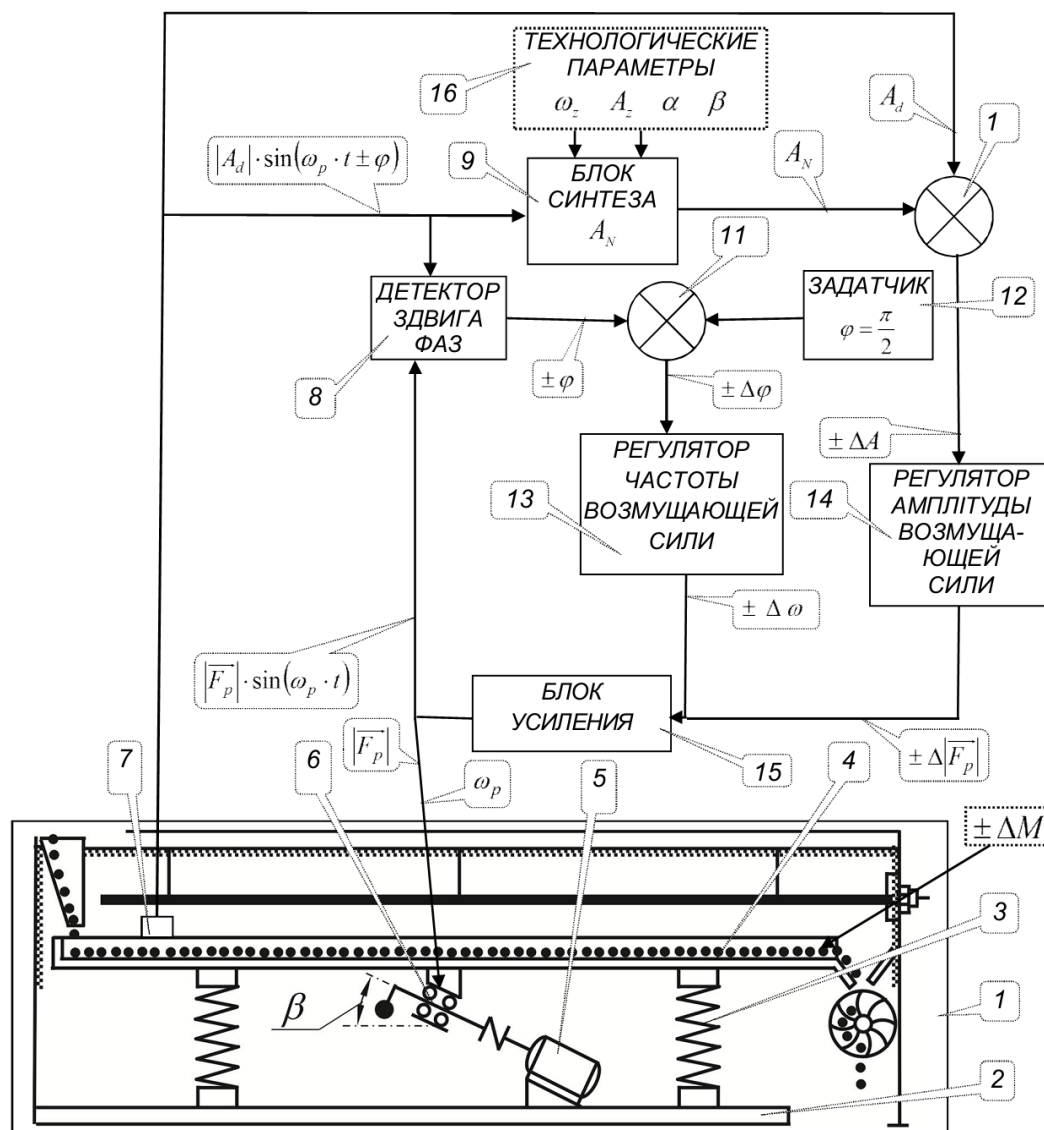


Рис. 2. Функциональная схема автоматической системы стабилизации скорости вибротранспортирования сыпучей продукции монослоем на вибродотках

Fig. 2. Functional scheme of the automatic speed stabilization system during vibrotransporting free running grain products by vibration trays of monolayer

Итак, на два входа детектора сдвига фаз 8 одновременно поступают: сигнал, прямо пропорциональный циклической возмущающей силе F , и сигнал который прямо пропорционален колебаниям механической колеблющейся системы (вибродотка 4), на выходе детектора сдвиг фаз 8 формируется сигнал который пропорционален сдвигу фаз между двумя этими колебаниями $\pm \varphi$. Учитывая, что при резонансных колебаниях сдвиг фаз между циклической вынуждающей силой F и колебаниями рабочего органа, равен $\varphi = \pi/2$ (90°) [22], можно по величине и знаку сигнала (угла $\pm \Delta \varphi$) определить на сколько и в какую сторону механическая колеблющаяся система вибродотка 4 отошла от резонанса. Поэтому сигнал с выхода детектора сдвига фаз 8 поступает к элементу сравнения 11 где определяется соответствие условия резонанса вибродотка и на выходе элемента сравнения появляется сигнал расхождения $\pm \Delta \varphi$, величина которого указывает на величину отхождения режима колебаний вибродотка 4 от резонансного, а

знак на направление отклонения. Этот сигнал поступает в регулятор частоты циклической возмущающей силы 13 где на основании классических законов теории автоматического управления формируется закон по которым проводится коррекция частоты циклической вынуждающей силы вибропривода лотка $\pm \Delta \omega$.

Итак, рост массы вибродотка 4 с зерном рабочего органа 3 на величину $\pm \Delta M$ приводит к уменьшению на определенную величину собственной резонансной частота вибродотка - ω_c и его механическая колеблющаяся система отойдет от резонанса, а угол сдвига фаз станет, например, равным $\varphi = 91^\circ$, поэтому необходимо проводить коррекцию частоты циклической вынуждающей силы в сторону уменьшения ($-\Delta \omega$) до тех пор пока φ не станет равным 90° и $\Delta \varphi = 0$, а если например, угол сдвига фаз станет равным $\varphi = 89^\circ$ то коррекцию частоты циклической вынуждающей силы необходимо проводить в сторону увеличения ее частоты пока φ снова не станет равным 90° .

Усилитель 15 усиливает сигнал откорректированный элементом 13 и постоянно обеспечивает вибродоток 4 синусоидальной вынуждающей силой, частота которой ω_p постоянно отвечает собственной резонансной частоте вибродотка при любой его нагрузке. Таким образом элементы 7, 8, 11, 12, 13 и 15 составляют один контур управления, корректирует частоту вынуждающей силы вибропривода приближая и удерживая ее в пределах собственной резонансной частоты вибродотка 4.

Элементы 7, 9, 10, 14, 15 и 16 составляют второй контур управления, который предназначен для обеспечения поддержки технологически оптимальных параметров колебаний вибродотка 4 на заданном оператором уровне. Этот контур управления является вторичным и проводит коррекцию амплитуды вынуждающей силы вибропривода на каждой новой собственной резонансной частоте вибродотка 4 поддерживая скорость вибротранспортирования зерновой продукции на заданном технологически оптимальном уровне. Первичным является контур управления частотой вибропривода который обеспечивает резонансный режим работы и минимальные энергозатраты, а вторичный контур только проводит оптимизацию параметров вибрационного поля с целью соблюдения технологических оптимальных параметров работы вибросушилки.

Вторичный контур управления амплитудой колебаний вибродотка 4 работает следующим образом: сигнал который пропорционален движению вибродотка 4 поступает от датчика вибрации 7 в элемент синтеза 9 и элемент сравнения 10. Элемент синтеза 9 предназначен для определения необходимой величины амплитуды колебаний вибродотка 4 на любой частоте (в данном случае на собственной резонансной вибродотка) исходя из условия точности соблюдения технологических режимов работы вибросушилки.

Если, например, необходимо поддерживать неизменной скорость вибротранспортирования зерновой продукции v_c на каждой новой резонансной частоте вибродотка ω_d , то в блоке синтеза 14 проходит определения требуемого значения амплитуды колебаний вибродотка исходя из равенства:

$$k \cdot A_z \cdot \omega_z \cos \beta \cdot \sqrt{1 - \frac{g^2 \cdot \cos^2 \alpha}{A_z^2 \cdot \omega_z^4 \cdot \sin^2 \beta}} = k \cdot A_N \cdot \omega_d \cos \beta \cdot \sqrt{1 - \frac{g^2 \cdot \cos^2 \alpha}{A_N^2 \cdot \omega_d^4 \cdot \sin^2 \beta}} \quad (3)$$

Откуда, требуемое значение амплитуды колебаний вибродотка A_N будет равным:

$$A_N = \frac{\sqrt{\omega_d^2 A_z^2 \omega_z^4 \sin^2 \beta - \omega_d^2 g^2 \cos^2 \alpha + g^2 \cos^2 \alpha + g^2 \omega_z^2 \cos^2 \alpha}}{\omega_d^2 \omega_z \sin \beta} \quad (4)$$

Требуемое значение амплитуды колебаний вибродотка A_N , которое обеспечивает заданное технологически оптимальное значение скорости вибротранспортирования v_c монослоем при данной массе загрузки рабочего органа поступает на блок сравнения 10, где проходит сравнения требуемого значения A_N амплитуды колебаний рабочего органа и действительного значения амплитуды колебаний рабочего органа A_d и значение необходимой разницы амплитуд колебаний рабочего органа $\pm \Delta A$ подается на регулятор амплитуды возмущающей циклической силы 14, где на основании величины погрешности $\pm \Delta A$ и разработанных оптимальных законов управления формируется управляющий сигнал на вибропривод 6. В виброприводе 6

путём регулировки статического момента дебалансов относительно оси приводного вала, изменяется значение амплитуды циклической вынуждающей силы $\pm \Delta F$ в необходимую сторону и на необходимую величину которая воздействует колеблющийся вибродоток, чтобы свести параметр ΔA на выходе элемента 10 до нуля ($\Delta A = 0$). Такая коррекция $\pm \Delta F$ осуществляется постоянно, как и коррекция $\pm \Delta \omega$ которая направлена на то, чтобы поддерживать постоянным во времени соотношение $\Delta \varphi = 0$.

С помощью блока 16 производится ввод заданного технологически оптимального значения скорости вибротранспортирования v_c путем введения заданных динамических параметров ω_z , A_z вибродотка 4 и его геометрических характеристик α , β . Скорость вибротранспортирования и характер траектории частиц транспортируемой сыпучей зерновой продукции зависят от параметров вибрационного воздействия [7-9], в частности углов направления колебаний β (в среднем данный угол у вибродотков составляет от $\beta = 8-40^\circ$, увеличение угла направления колебаний снижает скорость вибротранспортирования и угла наклона рабочего органа α к горизонту обычно (составляет $\alpha = 8-10^\circ$, подъем рабочего органа на один градус уменьшает скорость вибротранспортирования для зернистых материалов на 2-5%, а при уменьшении на один градус - увеличивается на 3-10%), физических свойств транспортируемого материала и рабочей поверхности вибродотка, и еще ряда факторов, которые непосредственно зависят от технологии, реализуется в данной вибромашине.

При введении блоком задания 16 технологических параметров ω_z , A_z , α , β и синтезе A_N необходимо учитывать также и то обстоятельство, что для вибротранспортирования сыпучей зерновой продукции с непрерывным подбрасыванием (что требует данная технология сушки инфракрасным излучением) необходимо чтобы коэффициент вибрационной перегрузки λ был больше единицы [7-9]:

$$\lambda = \frac{A_z \omega_z^2 \sin \beta}{g \cos \alpha} > 1. \quad (5)$$

Обычно, для большинства вибродотков $\lambda \approx 2 \dots 6$.

Если $\lambda \leq 1$, то вибротранспортирование сыпучей зерновой продукции по вибродотку будет осуществляться без подбрасывания и проворачивания, что приведет к перегреву зерна инфракрасными лучами только с одной стороны, а следовательно к неравномерности прогрева и ухудшению качества сушки а также к снижению ее интенсивности.

ВЫВОДЫ

Разработанная и научно обоснованная система автоматического управления технологическими параметрами вибрационной монослойной сушилки переменяющегося нагрева инфракрасными лучами позволяет, в результате обратной связи по частоте и амплитуде колебаний вибродотка, стабилизировать скорость вибротранспортирования сыпучей зерновой продукции монослоем по вибродотку, а также постоянно поддерживать технологически оптимальные параметры колебаний вибродотка при минимальных энергозатратах на вибропривод при обеспечении вибротранспортирования с непрерывным подбрасыванием и проворачиванием зёрен продукции в монослой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Лыков А.В. 1976.** Теплота и массообмен в процессах сушки. – М.: Госэнергоиздат, 218.
2. **Лееончук Б.И. 1986.** Экономия энергии при тепловой сушке. – М.: Энергоиздат, 136.
3. **Гизбург А.С. 1966.** Сушарка пищевых продуктов в кипящем слое. – М.: Пищевая промышленность, 256.
4. **Патент № 45431 С2 2002.** МПК F26B 5/00 F26B 15/18. Способ вибромонослойной сушки/ Ярошенко Л.В.; опубл. Бюл. № 4. (Украина).
5. **Ярошенко Л.В. 2000.** Вибрационная моно-слойная сушарка перемежающегося нагрева // Вибрации в технике и технологиях. – № 1. 74-76. (Украина).
6. **Блехман И., Дженелидзе Г. 1964.** Вибрационное перемещение/ И. Блехман, Г. Дженелидзе. – М.: Наука, 410.
7. **Блехман И. 1994.** Вибрационная механика. – М.: Физматлит, 400.
8. **Членов В.А., Михайлов Н.В. 1972.** Виброкипящий слой. – М.: Наука, 341.
9. **Ланец О.С. 2008.** Высокоэффективные межрезонансные вибрационные машины с электромагнитным приводом: Монография. – Львов: Изд. НУ "Львовская политехника", 324. (Украина).
10. **Ярошенко Л.В. 2001.** Вибрационная шахтная сушилка// Вибрации в технике и технологиях. – № 1 (17.). 44 - 46. (Украина).
11. **Ярошенко Л.В. 2002.** Новые сельскохозяйственные машины с вертикальным приводным валом// Вибрации в технике и технологиях. № 4 (25). 97-105. (Украина).
12. **Бойко А.Я., Пермяков В.И., Пышная В.А. 1989.** Методы проектирования электромагнитных вибровозбудителей. – К.: Наук. Думка, 208. (Украина).
13. **Сердюк Л.И. 1994.** Методика расчета вибрационных станков. – Полтавский сельскохозяйственный институт, 34. (Украина).
14. **Опирский Б.Я., Денисов П.Д. 1991.** Новые вибрационные станки: конструирование и расчет. – Львов: Свит, 160. (Украина).
15. **А.С. №593901. 1978.** МПК В 24 В 31/06 (В 06 В) Регулируемый дебалансный вибратор: Денисов П.Д., Нахаев П.И., Кармалюк В.И.; опубл. Бюл. № 7.
16. **Чубык Р.В., Ярошенко Л.В. 2011.** Управляемые вибрационные технологические машины: Монография. – Винница: ВНАУ, 355. (Украина).
17. **Чубык Р.В., Ярошенко Л.В., Омелянов О.Н. 2012.** Идентификация Критериев для стабилизации скорости горизонтального вибротранспортирования// Вибрации в технике и технологиях. – № 2. 68-71. (Украина).
18. **Патент №105075 С2 2014.** МПК В65G 27/24 Способ стабилизации скорости горизонтально-го вибротранспортирования в адаптивных вибрационных машинах/ Чубык Р.В., Ярошенко Л.В. - опубл. Бюл. № 7. (Украина).
19. **Петр Заика, Николай Бакум, Анатолий Михайлов, Александр Козий. 2013.** Вибрационная семяочистительная машина для доочистки и сортирования семян сельскохозяйственных культур / MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Vol. 15. No 7. 87-93.
20. **Тищенко Л.Н. 2012.** Вибросепарирование плоским решетом неоднородного слоя зерна / Тищенко Л.Н. // MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. – Vol. 14 D. 21-30.
21. **Патент №104108 С2 2013.** МПК В06В 1/16 Управляемый вибровозбудитель / Чубык Р.В., Ярошенко Л.В. опубл. Бюл. № 24. (Украина).
22. **Повидайло В.О. 2004.** Вибрационные процессы и оборудование. – Львов: Львов: Изд. НУ "львовская политехника", 248. (Украина).

VIBROTRANSPORTING SPEED STABILIZATION OF FREE RUNNING GRAIN PRODUCTS

Summary. The method that substantially reduces energy intensity of the process of drying grain products by monolayer infrared radiation is confirmed in the article in the course of which the grain during vibrotransporting by monolayer is tossing on the vibrating tray evenly irradiated and heated from all sides in the heat treatment zone, and then heated grain is blown on cold air at during its tossing vibrotransporting on the vibrating tray with holes. To ensure the lowest consumption of energy resonant mode is used on the monolayer's tray transmission. In this type of dryer it is very important to ensure a uniformly grain location in separate zones with different processing characteristics (heating rays and air blowing) of grain products. From this it follows that a change in the oscillation frequency vibrating trays results into the necessity to constantly change the amplitude, so that the rate of grain production vibrotransporting by monolayer on the vibrating tray was unchanged and technology driven. Therefore, by schemes creation to manage these dryers the problem of stabilization of the speed of vibrotransporting grain products is solved. Designed and scientifically proofed system of automatic control of technological parameters of vibrational monolayer dryer of infrared rays intermittent heating which allows as a result of the interaction between the frequency and amplitude of oscillation vibrational tray to stabilize speed of vibrotransporting free running grain products within vibration tray as well as always maintain a technologically optimal oscillation parameters of the vibrating tray with minimal energy consumption on the vibratory drive, while ensuring a continuous vibrotossing and rotating the grain production in the monolayer.

Key words: vibration tray, resonance, monolayer, vibrotransporting, amplitude, frequency, disturbing force.

MODEL OF MACHINE WITH ACTIVATOR FOR VIBRO ABRASIVE TREATMENT OF THE DETAILS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Ruslan Gorbatiuk

Vinnytsya National Agrarian University

St. Sonyachna, 3, Vinnytsia, Ukraine. E-mail: ruslangorbatyuk@gmail.com

Summary. The feature of vibro abrasive treatment is a free kinematics connection between an instrument and details, that is exists complication in providing with the stable beforehand set technologically optimum influence of abrasive grains on treated details at the variable parameters of working chamber of vibroabrasive machine. For to solve this problem the structural electromechanical model of vibromachine for adaptive vibroabrasive treatment of details of agricultural and processing machines was developed. The offered machine is able to provide minimum energy expenses on the vibro drive of vibroabrasive machine due to providing and maintenance of the permanent resonance mode of operations of working chamber.

Key words: vibroabrasive treatment, adaptive control, energy saving vibro drive, resonance regime of work.

INTRODUCTION

With the increase of requirements for the quality of products of mechanical engineering and instrument-making, the growth of amount of finishing – stripping of the details is observed. Most labour intensive is treatment of details of the complicated configuration, by cavities of asymmetric form.

According to existed classification, based on the principle of power influence, the methods of the, chemical and combined treatment are distinguished. Thus advantage is given to the methods of treatment, based on the use of flexible instruments and mediums – vibro abrasive treatment [1-6], tumbling, centrifugal-abrasive [7], centrifugal, stream-abrasive, magnetic abrasive [8], to treatments by the compressed streak of abradant, ultrasonic treatment, treatment by mechanical abrasive brushers and leaf-typed circles, some methods of treatment with a plastic deformation, by metallic blades instrument, thermo oxidizing and electrochemical treatment (processing).

A lot of operations on trimming clean and finishing – stripping up treatment, first of all, removing of burrs, rounding and processing of borders, until recently time was carried out by hand, and hardly exposed to automation and became a serious obstacle in subsequent growth of the labor productivity. Complication and variety of forms of surfaces which must be treated, complicate the creation of universal kinematics schemes of equipment and proper instruments. In this connection, during the development of methods of trimming clean up treatment often the advantage is given to the use of flexible environments and instruments ([9] which eliminate high conditions to exactness of relative orientation of treated detail and instrument. In addition, here, as a rule, secured the treatment of all the surfaces of details and is possible simultaneously the treatment of plenty of details, which provides a high productivity. Advantage

of flexible environment and the instruments appears also in intermutation of the elements, conjugation of interface of contiguous surfaces of the details, while maintaining their perpetuity and continuity. This is achieved by formation of a transition element with a minimum radius between adjacent surfaces.

On the development of finishing polish and finishing–stripping treatment and the methods of treatment were defined scientific and practical groups and their associations, the systematical work [10] in technology is conducted, created the equipment, work environments and tools. Thus, in the sphere of vibration technology (vibro abrasive treatment) a complex of works on research and technology development (processes) is executed for to implement them in the industry with the production and supply of equipment, working environment and process liquids. The use of vibrating action [11] during the vibro abrasive treatment enables gives an opportunity along with the increase of intensity more evenly to treat the production, to optimize the process vibro treatment.

ANALYSIS OF RESEARCHES AND PUBLICATIONS

The machines with the free kinematics connection between an instrument and the details is provided by the printing-down of all of the surface of the details, that allows effectively to treat both internal and external surfaces of the details. At the same time, these machines [12] are different from other analog machines by simplicity of structural implementation and lightness of automation of the process of production and provide enough high performance of work. The process of treatment takes place under the action of freely granular working environment. In general case a working environment contains hard and liquid stuffs. Hard stuff shows by itself a cutting and deforming instrument or environment which prevents a mutual collision and clinging of the details. Liquid stuff is utilized for providing of delete of products of wear of the details and working granules, moistening and cooling of technological loading, intensification of the process of treatment (chemical and superficial active matters), storage of technological properties of hard stuff (for example, for prevention of “contamination by fat” of abrasive granules).

Absence of hard kinematic connection between the details and the instrument predetermines equable treatment of surfaces of the same type of part blanks (in the places of transition from one surface to another more intensive treatment is observed), but eliminates possibility of the managed influence on geometrical sizes and form of the details. In this case the parts of the mossy (granular) fill continuously flows around the surfaces of the details, leading to micro cutting, plastic deformation and

promotes the realization of cleaning, polish - finishing and fortifying operations. For the effective, uniform and comprehensive treatment of the details in the absence of the hard kinematic connection between the details and an instrument it is necessary to provide three basic conditions: to give to the working environment the sufficient level of kinetic energy; to create the maximal difference of speeds between the details which are treated and by the abrasive granules of working environment; to provide regular and intensive shuffle of details and working environment.

The analysis of literary sources, patents and charts of methods of the intensification of the processes of vibro abrasive treatment, allowed to determine the basic directions of development of vibro machines constructions for intensification of the trimming - stripping of the details in a freely granular environment in default of hard kinematic connection between the details and the instrument.

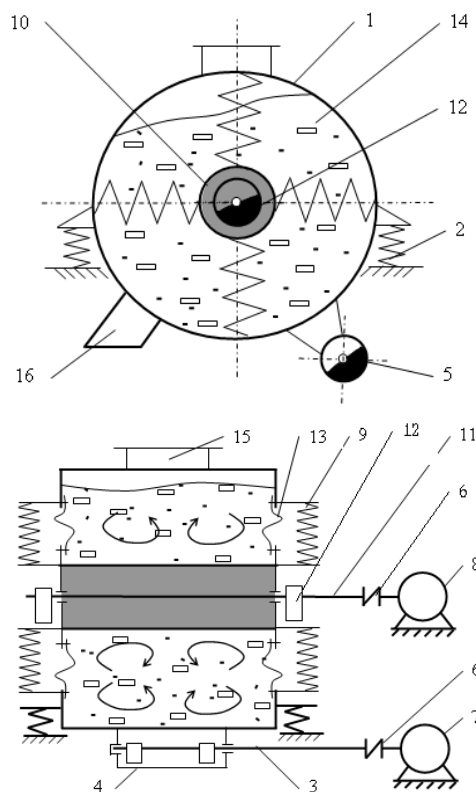


Fig.1. A structural decision of device for vibro abrasive treatment of details

Among the class of machines for vibro abrasive treatment [12] as most perfect and most perspective for subsequent development should be noticed the structural decision (fig.1) [13] of machine for vibroabrasive treatment of details. This vibromachine [13] (fig.2) refers to the vibro machines for trimming - stripping of details in a freely granular environment with a cylinder partly flexible working chamber which is equipped with the mobile motion activator of working environment.

One of differences of the construction (fig.1, 2) presented below, there is a presence of unbalanced vibro drive of the motion activator of working environment, that allows to intensify the treatment of surfaces of the details.

The increase of intensity of vibro treatment in the given vibromachine is achieved by the increase of the size of the impulses which are passed to the working environment and mutual rate of movement of granules of working environment and treated details. The treated details with a working environment 14 through vent 15 are loaded in a container 1. Electric motor 8 through an elastic coupler 6 passes revolving moment on a shaft 11 with debalances 12. The activator 10 vested to the container 1 on a elastic hanger 9, carries out a hesitating motion the trajectory of which is close to the circle. Simultaneously with an activator 10 through an elastic coupler 6 from an electric motor 7 which gives to the container 1 vibration motions. The given vibro drive gives an activator 10 and to the container 1 vibrations, frequency and amplitude of which can change (in wide limits, that additional energy which is given by an activator 10 and by a container 1 to the working environment 14 with the details is added adjusting in a wide range, that it is important for the choice of the optimum of treatment of those or other details and materials.

In addition, by regulation of rotation frequency of vibrodrive of activator 10 and container 1, it is possible to attain that activator 10 will vibrate in ant phase with a container 1. It will allow, at large enough amplitudes, in a few times to increase dynamic pressure of working environment 14, that will allow to intensify the process of vibro treatment. Layers of working environment and details 14, that are placed near the surface of container 1, move in the direction opposite to the direction of rotation of shaft 3 vibro exciters of container 1, and layers of working environment and details which are placed near the surface of activator 10 move in the direction opposite the direction of the rotation of shaft 11 vibro exciter of activator 10. Consequently the layers of working environment and details, which are located near the surface of container, move towards the layers of working environment which is round an activator 10. Such character of motion of working environment and details increase the productivity of the process of vibro treatment due to the increase of speed of the relative mutual moving of granules of working environment and treated details. Intensity of the mutual moving of working environment and the details which are located in the central part of container relatively of the same working environment and details which are located in peripheral part of container is also increased due to the vibrations of elastic cheeks 13 of container 1. After the completion of the process of vibro treatment the working environment 14 and the treated details unload through a neck outcome 16.



Fig.2. A general view of machine for vibro abrasive treatment of the details

Structural decision [13] thanks to antiphase motion of activator 10 and container 1 allows effectively to force (to intensify) moving of granules of working environment and treated details, however don't allows to manage the size of energy which is transferred to the working environment from an activator and container. In other words at the different weights of loading with the details of vibro machine container (Fig. 2) will be a different amplitude of oscillations of the working environment (at constant frequency of oscillations of container and activator), and this will affect on the change of the specific work of the field of the container of vibro machine [13]. Two variants are possible as a result of this: the increase of specific work of the oscillation field will lead to the surplus surveying of metal from the surface of the details (as a result of polishing and smoothing) and in the case of reduction of the specific work of the oscillation field of container we will not get the products of the set quality for the given time of technological process. Another significant disadvantage of this machine for vibro abrasive treatment is impossibility to provide and support resonance regime of the work which in its turn does not allow to get minimum energy consumptions on vibrodrive of vibro abrasive machine [13].

THE PURPOSE OF THE RESEARCH

The purpose of the work is the development of structural electromechanical model of vibromachine for adaptive vibro abrasive treatment of the details. Which will be able to provide minimum energy consumptions on vibrodrive machines for vibroabrasive treatment due to providing and maintenance of the permanent resonance regime of work of operating chamber and will have a possibility of power-handling of the oscillation field (on resonance frequency of vibromachine) for providing of stable beforehand set value of specific work of the oscillation field of container. That would allow at different mass loading of the working container by treated details to get the set technological effect (the set class of roughness of the surface of details during polishing and grinding, the set size of descale from the surface of the detail, during taken off of wire-edges and finish – felling treatment, the set strengthening of surface by plastic deformation) at minimum energy consumptions.

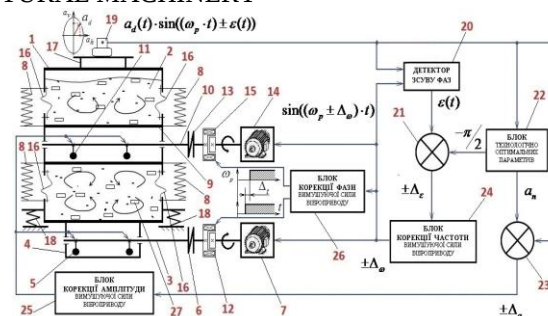


Fig.3. A structural electromechanical model of oscillation technological machine for adaptive vibroabrasive treatment of details

THE RESULTS OF RESEARCH

For realization of self-adjustment of the vibration system of machine for vibroabrasive treatment of the details on permanent resonance regime of work, it is necessary to apply the method of adaptation to the resonance mode of work of, which is described in the work [14]. For stabilization of the specific work of the oscillation field of working chamber of vibromachine it is necessary to apply two distantially – controlled debalanced vibrodrives. On the base of which it is expedient to realize the technique of stabilization of technologically optimum parameters of the oscillation field of vibration [15, 16]. On the basis of the above enumerated methods of controlling and stabilizing of parameters of the vibration field and the effective method of passing of impulse to the working environment, which is realized in the work, synthesized the structural electromechanical model of vibration technological machine [13,15] (fig. 3 and fig.4) for adaptive vibro abrasive treatment of details.

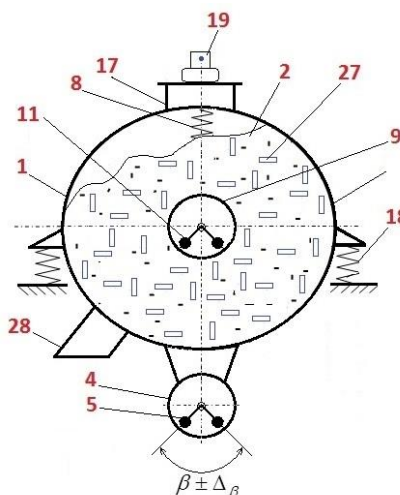


Fig. 4. The structural diagram of location of an operated synchronous debalanced vibrodrive of container and activator in a machine for adaptive vibroabrasive treatment of details

On fig. 3 and fig. 4 the electro mechanics model of oscillation technological machine for adaptive vibroabrasive treatment of details. is represented. This vibromachine consists of resiliently set on the springs of a 18 container 1, which is filled with a working environment 2 and by treated details 27. In the underbody of

container 1 a shaft 3 is placed of the lower guided de-balanced vibrodrive 4, which has possibility [18] remotely to change the eccentricity of centre-of-mass de-balances on account of an angle $\beta \pm \Delta\beta$ between them. The shaft 3 through an elastic 6 [19, 20] is connected with an electromagnetic powder-like coupler 12 [21, 22], and it is connected with an electric motor 7. In the central part of container 1 placed on springs 8 the central body 9 (activator), which consists of shaft 10 and de-balances 11 which have a possibility [18] to change distantly the eccentricity centre of mass. Shaft 10 through an elastic coupler 13 [19, 20] is connected with an electromagnetic powder coupler 15 [21], and it is connected with an electric motor 14. Activator 9 is connected with a container 1 with the help of elastic walls 16. From above the container 1 a loading chamber is roared 17, and from below unloading chamber 28. To the load chamber 17 (or to upper part of container 1) Stiffly fastened the sensor of vibration 19 which is connected with one of the of the detector phase shear 20 with the one of of block of technologically optimum (parameters 22 and with one of of comparator 23.

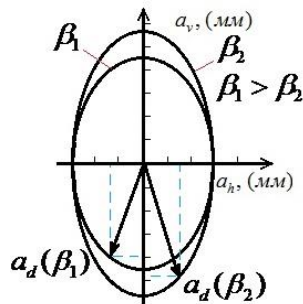


Fig. 5. The connection between the vertical composite a_v of amplitude of vibrations of the container 1 and the angle β between the centers of mass de-balances of controlled debalanced vibrodrive

The second of comparator 23 it connected with one of outputs of the block with technologically optimum parameters 22, and the second output of the block with technologically optimum parameters 22 is connected with one of of comparator 21. The second i of comparator 21 is connected with the output of detector of change (of phases 20, and the output of comparator 21 is connected with one with the of the block of correction of frequency of extorted force of vibrodrive 24. The output by the of the block of correction of frequency of extorted force of vibrodrive 24 is connected with electric motors 7, 14 and is connected with one of of detector of phases shear 20 and the of block of correction of phase of extorted force of vibrodrive 26. The outputs of the block of correction of phase of extorted force of vibrodrive 26 are connected with electromagnetic powder couplers 12 and 15. The output of comparator 23 is connected with the entrance of the block of correction of amplitude of extorted force of vibrodrive 25, and the output of this block is connected with the guided de-balances 5 and 11.

The machine for adaptive vibroabrasive treatment of details works as follows. The treated details 27 with a working environment 2 through a chamber 17 are loaded into the container 1. In the process of launching of

the machine for adaptive vibroabrasive treatment of details on frequency of work ω (which does not equal to the natural resonance eigen frequency ω_0 of the vibrational system of device of container 1 which is fill with the details with certain general mass) electric motor 7 passes a rotation moment to the electromagnetic powder coupler 12. Coupler 12 on a command from the block of correction of phase of extorted force of vibrodrive 26 passes this rotary moment to the elastic coupler 6, this coupler 6 passes to a rotary moment of the shaft 3, that results in the rotation of de-balances 5 (with the variable eccentricity of centre of mass) the guided debalanced vibrodrive 4. As a result, container 1 starts to realize the vibrations ellipsoidal trajectory from the real amplitude a_d (Fig. 5). The vertical component a_v of the amplitude of vibrations of container 1 (in the given case at constant ω) is determined by the value of the angle β between the centers of mass of de-balances 5 on the shaft 3. Along with the container 1, details 27 and the working environment 2 varies activator 9 (the central body), but activator 9 ranges always to meet the container 1.

Such a character of vibration of the activator 9 is conditioned by the fact, that after engaging of the controlled debalanced vibrodrive 4 by an electromagnetic powder coupler 12 through the interval of time Δt the block of correction of phase of extorted force of vibrodrive 26 starts (turns on) an electromagnetic powder coupler 15. As a result she (15) transmits rotary moment from the electric motor 14 (which works on the same frequency ω as the electric motor 7, but rotates in the opposite direction to it) to the elastic coupler 13, shaft 10 and driven de-balances 11. Due to delay of starting of controlled debalanced vibrodrive - activator 9 on lapse of time Δt upper controlled debalance 11 begins to rotate with a frequency ω in the opposite direction at that time when the lower controlled de-balances 5 which are located in the upper point of the trajectory. Taking into account the fact that ω of electric motors 7 and 14 have the same mass and dynamic characteristics of the top 11 and bottom 5 controlled de-balances, in the steady regime after the starting we get their synchronous movements with some given phase. That is in the process of synchronous work of motors 7 and 14 they (de-balances 5 and 11) will meet at the moment when the lower de-balance 5 will be at the top point of the trajectory, the upper debalance top 11 in the lower point of the trajectory. At such motion (on meeting) of container 1 and activator 9 to the working environment 2 the energy is passed in the figure of the shock impulses. Thus the impulses which are transmitted from a container 1 to the environment 2 clashes with impulses which are transmitted from an activator 9 to the working environment 2, that is why general energy which gets working environment 2 equal to their sum. Also such a character of motion of container 1 and activator 9 creates the meetings streams of granules of working environment 2 and processing details 27. According to [13,15] the layers of working environment 2 and the details 27 which placing near the surface of container 1, moving in the direction opposite to the direction of rotation of the shaft of the controlled debalanced vibrodrive 4, and layers of working environment 2 and the details 27 which are placed

near the surface of the central body 9 (activator) such a character of motion of the working environment 2 and the treated details 27 activates the technological process of vibroabrasive treatment of the details in a machine at the expense of the mutual speed of shifting of the grains of the working environment 2 and treated details 27.

After the starting of the mechanism (time 2-3 seconds) for adaptive vibro abrasive treatment of the details in the initial frequency ω , during the stabilization of the vibration of the container, that is in the determined regime, the sensor of vibration 19 receives information about the dynamic parameters of container 1, in particular: amplitude $a_d(t)$, frequency $\omega_p(t)$ and phase $\varepsilon(t)$, his vibration in the next form $a_d(t) \cdot \sin(\omega_p \cdot t \pm \varepsilon(t))$. The given information comes to the detector of the phase shear 20, the block of technologically optimal parameters 22 and comparator 23. The second input of phase shift detector 20 receives the information $\sin((\omega_p \pm \Delta_\omega) \cdot t)$ about the corrected on the value $\pm \Delta_\omega$ (valid at this stage) the frequency of the work of the controlled debalanced vibrodrives (5, 11) container 1 and activator 9.

In other words in a block 20 in accordance to [14] we have comparison of two harmonious signals for the presence of the shift of phase of vibrations of container 1 relative to extorted cyclic force of the controlled debalanced vibrodrive of device for the adaptive vibro abrasive treatment of the details.

In other words, a block 20 of the detector of the phases shift conducts the permanent monitoring of reactions of the container 1 on a revolving factor (extorted cyclic force). According to [14] at the forced vibrations these signals have identical frequency, and at resonance phase $\varepsilon(t)$ of amplitude of vibrations of container 1 will build on for adaptive vibroabrasive treatment of the details falls behind on an angle $\pi/2$ from the amplitude of cyclic extorted force of the controlled debalanced vibrodrive.

In such a way, the change of the mass of the details 27 by which the container 1 is loaded (charged) and the working environment will cause a change in its own resonance frequency of the device for adaptive vibroabrasive treatment of the details, and that at a constant (fixed) frequency of the controlled debalanced vibrodrive $\omega_p(t)$ cause [14] changes the angle of phase shift between the container 1 and cyclic extorted vibrodrive force.

That is why, while correcting $(\pm \Delta_\omega)$ the frequency $\omega_p(t)$ of the extorted cyclic force of the controlled debalanced vibrodrive device for adaptive vibroabrasive processing of the details one or another way you can draw up from its own resonance frequency and thus change the magnitude of the phase shift between the container 1 and vibrodrive (5 and 11). Based on this in the comparator 21 the comparison of the phase shift between the current at a frequency ω_p of controlled debalanced vibrodrive with the necessary optimal (from the energy point of view) value shift lagging $-\pi/2$.

Optimum value comes from the comparator block technologically optimal parameters 22, where the operator entered vibromachine. In the result of comparison of the information in the comparator 21, we get the value, the value $\pm \Delta_\varepsilon$ indicating how much vibrative system (container 1) deviated from the resonant mode, and its sign $(\pm \Delta_\varepsilon)$ indicates to what side the vibrating system of vibromachine departed from the resonant mode. On the basis of the magnitude and the sign $\pm \Delta_\varepsilon$ in the block of the correction of the frequency ω_p of the extorted vibrodrive force 24 on the basis of the laid down in it controlling laws (implemented in the classical functions) the determination of the magnitude and the direction of correction $\pm \Delta_\omega$ of the frequency of the extorted force of vibrodrive.

Corrected frequency $\omega_p(t) \pm \Delta_\omega$ of the extorted vibrodrive force will converge over time to its own resonance frequency ω_0 of the container 1, owing to the operation $\pm \Delta_\omega$, until $\omega_0(t) = \omega_p(t) \pm \Delta_\omega$, that will not become equal $\varepsilon = -\pi/2$.

Adaptation of frequency of the guided debalanced vibrodrive (5 and 11) for the resonance frequency of the mechanical vibrating system of vibromachine $\omega_0(t) = \omega_p(t) \pm \Delta_\omega$, allows to provide the permanent resonance mode of operations of container 1 at arbitrary (to different) mass of his load (will build on for adaptive vibroabrasive treatment of details) as by a working environment 2 by treated details 27.

Resonant mode of the device for the adaptive vibroabrasive processing of the details ensures minimal energy costs of the vibrodrive for the implementation of the technological process.

A constructive decision given on the fig. 3 and fig. 4 allows to realize not only energetically optimal regime of work of the machine for adaptive vibroabrasive treatment of the details but also to set technologically optimal regime of work at minimum energy expenses on a vibrodrive.

A necessity and expedience of the realization (for control and stabilization) of technologically optimum parameters of vibroabrasive treatment of details is conditioned by the vibroabrasive treatment must be done at set (determined) period of time at given dynamic parameters of the container 1. Under the dynamic parameters of container 1 it is possible to understand the amplitude and frequency of his vibrations. Inobservance of these dynamic parameters of container 1 during the set interval of time for vibroabrasive treatment of the details is the reason for violation of technology of treatment of details. Uncontrolled rejection of the dynamic parameters of the container 1 during the time of technological treatment in a less side will be a reason for obtaining of other from the set class of roughness of surface of details (at polishing and grinding), other size of remove of the metal, from the surface of the detail (at taken off of the wire-edges and at finish - stripping treatment). In such case the prepared products (treated details 27) on the merits will be defective. Rejection in the greater side of dynamic parameters of container 1

during the time of technological treatment in general can result in destruction of the details by the way of grinding (this vibromachine can be examined also as a vibro mill and dryer [22-24]).

On the basis of investigations [25-27] it is reasonable for the criterion of evaluation of dynamic parameters of the device for adaptive vibroabrasive treatment of details to take specific work $A_p = \omega_p^2 \times a_d^2$ of the vibrative field (working environment) of container 1 or integral criterion (specific power) $I_p = \omega_p^3 \times a_d^2$ for the estimation of the equivalence of vibrations of different frequencies. Sergiev A. P. showed in his work [28], that the removal of metal at vibroabrasive treatment of details remains permanent at the preservation of the value regardless of value $\omega_p^2 \times a_d^2$ without depending on the significance of the amplitude and frequency. Physical maintenance of specific work of the vibration field $A_p = \omega_p^2 \times a_d^2$ can be understood from the general determination of work ($A = F \times s$), in general the work is equal to the result of the power F on moving s . Taking into account, that the force is expressed as the product of mass on an acceleration ($F = m \times a$) and taking note that during vibrating motion of vibromachine in a constant mode of moving of container 1 in general is described by an expression $a_d \cdot \sin(\omega_p \cdot t)$. Taking the second derivative from moving and putting him in expression of the work we will get $(m \times a_d \times \omega_p^2) \cdot a_d$.

Going out from the calculation of necessary amplitude of vibrations a_n on this resonance frequency ω_0 ($\omega_0 = \omega_p$) it is expedient to conduct from next correlation $a_n = [\omega_z^2 \times a_z^2] / \omega_0^2$, where ω_z and a_z the optimum parameters of the vibration field are beforehand set from the technological point of view for vibroabrasive treatment of details in a container 1. Parameters ω_z and a_z (the time of treatment is at such mode) entered by the operator of vibromachine directly into block of technologically optimum parameters 22, where also goes the information about the actual value of amplitude a_d and resonance frequency of vibrations of container 1 $\omega_0 = \omega_p$ from the sensor of vibration 19 in a next form $a_d \cdot \sin(\omega_p \cdot t)$.

As a result of treatment of information from the sensor 19 the block of technologically optimum parameters 22 conducts permanent determination (shortchanging) of necessary value of amplitude of vibrations a_n , for to provide the constant value of specific work ($A_p = \omega_p^2 \times a_d^2 = \text{const}$) of vibrational container 1 on this (to new) resonance frequency ω_0 during the time of treatment set by an operator. Information about the necessary value of amplitude of vibrations a_n constantly comes to comparator 23 where compared to the actual the value of amplitude a_d .

As a result of comparison we get $\pm \Delta_a$ size (and direction) on which it is necessary to make correction of vibration amplitude of correction of container 1 for to

ensure sustainability of specific work of vibration field ($A_p = \omega_p^2 \times a_d^2 = \text{const}$) within a specified time of vibro treatment. The values (and the direction) of correction of vibration amplitude of the container $1 \pm \Delta_a$ is transferred to a block of correction of amplitude of extorted force (controlled) debalancial vibrodrive 25. The block (25) on the basis of the laws of controlling outted into it (realized on classical function) implements the correction $\pm \Delta_\beta$ of the angle value β between eccentricity centers of mass of debalances 5 and 11 (fig. 4), that leads to the change of value of the amplitude of cyclic extortial force of controlled debalance vibro drive for vibro abrasive treatment of the details. In the result of the change (reduction, extension) of the value change of cyclic amplitude of extortial force of controlled debalancial vibro drive change the amplitude of vibrations of container 1 (fig.5) on the side which provides the stability in the time of specific work of his (1) vibrational field.

Application in a structural decision (fig. 3 and fig. 4) of another control loop of adaptation of revolting factor (amplitude of cyclical power of vibro0 drive) allows to get the stable in time value of specific work of the vibrational field of container 1 and in that way provides valuable realization of technological process of vibro abrasive process of details 27 [29].

Stability of specific work of the vibrational field of container 1 during time of technological treatment is the pledge of obtaining of the set class of roughness of surface of details (at polishing and grinding), set size of extraction of metal, from the surface of detail (at taken off of burrage and at finishing – felling treatment)[30].

CONCLUSIONS

The structural electro mechanics model of vibromachine was developed for adaptive vibro abrasive treatment of details. Which realizes minimum energy expenses on vibrodrive of machine for vibro abrasive treatment of details due to providing and maintenance of the permanent resonance mode of operations of working chamber.

During work in the mode of minimum energy expenses the structural decision of device for vibroabrasive treatment of details allows to control the energy of the vibrational field (on resonance frequency of vibromachine) for providing of stable beforehand set value of specific work of the vibrational field of container.

That allows at variable mass of loading of working chamber (container) by the details to get the set technological effect (set class of roughness of surface of details at polishing and grinding, set size of extraction of metal from the surface of the detail at taken off of burrage and at finishing – felling treatment, set strengthening of surface with plastic deformation and so on) at minimum energy expenses.

REFERENCES

1. **Babychev A.P. 1974.** Vybratsyonnaya obrabotka detaley. – Yzd. 2-e, pererab. y dop. – M.: Mashynostroenye, 256.
2. **Burshteyn Y.E., Balytskyy V.V., Dukhovskyy L. SH., Stessel A.M., Totskyy A.M. 1977.** Obermnaya vybratsyonnaya obrabotka. Rekomendatsyy. – M.: ÉNYMS, 108.
3. **Babychev A.P., Trunyn V.B., Samodumskyy YU.M., Ustynov V.P. 1984.** Vybratsyonnye stanky dlya obrabotky detaley. – M.: Mashynostroenye, 168.
4. **Babychev A.P., Zelentsov LK., Samodumskyy YU.M. 1987.** Konstruyovanye y ékspluatatsyya vybratsyonnykh stankov dlya obrabotky detaley. Rostov-n-D. RTU, 156.
5. **Babychev A.P. 1988.** Vybratsyonnaya obrabotka detaley v abrazyvnoy srede. – M.: Mashynostroenye, 91.
6. **Babychev A.P. 1994.** Osnovy vybratsyonnoy tekhnolohyy: ch 2. Tekhnolohyya vybratsyonnoy obrabotky. Uchebnoe posoby. DNTU Rostov-na-Donu, 89.
7. **Subach A.P. 1991.** Dynamyka protsessov y mashyn ob"emnoy vybratsyonnoy y tsetrobezhnoy obrabotky nasypnykh detaley. – Ryha: Znanye, 400.
8. **Baron YU.M. 1990.** Mahnytno-abrazyvnaya obrabotka. – M.: Mashynostroenye. Mekhanyzatsyya y avtomatyzatsyya proyzvodstva, N5. 21-24.
9. **Babychev A.P., Trunyn V.B. 1980.** Klassyfykatsyya y perspektyvy razvytyya oborudovanyya dlya vybratsyonnoy obrabotky detaley. – V kn.: Sovremennyye puty povyshenyya proyzvoditel'nosty y tochnosty metalloobratyvayushcheho oborudovanyya y avtomatyzatsyy tekhnolohycheskykh protsessov v mashynostroenny. Tezysy doklada Vsesoyuznoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsyy. – M.: Stankyn. 46-52.
10. **Odyntsov L.H. 1990.** Kompleksnaya prohramma razvytyya y vnedrenyya otdelochno-zachystnoy obrabotky detaley. – M.: Mashynostroenye. Mekhanyzatsyya y avtomatyzatsyya proyzvodstva N5. 1-4.
11. **Bernyk P.S., Yaroshenko L.V. 1992.** Klassyfykatsyya sposobov vybratsyonnoy obrabotky. // Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsyya «Sovershenstvovanye y razvytye otdelochno-zachystnoy, fynyshnoy y poverkhnostnoy plastycheskoy obrabotky detaley»: Materyaly. – Vynnytsa: VSKHY. 48-50.
12. **Kartashov Y.N., Shaynskyy E.M., Vlasov V. A. 1974.** Obrabotka detaley svobodnymi abrazyvamy v vybryuyushchykh rezervuarakh. – K.: Naukova dumka, 83.
13. **Pat. 32159 A Ukrayina, B24B 31/06.** Prystriy dlya vibratsiynoyi obrobky detaley. Bernyk P.S., Yaroshenko L.V, Gorbatiuk R.M. (Ukrayina). – № 98126990; Opubl. 15.12.2000; Byul. № 7, 3.
14. **Pat. 87776 A Ukraina, B65G 27/00.** Sposib keruvannya robotoyu adaptivnykh vibratsiynnykh tekhnolohichnykh mashyn. Sereda L.P., Chubyk R.V., Yaroshenko L.V. (Ukrayina). – № a200803685; Opubl. 10.08.2009; Byul. № 15, 4.
15. **Pat. 76368 U Ukraina, B24B 31/06.** Adaptivnyy prystriy dlya vybroabrazyvnoy obrabotky detaley. Gorbatiu R.M., Skvarok Yu.Yu., Chubyk R.V., Palamarchuk I.P. (Ukrayina). – № u 2011 12534; Opubl. 10.01.2013; Byul. № 1, 9.
16. **Chubyk R.V., Yaroshenko L.V. 2008.** Metod stabilizatsiyi tekhnolohichno optymalnykh parametriv vibratsiynoho polya adaptivnykh vibratsiynnykh tekhnolohichnykh mashyn // Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh.-. № 2(51). 57-60.
17. **Pat. 92041 A Ukraina, B65G27/100.** Sposib stabilizatsiyi tekhnolohichno optymal'nykh parametriv vibratsiynoho polya adaptivnykh vibratsiynnykh tekhnolohichnykh mashyn. Sereda L.P., Chubyk R.V., Yaroshenko L.V. (Ukrayina). – № a200806209; Opubl. 27.09.2010; Byul. № 18, 3.
18. **Bernyk P. S., Chubyk R. V. 2005.** Analiz strukturnykh skhem prystroyiv dlya keruvannya vibropryvodom vibratsiynnykh tekhnolohichnykh mashyn. // Vybratsyy v tekhnike y tekhnolohiyakh. Vseukrayinskyy nauk.-tekhn. zhurnal. № 3 (41). 9-22.
19. **Pat. 43813 A Ukraina, F 16D3/4.** Pruzhna mufta. /P.C. Bernyk, P.D. Denisov, O.V. Solona. (Ukrayina) – №99116344; Zayavl. 23.11.99; Opub. 17.12.2001. Byul.№11, 3.
20. **Pat. 43814 A Ukraina, F 16D3/74.** Elastychna mufta. / P.C. Bernyk, P.D. Denisov, O.V. Solona. (Ukrayina) – №99116345; Zayavl. 23.11.99; Opub. 17.12.2001. Byul.№11, 3.
21. **Mohylevskyy V.H. 1964.** Élektromahnytnyye poroshkovyye mufty y tormoza. – M.: Énerhyia, 104.
22. **Chubyk R.V. 2012.** Elektromekhanichna model' adaptivnoyi rezonansnoyi dvokhkonteynernoyi vibratsiynoyi susharky / R.V. Chubyk, I.A. Zozulyak, V.M. Bandura // Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh. – № 1 (65). 102–108.
23. **Polyakov V. S., Barbash Mufty Y.D. 1973.** Konstruktsyya y raschet. Yzd. 4 pererabot. y dop. – L.: Mashynostroenye, 336.
24. **Ovchynnykov P.F. 1968.** O kharaktere udarnoho razrushenyya v vybromel'nytsakh // Prykladnaya mekhanika. – №4. 104-110.
25. **Serdyuk L.Y., Davydenko Yu.A., Osyna L.M. 2004.** Razlychnye podkhody k otsenke dynamycheskykh, énerhetycheskykh y tekhnolohycheskykh vozmozhnostey vybratsyonnykh mashyn // Vybratsyy v tekhnike y tekhnolohyyakh. Vseukrayins'kyy naukovy-tekhnichnyy zhurnal. – № 3 (35). 113-117.

26. **Kopylov YU. R. 1998.** Amplitudnye y fazo-chastotnye kharakterystyky vybryuyushchey rabochey sredy // Vybratsyy v tekhnike y tekhnolohyyakh. Trudy III mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsyy. - Evpatoryya, 133-137.
27. **Chubyk R.V., Yaroshenko L.V. 2008.** Metod stabilizatsiyi tekhnolohichno optymalykh parametriv vibratsynoho polya adaptyvnykh vibratsynykh tekhnolohichnykh mashyn// Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh. – № 2(51). 57-60.
28. **Serheev A.P. 1966.** Yssledovanye protsessa obrabotky, mekhanyzatsyya y avtomatyzatsyya vspomohatelnykh robot na mashynakh dlya obemnoy vibratsyonnoy obrabotky // Mekhanyzatsyya protsessa snyatyia zaustentsev. MDNTP. – M. 74-85.
29. **Palamarchuk I.P., Drachyshyn V.I., Palamarchuk V.I. 2014.** Justification of structural components vibrating conveyor machine for surface hardening treatment of working bodies of agricultural machines// MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Vol.16. No.4. 132-141.(in Polish).
30. **Palamarchuk I.P., Bandura V.M., Palamarchuk V.I. 2013.** An analysis of the dynamics of vibro conveyor technology system combined with the kinematic vibration excitation// MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Vol. 15. No.4. 314-323.(in Polish).

МОДЕЛЬ ВИБРОМАШИНЫ С АКТИВАТОРОМ ДЛЯ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Особенностью виброабразивной обработки деталей в свободно гранулированной среде является свободное кинематическое соединение между рабочим инструментом и деталями, что усложняет обеспечение стабильного, наперед заданного, технологически оптимального воздействия абразивных зерен на обработанные детали при переменных параметрах рабочей камеры вибрационной машины. Для решения этой проблемы была разработана структурная электромеханическая модель привода вибромашины для адаптивной виброабразивной обработки деталей сельскохозяйственной и перерабатывающей техники. Предлагаемая машина способна обеспечить минимальные затраты энергии на привод за счет конструктивного решения системы привода, что позволяет в автоматическом режиме: проводить адаптивные настройки и поддержание во времени резонансного режима работы контейнера (пустотелого рабочего органа) независимо от массы его загрузки средой и деталями в течение всего цикла виброобработки; проводить адаптивные настройки и поддержания во времени заданного технологически оптимального значения параметров вибрационного поля (удельной работы, удельной мощности) в пустотелом контейнере загруженным средой и деталями в течение всего цикла виброобработки; проводить управления направлением и формой траектории движения загруженного среды и деталей в пустотелом рабочем органе по заранее определенной пользователем (оператором) программе в течение всего цикла виброобработки.

Ключевые слова: виброабразивная обработка, адаптивное управление, энергосберегающий вибропривод, резонансный режим работы.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТРАКТОРА

Валентин Мироненко, Роман Мельник, Владимир Слободян

*Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации
сельского хозяйства»*

Ул. Вокзальная, 11, Глеваха, Украина. E-mail: roma_meln@mail.ru

Valentyn Myronenko, Roman Melnyk, Volodymyr Slobodyan

*"Institute of agricultural engineering and electrification of agriculture" National Scientific Centre
of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences*

St. Vokzalna, 11, Glevakha, Ukraine. E-mail: roma_meln@mail.ru

Аннотация. В работе представлении системы контроля загрузки электротрактора, благодаря которой увеличивается срок службы аккумуляторной батареи и увеличивается межзарядное время работы электротрактора при выполнении агротехнологических операций за счет рационального использования электрической энергии. Оснащение тракторов соответствующими средствами оперативного контроля и управления двигателем позволяет уменьшить затраты энергии до 20%.

В статье приведены результаты предыдущих исследований экспериментального образца электротрактора ХТЗ-2511, а также установлено, что на сегодняшний день получают широкое распространение электродвигатели вентильного типа для электротранспорта из-за высокого КПД до 95% и возможностью программирования контроллера на различное напряжение и различные режимы работы.

Ключевые слова: электротрактор, бортовой контроллер, технологические операции, электрификация, электродвигатель, электроаккумуляторный привод.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На современном этапе развития человечества наиболее удобным и перспективным видом энергии является электрическая энергия, которая в энергетическом балансе мира выходит на второе место после нефти.

В структуре затрат энергии на сельскохозяйственное производство большая их часть приходится на мобильные технологические процессы растениеводства и поэтому обеспечение механизированного растениеводства НЕ ископаемыми видами топлива является чрезвычайно актуальным.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Базовые предпосылки целесообразности перевода мобильной сельскохозяйственной техники на электротягу [1] представлены на рис. 1.

Уровень активного развития мирового сообщества в целом на сегодня превышает возможности планеты [2] Земля в обеспечении традиционными видами топлива (уголь, нефть, газ) и нейтрализации отходов жизнедеятельности человека. В расчете на одного жителя планеты годовые затраты энергии

составляют около 70 ГДж (эквивалент 1,6 т нефти), а затраты энергии на [3] один гектар сельскохозяйственных угодий в развитых странах приравниваются к 0,8 т нефти.

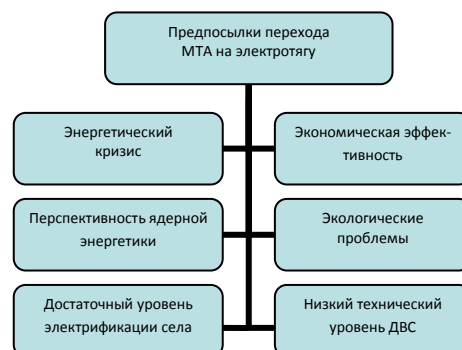


Рис. 1. Базовые предпосылки перевода мобильной сельскохозяйственной техники на электрическую тягу

Fig. 1. The basic background for the transition of mobile agricultural machinery to electric traction

Украина относится к энергодефицитным странам, поскольку покрывает [4] свои потребности в энергопотреблении за счет собственных ресурсов лишь наполовину и импортирует 75% необходимого объема природного газа и 85% сырой нефти и нефтепродуктов. То есть, обеспечения механизированного растениеводства НЕ ископаемыми видами топлива для Украины вопросам энергетической и национальной безопасности.

Электрификация технологических процессов растениеводства позволит повысить эффективность производства за счет расширения функциональных возможностей машинно-тракторных агрегатов, повышение качества выполнения рабочих процессов, улучшение условий труда и целого ряда других технических, экологических и социальных факторов [5]. По данным исследований электрификация мобильных процессов может уменьшить в 3,5-4 раза удельные капиталовложения и в 2,7-4,6 раз эксплуатационные расходы в приводах ходовых систем машинно-тракторных агрегатов, а каждая использованная киловатт-час электроэнергии позволяет сэкономить 30-50 г условного топлива.

Электротрактора обеспечивают высокое качество вспашки, культивации и посева за счет ста-

бильного поддержания заданной глубины обработки и посева семян при постоянной скорости движения агрегата и высокой устойчивости к перегрузке тяговых электродвигателей. Они просты в управлении и эксплуатации, не нуждаются в подвозе топлива в процессе работы. Это обеспечивает повышение производительности труда (до 30%) и уменьшение объемов работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Анализ мировых цен на различные виды энергии показывает, что в странах, энергетика которых базируется на традиционных органических носителях, стоимость электроэнергии в 3-4 раза выше, а в странах, где развивается ядерная энергетика - практически одинакова с ценой жидкого топлива или газа. Причем абсолютная цена электроэнергии в последних почти в два раза меньше. Украина также относится к странам энергетической перспектива которых связывается с ядерной энергетикой [6].

Сельская местность Украины уже имеет достаточно насыщенную электрическую сеть 0,4-20 кВ (около 700 тыс. км) через которую потребляется только до 10% энергии, вырабатываемой электростанциями. Причем нагрузка этих сетей значительно меньше рационального [7].

В этих условиях очевидна целесообразность максимально возможного перевода сельскохозяйственного производства, в том числе и мобильных агрегатов, на потребление электрической энергии. При этом, невысокая единичная мощность мобильного агрегата (оптимальной считается до 100 кВт) позволяет эффективно использовать как рассредоточенную централизованную электрическую энергию, так и маломощные источники энергии - биотопливо, ветер и солнце [8,9,10].

Сжигание ископаемого топлива приводит к аккумулярованию в атмосфере различных химических соединений, являющихся причиной парникового эффекта, выпадение кислотных дождей и иного негативного воздействия на окружающую среду.

Низкий технический уровень тракторных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) определяется, в первую очередь, низким коэффициентом полезного действия - около 30%, тогда как значение этого коэффициента для электрических двигателей составляет более 90% [11,12,13,14].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обеспечить эффективное использование электротрактора при выполнении технологических операций в растениеводстве.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Проблемами использования электротракторов в растениеводстве является низкая устойчивость электродвигателей к перегрузке (там где ДВС просто останавливается без особых последствий, электрический - сгорает) и отсутствие (пока) аккумуляторов, которые бы обеспечили работу машинно-тракторного агрегата на протяжении [15] всей рабочей смены.

Необходимость доступного и однозначного восприятия большого объема информации для опе-

ративного принятия решений при управлении работой электротрактора требует специальной разработки информационной системы.

Высокоэффективная работа машинно-тракторного агрегата на базе электротрактора возможна при структурной и параметрической адаптации автоматической системы контроля работы агрегата в соответствии меняющимся условиям его работы [16-20].

С этой целью разработан бортовой контроллер с элементами самонастройки (рис. 2).

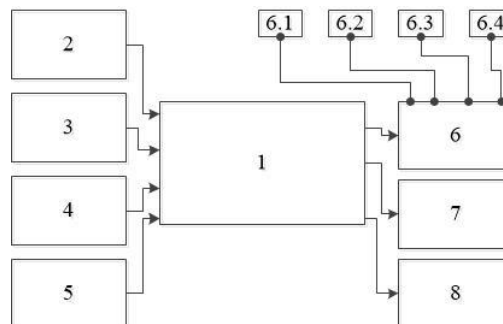


Рис. 2. Схема бортового контроллера с элементами самонастройки: 1 – блок анализа вычисления и формирования управляемого сигнала; 2 – датчик тока; 3 – датчик напряжения; 4 – датчик включенной передачи; 5 – датчик оборотов; 6 – графический дисплей; 6.1 – табло на переключение передач; 6.2 – табло заряда аккумулятора электрической энергии; 6.3 – табло состояния нагрузки электрического двигателя; 6.4 – табло скорости движения электротрактора; 7 – динамик звукового сигнала; 8 – силовое реле

Fig. 2. Scheme of board controller with self-tuning elements: 1 – analysis block of calculation and formation controlled signal; 2 – current sensor; 3 – voltage sensor; 4 – sensor enabled transmission; 5 – speed sensor; 6 – graphics display; 6.1 – board for switching transmission; 6.2 – board of status charging of battery of; 6.3 – board of load state electric motor; 6.4 – board speed of electric tractor; 7 – speaker sound; 8 – power relay

Бортовой контроллер выполняет следующие функции:

- расчет и автоматическую коррекцию рациональной зоны скоростных и нагрузочных режимов работы двигателя;
- анализ скорости, степени и продолжительности выхода действительных режимов работы двигателя с рациональной зоны, на основе чего формирования команд на переключение передач и количество ступеней, через которые нужно провести переключение;
- анализ скорости, степени и продолжительности выхода действительных режимов работы двигателя с рациональной зоны, на основе чего формирования команд на отключение двигателя от источника питания.

Работа бортового контроллера делится на две части. Первая обеспечивает индикацию режимов

работы электродвигателя и отражает рекомендованные режимы в соответствии с условиями работы электротрактора (то есть переключение передач), вторая часть отражает общую информацию: состояние заряда аккумуляторов электрической энергии, состояние нагрузки электрического двигателя, скорость движения электротрактора. Переключение передач осуществляется следующим образом: снимается аналоговый сигнал с беспроводного датчика тока на эффекте холла в виде напряжения, которое в дальнейшем подается на вход аналогово-цифрового преобразователя встроенного в блок анализа, где указанный сигнал пересчитывается в соответствующее значение тока согласно тарифовочной таблицы. Одновременно с опросом датчика тока, блок анализа вычисления и формирования управляемого сигнала опрашивает датчик включенной передачи, и анализирует его показания на предмет включения передачи и обороты двигателя. Значению от мгновенного значения тока и включенной передачи, а также от установленных границ рабочих диапазонов по току, которые также вшиты в блок анализа вычисления и формирования управляемого сигнала, последний создает рекомендации по переключению текущей передачи в случае малой загрузки, или перегрузки. А в случае нахождения мгновенного значения тока в пределах рабочего диапазона формируется рекомендация оставлять определенную передачу без изменений, соответственно отражается на графическом дисплее, то есть переключение передачи. Кроме того, динамиком подается соответствующий сигнал в случае превышения номинального тока для переключения на более низкую передачу, а в случае крайних пределов этой передачи прекращения дальнейшей работы, для предотвращения перегрузки электродвигателя. Если не уменьшается нагрузка на электродвигатель, выше указанными методами, через промежуток времени который предварительно может настраиваться, блок анализа вычисления и формирования управляемого сигнала обесточивает электродвигатель с помощью силового реле.

На лицевой стороне бортового контроллера, вписанного в щиток приборов трактора, размещен пульт управления с кнопками вызова информации, контрольными лампами и информационным табло. Для привлечения внимания тракториста к особо важной информации, которая высвечивается на пульте, срабатывает звуковой сигнал.

Контроллер формирует такие команды по рациональному управлению трактором:

- остановить трактор;
- исключить электродвигатель;
- переключить передачу вниз на 1,2,3 передачи;
- переключить передачу вверх на 1,2,3 передачи.

Оснащение тракторов соответствующими средствами оперативного контроля и управления двигателем, трансмиссией и навесным устройством позволяет уменьшить затраты энергии до 20%.

ВЫВОДЫ

1. Эффективность сельского хозяйства в дальнейшем будет в значительной степени определяться освоением нового уровня электрификации производства, в том числе, переводом мобильных энергосредств на электрическую тягу.

2. Благодаря применению системы контроля загрузки электротрактора удлинится срок службы аккумуляторной батареи и увеличивается межзарядное время работы электротрактора при выполнении агротехнологических операций за счет рационального использования электрической энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мироненко В.Г., Тютюник Н.В. 2005.** Перспективы использования электрифицированных мобильных агрегатов в растениеводстве. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Изд. 89. 192-200. (Украина).
2. **Мироненко В.Г., Мельник Р.В., Тимошук Д.В., Слободян В.М. 2014.** Развитие электрифицированных мобильных энергетических средств. Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. Серия: Техника и энергетика АПК. Изд. 194 (1). (Украина).
3. **Третьяк В.М. 2013.** Энергоэффективный трактор. The Ukrainian Farmer. Киев. №2. 94-96.
4. **Мельник Р.В. 2015.** Эффективность работы мобильных электрифицированных средств сельскохозяйственного назначения. Сборник научных трудов Кировоградского Национального технического университета, техника в сельскохозяйственном производстве, отраслевое машиностроение, автоматизация. Изд. 27. Кировоград. (Украина).
5. **Адамчук В.В., Мироненко В.Г., Третьяк В.М., Мельник Р.В. 2013.** Электрификация, как фактор создания мобильной сельскохозяйственной техники нового поколения. Научно-теоретический журнал «Вестник аграрной науки» № 4. 29. (Украина).
6. **Шидловского А.К. 2005.** Инновационные приоритеты топливно-энергетического комплекса Украины. Под общ. ред. М.: Украинские энциклопедические знания, 521. (Украина).
7. **Мироненко В.Г., Мельник Р.В. 2014.** Электротрактор ХТЗ-2511. Аграрная наука-производства. №4. 29. (Украина).
8. **Корчемной Н.А., Юсупов Н.А., Филоненко А.Ф., Жоров С.В. 2003.** Электропривод мобильного агрегата. Электрификация и автоматизация сельского хозяйства, № 1. 41- 44. (Украина).
9. Шины будущего. <[https:// auto.mail.ru/ article/shiny_budushchego_v_cvet_kuzova_i_ne_boy_atsya_prokolov/](https://auto.mail.ru/article/shiny_budushchego_v_cvet_kuzova_i_ne_boy_atsya_prokolov/)>.
10. Колеса для автомобилей. Доступно в интернете по адресу: <<http://ecoist.com.ua/motorkolesope1372-35b-72v-vodjano-ohlazhdenie.htm>>.

11. Мотор-колесо YC 6000W. Доступно в интернете по адресу: <<http://vesh.ua/product/motorkoleso-yc-6000w/>>.
12. TractorFan. <<http://www.tractorfan.it/picture/870506/>>
13. Golden Motor в Украине <http://www.goldenmotor.ua/>>.
14. Гибридные автомобили. Доступно в интернете по адресу: <<http://samodelkin.komi.ru/articles/gibrid01.html>>.
15. Перспективный американский Electric Moto. Доступно в интернете по адресу: <<http://gm-volt.com/2012/07/31/promising-us-electric-motor-company-gets-chinese-funding/>>.
16. Современная энергетический кризис и причины ее возникновения. <http://pidruchniki.com/12631113/ekologiya/energetichna_kriza_ukrayini_ekologichni_naslidki>.
17. Мировой энергетический кризис и пути его преодоления. <http://pidruchniki.com/1110061437968/ekologiya/svitova_energetichna_kriza_shlyahi_podolannya>
18. Развитие энергетического кризиса и его влияние на энергетическую безопасность страны. <<http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3797>>.
19. **Солдатенко В., Кубкин М., Вихрова Л. 2014.** Имитационная модель гибридной электроэнергетической системы с возобновляемыми источниками энергии. Изд.16. 4 233-240. (Украина).
20. **Шевчук А. 2014.** Информационные технологии компьютерной симуляции многомассовых систем. Изд.16. 4 285-291. (Украина).

INFORMATION SERVICE OF EFFECTIVENESS OPERATION OF ELECTRIC TRACTOR

Summary. The article deal with electrical load monitoring system of electric tractor, through which prolong the service life of the battery and increases time between recharging batteries of electric tractor when performing agriculture operations through rational use of electricity. Such instrumentation of tractor as equipment of operational control and management system of engine can reduce energy consumption up to 20%.

Analysis of the previous research was based on the study of scientific and technical information in the field of mobile power on electric-battery drive. Found that currently the ventilated electronic motors for electric transport become widespread because of high propulsive efficiency up to 95% and programmable controller for different voltages and different modes of operation. The developed experimental model of elektrik traktor HTZ- 2511E which time of work without recharging batteries is up to 5 hours on transport works.

Key words: electric tractor, board controller, technology operations, electrification, electric motor, electric-battery drive.

IDENTYFIKACJA WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNYCH WYMIENNIKA GRUNTOWEGO

Andrzej Chochowski¹, Daniel Małz², Serhiy Syrotyuk³¹*Warsaw University of Life Sciences**Str. Nowoursynowska. 166, Warsaw, Poland. E-mail: andrzej.chochowski@sggw.pl*²*Siemens Poland**Str. Zupnicza 11, Warsaw, Poland. E-mail: daniel.malz.ext@siemens.com*³*Lviv National Agricultural University**Str. Vladimir the Great, 1, Dublyany, Ukraine. E-mail: ssyr@ukr.net*

Streszczenie. Automatyzacja systemu klimatyzacji wymaga rozpoznania dynamiki wszystkich jego elementów. W niniejszej pracy poszukiwano najlepszego modelu dynamiki wymiennika gruntowego współpracującego z pompą ciepła. Do budowy modeli wykorzystano metodę identyfikacji parametrycznej i bazę danych pomiarowych hybrydowego systemu zasilania energią odnawialną rzeczywistego obiektu hotelowego. Znajomość parametrów dynamicznych wymiennika jest potrzebna do opracowania algorytmu sterowania pracą pompy, której zadaniem jest przygotowanie ciepłej wody użytkowej.

Słowa kluczowe: pompą ciepła, wymiennik gruntowy, właściwości dynamiczne, hybrydowy system zasilania, modelowanie.

WSTĘP

W procesie przygotowania ciepłej wody użytkowej, ale i klimatyzacji budynków, coraz powszechniej wykorzystywane są niestandardowe systemy ogrzewania (chłodzenia) wykorzystujące pompy ciepła. Praca pompy ciepła, zarówno przy produkcji ciepła jak i chłodu, wymaga zastosowania wymiennika ciepła. Jego zadaniem jest wymiana energii między źródłem a odbiornikiem, przy odseparowaniu obwodów mediów pośredniczących tej wymianie. Wymienniki ze względu na powszechność wykorzystywania są jednak zróżnicowane konstrukcyjnie, co wynika zarówno z budowy, użytych mediów pośredniczących, jak i konkretnego przeznaczenia [13, 15, 16, 21]. To oznacza, że zwykle różnią się dynamiką swojego działania. Niezależnie od zastosowania ważna jest możliwość wpływu na pracę wymiennika i współpracującej z nim pompy ciepła, polegająca na sterowaniu intensywnością przepływu strumienia energii [17, 18, 19, 20, 22]. Dla kontroli prawidłowości działania np. systemu klimatyzacji niezbędne jest wykonanie układu regulacji z odpowiednim algorytmem tej regulacji. Opracowanie takiego algorytmu wymaga znajomości właściwości dynamicznych wszystkich elementów składowych układu [14]. Już na etapie doboru typu wymiennika przydatne są więc metody i narzędzia pozwalające na określenie dynamiki pracy, wstępne oszacowanie efektów oraz wybór optymalnego rozwiązania konstrukcyjnego. Do realizacji tego celu wykorzystywane jest modelowanie [1-3, 6, 7]. Budowane modele mogą mieć charakter analityczny (modele matematyczne, fizyczne, mieszane) lub dyskretny [1, 2]. Każdy z modeli ma wady i zalety. Wybór modelu zależy od celu dla którego jest tworzony,

a zwłaszcza dostępności narzędzi informatycznych, dzięki którym możliwe jest jego wykorzystanie w badaniach symulacyjnych.

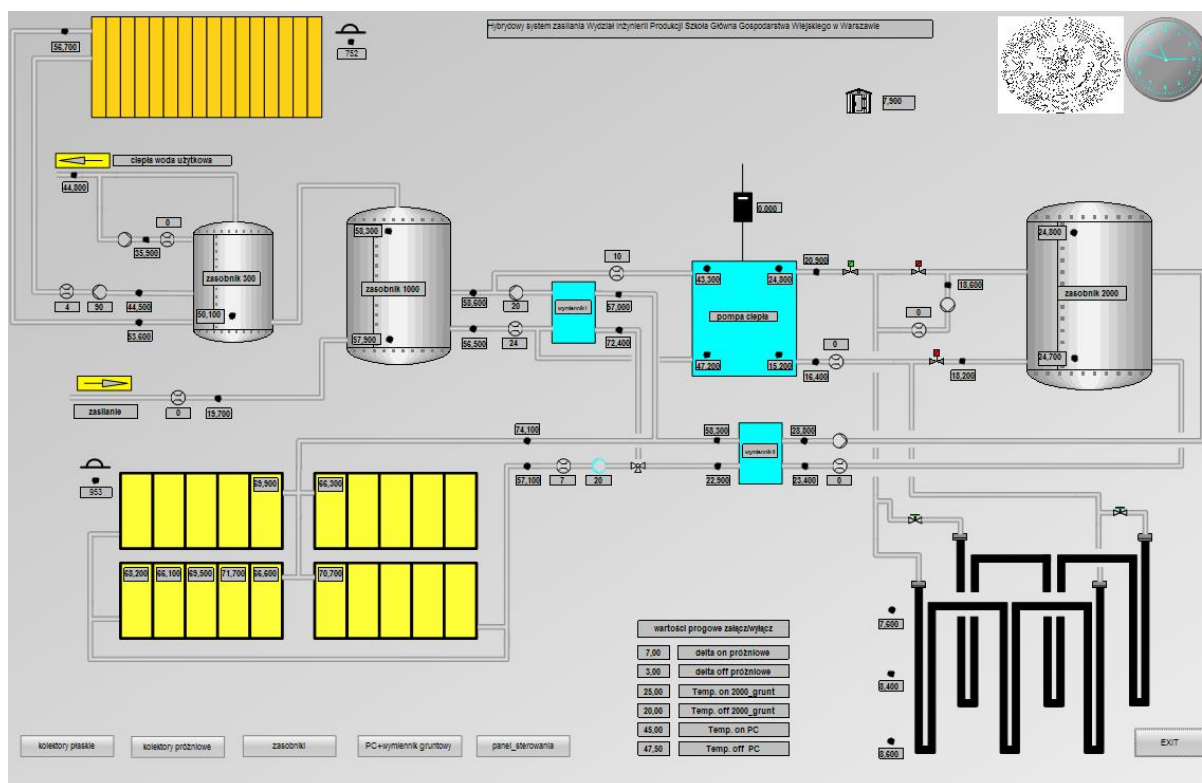
METODA BADAŃ

Autorzy do badań dynamiki wymiennika gruntowego wykorzystali bazę danych pomiarowych hybrydowego systemu zasilania energią odnawialną opisanego w [4, 25, 27], którego schemat przedstawiono na rys. 1. System składa się z baterii słonecznych kolektorów płaskich i próżniowych, pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym, dwóch szeregowo połączonych zbiorników ciepłej wody użytkowej i zbiornika o pojemności 2 dm³ pełniącego rolę magazynu niskotemperaturowej energii dla pompy ciepła. Wymiennik gruntowy jest wykonany z rur polietylenowych o średnicy 40 mm, w kształcie litery U, umieszczonych w 6 odwiertach o głębokości 30 m każdy, w 2 równoległych gałęziach po 180 mb (razem 360 m).

Jako narzędzie w procesie modelowania wykorzystano bibliotekę System Identification Toolbox z pakietu Matlab [11, 12]. Do modelowania zastosowano metodę identyfikacji parametrycznej [8-10, 24], wybierając jeden z proponowanych w Matlab-ie typów modeli (ARMAX, OE, modele procesowe) i jego strukturę, zapewniający najlepsze dopasowanie do rzeczywistego przebiegu sygnału wyjściowego. Struktura modelu jest związana m.in. ze stopniem wielomianu licznika i mianownika transmitancji opisującej zależność między sygnałem wejściowym (temperatura wlotowa medium do wymiennika T_{in}), a sygnałem wyjściowym (temperaturą medium na wylocie z wymiennika T_{out}). Przyjęto założenie, że mamy do czynienia z modelem SISO (Singl Input Singl Output) typu „black-box” (rys. 2).

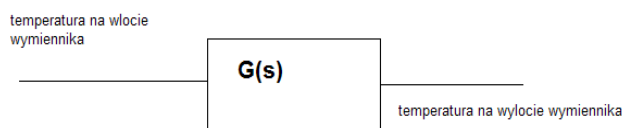
Zaletą takiego modelowania jest uzyskanie korzystnej postaci modelu jako transmitancji dyskretnnej lub po zastosowaniu dodatkowego przekształcenia transmitancji operatorowej o najprostszej strukturze, przy względnie dobrym odwzorowaniu rzeczywistego obiektu. To pozwala dla znanego sygnału wejściowego wyznaczyć przebieg sygnału wyjściowego.

W procesie identyfikacji wymiennika gruntowego wykorzystano następujące modele: ARMX (Auto Regressive Moving Average with Exogenous Input), OE (Output Error) i model procesowy P1DZ. Na rys. 6 porównano przebieg rzeczywisty nagrzewania się czynnika i symulacje z wykorzystaniem powyższych modeli.



Rys. 1. Hybrydowy system zasilania [4]

Fig. 1. The hybrid power system [4]



Rys. 2. Model SISO wymiennika gruntowego

Fig. 2. Model of SISO ground heat exchanger

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wykorzystana baza danych pomiarowych w modelowaniu dynamiki wymiennika gruntowego dotyczyła hybrydowego systemu zasilania przedstawionego w [4, 25, 27]. Jest on monitorowany w systemie pracy ciągłej, a wyniki pomiarów z 57 punktów (głównie temperatury, ale także przepływy) rejestrowane i zapisywane są co 1 min. (rys. 1). Budowane modele oparte są na wynikach pomiarów z 2 wybranych dni 10-11 maja 2010 r. W ramach prowadzonego wtedy eksperymentu wymuszono zwiększone obciążenie cieplne systemu hybrydowego (większe zapotrzebowanie na ciepłą wodę), uzyskując dłuższe okresy pracy pompy ciepła i większą zmienność temperatur wejścia/wyjścia wymiennika. Przebieg zużycia wody odzwierciedla czerwona linia na rysunkach 3a i 5a, odpowiadająca ilościom impulsów rejestrowanych przez wodomierz (2,5 dm³/impuls). Pozostałe dwie krzywe to przebieg temperatury, odpowiednio na wlocie i wylocie wymiennika. Na wykresach z rysunków 3b i 5b przedstawiono przebieg temperatury wyjściowej (out) wymiennika odnosząc go do przebiegów uzyskanych na podstawie badanych modeli. Dopasowanie modelu określono za pomocą dwóch wskaźników [8, 9, 10]:

– Best Fit - im większa wartość tym model dokładniejszy, (Best Fit)_{max}=100;

– FPE – Final Prediction Error, określający przewymiarowanie modelu; im mniejsza wartość tym mniejszy błąd.

Tabela 1. Parametry dopasowania modeli i ich transmitancje dla przykładowych danych pomiarowych z 10.05.2010 r

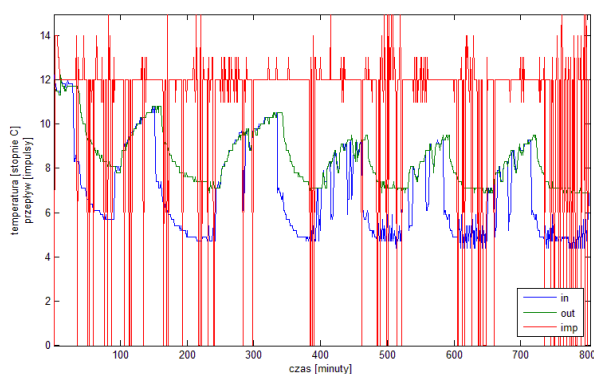
Table 1. Parameters fitting models and their transfer functions for sample data from 10.05.2010

Model	Best Fit	FPE	Transmitancja G(s)
OE227	85,98	0,0340597	$oe227 e^{-360s} \frac{0,001652s + 1,313e-008}{s^2 + 0,00286s + 1,139e-007}$
AMX2218	84,79	0,01967	$amx2218 e^{-420s} \frac{0,003039s + 5,517e-007}{s^2 + 0,005691s + 4,735e-007}$
P1DZ	78,54	0,0775681	$p1dz e^{-512s} \frac{0,5078s + 0,0001338}{s + 0,0001138}$

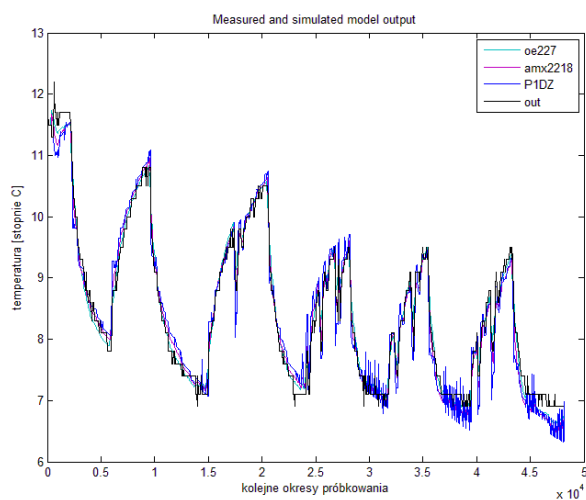
W tabeli 1 pokazano parametry dopasowania modeli i ich transmitancje dla przykładowych danych pomiarowych z 10.05.2010r. prezentowanych na rys. 3a. Na rys. 3b przedstawiono wykresy dopasowania modeli do wyników rzeczywistych. Odpowiednio w tab. 2 i na rys. 5 zaprezentowano wyniki z dnia 11 maja

2010 r. W obu przypadkach model typu ARMAX oddaje najlepsze dopasowanie, charakteryzując się najmniejszym błędem FPE i dostatecznie dobrym wskaźnikiem BestFit.

Odpowiedź modeli na wymuszenie skokowe pokazano na rysunkach 4 i 6. Charakterystyka skokowa, podobnie jak transmitancja operatorowa odzwierciedla charakter dynamiki wymiennika. Ich przebieg wskazuje początkowo działanie opóźniające, następnie silnie różniczkujące i przechodzące w inercyjne. Na wykresach, ze względu na tak ujętą skalę czasu, nie jest bezpośrednio widoczne opóźnienie, które wskazuje transmitancja operatorowa. Poszerzenie początkowego przebiegu odpowiedzi pokazałoby tę właściwość dynamiczną wymiennika. Jest ona związana z faktem zadziałania pompy obiegowej i wprowadzenia w ruch medium roboczego. Badania powtarzano kilkakrotnie i dla różnych przepływów czynnika. Uzyskiwano podobną dynamikę choć z różniącymi się parametrami.



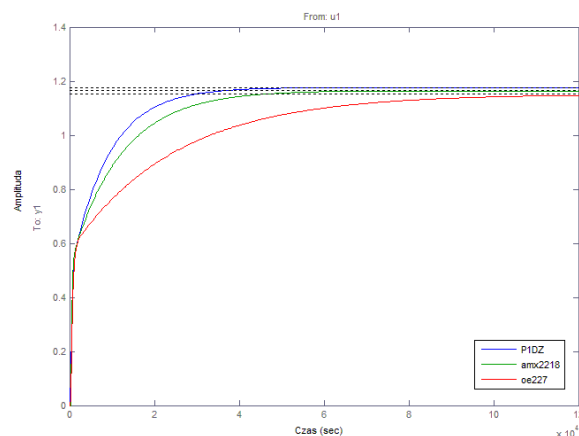
a)



b)

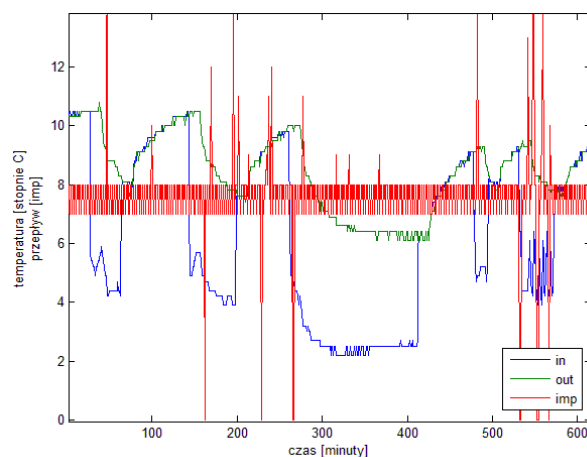
Rys. 3. Badania wymiennika gruntowego, dane z dnia 10.05.2010: a) dane pomiarowe; b) porównanie modeli

Fig. 3. Studies ground heat exchanger, the data of 10.05.2010: a) measurement data; b) comparison of models

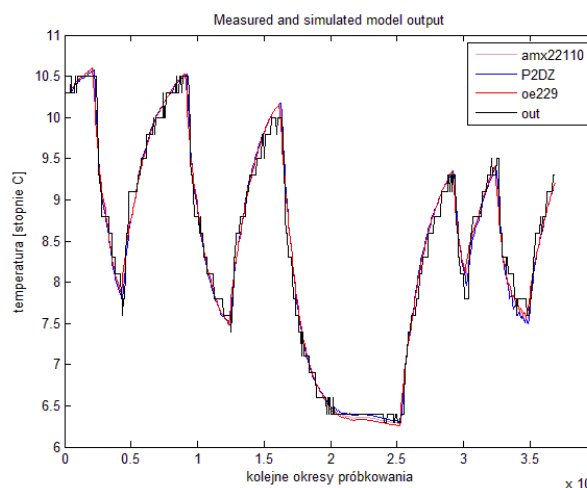


Rys.4. Odpowiedź skokowa modeli dla badań z dnia 10.05.2010 r

Fig. 4. Step response models for the study of 10.05.2010



a)



b)

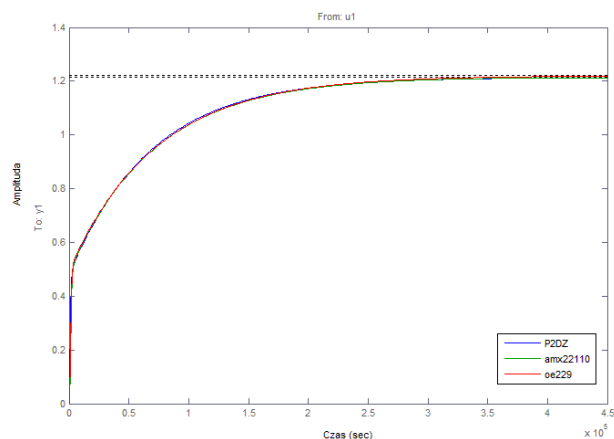
Rys. 5. Modelowanie wymiennika gruntowego na podstawie danych z dnia 11.05.2010: a) pomiary; b) porównanie modeli z przebiegiem rzeczywistym temperatury czynnika na wylocie

Fig. 5. Modelling of ground heat exchanger based on the data of 11.05.2010: a) measurements; b) comparison of the models with the course of the actual temperature of the outlet

Tablica 2. Parametry dopasowania modeli i ich transmitancje dla przykładowych danych pomiarowych z 11.05.2010 r

Table 2. Parameters fitting models and their transfer functions for sample data from 11.05.2010

Model	Best Fit	FPE	Transmittance G(s)
AMX22110	88,1 7	0,0157811	$amx22110 e^{-540s} \frac{0,0006734s + 2,303e-008}{s^2 + 0,001359s + 1,895e-008}$
P2DZ	88,5 3	0,0247066	$P2DZ e^{-602s} \frac{0,0007525s + 2,718e-008}{s^2 + 0,001547s + 2,239e-008}$
OE229	87,4 3	0,0283764	$oe229 e^{-480s} \frac{0,000613s + 2,025e-008}{s^2 + 0,001217s + 1,66e-008}$



Rys. 6. Odpowiedź skokowa modeli dla pomiarów z dnia 11.05.2010

Fig. 6. Step response models for the measurement of 11.05.2010

PODSUMOWANIE

Metodą identyfikacji parametrycznej, w trybie on-line, można monitorować dynamikę pracy wymiennika gruntowego. Wyznaczone wyżej modele, na podstawie rzeczywistych wyników pomiarów, są modelami dyskretnymi. Mimo, że są tu opisane postacią transmitancji ciągłej G(s), to uzyskano je z dyskretnego zapisu sygnałów wejścia/wyjścia, odczytywanych co 1 min. Najlepszym dopasowaniem charakteryzuje się model typu ARMAX i ten autorzy zalecają do stosowania dla wymienników gruntowych.

Znajomość dynamiki wymiennika ułatwia opracowywanie algorytmów sterowania pracą systemu grzewczego/chłodniczego opartego na współpracy pompy ciepła z wymiennikiem gruntowym. Może być bardzo przydatna w diagnostyce samego wymiennika.

Charakterystyki skokowe pozwalają określić stałe czasowe i dopuszczalny czas pracy pompy i czas regeneracji wymiennika.

W dalszych planach autorów przewidywane jest powtórzenie badań dla innego wymiennika gruntowego, o różniących się parametrach konstrukcyjnych, zarówno wertykalnego jak i horyzontalnego, zrealizowanego również w innym klimacie. Przewidywane jest również poszerzenie badań o modelowanie analogowe, na podstawie którego będzie możliwe symulowanie dynamiki pracy wymiennika, przez zmianę parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych. Będzie też możliwa walidacja modeli dyskretnych z analogowym, przez porównanie postaci transmitancji operatorowych.

LITERATURA

1. **Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J., Fic A. 2007.** Numerical analysis of the system: vapour compressor heat pump – vertical ground heat exchanger, Archiv. of Thermodyn., Vol. 28, 1. 15-32.
2. **Obstawski P. 2012.** Modelowanie dynamiki pracy płytowego wymiennika ciepła w układzie przeciwpłdowym. Przegląd Elektrotech. Vol. 88 nr 3a. 156-160.
3. **Diaz G.C. 2000.** Simulation and control of heat exchangers using artificial neural networks. PhD. Thesis Depart. of Aerosp. And Mechan. Engin. Univ. Notre Dame, Indiana USA.
4. **Chochowski A., Czekalski D., Obstawski P. 2009.** Monitoring of renewable energy sources hybrid system operations. Przegląd Elektrotechniczny 85 (8). 92-95.
5. **Chochowski A. 2011.** An analysis method of integrated renewable energy systems, Sci. Res. Warsaw Inst. Technol. Electr. 116. 93-102. (in Polish).
6. **Bidarmaghz A., Narsilio G., Johnston I. 2013.** Numerical Modelling of Ground Heat Exchangers with Different Ground Loop Configurations for Direct Geothermal Applications. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris. 3343-3346.
7. **Świączny M., Hanuszkiewicz-Drapała M. 2010.** Thermodynamic analysis of ground tubular heat exchangers for air heating up. Model. Inżynierskie Vol. 40, Polit. Śląska Gliwice. 233-239.
8. **Janiszowski K. 2002.** Identyfikacja modeli parametrycznych w przykładach. Akad. Ofic. EXIT Warszawa. 416.
9. **Söderström T., Stoica P. 1997.** Identyfikacja systemów. PWN, Warszawa. 670.
10. **Zimmer A. 1998.** Identyfikacja obiektów i sygnałów. Wyd. Polit. Krakowskiej, Kraków.
11. **Mrozek B., Mrozek Z. 2004.** Matlab i Simulink Poradnik użytkownika. Helion, Gliwice. 348.
12. **Treichel W., Stachurski M. 2009.** Matlab dla studentów. Wyd. Witkom, Warszawa. 168.
13. **Hobler T. 1986.** Ruch cieplny i wymienniki. PWT, Warszaw.
14. **Żelazny M. 1976.** Podstawy automatyki. PWN, Warszawa.
15. **Żukowski M. 2007.** Projektowanie sond gruntowych. Ciepł. Ogrzew. Went. Nr 9. 26-31.

16. **Firląg S., Majkowski M. 2004.** Projekt gruntowego wymiennika ciepła. Narod. Agencja Poszanow. Energii S.A., Warszawa. 19.
17. **Rutkowski K. 2007.** Analiza wydajności pionowego wymiennika dolnego źródła pompy ciepła. Inż. Rol. 6(94). 213-222.
18. **Kurpaska S., Latała H. 2008.** Efektywność pracy pompy ciepła współpracującej z wymiennikami gruntowymi. Inż. Rol. 6(104). 105-112.
19. **Fic A., Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J. 2006.** Analiza numeryczna wymiennika gruntowego pompy grzewczej ulokowanego w rejonie zrzutu ścieków. Model. Inżynierskie Polit. Śląska nr.32. 143-150.
20. **Hanuszkiewicz-Drapała M. 2009.** Modelowanie zjawisk cieplnych w gruntowych wymiennikach ciepła pomp grzewczych z uwzględnieniem oporów przepływu czynnika pośredniczącego. Model. Inżynierskie Polit. Śląska nr.38. 57-67.
21. **Pudlik W. 2008.** Wymiana i wymienniki ciepła. Wyd. Polit. Gdańska, Gdańsk.
22. **Kiszczał A., Chochowski A. 2007.** Ocena efektywności instalacji grzewczej wykorzystującej układ pompa ciepła – wymiennik grunto-wy. Ciepł. Ogrzew. Went., nr 3. 8-12.
23. **Czekalski D., Chochowski A., Obstawski P. 2006.** Badania eksploatacyjne wymiennika gruntowego. Ciepł. Ogrzew. Went. Nr 7-8. 37-40
24. **Ljung L. 2010.** System Identification Toolbox 7 – User's Guide. The MathWorks, Inc., Natick. 274.
25. **Wojcicka-Migasiuk D., Chochowski A., Syrotyuk S. 2014.** The local hybrid power system. Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. – Vol. 16. – No 4. – Lublin – Rzeszow. pp.105-111.
26. **Syrotyuk S.V., Halchak V.P. 2014.** Model laboratoryjny do badania transformacji energii w instalacji pompy ciepła. Materiały X Ogólnoukraińska konferencja naukowo-techniczna "Problemy rolników specjalistów w instytucjach edukacyjnych wyższego i kształcenia zawodowego" 26-27 marca 2014 r. – Kamenets-Podolski: Wydawca prywatne Zvolenko D.G. 175-177.
27. **Wojcicka-Migasiuk D., Chochowski A., Syrotyuk S. 2014.** Doświadczenia współpracy międzynarodowej w rozwoju urządzeń hybrydowych systemów energetycznych. Aktualności Lvivskiego NUR: Badania agroinżynierskie. – №18. 353-362.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ МАШИНЫ

*Евгений Дубинин, Александр Полянский, Андрей Молодан,
Дмитрий Клец, Вячеслав Плетнёв*

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
Ул. Петровского, 25, Харьков, Украина. E-mail: khadi.pas@gmail.com*

*Yevgeniy Dubinin, Alexander Polyanskyi, Andriy Molodan,
Dmytro Klets, Vyacheslav Pletnev*

*Kharkiv National Automobile and Highway University
Str. Petrovskogo, 25, Kharkiv, Ukraine. E-mail: khadi.pas@gmail.com*

Аннотация. Предложен усовершенствованный метод диагностирования рулевого управления шарнирно-сочлененной колесной машины, существенно влияющего на безопасность ее использования, на основе использования угловых ускорений секций в плоскости дороги в качестве диагностического параметра. Получена зависимость для определения угловых ускорений для случая произвольной установки двух датчиков мобильного регистрационно-измерительного комплекса на машине, что позволяет повысить точность измерений. В соответствии с предложенным подходом была разработана программа-методика диагностирования работоспособности рулевого управления на примере шарнирно-сочлененных колесных тракторов. Проведены экспериментальные исследования по диагностированию рулевого управления колесных машин с различной наработкой (от 30 до 6000 часов работы). Полученные с помощью мобильного регистрационно-измерительного комплекса линейные ускорения, для повышения точности, фильтровались с помощью фильтра Баттерворта. Результаты экспериментальных исследований на тракторах с различной наработкой описываются экспоненциальным законом распределения случайных величин. Сравнение полученных результатов для машин с существенными наработками с номинальными значениями диагностических параметров, полученными для новой машины, позволяет оценить техническое состояние гидрообъемного рулевого управления в процессе эксплуатации. Проведенные экспериментальные исследования показали, что при наработке до 6000 часов диагностический параметр ε может уменьшаться до 15%. Полученные результаты могут быть использованы при ремонте и эксплуатации шарнирно-сочлененных колесных машин.

Ключевые слова: метод, угловое ускорение, работоспособность, рулевое управление, шарнирно-сочлененный.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время, при эксплуатации машины, работы по поддержанию и восстановлению ее работоспособного состояния характеризуются значительными затратами труда, материальных и денежных средств. Неправильно выполненная обкатка, нарушение режимов работы, периодичности и пол-

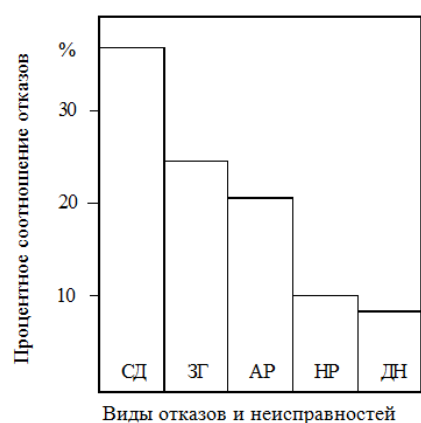
ноты проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту, отсутствие необходимого инструмента и принадлежностей, применение топлива и смазочных материалов низкого качества повышают интенсивность возникновения отказов, требуют больших затрат на обеспечение работоспособного состояния машин, их агрегатов и систем.

В условиях эксплуатации контроль и обеспечение работоспособности систем, влияющих на безопасность использования колесных машин, являются одними из приоритетных задач. К таким системам, в первую очередь, относятся рулевое управление и тормозная система. При отказах в рулевом управлении возможно возникновение аварийных ситуаций, в том числе и приводящих к опрокидыванию колесной машины. Для шарнирно-сочлененных машин, которые осуществляют поворот при помощи гидрообъемного рулевого управления путем взаимного складывания секций, его работоспособность влияет как на устойчивость движения, так и на устойчивость положения. Поэтому разработка и совершенствование методов оценки работоспособности рулевого управления шарнирно-сочлененных машин являются актуальными.

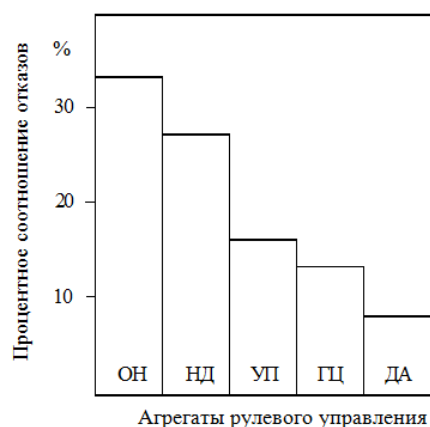
АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Известны работы [1-13], связанные с оценкой надежности и разработкой методов обеспечения высоких эксплуатационных свойств машин. В них отражены основные подходы к обеспечению надежности как машины в целом [1-4, 6, 7], так и отдельных агрегатов и систем [5, 8-10]. Известно, что затраты за все время эксплуатации машины значительно превышают соответствующие затраты на ее изготовление. Одними из систем машин, обладающих недостаточным уровнем надежности в эксплуатации, являются гидравлические системы [14-16]. Так, в работе [17] был проведен анализ надежности гидрообъемного рулевого управления, которое применяется на шарнирно-сочлененных машинах. Авторами установлено, что снижение давления рабочей жидкости ниже требований технических условий является определяющим параметром состояния гидропривода рулевого управления, который влияет на его надежность.

В результате проведенных исследований работоспособности в рядовой эксплуатации пяти тракторов серии ХТЗ-170 при наработке до 6000 часов были обнаружены 26 неисправностей и отказов [17]: снижение давления жидкости в гидроприводе ниже значений, предусмотренных техническими условиями (СД), засорение гидропривода (ЗГ), автоколебания и рывки (АР); нарушение регулировок (НР) и другие неисправности (ДН), к которым отнесены механические повреждения, подтекание рабочей жидкости, выброс жидкости и пены через сапун бака и т.д. Неисправности и отказы распределены по агрегатам гидрообъемного рулевого управления: объемный насос (ОН), насос-дозатор (НД), усилитель потока (УП), гидроцилиндры (ГЦ) и другие агрегаты (ДА), к которым отнесены трубопроводы, обратные клапаны (рис. 1).



а)



б)

Рис.1. Распределение неисправностей и отказов гидрообъемного рулевого управления выборки тракторов серии ХТЗ-170 за 6000 часов работы: а – по видам; б – по агрегатам

Fig.1. The distribution of faults and failures of hydrostatic steering control of tractors KHTZ-170 sample series during the 6000 hours of operation: а – by types; б – by units

Снижение давления в гидроприводе рулевого управления существенно влияет на время его срабатывания при поворотах руля, что негативно сказывается на безопасности использования таких машин. При отказах рулевого управления возможны дорож-

но-транспортные происшествия (ДТП), связанные с потерей управляемости и устойчивости при движении. Отказ системы в данном случае происходит на определенном временном промежутке и сопровождается потерей давления, поэтому оценка надежности работы возможна в процессе эксплуатации машины или при прохождении технического обслуживания (ТО).

В работе [18] предложен экспресс-метод диагностирования рулевого управления шарнирно-сочлененных машин. Он основан на оценке линейных ускорений и времени одного поворота. Для этого используется мобильный регистрационно-измерительный комплекс (МРИК) [19] с соответствующим программным обеспечением. В работах [20-22] предложены различные схемы для определения кинематических параметров средства транспорта при произвольной установке датчиков в плоскости дороги.

Предложенный экспресс-метод [18] позволяет оценить отклонение диагностируемых параметров трактора, находящегося в эксплуатации, относительно их эталонных значений. Однако указанный подход не предусматривает определение одного из важнейших параметров работы рулевого управления шарнирно-сочлененных машин – мгновенных угловых ускорений их секций в плоскости дороги.

Таким образом, значительное количество отказов рулевого управления и отсутствие доступных методов диагностирования его важнейших параметров приводит к необходимости дальнейшего исследования вопроса оценки работоспособности рулевого управления шарнирно-сочлененных машин в условиях эксплуатации.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследования является совершенствование метода диагностирования рулевого управления шарнирно-сочлененной колесной машины на основе использования угловых ускорений секций в плоскости дороги в качестве диагностического параметра. Для достижения поставленной цели необходимо:

- решить задачу определения угловых ускорений секций при повороте в плоскости дороги с учетом особенностей конструкции шарнирно-сочлененных машин;
- провести экспериментальное определение параметров работы рулевого управления шарнирно-сочлененных машин с различной наработкой.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для повышения точности оценки работоспособности рулевого управления предложен усовершенствованный метод, основанный на определении угловых ускорений секций шарнирно-сочлененной колесной машины в плоскости дороги. Для этого на каждую секцию устанавливается по 2 датчика линейных ускорений.

На рис. 2 приведена принципиальная схема их установки на машине.

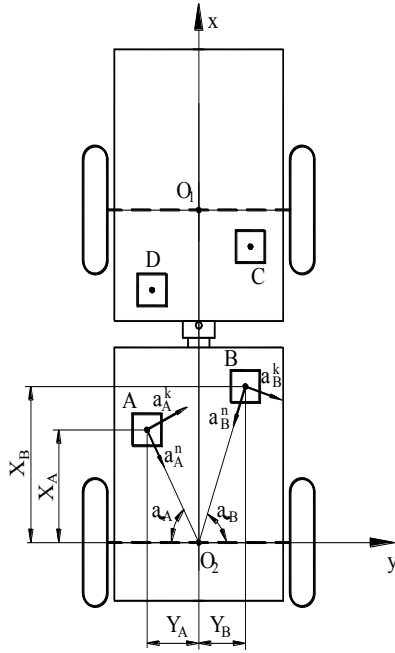


Рис. 2. Схема расположения датчиков на шарнирно-сочлененной машине

Fig. 2. The arrangement of sensors on the articulated machine

Рассмотрим определение параметров движения на примере задней секции машины. Вращение каждой секции осуществляется вокруг собственного центра – середины моста, движение которых при повороте секций в плоскости дороги осуществляется вдоль оси OX . Смещением точек O_1 и O_2 вдоль оси OX при повороте секций пренебрегаем вследствие малости углов складывания машины.

Для оценки технического состояния рулевого управления необходимо установить машину на ровной горизонтальной сухой поверхности с асфальтовым или бетонным покрытием, повернуть руль "от упора до упора" с максимальной интенсивностью не менее 3 раз в каждую сторону. Частота возмущающего воздействия на колесную машину при этом составляет 0,2 Гц. МРИК в режиме реального времени записывает величины продольных a_x и боковых a_y линейных ускорений в плоскости дороги. При этом погрешность измерений не превышает 4%. Полученные с помощью МРИК линейные ускорения, для повышения точности, фильтруются с помощью фильтра Баттерворта [23]. Далее линейные ускорения пересчитываются по соответствующей зависимости в угловые ускорения, которые усредняются с использованием известных методов математической статистики.

Компоненты ускорений точек A и B (в которых установлены датчики ускорений на задней секции шарнирно-сочлененной машины):

$$a_A^k = \varepsilon l_{AO_2}, \quad a_B^k = \varepsilon l_{BO_2}, \quad (1)$$

$$a_A^n = \omega^2 l_{AO_2}, \quad a_B^n = \omega^2 l_{BO_2}. \quad (2)$$

Компоненты ускорений точек A и B в направлении координатных осей O_2X и O_2Y определяются по формулам:

$$a_{AY} = a_A^n \cos \alpha_A + a_A^k \sin \alpha_A = l_{AO_2} (\omega^2 \cdot \cos \alpha_A + \varepsilon \cdot \sin \alpha_A), \quad (3)$$

$$a_{AX} = a_A^k \cos \alpha_A - a_A^n \sin \alpha_A = l_{AO_2} (\varepsilon \cdot \cos \alpha_A - \omega^2 \cdot \sin \alpha_A), \quad (4)$$

$$a_{BY} = -a_B^n \cos \alpha_B + a_B^k \sin \alpha_B = l_{BO_2} (-\omega^2 \cdot \cos \alpha_B + \varepsilon \cdot \sin \alpha_B), \quad (5)$$

$$a_{BX} = -a_B^k \cos \alpha_B - a_B^n \sin \alpha_B = -l_{BO_2} (\varepsilon \cdot \cos \alpha_B + \omega^2 \cdot \sin \alpha_B). \quad (6)$$

Средние значения компонент ускорений точек A и B по осям O_2X и O_2Y в этом случае составляют

$$\begin{aligned} \bar{a}_Y &= \frac{1}{2} (a_{AY} + a_{BY}) = \\ &= \frac{1}{2} \omega^2 (l_{AO_2} \cos \alpha_A - l_{BO_2} \cos \alpha_B) + \\ &+ \frac{1}{2} \varepsilon (l_{AO_2} \cdot \sin \alpha_A + l_{BO_2} \sin \alpha_B) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{a}_X &= \frac{1}{2} (a_{AX} + a_{BX}) = \\ &= \frac{1}{2} \varepsilon (l_{AO_2} \cdot \cos \alpha_A - l_{BO_2} \cdot \cos \alpha_B) - \\ &- \frac{1}{2} \omega^2 (l_{AO_2} \cdot \sin \alpha_A + l_{BO_2} \cdot \sin \alpha_B) \end{aligned} \quad (8)$$

В уравнениях (7) и (8), при условии $Y_A < 0$ и $Y_B > 0$ (согласно рис. 2)

$$l_{AO_2} \cdot \cos \alpha_A - l_{BO_2} \cdot \cos \alpha_B = -Y_A - Y_B, \quad (9)$$

$$l_{AO_2} \cdot \sin \alpha_A + l_{BO_2} \cdot \sin \alpha_B = X_A + X_B. \quad (10)$$

Из выражений (7) и (8) составим, с учетом (9) и (10), систему уравнений:

$$\begin{cases} \bar{a}_Y = -\frac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot (Y_A + Y_B) + \\ + \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot (X_A + X_B); \\ \bar{a}_X = -\frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot (Y_A + Y_B) - \\ - \frac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot (X_A + X_B). \end{cases} \quad (11)$$

Решая полученную систему, определим диагностический параметр (величину углового ускорения в плоскости дороги):

$$\varepsilon = \frac{(a_{AY} + a_{BY}) \cdot (X_A + X_B) - (a_{AX} + a_{BX}) \cdot (Y_A + Y_B)}{(Y_A + Y_B)^2 + (X_A + X_B)^2}. \quad (12)$$

Таким образом, в результате исследований получена зависимость для определения диагностического параметра в виде угловых ускорений секций в плоскости дороги ε для случая произвольной установки двух датчиков.

В соответствии с предложенным подходом было проведено диагностирование работоспособности рулевого управления на примере шарнирно-сочлененных колесных тракторов. На рис. 3 представлены места крепления датчиков на полурамах секций.



а)



б)

Рис. 3. Установка датчиков МРИК на шарнирно-сочлененной машине: а – на передней секции; б – на задней секции

Fig. 3. Installation of MRIK sensors on the articulated machine: а – on the front section; б – on the rear section

Результаты представлены в виде графиков угловых ускорений в плоскости дороги (рис. 4). Результаты проведения экспериментальных исследований на тракторах с различной наработкой представлены в виде графиков диагностических параметров ε (рис. 5).

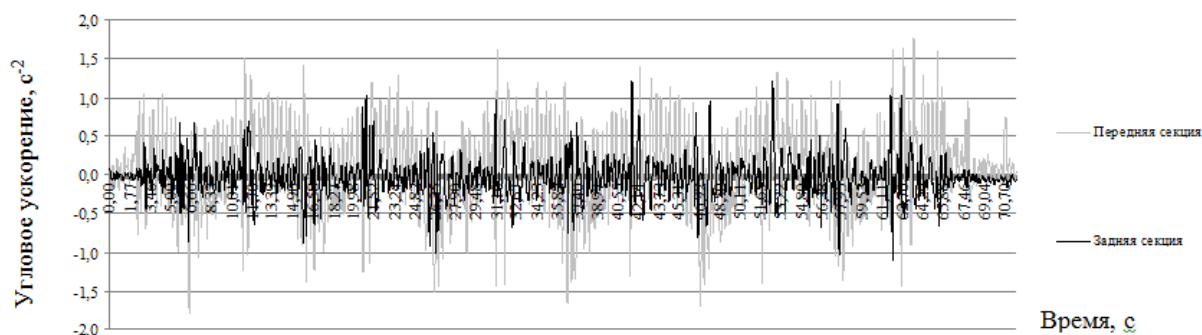


Рис. 4. Графики диагностических параметров рулевого управления шарнирно-сочлененной машины с наработкой 6000 часов

Fig. 4. Graphics of the articulated machines steering diagnostic parameters with operating time of 6000 hours

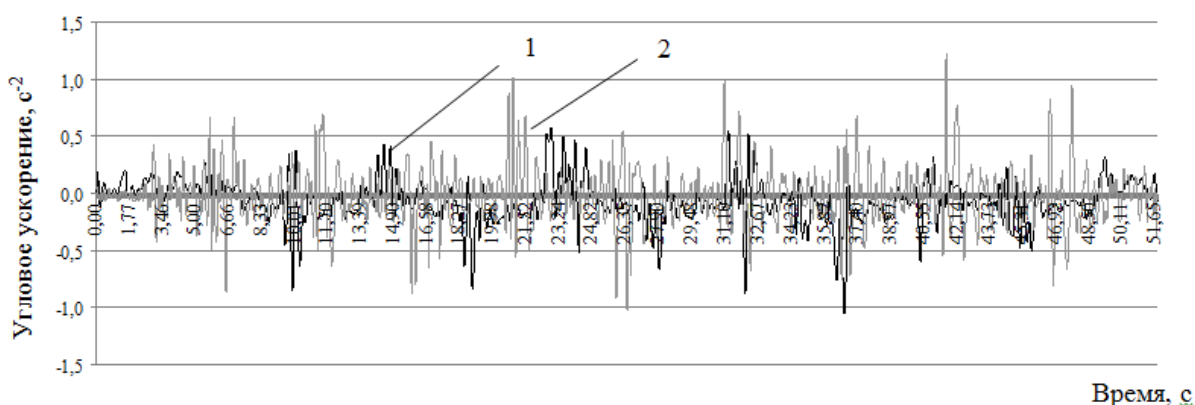


Рис. 5. Графики диагностических параметров рулевого управления шарнирно-сочлененных тракторов в различном техническом состоянии: 1 – наработка 30 часов; 2 – наработка 6000 часов

Fig. 5. Graphics of the articulated tractors steering diagnostic parameters in different technical conditions: 1 – operating time 30 hours; 2 – operating time 6000 hours

Статистическая обработка полученных результатов позволила определить средние угловые ускорения секций в плоскости дороги, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты статистической обработки экспериментальных данных

Table 1. Results of statistical processing of experimental data

Трактор	Диагностический параметр ε , с^{-2}	Критерий Std. Err.
наработка 30 часов	0,18	0,004
наработка 6000 часов	0,16	0,004

Результаты экспериментальных исследований на тракторах с различной наработкой описываются экспоненциальным законом распределения случайных величин. На рис. 6 представлена гистограмма распределения угловых ускорений для трактора с наработкой 6000 часов.

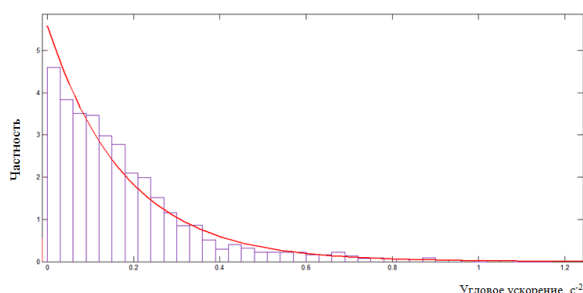


Рис. 6. Гистограмма распределения угловых ускорений при складывании трактора

Fig. 6. The distribution histogram of the angular acceleration during the tractors folding

Сравнение полученных результатов для машин с существенными наработками с номинальными значениями диагностических параметров, полученными для новой машины, позволит оценить техническое состояние гидрообъемного рулевого управления шарнирно-сочлененных колесных машин в процессе эксплуатации.

ВЫВОДЫ

1. Получена зависимость для определения угловых ускорений секций шарнирно-сочлененной колесной машины в плоскости дороги при произвольной установке датчиков линейных ускорений.

2. С использованием полученной зависимости предложен усовершенствованный метод оценки работоспособности рулевого управления, учитывающий особенности конструкции колесных шарнирно-сочлененных машин.

3. Проведенные экспериментальные исследования по диагностированию рулевого управления шарнирно-сочлененных машин с различной наработкой показали, что при наработке до 6000 часов диагностический параметр ε может уменьшаться до 15%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ГОСТ 27.003-90. 1991.** Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. – Введ. 01.01.92. – М.: Изд-во стандартов, 25.
2. **ГОСТ 24925-81. 1981.** Техническая диагностика. Тракторы. Приспособленность к диагностированию. Общие технические требования. – Введ. 01.01.83. – М.: Изд-во стандартов, 17.
3. **Калабро С.Р. 1966.** Принципы и практические вопросы надежности / Калабро С.Р.: пер. с англ. Д.Ю. Панова. – М.: Машиностроение, 376.
4. **Проников А.С. 1978.** Надежность машин / Проников А.С. – М.: Машиностроение, 592.
5. **Лебедев А.Т. 1982.** Разработка способов повышения работоспособности гидроприводов тракторных агрегатов на основе их диагностирования: автореф. дисс. – Минск, 35.
6. **Топилин Г.Е. 1983.** Оценка приспособленности тракторов к диагностированию / Г.Е. Топилин // Тракторы и сельхозмашины. – №9. 3-7.
7. **Ротенберг Р.В. 1986.** Основы надежности системы водитель-автомобиль-дорога-среда / Ротенберг Р.В. – М.: Машиностроение, 216.
8. **Полянский А.С. 2004.** Формирование свойств надёжности автотракторных двигателей в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации: диссертация. – Х., 381.
9. **Полянский А.С. 2004.** Обеспечение надежности автотракторной техники использованием современных стратегий мониторинга и диагностирования / А.С. Полянский, Е.А. Дубинин, А.А. Молодан, А.В. Степанов // Вестник ХГТУСХ. Технический сервис АПК. Техника и технологии в сельскохозяйственном машиностроении. – Вып. 23. – Х. 111-118. (Украина).
10. **Кухтов В.Г. 2004.** Долговечность деталей шасси колесных тракторов / Кухтов В.Г. – Х., 292.
11. **Полянский А.С. 2014.** Повышение безопасности выполнения транспортных работ колесными средствами транспорта / А.С. Полянский, Д.М. Клец, Е.А. Дубинин, В.В. Задорожная, Н.М. Кириенко // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin-Rzeszow. – Vol. 16, No. 7. 125-130.
12. **Дубинин Е.А. 2015.** Оценка влияния гироскопических моментов колес на устойчивость машины / Е.А. Дубинин, А.С. Полянский, Д.М. Клец // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin-Rzeszow. – Vol. 17, No. 7. 17-22.
13. **Полянский А.С. 2013.** Диагностирование тормозного управления средств транспорта на основе метода парциальных ускорений / А.С. Полянский, Е.А. Дубинин, В.Н. Плетнев // Новые технологии – для защиты воздушного пространства: 9 научн. конф., 17-18 апреля 2013 г.: тезисы докл. – Х. 240. (Украина).

14. **Хачук Д.М. 2002.** Анализ систем предотвращения утечек рабочей жидкости при разгерметизации гидроприводов тракторов и сельхозмашин / Д.М. Хачук // Тракторная энергетика в растениеводстве. – Вып. 5. – Х. 296-302.
15. **Волох В.О. 1996.** Повышение функциональной стабильности гидропривода коробки передач трактора с переключением на ходу при выполнении основных технологических операций: автореф. дисс. – Х., 25. (Украина).
16. **Скляр А.Г. 1994.** Повышение работоспособности гидропривода коробки передач трактора с переключением без разрыва потока мощности: автореф. дисс. – Х., 20.
17. **Лебедев С.А. 2015.** Определяющий параметр состояния гидрообъемного рулевого управления трактора / С.А. Лебедев, В.С. Шеин, Н.П. Артемов, И.В. Колесник // Вестник НТУ «ХПИ». – № 8 (1117). 11-18. (Украина).
18. **Подригало М.А. 2015.** Экспресс-метод диагностирования рулевого управления шарнирно-сочлененных машин / М.А. Подригало, А.И. Коробко, О.А. Назарко, Ю.А. Радченко // Научное обеспечение служебно-боевой деятельности Национальной гвардии Украины: VI научн.-практ. конф., 9 апреля 2015 г.: тезисы докл. – Х. 45-46. (Украина).
19. **Патент 51031, МПК(2010) G01P 3/00.** Система для определения параметров движения автотранспортных средств при динамических (квалиметрических) испытаниях / М.А. Подригало, А.И. Коробко, Д.М. Клец, В.Л. Файст. – №u2010001136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12. (Украина).
20. **Клец Д.М. 2009.** Влияние эксплуатационных факторов и технического состояния автомобиля на его устойчивость против заноса: автореф. дисс. – Х. 20. (Украина).
21. **Подригало М.А. 2009.** Метрологическое обеспечение динамических испытаний тягово-транспортных машин / М.А. Подригало, А.И. Коробко, Д.М. Клец, В.И. Гацько // Вестник ХНТУСХ им. П. Василенко. Тракторная энергетика в растениеводстве. – Вып. 89. 87-89. (Украина).
22. **Клец Д.М. 2014.** Метод определения параметров движения средств транспорта с помощью датчиков ускорений / Д.М. Клец, Е.А. Дубинин // Вестник ХНТУСХ им. П. Василенко. Проблемы надежности машин и средств механизации сельскохозяйственного производства. – Вып. 151. 373-378. (Украина).
23. **Электронные системы контроля устойчивости: ECE/TRANS/180/ Add.8. 2008.** – [Введены в Глобальный регистр. 2008-06-26] – Женева: Глобальный регистр. Организация объединённых наций, 116.

IMPROVING OF THE ARTICULATED VEHICLE STEERINGS DIAGNOSING METHOD

Summary. The improved method of articulated wheeled vehicle steering diagnosing that significantly affects on the safety of its usage, through the usage of angular accelerations of the sections in the road plane as a diagnostic parameter is proposed. The dependence for determining the angular accelerations for the case of arbitrary installation of two sensors of the mobile registration-measuring system on the machine, which improves the measurement accuracy, is obtained. In accordance with the proposed approach was developed the program-method of diagnosing steering performance on the example of the articulated wheeled tractors. Experimental studies on the diagnosis of wheeled machines steering control with different operating time (from 30 to 6000 hours of operation) are held. Obtained by using the mobile registration-measuring system linear acceleration, for improved accuracy, were filtered by using the Butterworth filter. The results of experimental studies on tractors with different operating time are described by the exponential distribution law of random variables. Comparison of the obtained results for machines with significant operating time with nominal values of diagnostic parameters, obtained for the new machine, allows evaluate the technical state of the hydrostatic steering during its operation. Experimental studies have shown that at an operating time about 6000 hours the diagnostic parameter ε may be reduced to 15%. The obtained results can be used at the repair and operation of articulated wheeled vehicles.

Key words: method, angular acceleration, operability, steering, articulated.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЛИЯНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЕКТОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА КУЛЬТУР

Александр Сидорчук¹, Йосиф Колодий², Павло Луб³, Николай Рудинец⁴

¹ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

Ул. Вокзальная, 11, Глеваха, Украина. E-mail: sydov@ukr.net

²Польская академия наук, Люблинское отделение

Пл. Литевски, 2, Люблин, Польша. E-mail: lublin@pan.pl

³Львовский национальный аграрный университет

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

⁴Луцкий национальный технический университет

Ул. Львовская, 75, Луцк, Украина. E-mail: rudinetc@mail.ru

Oleksandr Sydorchuk¹, Yosyf Kolodiy², Pavlo Lub³, Mykola Rudynets⁴

¹National scientific center "Institute of mechanization and electrification of agriculture"

St. Vokzalna, 11, Glevaha, Ukraine. E-mail: sydov@ukr.net

²Polish academy of sciences, Lublin department

St. Litevsky, 2, Lyublin, Poland. E-mail: lublin@pan.pl

³Lviv national agrarian university

St. V. Velykyu, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: pollylub@ukr.net

⁴Lutsk National Technical University

St. Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine. E-mail: rudinetc@mail.ru

Аннотация. Отмечены особенности реализации проектов возделывания почвы и посева сельскохозяйственных культур. В частности, эти проекты рассматриваются на уровне технической оснастки и предмета труда (растения и питательного слоя почвы) как главной группы составляющих, которые под действием агрометеорологических условий совокупно влияют на объемы полученной продукции. Акцентируется на важности учета агрометеорологических условий, темпов роста и развития растений, их влияния на соответствующие работы выращивания, а также на параметры технической оснастки проектов.

Раскрыты особенности влияния агрометеорологических условий на сроки выполнения механизированных технологических процессов полеводства и риск показателей их эффективности.

Выделена предметная составляющая этих процессов, описаны ее особенности и зависимость темпов изменения качественных показателей от действия агрометеорологических условий. На этом основании, обобщены предпосылки возникновения изменчивости сроков начала и длительности выполнения соответствующих механизированных технологических процессов, которые формируют показатели эффективности проектов.

Обозначены источники получения данных, методика их обработки и методика формирования статистических закономерностей для моделирования агрометеорологических условий периода функционирования соответствующих технологических систем. Приведены результаты обработки данных наблюдений метеостанций относительно влияния агрометеорологических условий на естественно

предопределенные сроки выполнения полевых сельскохозяйственных механизированных технологических процессов весеннего и летне-осеннего периодов.

Выполнено моделирование влияния агрометеорологических условий весеннего и летне-осеннего периода на сроки и длительность естественно разрешенного фонда времени на выполнение соответствующих механизированных технологических процессов. Представлены результаты моделирования и обоснованы статистические закономерности этого показателя для соответствующего календарного периода.

Ключевые слова: полеводство, агрометеорологические условия, изменчивость, моделирование, техническая оснастка, проекты, технологические системы, эффективность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Эффективность полевых сельскохозяйственных механизированных технологических процессов (МТП) сельскохозяйственных товаропроизводителей (СХП) зависит от согласованности составных соответствующих технологических систем (ТС) [1, 13, 16]. Эта согласованность достигается при соответствии между объемами работ и параметрами технической оснастки МТП ТС, при которых соответствующий перечень работ необходимо выполнить в условиях естественно ограниченного фонда времени. Этот фонд времени предопределяется темпами роста и развития сельскохозяйственных растений, содержанием механизированных работ (технологических операций). Он также зависит от агрометеорологических условий, которые определяют темпы роста и развития растений, а также возможность работы техники

на полях в следствие неблагоприятных погодных условий. Моделирование этих "естественных" процессов лежит в основе оценивания показателей эффективности технической оснастки для выполнения МТП с учетом стохастического влияния агрометеорологических условий. Отсутствие таких моделей является проблемой, которая снижает эффективность управления полеводческими проектами.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Значительное количество последних научных публикаций относительно исследования полеводческих ТС [4, 7, 12, 15, 17-19], базируется на использовании метода статистического имитационного моделирования, или так называемого метода Монте-Карло [14, 20]. Этот метод дает возможность "воспроизводить" с помощью совокупности моделей производственные условия функционирования технической оснастки. Он построен на основании потока заказов (требований) на выполнение механизированных работ, который дает возможность учесть стохастическое влияние агрометеорологических условий на временные характеристики этих заказов, отобразить их изменчивость в разрезе определенного календарного периода времени, оценить влияние на показатели эффективности МТП с соответствующей технической оснасткой. Однако, для разработки таких статистических имитационных моделей и их использования для исследований полеводческих ТС необходимо владеть закономерностями влияния агрометеорологических условий на состояние культуры, почвы, темпы изменения их качественного состояния, а также на соответствующие временные ограничения выполнения МТП. Для этого необходимо выполнить производственные наблюдения, систематизировать и обработать их результаты, обосновать соответствующие статистические закономерности для отображения в статистических имитационных моделях ТС, а следовательно выполнение компьютерных экспериментов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель статьи – обобщить результаты производственных наблюдений и смоделировать влияние агрометеорологических условий на сроки и темпы выполнения МТП полеводства.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Особенностью полеводческих ТС является то что состояние предмета труда в значительной мере зависит от агрометеорологической составляющей. В частности, предметом труда ТС выращивания сельскохозяйственных культур является плодородный слой почвы и растение на поле. Их качественное состояние, физико-механические свойства, а также темпы изменения этих показателей во времени зависят от влияния агрометеорологических условий. Такая неуправляемая сущность предмета труда формирует особые требования к срокам и темпам выполнения МТП, а также определяет содержание и целесообразность выполнения отдельных технологических операций. Это также влияет на параметры

технической оснастки соответствующих ТС и стохастичность показателей эффективности [11].

Учет действия агрометеорологических условий во время исследования влияния составляющих полеводческих ТС на показатели эффективности их проектов происходит на основе моделирования календарных сроков и темпов роста и развития сельскохозяйственных культур. В частности, агрометеорологические условия формируют сроки начала весеннего и завершения осеннего периода работ, а следовательно и темпы выполнения соответствующих МТП [7].

При раннем начале весны темпы прогревания почвы являются незначительными [11], что объективно формирует сравнительно большую длительность естественно разрешенного фонда времени ($t_{но}$) на выполнение весенне-полевых работ (рис. 1).

При таких условиях, техническая оснастка (которая, в частности, рассчитана на выполнение определенного объема работ для средних сроков начала весны) обеспечит выполнение МТП вовремя с простом техники из-за отсутствия работы. При поздней весне темпы прироста температуры воздуха являются высокими, что предопределяет быстрое прогревание почвы и значительное сокращение длительности $t_{но}$. В этом случае, весенне-полевые работы необходимо выполнять быстро. При имеющейся технической оснастке, рассчитанной на среднюю длительность $t_{но}$, это невозможно достичь, что предопределяет несвоевременность выполнения МТП и снижение их эффективности.

Темпы роста и развития растения в следующих фенологических фазах также зависят от действия агрометеорологических условий, в частности от влаги, температуры и фотосинтетически-активной радиации [3, 6]. Их достаточность или недостаток аналогично будет отражаться на развитии растений, сроках и темпах выполнения МТП, а следовательно и на урожайности.

Следует отметить, что агрометеорологические условия также влияют на развитие болезней и вредителей растений. В частности, много осадков предопределяет чрезмерную влажность растений, стимулирует развитие сорняков, вредителей, плесени и болезней. В этом случае, необходимо выполнить МТП из химической защиты растений в той или иной кратности, что предопределено сроками и объемами возникновения соответствующих болезней и вредителей.

Весомым является также влияние агрометеорологических условий и на этапе созревания сельскохозяйственных культур. В частности, неблагоприятные погодные условия в период созревания зерновых приводят к получению зерна низшего (кормового) качества. Они влияют на выбор технологии комбайновой уборки урожая (прямого или двухфазного) на этапе формирования зерна, а также его подсыхания на протяжении молочной, восковой и полной спелости.

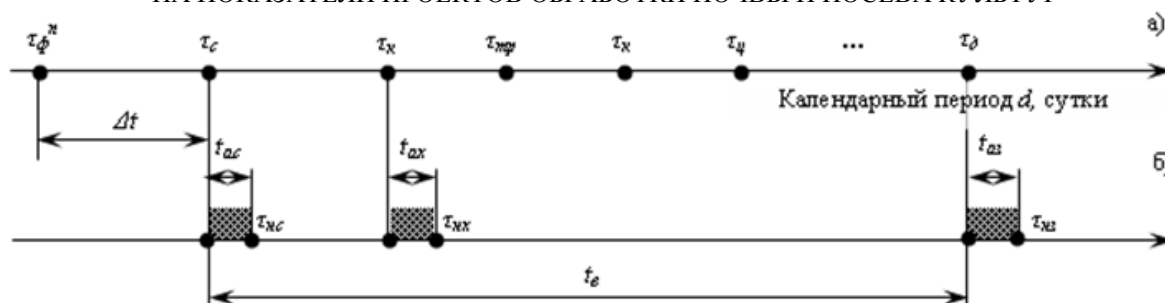


Рис. 1. Агроклиматологически и предметно-биологически предопределенные сроки механизированных технологических процессов в весенне-летний период: а) события роста и развития растений; б) сроки и темпы выполнения технологических операций; τ_{ϕ}^n – время начала физической спелости почвы в весенний период, сутки; Δt – длительность прогревания почвы для начала посева культуры, суток; $\tau_c, \tau_k, \tau_{tp}, \tau_k, \tau_c, \tau_r$ – соответственно время начала посева, кушения, роста стебля, колошения, цветения и созревания культуры, сутки; t_{ac}, t_{ax}, t_{az} – соответственно агротехнически-оптимальная длительность операций посева, химической защиты растений и уборки урожая, суток; $\tau_{nc}, \tau_{nx}, \tau_{nz}$ – соответственно время начала потерь урожая в результате несвоевременного посева, химической защиты растений и уборки, сутки; t_e – длительность вегетации растения, суток.

Fig. 1. Agrometeorological and biological predefined terms of the mechanized technological processes in a spring-summer period: а) events of agricultural culture height; б) terms and rates of technological operations; τ_{ϕ}^n – moment of physical soil ripeness beginning in a spring period, day; Δt – duration of soil warming to the temperature of culture sowing, day; $\tau_c, \tau_k, \tau_{tp}, \tau_k, \tau_c, \tau_r$ – accordingly moment of sowing beginning, bushing out, appearance of tube, earing, flowering and ripening of culture, day; t_{ac}, t_{ax}, t_{az} – accordingly agrotechnical-optimal duration of technological operation of sowing, chemical defense of plants and harvesting, day; $\tau_{nc}, \tau_{nx}, \tau_{nz}$ – accordingly moment of harvest losses beginning through the sowing delay, chemical defense of plants and harvest, day; t_e – duration of culture vegetation, day.

Неблагоприятное влияние агроклиматологических условий может также отразиться на темпах выполнения МТП. В частности, возникновение ненастных промежутков в период выполнения технологических операций предопределяет их приостановку, изменения сроков завершения, а следовательно предопределяет риск технологических потерь, уменьшение урожая и снижения эффективности полеводства.

Относительно МТП, которые выполняют в летне-осенний период, их длительность также агроклиматологически-предметно ограничена. На основании этого природного явления формируется длительность (t_{no}) естественно разрешенного фонда времени для соответствующих МТП, в частности, возделывания почвы и посева озимых культур.

Учет этих особенностей ТС механизированного выращивания сельскохозяйственных культур дает возможность объективно оценить показатели эффективности МТП полеводства, а следовательно обосновать параметры специализированной технической оснастки. Сложность решения этого задания заключается в том, что агроклиматологические условия стохастические, их влияние на состояние почвы и темпы роста и развития растений является переменчивым. Это предопределяет риск эффективности соответствующего производства, а также потребность применения специфических методов моделирования для исследования статистических закономерностей изменения показателей эффективности соответствующих МТП. К таким специфическим методам моделирования относится метод Монте-Карло (метод статистического имитационного моделирования) [14; 20], который дает возможность отобразить реальные МТП в виде формализованных статистических закономерностей наступ-

ления событий возникновения качественных изменений предмета труда, а также выполнения работ (технологических операций) относительно его качественного превращения. Однако, для создания таких статистических имитационных моделей, а также программного кода виртуальных ТС необходимо владеть базой знаний относительно развития агроклиматологических условий соответствующего сезона, их влияния на темпы роста и развития сельскохозяйственных культур, а также возможность применения соответствующей технической оснастки.

Для определения этих закономерностей использованы результаты наблюдений Яворовской и Дубенской агроклиматологических станций, которые находятся во Львовской и Ровенских областях (Украина) соответственно. На основании информации из ежедневных наблюдений (табличные формы записи – ТСХ- 1, КМ- 1) за атмосферными явлениями, состоянием увлажнения верхнего слоя почвы (на глубине 0-2, 2-10 см) и температурным режимом воздуха и почвы сформирована база данных [3]. На этом основании сформированы вариационные ряды эмпирических данных. Для числового отображения календарных сроков принята дата отсчета – 1 января, относительно которой определено число суток, которые проходят до возникновения тех или других событий.

Начало выполнения технологических операций в весенний период определялось для такого дня, при котором почва находилась в состоянии физической спелости (консистенция – мягкопластичная) [2, 8]. Полученный эмпирический ряд (для периода 1980-2014 гг.) обработан на основании известных методов математической статистики [9], в результате этого построено распределение времени начала (τ_{ϕ}^n)

физической спелости почвы. Это распределение отображается нормальным законом скорректированным многочленом $P(t)$, дифференциальная функция которого описывается уравнением:

$$f(\tau_{\phi}^n) = \frac{P(t)}{33,751} \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_{\phi}^n - 85,674)^2}{362,774} \right], \quad (1)$$

где: $P(t)$ представляет:

$$P(t) = 0,9991 + 0,71 \cdot \frac{\tau_{\phi}^n - 85,674}{13,468} + 0,0018 \cdot \left(\frac{\tau_{\phi}^n - 85,674}{13,468} \right)^2 - 0,237 \cdot \left(\frac{\tau_{\phi}^n - 85,674}{13,468} \right)^3 - 0,0003 \cdot \left(\frac{\tau_{\phi}^n - 85,674}{13,468} \right)^4. \quad (2)$$

Основные статистические характеристики этого распределения следующие: $\bar{M}[\tau_{\phi}^n] = 86$ день; $\bar{\sigma}[\tau_{\phi}^n] = 13,468$; оценка асимметрии – $\bar{A}_s[\tau_{\phi}^n] = -0,71$; оценка эксцесса – $\bar{E}_s[\tau_{\phi}^n] = -0,0009$. Доверительный интервал τ_{ϕ}^n представляет 54...107 суток.

В соответствии с требованиями культур к грунтовым условиям их роста и развития объективно формируются календары сроки, при которых необходимо закончить подготовку почвы в весенний период и начинать технологическую операцию посева.

Для определения закономерностей изменения длительности прогревания почвы к посеву сельскохозяйственных культур в весенний период и, соответственно, срокам начала этих операций нами определено число суток между τ_{ϕ}^n и моментом достижения температуры почвы – 4,6,8,10,12,14 °C на глубине 10 см. Вычитая календарный срок τ_{ϕ}^n от момента достижения соответствующей температуры почвы определяли длительность (Δt) его прогрева-

ния. На основании сформированных рядов эмпирических данных Δt и τ_{ϕ}^n для периода 34 лет (1980-2014 гг.) определено, что Δt уменьшается в соответствии со смещением τ_{ϕ}^n в поздние сроки весеннего периода. Полученные закономерности аппроксимированы полиномом второй степени. О плотности эмпирических данных и приемлемость гипотезы относительно зависимости Δt от τ_{ϕ}^n свидетельствует корреляционное отношение (табл. 1).

Полученные зависимости свидетельствуют о том, что с поздними сроками τ_{ϕ}^n длительность прогревания почвы до температуры 4, 6, и 8 °C следует к $\Delta t \leq 0$. Длительность периода Δt , собственно, и является тем естественно разрешенным фондом времени (t_{no}) на протяжении которого необходимо выполнить подготовку почвы к севу в весенний период. Сокращение t_{no} предопределяет потребность изменения интенсивности выполнения МТП, а следовательно отражается на своевременности и объемах технологических потерь.

С целью получения закономерностей длительности вегетации сельскохозяйственных культур сформированы ряды эмпирических данных относительно календарных сроков посева (τ_c) и сроков возникновения соответствующих фенологических фаз их развития. Промежуток времени между этими сроками отображает длительность вегетации культуры. Построение зависимостей (рис. 2) с соответствующими значениями коэффициентов корреляции (табл. 2) является основанием утверждения, что длительность вегетации рассмотренных сельскохозяйственных культур находится в корреляционной зависимости от времени их посева.

Таблица 1. Уравнение зависимости длительности прогревания почвы на глубине 10 см от времени начала его физической спелости в весенний период

Table 1. Dependence equalization of soil warming duration on a depth 10 cm from the moment of physical ripeness beginning in a spring period

Температура почвы, θ °C	Уравнение зависимости	Корреляционное отношение
4	$\Delta t = 0,0066 \tau_{\phi}^{n^2} - 1,63 \tau_{\phi}^n + 87,236$	0,741
6	$\Delta t = 0,0057 \tau_{\phi}^{n^2} - 1,5552 \tau_{\phi}^n + 92,485$	0,823
8	$\Delta t = 0,0033 \tau_{\phi}^{n^2} - 1,2264 \tau_{\phi}^n + 88,599$	0,812
10	$\Delta t = -0,0016 \tau_{\phi}^{n^2} - 0,5504 \tau_{\phi}^n + 77,967$	0,831
12	$\Delta t = -0,0071 \tau_{\phi}^{n^2} + 0,1468 \tau_{\phi}^n + 70,353$	0,852
14	$\Delta t = -0,0083 \tau_{\phi}^{n^2} + 0,237 \tau_{\phi}^n + 78,632$	0,883

Таблица 2. Уравнение зависимости длительности вегетации сельскохозяйственных культур от времени их посева

Table 2. Dependence equalization of vegetation duration of agricultures from moment of their sowing

Название культуры	До фазы развития	Уравнение зависимости	Коэф. корреляции
Овес	Восковая спелость	$t_e^o = -0,5794 \tau_c^o + 175,94$	-0,870
Яровой ячмень	Полная спелость	$t_e^{яя} = -0,7003 \tau_c^{яя} + 179,36$	-0,813
Яровая пшеница	Полная спелость	$t_e^{яп} = -0,5658 \tau_c^{яп} + 165,15$	-0,770
Картофель	Увядание стебля	$t_e^k = -0,8963 \tau_c^k + 213,49$	-0,667
Гречиха	Созревание	$t_e^c = -0,7804 \tau_c^c + 178,27$	-0,762
Кукуруза на силос	Восковая спелость	$t_e^{kc} = -1,2396 \tau_c^{kc} + 285,62$	-0,704

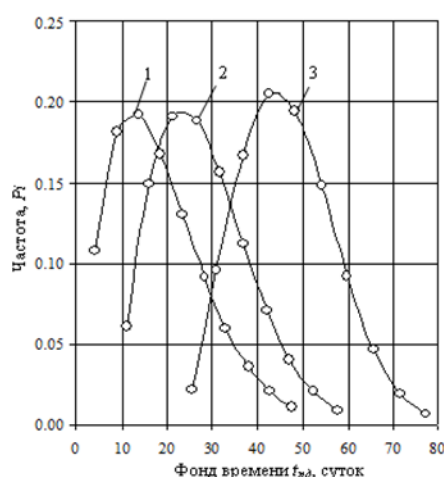


Рис. 2. Зависимость длительности вегетации культур от времени их посева: 1 – яровая пшеница; 2 – ярый ячмень; 3 – овес; 4 – картофель; 5 – кукуруза на силос; 6 – гречиха

Fig. 2. Dependence of cultures vegetation duration on time of their sowing : 1 – wheat; 2 – barley; 3 – oat; 4 – potato; 5 – corn on a silo; 5 – buckwheat

Приведенные закономерности использованы для создания кода компьютерной программы статистической имитационной модели агрометеорологических условий весенне-летнего периода. На этом основании произведено компьютерное моделирование агрометеорологических условий при разных сроках начала весеннего периода и получены вариационные ряды эмпирических значений длительности t_{n0} (рис. 3 та табл. 3) для МТП подготовки почвы и посева морозоустойчивых (t_{n0}^m), холодостойких

(t_{n0}^m) и теплолюбивых культур (t_{n0}^m).

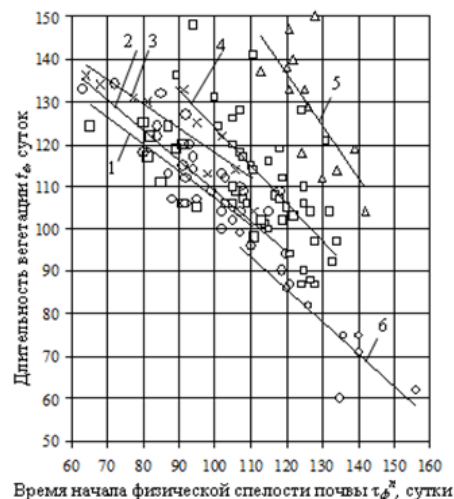


Рис. 3. Распределения длительности естественно разрешенного фонда времени весенней подготовки почвы и посева морозоустойчивых (1), холодостойких (2) и теплолюбивых (3) культур

Fig. 3. Distribution curves of the naturally settled fund of time duration of spring soil preparation and sowing of frost-hardy (1), cold-hardy (2) and heat-loving (3) cultures

Их обработка с использованием методов математической статистики, а также критерия χ^2 -Пирсона, позволила установить теоретический закон распределения длительности естественно разрешенного фонда времени t_{n0} для весенней подготовки почвы и посева культур, которым есть распределение Вейбулла (табл. 3) [9].

Таблица 3. Дифференциальные функции и статистические характеристики длительности естественно разрешенного фонда времени весенней подготовки почвы и посева (Вейбулла)

Table 3. Differential functions and statistical descriptions of the naturally settled fund of time of spring soil preparation and sowing (Veibull)

Культуры	Дифференциальная функция	Статистические характеристики	
		$\bar{M}[t_{np}]$, суток	$\bar{v}[t_{np}]$, суток
Морозоустойчивые	$f(t_{np}^m) = 0,085 \cdot \left(\frac{t_{np}^m - 3,0}{19,096} \right)^{0,632} \cdot \exp \left[- \left(\frac{t_{np}^m - 3,0}{19,096} \right)^{1,632} \right]$	19	0,624
Холодостойкие	$f(t_{np}^x) = 0,087 \cdot \left(\frac{t_{np}^x - 8,6}{22,06} \right)^{0,92} \cdot \exp \left[- \left(\frac{t_{np}^x - 8,6}{22,06} \right)^{1,92} \right]$	28	0,539
Теплолюбивые	$f(t_{np}^m) = 0,088 \cdot \left(\frac{t_{np}^m - 22,4}{27,21} \right)^{0,064} \cdot \exp \left[- \left(\frac{t_{np}^m - 22,4}{27,21} \right)^{1,064} \right]$	47	0,445

Относительно длительности (t_{no}^o) естественно разрешенного фонда времени выполнения почвообрабатывающих и посевных МТП в летне-осенний период то, следует отметить, что в основе определения этого показателя находятся следующие статистические закономерности: 1) сроки созревания предшественника озимой культуры и завершения процессов уборки урожая; 2) длительность погожих и ненастных промежутков; 3) агрометеорологически предопределенное начало (τ_c^o) посева озимой культуры.

Ввиду того, что календарные сроки возникновения этих событий в разрезе летне-осеннего периода разных лет являются переменными, то и длительность t_{no}^o будет характеризоваться стохастичностью. Эта системная особенность предопределяет риск своевременности почвообрабатывающих и посевных МТП, а следовательно влияет на показатели эффективности соответствующих МТП в ТС. Исследование характеристик t_{no}^o осуществлено на основании статистической имитационной модели, которая отображает влияние агрометеорологических условий летне-осеннего периода на состояние почвы поля и возможность работы почвообрабатывающих и посевных агрегатов.

На основании имитационного моделирования стохастических тенденций развития агрометеорологических условий летне-осеннего периода (для условий Дубенского района Ровенской области) определены показатели и обосновано: 1) распределение агрометеорологически предопределенного времени начала посева (τ_c) озимых культур (рис. 4); 2) закономерность изменения t_{no}^o на протяжении летне-осеннего периода (рис. 5).

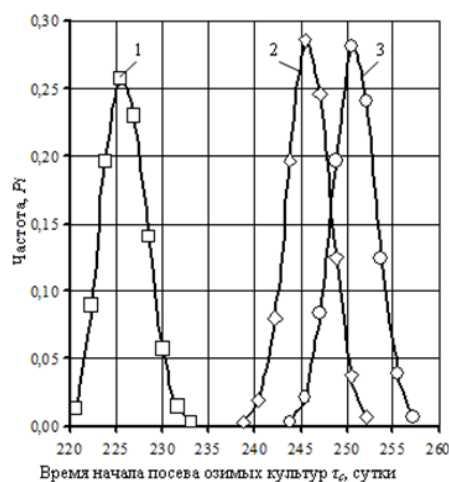


Рис. 4. Распределение агрометеорологически предопределенного времени начала посева озимых культур (нормальный закон): 1 – озимый рапс; 2 – озимая рожь; 3 – озимая пшеница

Fig. 4. Distributing of the agrometeorological predefined time of the crops sowing beginning in autumn period: 1 – winter rape; 2 – winter rye; 3 – winter wheat

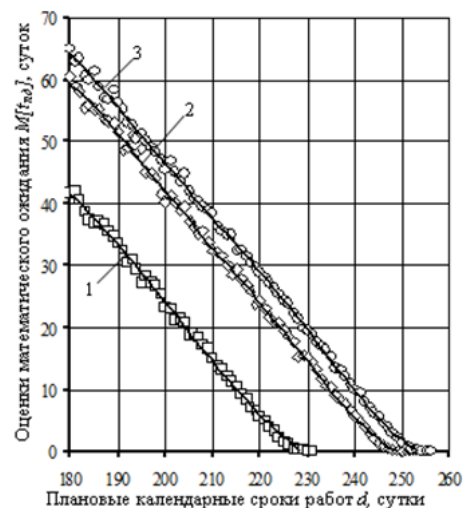


Рис. 5. Закономерность изменения оценок математического ожидания длительности естественно разрешенного фонда времени на выполнение почвообрабатывающих и посевных процессов: 1 – озимый рапс; 2 – озимая рожь; 3 – озимая пшеница

Fig. 5. Dependence of the estimations of mathematical expected value of the naturally settled fund of time duration on the implementation of soil-tillage and sowing processes: 1 – winter rape; 2 – winter rye; 3 – winter

В частности, математическая обработка результатов компьютерных экспериментов и применения критерия χ^2 -Пирсона для проверки близости эмпирического распределения τ_c с нормальным теоретическим распределением дало возможность подтвердить выдвинутую гипотезу. Дифференциальная функция теоретического распределения и главные статистические характеристики τ_c приведены в табл. 4.

Также установлена закономерность изменения оценок математического ожидания ($\bar{M}[t_{no}^o]$) длительности t_{no}^o для календарных сроков (d) летне-осеннего периода. В частности, на основании корреляционного отношения обоснованно наличие связи между $\bar{M}[t_{no}^o]$ и d (рис. 5 и табл. 5), которая описана уравнением:

$$\bar{M}[t_{no}^o] = \frac{a}{2} \cdot \left[\sqrt{(d-c)^2 + b^2} - (d-c) \right], \quad (3)$$

где: a – угловой коэффициент асимптоты; b – коэффициент приглаживания; c – смещение относительно 0 (нуля).

Следовательно, определенные нами закономерности убеждают в том, что при поздних календарных сроках почвообрабатывающих и посевных МТП длительность t_{no}^o приближается к нулю, а следовательно растет риск несвоевременного выполнения работ. Это непосредственно отразится на будущем урожае, прибыльности выращивания озимых культур и эффективности соответствующей ТС.

Таблица 4. Дифференциальные функции распределения и статистические характеристики агрометеорологических предопределенного времени начала посева озимых культур в условиях Дубенского района Ровенской области (Украина)

Table 4. Differential functions of distributing and statistical descriptions of the agrometeorological predefined time of winter crops sowing beginning in the conditions of Dubenskiy district of the Rivne area (Ukraine)

Культура	Дифференциальная функция распределения	Оценки статистических характеристик	
		$\bar{M}[\tau_c]$, сутки	$\bar{\sigma}[\tau_c]$, сутки
Озимый рапс (нормальное распределение)	$f(\tau_c^p) = 0,172 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_c^p - 225,973)^2}{10,717} \right]$	226	0,39
Озимая рожь (нормальное распределение)	$f(\tau_c^{\text{жс}}) = 0,173 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_c^{\text{жс}} - 245,858)^2}{10,604} \right]$	246	0,29
Озимая пшеница (нормальное распределение)	$f(\tau_c^n) = 0,17 \cdot \exp \left[-\frac{(\tau_c^n - 250,833)^2}{11,056} \right]$	251	0,30

Таблица 5. Коэффициенты уравнения закономерностей изменения оценок математического ожидания длительности естественно разрешенного фонда времени для выполнения почвообрабатывающих и посевных МТП в летне-осенний период (в условиях Дубенского района Ровенской области)

Table 5. Coefficients equalization of estimations dependence of mathematical expected value of the naturally settled fund of time duration for soil-tillage and sowing process in summer-autumn period (for the Dubenskiy district Rivne area conditions, Ukraine)

Культура	Коэффициент уравнения			Корреляционное отношение, n	Доверительный интервал, сутки
	a	b	c		
Озимый рапс	0,909	0,907	0,903	-0,993	180...235
Озимая рожь	1,346	1,213	0,505	-0,991	180...255
Озимая пшеница	226,5	246,3	251,6	-0,992	180...255

Таким образом, разработка имитационных моделей, которые дают возможность учесть стохастическое влияние агрометеорологических условий на темпы роста и развития растений, состояние почвы и культур, а следовательно формирование естественно разрешенного фонда времени на выполнение соответствующих МТП в полеводческих проектах является важным этапом объективного оценивания показателей эффективности полеводства при разных параметрах соответствующих ТС.

ВЫВОДЫ

1. Агрометеорологические условия влияют на качественное состояние почвы, а также темпы роста и развития сельскохозяйственных культур, что совокупно формирует переменчивость естественно разрешенного фонда времени на выполнение механизированных технологических процессов в проектах выращивания и сбора этих культур, их своевременность выполнения и эффективность соответствующей технической оснастки. 2. Учет этого влияния возможен на основании данных агрометеостанций, обработки их результатов и определения соответствующих формализованных статистических закономерностей временных характеристик объективного наступления тех или других каче-

ственных изменений предметов труда. 3. Обработка данных Яворовской агрометеорологической станции дала возможность установить, что распределение времени начала физической спелости почвы в весенний период согласуется с законом распределения Лапласа-Шарлье, закономерность длительности прогревания почвы к температуре посева яровых культур описывается полиномом второй степени, а длительность вегетации находится в корреляционной линейной и обратно пропорциональной зависимости от времени посева культуры. 4. Обработка результатов статистического имитационного моделирования агрометеорологических условий весеннего периода дала возможность построить эмпирическое распределение естественно разрешенного фонда времени для выполнения почвообрабатывающих и посевных работ и установить на основании критерия χ^2 -Пирсона, что он согласуется с теоретическим распределением Вейбулла. 5. Использование методов математической статистики для определения оценок статистических характеристик агрометеорологический предопределенного времени начала посева озимых культур (для условий Дубенского района, Украина) дало возможность установить, что он согласуется с нормальным законом распределения. Кроме того, определение закономерности изменения оценок математического ожидания длительности естественно разрешенного фонда времени на вы-

полнение МТП возделывания почвы и посева озимых культур дало возможность констатировать, что при поздних календарных сроках их выполнения растет риск несвоевременного завершения работ и снижения эффективности ТС с соответствующим технической оснасткой. 6. Моделирование агрометеорологических условий дает возможность отобразить объективные условия функционирования технической оснастки, учесть сезонную переменчивость сроков выполнения МТП в полевых условиях, оценить их своевременность, а следовательно и эффективность полеводства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аграрный сектор Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agroua.net/>
2. **Бомба М. Я.** 1993. Научные и практические основы возделывания почвы: Научн. пос. / М. Я. Бомба, З. М. Томашивский. – Ивано-Франковск: Галичина, 148. (Украина).
3. **Грингоф И. И.** 1987. Агрометеорология / Грингоф И. И., Попова В. В., Страшный В. Н. – Л.: Гидрометеиздат, 310.
4. **Днесь В. И.** 2014. Прогнозирование дат созревания ранних зерновых культур на основе моделирования / Днесь В.И., Скибчик В.И., Жуль С.Г. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – №. 99 (2). 384-391. (Украина).
5. **Куперман Ф. М.** 1977. Морфофизиология растений. Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений / Ф. М. Куперман. – 3-е изд., дополн. – М.: Высш. шк., 288.
6. **Лихочвор В. В.** 2010. Растениеводство. Технологии выращивания сельскохозяйственных культур / В. В. Лихочвор и др. – 3-е изд., исправл., дополн. – Львов: НФВ "Украинские технологии", 1088. (Украина).
7. **Луб П. М.** 2016. Управление проектами технологических систем выращивания сельскохозяйственных культур / Луб П.М., Шарибура А.О., Тригуба И.Л., Пукас В.Л. // Вестник национального технического университета «ХПВ». Сборник научных трудов. Серия: Стратегическое управление, управление портфелями, программами и проектами. – Х. НТУ «ХПИ». – №2(1174). 81-85. <doi.org/10.20998/2413-3000.2016.1174.18>
8. **Наставления гидрометеорологическим станциям и постам.** 1985. Вып. 11: Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Ч. 1: Основные агрометеорологические наблюдения. – Л.: Гидрометеиздат, 320.
9. **Прикладная статистика.** 1981. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим: ГОСТ 11.006-75. – М.: Изд-во стандартов, 32.
10. **Сидорчук Л. Л.** 2010. Особенности идентификации конфигурации проектов обслуживающих систем сельскохозяйственного производства / Сидорчук Л. Л., Комарницкий С. П., Мартинюк Р. В. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Т. 1. – №. 2 (43). 69-71. (Украина).
11. **Сидорчук А. В.** 2013. Согласование составляющих технологической системы обработки почвы и посева озимых культур / А.В. Сидорчук, П.М. Луб, И.П. Ивасюк, В.А. Украинец // MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszow, Vol.15, №4. 180-186.
12. **Сидорчук А.** 2004. Агрометеорологические основания развития функциональных структур полеводства / А. Сидорчук, С. Сенчук, П. Луб, В. Кабар // Вестник Львов. ДАУ: Агрономия. Львов: Львов ДАУ. – №8. 119-123. (Украина).
13. **Сидорчук О. В.** 2005. Системные принципы и направления исследований развития агропромышленного производства на инновационной основе / Сидорчук А. В., Матвиенко А. С. // Научн. вестник НАУ. – Вып. 80. – Ч. 2. 136-141. (Украина).
14. **Тараскин А. Ф.** 1997. Статистическое моделирование и метод Монте-Карло: Учебное пособие. – Самар. гос. аэрокосм. ун-т, Самара, 62.
15. **Тимочко В. О.** 2013. Возможности использования систем автоматизации управления проектами для условий сельскохозяйственного производства / Тимочко В. О., Падюка Р. И. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Т. 3. – №. 3 (63). 26-28.
16. **Тригуба А. М.** 2011. Процессы управления интегрированными проектами аграрного производства / А. М. Тригуба, А. О. Шарибура. – Motoryzacja i energetyka rolnictwa. MOTROL–2011. – Lublin. – Vol. 13D. 37-42.
17. **Тригуба А. М.** 2016. Системно-ценностные принципы управления интегрированными программами развития молочарства на основе моделирования / Тригуба А. М., Шолудько П. В., Сидорчук Л. Л., Боярчук О. В. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Стратегическое управление, управление портфелями, программами и проектами. НТУ "ХПИ". – №22 (1174). 103-107. (Украина).
18. **Флис И. М.** 2014. Концептуальная модель инициализации инновационных проектов производственно-перерабатывающих комплексов / И.М. Флис // Вестник Национального технического университета. – №. 2. 76-81. (Украина).
19. **Шарибура А. О.** 2010. Управление содержанием и временем в проектах с технологическим риском (относительно уборки льна-долгунца) : дисс. канд. техн. наук : спец. 05.13.22 „Управление проектами и программами” / А.О. Шарибура. – Львов, 20. (Украина).
20. **Rubinstein R. Y.** 2007. Simulation and the Monte Carlo method / Rubinstein R. Y., Kroese D. P. // – 2-nd edition, Wiley, 345.

FEATURES OF MODELING AND INFLUENCE OF
METEOROLOGICAL TERMS ON PROJECTS
INDEXES OF SOIL-TILLAGE AND CULTURES
SOWING

Summary. The features of soil-tillage and sowing projects realization are marked. These projects are examined at the level of the technical rigging, labour article (plant and soil) and agricultural meteorology terms which are influenced on the volumes of the products. The importance of agricultural meteorology terms take into account, rates of plants growth, their influence on the proper works, and also on the parameters of the projects technical rigging are accented.

The features of meteorological terms influence on the terms of the mechanized technological processes implementation of field-crop cultivation and indexes risk of their efficiency are exposed.

The subject constituents of these processes are outlined. The features and dependence of change rates of high-quality indexes from the action of agricultural meteorology terms are described. The pre-conditions origin of terms changeability and implementation

durations of the proper mechanized technological processes which form the indexes of projects efficiency are given.

The sources of receipt and forming method of statistical dependence for the agricultural meteorology terms modeling during of the proper technological systems functioning period are exposed. The results of treatment of these supervisions of weather-stations in relation to influence of agricultural meteorology terms on the naturally predefined terms of the field-crop mechanized technological processes implementation during of spring and summer-autumn periods are resulted.

The modeling of agricultural meteorology terms in spring and summer-autumn period and their influence on terms and duration of the naturally settled fund of time for implementation of the proper mechanized technological processes is executed. The modeling results and statistical dependence of this index for the proper calendar period are presented.

Key words: field-crop cultivation, meteorological terms, changeability, modeling, technical rigging, projects, technological systems, efficiency.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВАКУУМНЫМ СИСТЕМАМ

Василий Дмитриев

*Львовский национальный аграрный университет
Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: Dmytriv_V@ukr.net*

Vasyl Dmytriv

*Lviv national agrarian university
St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: Dmytriv_V@ukr.net*

Аннотация. В работе наведены математические модели регуляторов вакуумметрического давления с одномассовой и двухмассовой клапанно-демпферной системами. Приведены решения дифференциальных уравнений, что обеспечивает моделирование перемещения клапана в зависимости от амплитуды и частоты колебания вакуумметрического давления, массы груза, диаметра клапана, упругости пружины, демпферной мембраны и диаметра отверстия диффузора в колпаке регулятора, характеристики демпферной среды. Решение системы дифференциальных уравнений произведено при двух состояниях дискриминанта, при положительном и отрицательном значении. Наведены функции и графики амплитуды и частоты колебаний вакуумметрического давления, а также результаты моделирования перемещения клапана и груза регуляторов давления с одномассовой и двухмассовой клапанно-демпферной системами. Амплитуда перемещения клапана зависит от коэффициента затухания и квадрата частоты собственных колебаний соответственно клапана и груза. Колебания клапана регулятора с пружинно-демпферной системой – затухающие. Амплитуда единичного колебания зависит от массы груза и длительности импульса вакуумметрического давления.

Ключевые слова: регулятор давления, амплитуда колебаний, двухмассовая система, коэффициент затухания, клапан, демпферная среда, дифференциальное уравнение.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Колебание давления вакуумной системы доильных установок возникает вследствие работы доильных аппаратов, а также за счет излишка производительности вакуумной установки, что способствует созданию излишнего вакуумметрического давления, которое регулируется регулятором. Одним из основных параметров – есть стабильность давления. Данный параметр зависит от условий функционирования регулятора, производительности вакуумного насоса, количества одновременно работающих доильных аппаратов и должен обеспечить невозможность возникновения колебаний и резонансных явлений у вакуумпровода при срабатывании клапана регулятора и работе доильных аппаратов.

На рынке доильного оборудования присутствуют разновидности конструкций регуляторов давления с характеристиками, формирующимися

конструкционными параметрами самого регулятора и параметрами технологического процесса работы доильной установки. Для выбора регулятора и обеспечения технологических параметров вакуумной системы необходимы аналитические модели, которые позволяют моделировать режимы работы вакуумного регулятора. Разработка математических зависимостей и моделирование параметров работы регулятора давления позволит обосновать его конструкционные параметры.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Колебание давления вакуумной системы доильной установок зависит от динамических характеристик работы пульсатора доильного аппарата. Исследования влияния конструктивно-технологических параметров пульсаторов непосредственно на их динамические характеристики приведено в работах [1-9]. При этом часовые режимы непосредственно влияют на величину вакуума.

Регулирование вакуума в системе осуществляется регулятором. Варианты конструкции вакуумных регуляторов доильных установок обеспечивают регулирование за счет массы груза или силы, созданной электромагнитом, которая рассчитывается на заданное вакуумметрическое давление при соответствующей площади седла клапана [10-13].

Затухающие колебания рассмотрены в [14, 15], но не учтено присутствие клапана, что составляет двухмассовую систему.

Рассмотрена модель регулятора вакуумметрического давления гравитационного типа, как двухмассовая система, на примере регулятора с пружинной и демпферным диском [16], приведены результаты моделирования работы регулятора давления с демпферной мембраной [17] и пружинно-демпферной системой [18]. Данная математическая модель учитывает перемещение двух масс, клапана и груза, которые соединены между собой пружинной, но не учтен вариант при аналитическом решении уравнений, когда корень уравнений есть комплексные числа, так как масса груза на два порядка превышает силу демпфирования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для обоснования конструкционных параметров регуляторов давления вакуумных систем доильных установок, проведем аналитические исследования

работы регуляторов с разным демпфированием перемещения клапана.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Равновесие регулятора давления (рис. 1, а) обеспечивается, когда разница давлений создает силу F_B , которая приложена к клапану, равна силе груза F_g и силы демпфирования $F_{онр}$. Жесткость связи между клапаном и грузом рассматриваем, как одно-массовая система.

Равновесие системы регулятора давления (рис. 1, б) обеспечивается, когда сила созданная разницей давлений, которая приложена к клапану, и сила упругости, созданная пружиной (2), приравнивается массе груза и демпферной пластины (3).

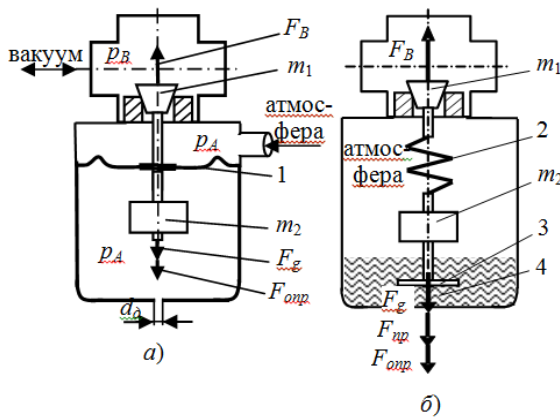


Рис. 1. Структурно-функциональная схема действия сил на клапан регулятора вакуума: а) демпферной мембраной; б) пружинно-демпферной системой: 1 – демпферная мембрана; 2 – пружина; 3 – пластина в демпферной среде; 4 – демпферная среда; F_B – сила вакуумметрического давления; F_g – сила гравитации движущихся элементов; $F_{пр}$ – сила упругости пружины; $F_{онр}$ – сила сопротивления демпфирования; m_1 , m_2 – соответственно масса клапана и груза вместе с штоком и движущимися элементами

Fig. 1. Structural and functional diagram of the forces on the vacuum regulator valve: а) the damper membrane; б) spring-damper system; 1 – damper membrane; 2 – a spring; 3 – medium in the damper plate; 4 – wednesday damper; F_B – the power of negative pressure; F_g – the gravitation force of moving parts; $F_{пр}$ – elastic force of the spring; $F_{онр}$ – damping resistance force; m_1 , m_2 – mass of the valve, respectively, and the load together with the rod and moving elements

Для двух типов регуляторов давления составим дифференциальные уравнения перемещения клапана и груза, подвешенного к клапану:

– для системы (рис. 1, а):

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2n_2 \cdot \frac{dy}{dt} + g = h_1 \cdot f(t), \quad (1)$$

– для системы (рис. 1, б):

$$\begin{cases} \frac{d^2 y_1}{dt^2} + K_1^2 \cdot (y_1 - y_2) = h_1 \cdot f(t) \\ \frac{d^2 y_2}{dt^2} + 2n_2 \frac{dy_2}{dt} + K_2^2 \cdot (y_2 - y_1) = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где: y – вертикальное перемещение клапана с грузом (рис. 1, а), м; y_1 , y_2 – соответственно перемещение клапана и груза (рис. 1, б), м; $\frac{a}{m} = \frac{128 \cdot \mu \cdot l}{\pi \cdot d_{оф}^4} \cdot \frac{S_m^2}{m} = 2n_2$ – коэффициент затухания колебаний (рис. 1, а), c^{-1} ; $h_1 = \Delta p_{вп} \cdot S_1 / m$ – удельная амплитуда силы принудительного колебания клапана регулятора вакуума, м/с²; S_m – площадь сечения демпферной мембраны, м²; $d_{оф}$ – диаметр отверстия диффузора регулятора, м; S_1 – площадь седла клапана, $S_1 = \pi \cdot d_{ск}^2 / 4$, м²; $d_{ск}$ – диаметр седла клапана, м; m – масса подвижных элементов регулятора, $m = m_1 + m_2$, кг; $K_1^2 = K_{нр} / m_1$, $K_2^2 = K_{нр} / m_2$ – квадрат частоты собственных колебаний соответственно клапана и груза, с⁻²; l – длина отверстия диффузора, м; μ – динамическая вязкость воздуха, Па·с; $2n_2 = K_{онр} / m_2$ – коэффициент затухания колебаний (рис. 1, б), с⁻¹; $K_{онр}$ – комплексный коэффициент сопротивления демпферной среды, Н·с/м; $K_{нр}$ – коэффициент упругости пружины, Н/м; $f(t)$ – характеристика изменения приложенной силы.

Функцию повторяемости колебаний давления представим в виде ряда Фурье [19]:

$$f_{k=20}(t) = \frac{\tau}{T} + \sum_{j=1}^{20} \left[\frac{2}{k \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right) \right], \quad (3)$$

где: τ – продолжительность откачивания воздуха с камер переменного давления, для автоматизированных доильных аппаратов составляет $\tau = 0,112-0,15$ с.

Решение дифференциального уравнения (1) проводим в виде [20]:

$$y(t) = \bar{y}(t) + y_{(P1)}(t) + y_{(P2)}(t), \quad (4)$$

Проведем замену:

$$\frac{dy}{dt} = x(t), \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{dx}{dt}. \quad (5)$$

Тогда уравнение (1) с учетом (5) и (3) будет иметь вид:

$$\frac{dx}{dt} + 2n_2 \cdot x(t) = \frac{h_1 \cdot \tau}{T} - g + \sum_{j=1}^j \left[\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right) \right]. \quad (6)$$

Введем степенную функцию экспоненты $\exp$ в виде $\lambda(t) = e^{\int 2n_2 dt} = e^{2n_2 t}$, умножив каждый член уравнения (6):

$$\begin{aligned} e^{2n_2 t} \cdot \frac{dx}{dt} + 2n_2 \cdot e^{2n_2 t} x(t) = -e^{2n_2 t} \cdot \left(-\frac{h_1 \cdot \tau}{T} + \right. \\ \left. + g - \sum_{j=1}^j \left[\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right) \right] \right) \end{aligned}, \quad (7)$$

или $2n_2 \cdot e^{2n_2 t} = \frac{d(e^{2n_2 t})}{dt}$, тогда выполним в уравнении

(7) замену и проинтегрируем:

$$\begin{aligned} e^{2n_2 t} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{d}{dt}(e^{2n_2 t})x(t) = -e^{2n_2 t} \cdot \left(-\frac{h_1 \cdot \tau}{T} + \right. \\ \left. + g - \sum_1^j \left[\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right) \right] \right) \\ \int \frac{d}{dt}(e^{2n_2 t} \cdot x(t)) dt = \int -e^{2n_2 t} \cdot \left(-\frac{h_1 \cdot \tau}{T} + g - \right. \\ \left. - \sum_1^j \left[\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right) \right] \right) dt \\ \left(e^{2n_2 t} \cdot \left[(2n_2)^2 \cdot \sum_1^j \left[\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right) \right] + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_1^j \left[\left(\frac{h_1 \cdot \tau}{T} - g \right) \times \left(\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2n_2)^2 \right) \right] + \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_1^j \left[\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \cdot \frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \cdot 2n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right) \right] \right] \right) + C_1 \\ e^{2n_2 t} \cdot x(t) = \frac{\sum_1^j \left(2n_2 \cdot \left(\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2n_2)^2 \right) \right)}{\sum_1^j \left(2n_2 \cdot \left(\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2n_2)^2 \right) \right)} + C_1 \end{aligned} \quad (8)$$

Учитывая, что $dy/dt = x(t)$ и интегрируя уравнение (8), получим:

$$\begin{aligned} y(t) = \frac{h_1 \cdot \tau}{T \cdot 2n_2} \cdot t - \frac{g \cdot t}{2n_2} - \frac{j}{1} \frac{\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2n_2)^2} + \\ + \frac{j}{1} \frac{\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \cdot 2n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^3 + \left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right) \cdot (2n_2)^2} - \frac{C_1 \cdot e^{-2n_2 t}}{2n_2} + C_2 \end{aligned} \quad (9)$$

Определим постоянные интегрирования C_1 и C_2 . При $t = 0$, $y(t) = 0$. Соответственно подставим в уравнение (9) начальные условия, получим:

$$y(0): \quad 0 = -\sum_1^j \frac{\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2n_2)^2} - \frac{C_1}{2n_2} + C_2 \quad (10)$$

Скорость движения клапана в начальный момент времени $t = 0$ будет равна $dy(t)/dt = 0$. Тогда:

$$\begin{aligned} \frac{dy(t)}{dt} = \frac{h_1 \cdot \tau}{T \cdot 2n_2} - \frac{g}{2n_2} + \sum_1^j \frac{\frac{h_1}{T} \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2n_2)^2} + \\ + \sum_1^j \frac{\frac{h_1}{T} \cdot 2n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^3 + \left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right) \cdot (2n_2)^2} + C_1 \cdot e^{-2n_2 t} \end{aligned}$$

$$\frac{dy(0)}{dt}:$$

$$\begin{aligned} 0 = \frac{h_1 \cdot \tau}{T \cdot 2n_2} - \frac{g}{2n_2} + \sum_1^j \frac{\frac{h_1}{T} \cdot 2n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^3 + \left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right) \cdot (2n_2)^2} + C_1, \\ C_1 = \frac{g}{2 \cdot n_2} - \frac{h_1 \cdot \tau}{T \cdot 2 \cdot n_2} - \sum_1^j \frac{h_1 \cdot 2 \cdot n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2} \right) \cdot \left(\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2n_2)^2 \right)} \end{aligned} \quad (11)$$

Подставим значение постоянной интегрирования C_1 с уравнения (11) в зависимость (10) и определим постоянную интегрирования C_2 .

$$\begin{aligned} C_2 = \sum_1^j \frac{h_1 \cdot 2 \cdot n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot (1 - (2 \cdot n_2)^2)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2} \right) \cdot \left(\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2 \cdot n_2)^2 \right)} + \\ + \frac{g}{(2 \cdot n_2)^2} - \frac{h_1 \cdot \tau}{T \cdot (2 \cdot n_2)^2} \end{aligned} \quad (12)$$

С учетом постоянных интегрирования (11) и (12) уравнение (9) примет вид:

$$\begin{aligned} y(t) = \sum_1^j \frac{\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \cdot 2n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^3 + \left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right) \cdot (2n_2)^2} - \\ - \sum_1^j \frac{\frac{2 \cdot h_1}{k \cdot \pi} \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot \pi \cdot t}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2n_2)^2} + \\ + \sum_1^j \frac{h_1 \cdot 2 \cdot n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right) \cdot (1 - (2 \cdot n_2)^2)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2} \right) \cdot \left(\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2 \cdot n_2)^2 \right)} + \\ + e^{-2n_2 t} \cdot \sum_1^j \frac{h_1 \cdot 2 \cdot n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot \pi \cdot \tau}{2 \cdot T}\right)}{\left(\frac{k \cdot \pi}{2} \right) \cdot \left(\left(\frac{k \cdot \pi}{2 \cdot T} \right)^2 + (2n_2)^2 \right)} + \\ + \frac{h_1 \cdot \tau}{T \cdot 2n_2} \cdot t - \frac{g \cdot t}{2n_2} + (1 - e^{-2n_2 t}) \times \\ \times \left(\frac{g}{(2 \cdot n_2)^2} - \frac{h_1 \cdot \tau}{T \cdot (2 \cdot n_2)^2} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Изменим характер повторяемости колебаний давления, представив в виде следующей функцию ряда Фурье [14]:

$$\begin{aligned} f(t) = \frac{h_1 \cdot \tau}{T} \cdot \left[1 + \sum_{k=1}^{k=10} \frac{T}{k \cdot \pi \cdot \tau} \cdot \sin\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot \tau\right) \cdot \cos\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot t\right) + \right. \\ \left. + \sum_{k=1}^{k=10} \frac{T}{k \cdot \pi \cdot \tau} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot \tau\right) \right) \cdot \sin\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot t\right) \right] \end{aligned} \quad (14)$$

Моделирование характера изменения $f(t)$ приложенной силы провели при следующих входных данных: период колебания отвечает частоте работы пульсатора доильного аппарата $T = 1$ с; продолжительность откачивания воздуха с камер переменного давления для разных типов доильных аппаратов составляет $\tau = 0,112$ и $0,150$ с; удельная амплитуда силы принудительного колебания клапана регулятора давления равна $h_1 = 1,075$. Результаты моделирования в среде MatCad функции $f(t)$ согласно зависимости (14) для повторяемости членов ряда $k = 10$ приведено на рис. 2.

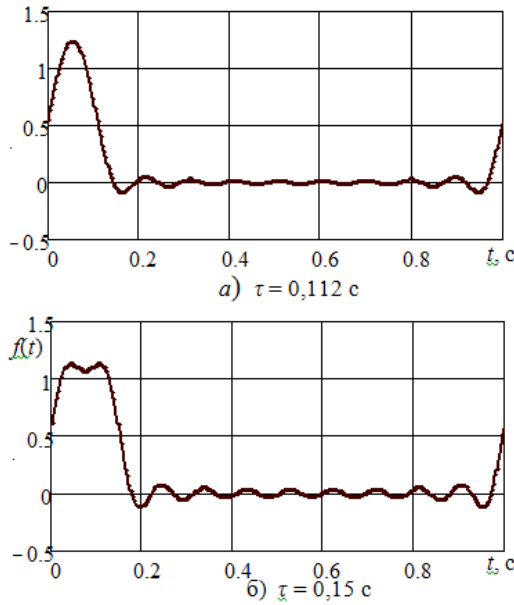


Рис. 2. График моделирования колебаний давления при заданной продолжительности откачивания τ воздуха с камер переменного давления доильного аппарата

Fig. 2. Schedule simulation of pressure oscillations at a predetermined length of the vacuum suction τ with variable pressure chambers milking machine

Решение дифференциального уравнения (1) с учетом зависимости (14) иметь вид:

$$\begin{aligned}
 y(t) = & \left(\frac{h_1 \cdot \tau}{T \cdot 2n_2} - \frac{g}{2n_2} \right) \cdot t + (1 - e^{-2n_2 t}) \cdot \left(\frac{g}{(2n_2)^2} - \frac{h_1 \cdot \tau}{T \cdot (2n_2)^2} - \right. \\
 & \left. - \sum_1^k \frac{h_1 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau}{T}\right)}{k \cdot \pi \cdot (2n_2)^2} + \right. \\
 & \left. + \sum_1^k \frac{\frac{2 \cdot h_1}{T} \cdot \left[2n_2 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau}{T}\right) \right) + \frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot \sin\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau}{T}\right) \right]}{2n_2 \cdot \left(\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \right)^2 + (2n_2)^2 \right)} + \right. \\
 & \left. + \sum_1^k \frac{\frac{h_1}{k \cdot \pi} \cdot \left[2n_2 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau}{T}\right) \right) + \frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot \sin\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau}{T}\right) \right]}{\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot \left(\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \right)^2 + (2n_2)^2 \right)} \right) \times \\
 & \times \left(1 - \cos\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot t\right) \right) + \\
 & + \sum_1^k \frac{\frac{h_1}{k \cdot \pi} \cdot \left[2n_2 \cdot \sin\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau}{T}\right) - \frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot \tau}{T}\right) \right) \right]}{\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot \left(\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \right)^2 + (2n_2)^2 \right)} \times \\
 & \times \sin\left(\frac{k \cdot 2 \cdot \pi}{T} \cdot t\right)
 \end{aligned} \quad (15)$$

Моделирование перемещения клапана регулятора давления (уравнение (15)) с учетом характера изменения $f(t)$ приложенной силы (рис. 2) проведено при следующих исходных параметрах: диаметр демпферной мембраны – 74-94 мм; вакуумметрическое давление – 48 кПа; динамическая вязкость

воздуха – $18,1 \cdot 10^{-6}$ Па·с; диаметр седла клапана – 20 мм; масса груза – 0,0785 кг; амплитуда единичного импульса давления – 2,5 кПа; длина диффузора в колпаке регулятора – 3 мм; диаметр диффузора – 1,5-2,5 мм.

Результаты моделирования приведены на рис. 3 и рис. 4.

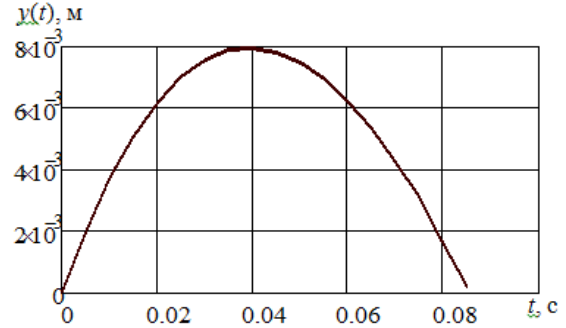


Рис. 3. График перемещения $y(t)$ клапана регулятора давления с демпферной мембраной во времени при колебании вакуумметрического давления $\Delta p = 2,5$ кПа, диаметре мембраны $d_m = 84$ мм, диаметре седла клапана $d_{ck} = 20$ мм, диаметра диффузора крышки регулятора $d_{df} = 1,7$ мм

Fig. 3. Schedule move $y(t)$ pressure regulator valve with damping membrane vibration at the time of vacuum pressure $\Delta p = 2,5$ kPa, diameter membrane $d_m = 84$ mm, diameter of the valve seat $d_{ck} = 20$ mm, diffuser diameter cover controller $d_{df} = 1,7$ mm

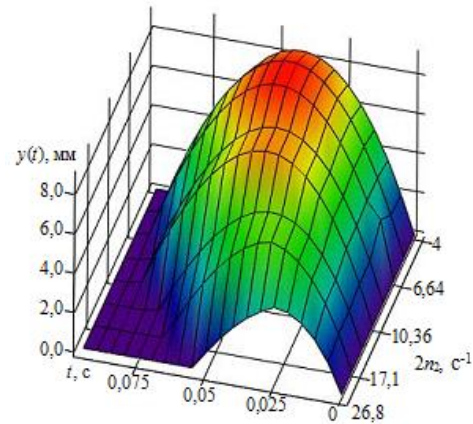


Рис. 4. График моделирования перемещения $y(t)$ клапана дифференциального регулятора вакуумметрического давления с демпферной мембраной на протяжении одного цикла работы доильного аппарата в зависимости от коэффициента затухания $2n_2$ при колебании давления $\Delta p = 2,5$ кПа

Fig. 4. Schedule simulation move $y(t)$ valve differential regulator vacuum pressure a damping membrane during one cycle of the milking machine depending on the attenuation factor $2n_2$ when the pressure fluctuation $\Delta p = 2,5$ kPa

При максимальном коэффициенте затухания колебаний $2n_2 = 26,811$ с⁻¹, соответственно диаметре мембраны $d_m = 94$ мм, диаметре диффузора крышки регулятора $d_{df} = 1,5$ мм, максимальное перемещение клапана регулятора составляет $y_{max} = 3,807$ мм. При

минимальном коэффициенте затухания $2n_2 = 4 \text{ с}^{-1}$, диаметре мембраны $d_m = 74 \text{ мм}$, диаметре диффузора крышки регулятора $d_{\text{оф}} = 1,9 \text{ мм}$, максимальное перемещение клапана составляет $y_{\text{max}} = 8,325 \text{ мм}$.

Уравнение (15) устанавливает зависимость перемещения клапана регулятора от коэффициента затухания собственных колебаний, удельной амплитуды силы принудительного колебания клапана регулятора давления, характера повторяемости колебаний давления.

Рассмотрим решение системы дифференциальных уравнений (2), которая характеризует двухмассовую колебательную систему. Характер изменения давления $\Delta p_{\text{ВП}}$ представим аналитической функцией (16):

$$f(t) = \begin{cases} 1, & nT < t < nT + \tau \\ 0, & nT + \tau < t < (n+1)T \end{cases}, \quad (16)$$

где: $n = \left\lfloor \frac{\tau}{T} \right\rfloor$ – ціла частина числа $\frac{\tau}{T}$.

Дважды дифференцируя второе уравнение системы (2), получим:

$$\frac{d^2 y_1}{dt^2} = \frac{1}{K_2^2} \left(\frac{d^4 y_2}{dt^4} + K_2^2 \frac{d^2 y_2}{dt^2} + 2n_2 \frac{d^3 y_2}{dt^3} \right) \quad (17)$$

Подставим уравнение (17) в первое уравнение системы (2):

$$\frac{d^4 y_2}{dt^4} + 2n_2 \frac{d^3 y_2}{dt^3} + (K_1^2 + K_2^2) \frac{d^2 y_2}{dt^2} + K_1^2 2n_2 \frac{dy_2}{dt} = K_2^2 h_1 f(t). \quad (18)$$

Характеристическое уравнение, что отвечает однородному уравнению (17), имеет вид:

$$\lambda^4 + 2n_2 \lambda^3 + (K_1^2 + K_2^2) \lambda^2 + K_1^2 2n_2 \lambda = 0. \quad (19)$$

Один корень уравнения (19) становится $\lambda_0 = 0$.

Для нахождения других корней имеем кубическое уравнение:

$$\lambda^3 + 2n_2 \lambda^2 + (K_1^2 + K_2^2) \lambda + K_1^2 2n_2 = 0. \quad (20)$$

Вычисляем корни уравнения (20), предварительно вычислив дискриминант:

$$D = \frac{4n_2^2}{9} - \frac{K_1^2 + K_2^2}{3}.$$

Если $D > 0$, все корни уравнения (20) действительны и решение подаем в тригонометрической форме [11].

$$\lambda_1 = 2 \cdot \sqrt{D} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{3}\right) - \frac{2n_2}{3}, \quad (21)$$

$$\lambda_{2,3} = -\frac{2n_2}{3} - 2 \cdot \sqrt{D} \cdot \cos\left(\frac{\alpha \pm \pi}{3}\right)$$

где: $\alpha = \arccos\left(-\frac{q}{D^{3/2}}\right);$

$$q = \left(\frac{2n_2}{3}\right)^3 - \frac{2n_2 \cdot (K_1^2 + K_2^2)}{6} + \frac{2n_2 \cdot K_1^2}{2}.$$

При $D < 0$ корнями уравнения (20) будет один действительный и два комплексные:

$$\lambda_1 = -2 \cdot \text{sgn}(q) \cdot \sqrt{|D|} \cdot \text{sh}(\alpha) - \frac{2n_2}{3}, \quad (22)$$

$$\lambda_{2,3} = \text{sgn}(q) \cdot \sqrt{|D|} - \frac{2n_2}{3} \pm j \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt{|D|} \cdot \text{ch}(\alpha)$$

$$\text{где: } \alpha = \frac{1}{3} \cdot \text{Arsh}\left(\frac{|q|}{|D|^{3/2}}\right).$$

Решение однородной системы уравнений (2) ищем в виде $y_1 = A \cdot e^{\lambda_1 t}, y_2 = B \cdot e^{\lambda_2 t}$. Подставив в первое уравнение системы (2), получим:

$$e^{\lambda_1 t} \cdot (A \cdot (\lambda_1^2 + K_1^2) - B \cdot K_1^2) = 0. \quad (23)$$

Вычитая с уравнения (23) $B = A \cdot (1 + \lambda_1/K_1^2)$ и учитывая корни, общее решение однородной системы дифференциальных уравнений (2) представляем в виде:

$$\begin{aligned} y_{10} &= A_0 + A_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + A_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + A_3 \cdot e^{\lambda_3 t} \\ y_{20} &= y_{10} + \frac{1}{K_1^2} \cdot (\lambda_1^2 \cdot A_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + \lambda_2^2 \cdot A_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + \lambda_3^2 \cdot A_3 \cdot e^{\lambda_3 t}) \end{aligned} \quad (24)$$

Ищем частное решение, которое удовлетворяет начальным условиям: при

$$t = 0, y_{10}(0) = 0, \dot{y}_{10}(0) = 1, y_{20}(0) = 0, \dot{y}_{20}(0) = 0.$$

На основе зависимостей (24) формируем систему алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} A_0 + A_1 + A_2 + A_3 = 0 \\ \lambda_1 A_1 + \lambda_2 A_2 + \lambda_3 A_3 = 1 \\ \lambda_1^2 A_1 + \lambda_2^2 A_2 + \lambda_3^2 A_3 = 0 \\ \lambda_1^3 A_1 + \lambda_2^3 A_2 + \lambda_3^3 A_3 = -K_1^2 \end{cases} \quad (25)$$

Коэффициенты уравнений (24) определяем с системы уравнений (25) как:

$$A_0 = -\frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3}{\Delta}; \quad A_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad A_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \quad A_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta},$$

где: $\Delta = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot (\lambda_2 - \lambda_1) \cdot (\lambda_3 - \lambda_1) \cdot (\lambda_3 - \lambda_2);$

$$\Delta_1 = \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot (\lambda_3 - \lambda_2) \cdot (\lambda_2 \cdot \lambda_3 - K_1^2);$$

$$\Delta_2 = \lambda_1 \cdot \lambda_3 \cdot (\lambda_1 - \lambda_3) \cdot (\lambda_1 \cdot \lambda_3 - K_1^2);$$

$$\Delta_3 = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_2 - \lambda_1) \cdot (\lambda_1 \cdot \lambda_2 - K_1^2).$$

Тогда решение системы уравнений (2) такое:

$$\begin{aligned} y_1(t) &= C_0 + C_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + C_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + C_3 \cdot e^{\lambda_3 t} + \\ &+ h_1 \cdot \int_0^t y_{10}(t-z) \cdot f(z) dz \\ y_2(t) &= C_0 + \left(1 + \frac{\lambda_1^2}{K_1^2}\right) \cdot C_1 \cdot e^{\lambda_1 t} + \left(1 + \frac{\lambda_2^2}{K_1^2}\right) \cdot C_2 \cdot e^{\lambda_2 t} + \\ &+ \left(1 + \frac{\lambda_3^2}{K_1^2}\right) \cdot C_3 \cdot e^{\lambda_3 t} + h_1 \cdot \int_0^t y_{20}(t-z) \cdot f(z) dz. \end{aligned} \quad (26)$$

Постоянные уравнений (26) C_0, C_1, C_2, C_3 определяем с начальных условий. Если при $t = 0, y_1(0) = \dot{y}_1(0) = y_2(0) = \dot{y}_2(0) = 0$, то постоянные C_0, C_1, C_2, C_3 тоже равны нулю.

Интегральные составляющие уравнений (26) после решения будут составлять:

$$\begin{aligned} H_1(z) &= h_1 \int_0^t y_{10}(t-z) \cdot dz = h_1 \cdot (A_0 \cdot z - \\ &- \frac{A_1}{\lambda_1} \cdot e^{\lambda_1(t-z)} - \frac{A_2}{\lambda_2} \cdot e^{\lambda_2(t-z)} - \frac{A_3}{\lambda_3} \cdot e^{\lambda_3(t-z)}) \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} H_2(z) &= H_1(z) - \frac{h_1}{K_1^2} \cdot (A_1 \cdot \lambda_1 \cdot e^{\lambda_1(t-z)} + \\ &+ A_2 \cdot \lambda_2 \cdot e^{\lambda_2(t-z)} + A_3 \cdot \lambda_3 \cdot e^{\lambda_3(t-z)}) \end{aligned}$$

Тогда решение (26) запишем с учетом ограничений системы аналитической функции (16) и учитывая, что в уравнениях (27) $z = t$ и $t = \tau$, в виде:

$$y_1(t) = \begin{cases} H_1(t) - H_1(nT) + \sum_0^n (H_1(nT + \tau) - H_1(nT)), & nT \leq t \leq nT + \tau, \\ \sum_0^n (H_1(nT + \tau) - H_1(nT)), & nT + \tau \leq t \leq (n+1)T \end{cases} \quad (28)$$

$$y_2(t) = \begin{cases} H_2(t) - H_2(nT) + \sum_0^n (H_2(nT + \tau) - H_2(nT)), & nT \leq t \leq nT + \tau, \\ \sum_0^n (H_2(nT + \tau) - H_2(nT)), & nT + \tau \leq t \leq (n+1)T \end{cases} \quad (29)$$

Для моделирования рассчитываем коэффициенты и степени уравнения (27), учитывая корни кубического уравнения (21, 22).

Исходные данные: квадрат частоты свободных колебаний соответственно клапана и груза, $K_1^2 = 666,78$ и $K_2^2 = 80,97 \text{ с}^{-2}$; коэффициент затухания колебаний, $2n_2 = 2,786 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$; коэффициент сопротивления демпферной среды, $K_{оп} = 0,039 \text{ Н·с/м}$; коэффициент упругости пружины, $K_{np} = 1134 \text{ Н/м}$; удельная амплитуда силы принудительных колебаний, $h_1 = 1,011 \text{ м/с}^2$.

Результаты расчета: $\lambda_1 = -2,461 \cdot 10^{-3}$;

$\lambda_2 = -1,494 \cdot 10^{-4} + j \cdot 27,345$;

$\lambda_3 = -1,494 \cdot 10^{-4} - j \cdot 27,345$;

$A_0 = 43,995$; $A_2 = -3,564 \cdot 10^{-7} - j \cdot 0,016$;

$A_1 = -43,995$; $A_3 = -3,564 \cdot 10^{-7} + j \cdot 0,016$.

Учитывая коэффициенты и корни, уравнение (27) примет вид:

$$H_1(z) = 1,011 \cdot \left(43,995 \cdot z - \frac{43,995}{2,461 \cdot 10^{-3}} \cdot e^{-2,461 \cdot 10^{-3} \cdot (t-z)} - \frac{(-3,564 \cdot 10^{-7} - j \cdot 0,016)}{(-1,494 \cdot 10^{-4} + j \cdot 27,345)} \cdot e^{(-1,494 \cdot 10^{-4} + j \cdot 27,345) \cdot (t-z)} - \frac{(-3,564 \cdot 10^{-7} + j \cdot 0,016)}{(-1,494 \cdot 10^{-4} - j \cdot 27,345)} \cdot e^{(-1,494 \cdot 10^{-4} - j \cdot 27,345) \cdot (t-z)} \right), \quad (30)$$

$$H_2(z) = H_1(z) - \frac{1,011}{666,781} \cdot \left(43,995 \cdot 2,461 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-2,461 \cdot 10^{-3} \cdot (t-z)} + (-3,564 \cdot 10^{-7} - j \cdot 0,016) \cdot (-1,494 \cdot 10^{-4} + j \cdot 27,345) \cdot e^{(-1,494 \cdot 10^{-4} + j \cdot 27,345) \cdot (t-z)} + (-3,564 \cdot 10^{-7} + j \cdot 0,016) \cdot (-1,494 \cdot 10^{-4} - j \cdot 27,345) \cdot e^{(-1,494 \cdot 10^{-4} - j \cdot 27,345) \cdot (t-z)} \right)$$

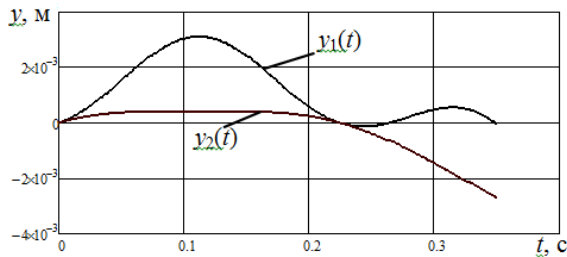


Рис. 5. Перемещение клапанно-демпферной системы регулятора вакуума при импульсе вакуумметрического давления $\Delta p_{БП} = 2,5 \text{ кПа}$ и его продолжительности $\tau = 0,225 \text{ с}$ на протяжении одного цикла работы пульсатора ($T = 1 \text{ с}$): $y_1(t)$ – колебание клапана; $y_2(t)$ – колебание груза в демпферной среде

Fig. 5. Move valve-damping systems vacuum regulator with pulse vacuum pressure $\Delta p_{БП} = 2,5 \text{ кПа}$ and duration $\tau = 0,225 \text{ с}$ during one cycle of the pulsator ($T = 1 \text{ с}$): $y_1(t)$ – valve oscillation ; $y_2(t)$ – fluctuation in load damping medium

Анализ перемещения клапанно-демпферной системы регулятора (рис. 5) при вакуумметрическом давлении в вакуумпроводе доильной установки

$p = 48 \text{ кПа}$ и допустимом колебании давления $\Delta p_{БП} = 2,5 \text{ кПа}$, суммарной массе груза $m = 1,57 \text{ кг}$ показывает, что максимальное перемещение клапана становится $y_1(0,112 \text{ с}) = 3,093 \text{ мм}$, суммарная продолжительность открытого состояния клапана – $t_{сум} = 0,225 \text{ с}$. Повторное поднятие клапана на высоту $y_1(0,315 \text{ с}) = 0,5292 \text{ мм}$ продолжается $t = 0,084 \text{ с}$. Суммарная продолжительность импульса давления $\Delta p_{БП} = 2,5 \text{ кПа}$, что превышает рабочее вакуумметрическое давление $p = 48 \text{ кПа}$, становится $\tau = 0,225 \text{ с}$. Груз имеет единичное перемещение на высоту $y_2(0,08-0,13 \text{ с}) = 0,394 \text{ мм}$ продолжительностью $t_{сум} = 0,225 \text{ с}$.

При продолжительности импульса давления $\tau = 0,112 \text{ с}$ характер перемещение клапана и груза имеет единичное колебание, за продолжительностью равно продолжительности импульса.

Максимальное поднятие клапана (рис. 6) становится $y_1(0,056 \text{ с}) = 1,329 \text{ мм}$, максимальное перемещение груза в демпферной среде незначительное и становится $y_2(0,056 \text{ с}) = 3,101 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$.

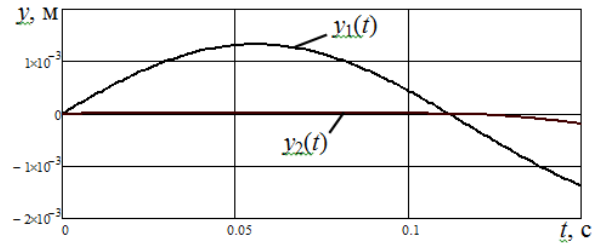


Рис. 6. Перемещение клапанно-демпферной системы регулятора вакуума при импульсе вакуумметрического давления $\Delta p_{БП} = 2,5 \text{ кПа}$ и его продолжительности $\tau = 0,112 \text{ с}$ на протяжении одного цикла работы пульсатора ($T = 1 \text{ с}$): $y_1(t)$ – колебание клапана; $y_2(t)$ – колебание груза в демпферной среде

Fig. 6. Move valve-damping systems vacuum regulator with pulse vacuum pressure $\Delta p_{БП} = 2,5 \text{ кПа}$ and duration $\tau = 0,112 \text{ с}$ during one cycle of the pulsator ($T = 1 \text{ с}$): $y_1(t)$ – valve oscillation ; $y_2(t)$ – fluctuation in load damping medium

При массе груза $m_2 = 1,0 \text{ кг}$ и продолжительности импульса вакуумметрического давления $\tau = 0,15 \text{ с}$ максимальное перемещение клапана становится $y_1(t) = 2,783 \text{ мм}$.

Анализ результатов моделирования показывает, что с увеличением массы груза уменьшается перемещение клапана, повторяемость поднятия (колебания) клапана регулятора увеличивается. Повторяемость поднятия клапана регулятора увеличивается с увеличением продолжительности импульса вакуумметрического давления.

Увеличение массы груза (рис. 7) ведет к уменьшению высоты поднятия клапана и подачи воздуха атмосферного давления в вакуумпровод доильной установки.

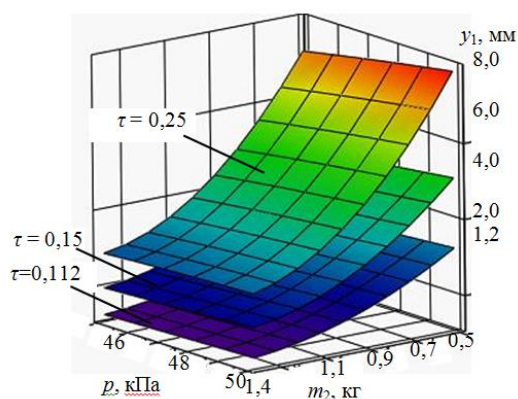


Рис. 7. График моделирования максимального перемещения y_1 клапана регулятора вакуумметрического давления прямого регулирования с пружинно-демпферной системой в зависимости от вакуумметрического давления p и массы груза m_2 при продолжительности τ импульса давления

Fig. 7. Modeling graph of maximum travel y_1 valve vacuum pressure regulator direct regulation with spring-damper system depending upon the vacuum pressure p and the weight of cargo m_2 at length τ pressure pulse

Повышение рабочего вакуумметрического давления до 50 кПа и выше ведет к увеличению перемещения клапана и повторяемости его открытия.

Колебания клапана регулятора с пружинно-демпферной системой клапана затухающие.

ВЫВОДЫ

Выведены математические зависимости колебания клапана регулятора вакуумметрического давления разрешают моделировать перемещение клапана, продолжительность его открытия в зависимости от конструкционных параметров регулятора, технологических характеристик работы регулятора, в частности квадрата частоты свободных колебаний соответственно клапана и груза, коэффициентов затухания колебаний, сопротивления демпферной среды, упругости пружины, удельной амплитуды силы принудительных колебаний, что позволяет теоретически обосновать конструктивные и динамические характеристики демпферной системы для разных типов регуляторов давления для доильных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Naumenko A., Uzhyk V., Chygryn A. 2011. Determination of constructive-regime parameters of a pulsator for a milking machine. // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. №13. 244-248.
2. Дмитрив В.Т., Дмитрив И.В. 2013. Модель откачивания воздуха с камер переменного вакуумметрического давления доильного аппарата // Вестник Харьковского национального технического университета с. х. им. Петра Василенка. – Вып. 132. “Технические системы и технологии животноводства”. – Харьков. 207-212. (Украина).

3. Дмитрив В.Т., Дмитрив И.В. 2013. Моделирование времени истечения воздуха из ограниченного пространства // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Vol.15. No.4. 193-197.
4. Адамчук В., Дмитрив В., Дмитрив И. 2015. Адаптивный доильный аппарат с пневмоэлектромагнитным пульсатором // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. –Vol.17. No.9. 83-87.
5. Дмитрив В.Т., Адамчук В.В., Дмитрив И.В. 2015. Результаты экспериментальных исследований продолжительности наполнения воздушной системы “доильный стакан-пульсатор” // Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. Серия: техника и энергетика АПК. – Киев. – Вип. 212/2. 142-148. (Украина).
6. Adamchuk V., Dmytriv V., Dmytriv I. 2015. Experimental studies of duration of air pumping out from the “TEAT CUP - pulsator” system // An International quarterly journal on economics in technology, new technologies and modeling processes. – Vol 4. No.4. 3-6.
7. Дмитрив В., Лаврик Ю. 2015. Моделирование индикаторной диаграммы пневмоэлектромагнитного пульсатора с управляющей камерой // Вестник Львовского национального аграрного университета: Агроинженерные исследования. – Львов.: Львовский национальный агроуниверситет. – № 19. 79-83. (Украина).
8. Дмитрив В., Лаврик Ю. 2016. Результаты исследований аналитической модели электромагнитного пульсатора попарного действия // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. –Vol.18. No.4. 3-8.
9. Дмитрив В. Т., Адамчук В. В., Дмитрив И.В. 2016. Результаты экспериментальных исследований доильного аппарата с адаптивным пневмоэлектромагнитным пульсатором // Технический сервис агропромышленного, лесного и транспортного комплексов [Научный журнал]. – Харьков: ХНТУСГ. – № 5. 238-245. (Украина).
10. Вагин Ю.Т., Добышев А.С., Барановский М.В., Стрибук А.А., Ярош А.Д. 2012. Техническое обеспечение производства молока. Современное оборудование для доения: практическое пособие. – Минск, Эволайн, 376.
11. Ревенко И.И., Кухта Г.М., Манько В.М. 1994. Механизация производства продукции животноводства / За ред. И.И. Ревенка. – Киев.: Урожай. 224. (Украина).
12. Дмитрив В.Т. 2008. Основы теории машиноиспользования в животноводстве. – Львов: Афиша, 260. (Украина).
13. Адамчук В.В., Братишко В.В. Дмитрив В.Т. 2013. Механизация и автоматизация производства молока. Монография; под. общ. ред. В.В. Адамчука, А.И. Фененка. – Нежин: Издатель ЧП Лисенко Н.М, 324. (Украина).

14. **Пискунов Н.С. 1962.** Дифференциальное и интегральное исчисление для втузов. – М.: Гос. издат. физ.-мат. лит. 749-765, 534-542.
15. **Яблонский А.А. 1966.** Курс теоретической механики. Ч. II. Динамика. – М.: Высшая школа. 39-69.
16. **Дмитрив В.Т., Нищенко И.А. 2003.** Математическая модель работы вакуумного регулятора // Вестник Львовского государственного аграрного университета: Агроинженерные исследования. – № 7. 95-10. (Украина).
17. **Дмитрив В.Т. 2015.** Моделирование работы регулятора вакуумметрического давления с демпферной мембраной // Технический сервис агропромышленного, лесного и транспортного комплексов [Научный журнал]. – Харьков. – №3. 27-33. (Украина).
18. **Дмитрив В.Т. 2016.** Моделирование колебаний клапанны-демпферной системы регулятора вакуумметрического давления // Технический сервис агропромышленного, лесного и транспортного комплексов [Научный журнал]. – Харьков. – № 5. 227 – 237. (Украина).
19. **Бронштейн И.Н. Семендяев К.А. 1986.** Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. Лит, 544.
20. **Самойленко А.М., Кривошея С.А., Перестюк Н.А. 1989.** Дифференциальные уравнения: примеры и задачи. – М.: Высшая школа, 383.

ANALYTICAL STUDY OF THE PRESSURE REGULATOR WITH RESPECT TO PULSATING VACUUM SYSTEM

Summary. The work imposed mathematical models of vacuum pressure regulators with single-mass and two-mass valve-damping systems. The solutions of the differential equations that provides a simulation displacement valve depending on the amplitude and frequency of fluctuations of vacuum pressure, weight load, the valve diameter, the elasticity of the spring, the damper and the diaphragm aperture diameter of the diffuser cap to control the characteristics of the damper medium. The solution of differential equations is produced when two states discriminant, with positive and negative values. Place your function and graphs the amplitude and the frequency of vacuum pressure fluctuations, as well as the results of the simulation valve travel and cargo pressure regulators with single-mass and two-mass valve-damping systems. The amplitude of the movement of the valve depends on the damping factor and the square of the natural frequency, respectively, of the valve and the cargo. Fluctuations regulator valve with a spring-damper system - damped. The amplitude of the vibrations of the unit depends on the weight of the load and vacuum pressure pulse.

Key words: pressure regulator, the amplitude of oscillation, two-mass system, the damping coefficient, valve, damper medium differential equation.

WYKORZYSTANIE CYFROWYCH MIERNIKÓW TEMPERATURY DS18B20 DO OKREŚLENIA RZECZYWISTEGO ROZKŁADU TEMPERATUR GRUNTOWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA

Gielzecki Jan¹, Syrotyuk Serhiy², Jakubowski Tomasz¹, Syrotyuk Kateryna²

¹*Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie*

Al. Mickiewicza 21, Kraków, Polska. E-mail: gielzeck@o2.pl

²*Lwowski Narodowy Uniwersytet Rolniczy*

Ul. W. Welykogo, 1, Dublyany, Ukraina. E-mail: ssyr@ukr.net

Streszczenie. Określenie rzeczywistego rozkładu temperatur oparto na zainstalowanych w czasie montażu budowli GWC (gruntowego wymiennika ciepła) cyfrowych mierników temperatury. W okresie 2006/2016 wykonano kilkadziesiąt tysięcy map pól temperatury dla fazy stałej i gazowej dla oceny rozkładu temperatur, będących pośrednim wskaźnikiem przemieszczania się ciepła.

W rzeczywistej instalacji temperatura powietrza na wlocie do złoża zmienia się zależnie od temperatury zewnętrznej, a ponadto temperatura w złożu w stanie początkowym na ogół nie jest wyrównana. W celu określenia rzeczywistego rozkładu temperatur w złożu kamiennym (w trakcie realizacji budowy GWC dla domu jednorodzinnego) złoże opomiarowano. Ze względu na bardzo wysoki koszt użycia standardowych mierników temperatury (termopary) zastosowano czujniki elektroniczne firmy Dallas Semiconductor – Maxim - DS18B20. Koszt czujników kilkadziesiąt razy niższy od kosztu termopar, łatwość połączenia (jedna magistrala), brak konieczności kłopotliwej kalibracji, prostota pomiaru i archiwizacji danych pomiarowych (brak kart pomiarowych, wykorzystanie programu Microsoft Excel do zapisu wyników pomiarów na dysku twardym komputera poprzez prosty i tani interfejs RS 232) były podstawowymi zaletami ich zastosowania. Wszystkie etapy umieszczania czujników temperatury w punktach kontrolnych i warstwach zilustrowano wykresami i zdjęciami.

Wizualizację całego układu pomiarowego wraz z układem nawiewno - wywiewnym zaprezentowano w arkuszu Microsoft Excel. Zaproponowana metoda pomiaru oparta na cyfrowych miernikach temperatury DS18B20 spełniła oczekiwane rezultaty, co pozwoliło na wygenerowanie kilkudziesięciu tysięcy map rozkładów temperatury w GWC.

Słowa kluczowe: pompą ciepła, gruntowy wymiennik ciepła, rozkład temperatur, cyfrowy miernik temperatury, mapy pól temperatur.

Gruntowy wymiennik ciepła

Do wykorzystania energii gruntu służą tzw. Gruntowe Wymienniki Ciepła (GWC). Duża liczba badań hybrydowych systemów energetycznych wykorzystujących gruntowe wymienniki ciepła [1 ÷ 20]. Gruntowy wymiennik ciepła jest to budowla w układzie wentylacji nawiewno-wywiewnej budynku za pomocą której z niewielkiej głębokości gruntu można pozyskać naturalną, odnawialną energię (ciepła zimą a chłodu latem). Idea działania urządzenia oparta jest na fakcie istnienia na głębokości 1 m ÷ 4 m prawie stałej

temperatury gruntu w ciągu całego roku. W naszej strefie klimatycznej na tej głębokości temperatura gruntu wynosi ok. +10 °C (+/-1,5 °C).

Żwir w GWC jest umieszczony bardzo płytko (60 cm pod powierzchnią gruntu). Dzięki dobrej izolacji termicznej umiejscowionej nad złożem GWC symuluje się jego posadowienie na głębokości 5 m ÷ 6 m pod powierzchnią ziemi.

Co najmniej kilkaset pracujących w Polsce GWC potwierdza, że powietrze zewnętrzne przepływając przez złoże żwirowe usadowione na tej głębokości podgrzewa się w szczytach zimowych o 20 °C, latem zaś ulega ochłodzeniu z około +30 °C do +20 °C. Konstrukcja GWC zaprojektowana jest jako naturalne złoże czystego płukanego żwiru umieszczonego w gruncie. Bezpośredni kontakt złoża z otaczającym gruntem oraz nocne przerwy w eksploatacji powodują szybką regenerację złoża. Pozwala to zachować w miarę stabilne parametry powietrza na wyjściu z wymiennika w długim okresie czasu.

Do opisu pracy GWC – odnowienia ciepła w złożu kamiennym oraz jego odbioru, stosowane są modele o zróżnicowanej złożoności, które oparte są na równaniach bilansu energii sformułowanych oddzielnie dla wypełnienia złoża i dla powietrza albo na równaniach bilansowych sformułowanych przy odpowiednich założeniach tylko dla wypełnienia [3]. Matematyczne modelowanie regeneracji i rozładowania magazynu ciepła, jakim jest złoże kamienne, wymaga znajomości właściwości fizycznych materiału użytego jako wypełnienie, parametrów geometrycznych wypełnienia, zależności opisujących wnikanie ciepła między wypełnieniem (fazą stałą złoża), gruntem rodzimym, powietrzem (fazą gazową) oraz oporów przepływu powietrza. Opis pracy złoża, zwykle w postaci numerycznej, jaki wymagany jest przy projektowaniu i analizie funkcjonowania instalacji słonecznych uzyskiwany jest przy użyciu bardziej złożonych modeli.

W rzeczywistej instalacji temperatura powietrza na wlocie do złoża zmienia się zależnie od temperatury zewnętrznej, a ponadto temperatura w złożu w stanie początkowym na ogół nie jest wyrównana. W celu określenia rzeczywistego rozkładu temperatur w złożu kamiennym (w trakcie realizacji budowy GWC dla domu jednorodzinnego) złoże opomiarowano. Ze względu na bardzo wysoki koszt użycia standardowych mierników temperatury (termopary) zastosowano czujniki elektroniczne firmy Dallas Semiconductor – Maxim - DS18B20. Koszt czujników kilkadziesiąt razy niższy od kosztu termopar, łatwość połączenia (jedna

magistrala), brak konieczności kłopotliwej kalibracji, prostota pomiaru i archiwizacji danych pomiarowych (brak kart pomiarowych, wykorzystanie programu Microsoft Excel do zapisu wyników pomiarów na dysku twardym komputera poprzez prosty i tani interfejs RS 232) były podstawowymi zaletami ich zastosowania.

Budowa gwc – (żwirowego)

Budowa gruntowego wymiennika ciepła (dwukomorowego) dla domu jednorodzinnego. Rysunki od 1÷3 do przedstawiają fotografie wykonane w trakcie realizacji budowy, na których pokazano sposób ułożenia obwodów z czujnikami grup A, B i C.



Rys. 1. Obwód pomiarowy - grupa czujników A umieszczonych w gruncie rodzimym pod złożem na głębokości 75 cm

Fig. 1. The measuring circuit - A group of sensors placed in the native soil under the bed at a depth of 75 cm



Rys. 2. Grupa czujników B umiejscowionych w ścianach bocznych wymiennika

Fig. 2. The B group sensors localized in the side walls of the heat exchanger

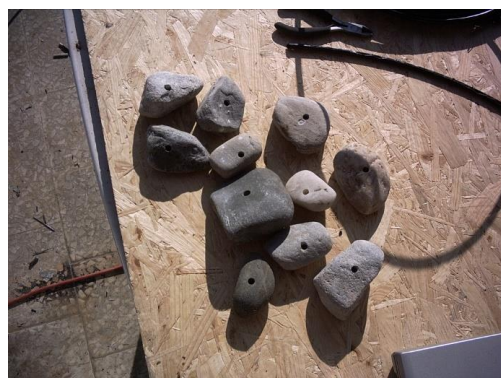


Rys. 3. Grupa czujników E (15 cm od góry złoża) w fazie stałej (kamień) i w fazie gazowej (powietrze)

Fig. 3. The E sensor group (15 cm from the top of the bed) in the solid phase (stone) and gas phase (air)

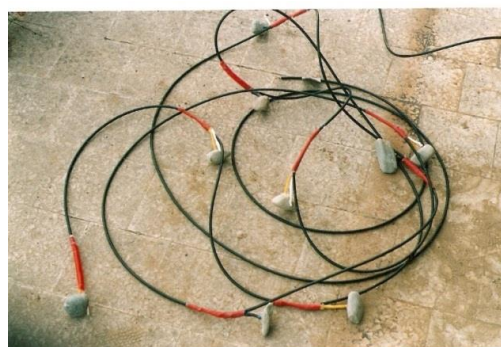
Rys. 4, 5 prezentują technologię montażu cyfrowych czujników temperatury DS18B20 w kamieniach.

Na rysunku 6 przedstawiono schemat przestrzenny umiejscowienia w dwukomorowym GWC grup cyfrowych czujników pomiarowych temperatury (firmy Dallas Semiconductor - DS18B20).



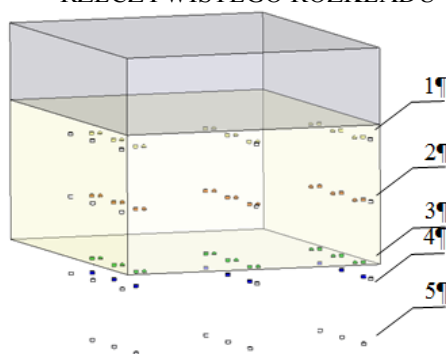
Rys. 4. Kamienie przygotowane do umieszczenia czujników

Fig. 4. Stones prepared to receive sensor



Rys. 5. Cyfrowe czujniki temperatury DS18B20 umieszczone w kamieniach

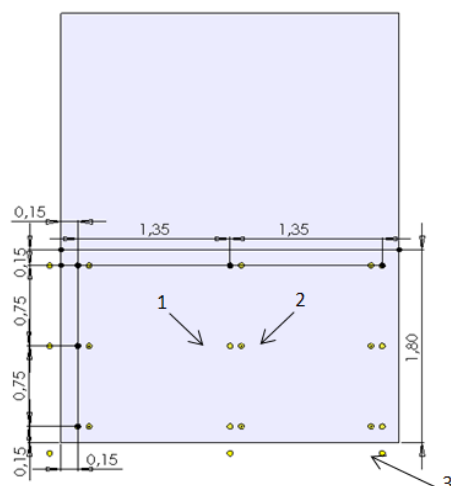
Fig. 5. Digital temperature sensors DS18B20 placed in the stones



Rys. 6. Widok na usytuowanie grup cyfrowych czujników temperatury DS18B20 w GWC: 1 – grupa E, 2 – grupa D, 3 – grupa C, 4 – grupa A, 5 – grupa G

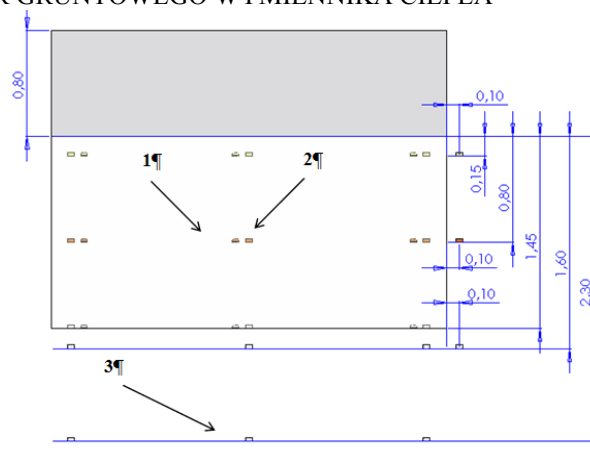
Fig. 6. View of the location of groups of digital temperature sensors DS18B20 in the GWC: 1 – Group E, 2 – Group D, 3 – Group C, 4 – Group A, 5 – Group G

Uwzględniając symetrię obiektu oraz zbliżone warunki pracy obu komór, czujniki umieszczono w jednej komorze w 5 warstwach pomiarowych. Rozmieszczenie przestrzenne punktów pomiaru temperatury przedstawiono na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Schemat rozmieszczenia czujników temperatury w przekroju poziomym: 1 – czujnik; 2 – czujnik w kamieniu; 3 – czujnik w gruncie

Fig. 7. Scheme of arrangement of temperature sensors in the horizontal section: 1 – sensor; 2 – sensor in stone; 3 – the sensor in the ground

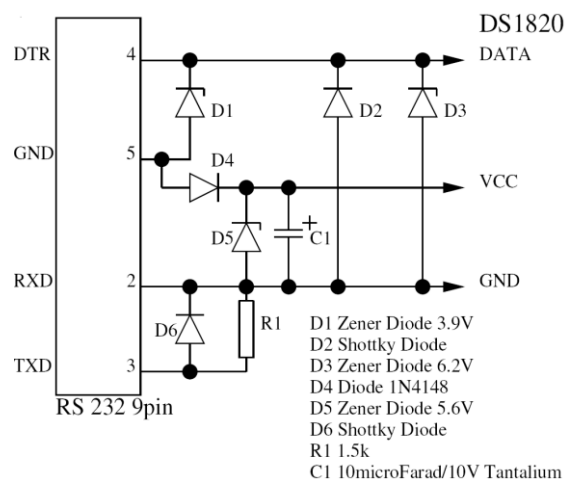


Rys. 8. Schemat rozmieszczenia czujników temperatury w przekroju pionowym: 1 – czujnik, 2 – czujnik w kamieniu, 3 – czujnik w gruncie

Fig. 8. The scheme of the arrangement of temperature sensors in vertical cross section: 1 – sensor 2 – sensor in stone, 3 – the sensor in the ground

Pomiary

Pomiar temperatury w poszczególnych warstwach dokonywano za pomocą układu RS232 (schemat na rys. 8), do którego przyłączono 6 torów pomiarowych A, B, C, D, E składających się z cyfrowych mierników temperatury firmy Dallas Semiconductor typu DS18B20 na rys. 10, [21-23].



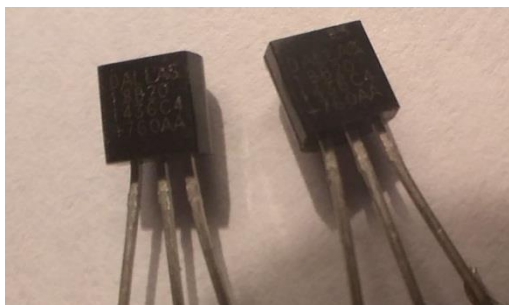
Rys. 9. Schemat układu RS232 łączącego torów pomiarowych z komputerem

Fig. 9. Diagram of the RS232 connecting the measuring lines from the computer



Rys. 10. Wykonany układ RS232 łączący tory pomiarowe z komputerem

Fig. 10. Made system RS232 connection test tracks with a computer



Rys. 11. Miernik temperatury DS18B20 firmy Dallas Semiconductor

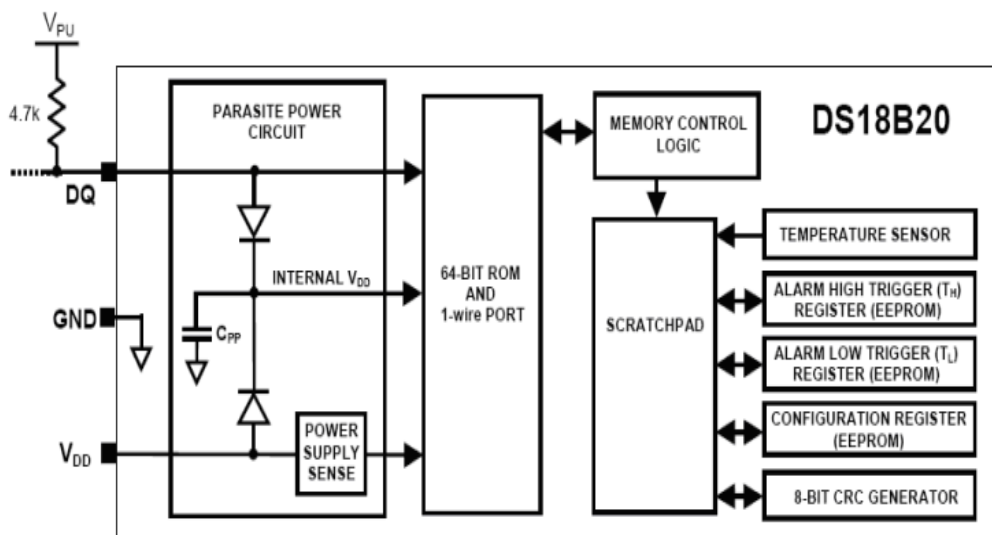
Fig. 11. Temperature Meter DS18B20 Dallas Semiconductor

Prezentowany układ (rys. 10) jest termometrem produkowanym przez firmę Dallas Semiconductor – Maxim. Jest to termometr z programowaną przez użytkownika rozdzielczością pomiaru w zakresie 9, 10, 11, 12 bitów, co odpowiada dokładności pomiaru odpowiednio 0.5 °C, 0.25 °C, 0,125 °C, 0,0625 °C. Domyślną rozdzielczością po włączeniu zasilania do układu jest 12 bitów. Zakres pomiaru termometru wynosi od -55 °C do 125 °C. Czas konwersji termometru to maksymalnie 750 ms i zależy od wybranej dokładności. Układ jest zasilany napięciem w zakresie od 3 V do 5,5 V.

Układ wyposażony jest w interfejs 1-Wire. Schemat układu przedstawia rys. 11. Widok ogólny wymiennika krzyżowego podany na rys. 13.

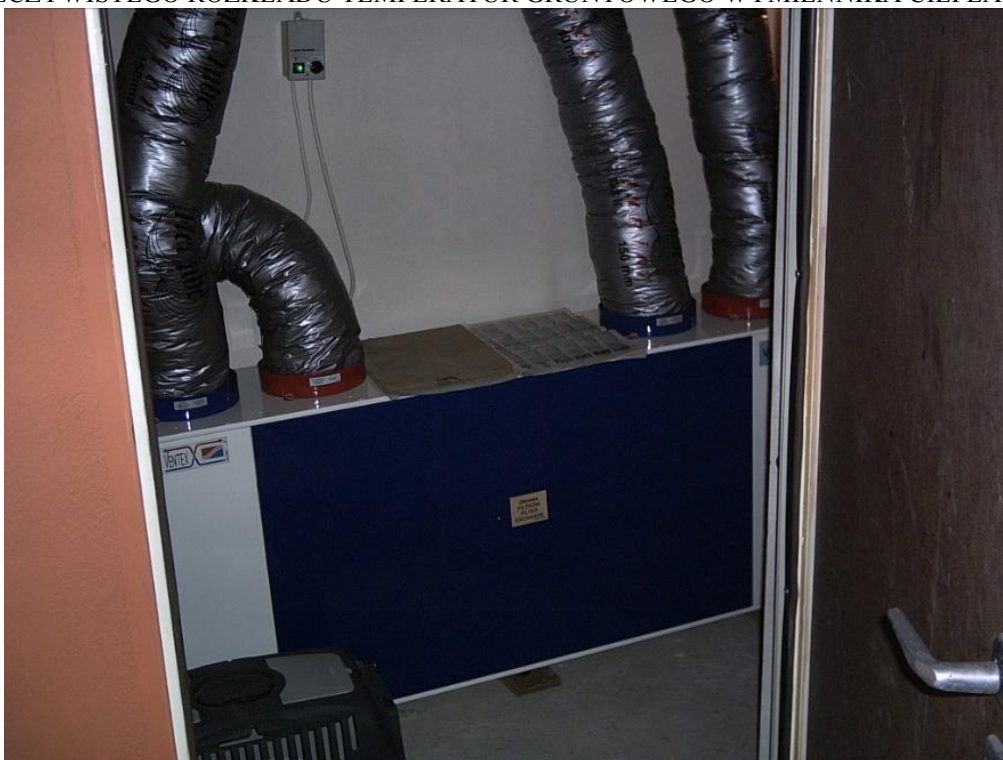
Dane pomiarowe mierzonych temperatur archiwizowano na dysku twardym komputera wykorzystując program autorski napisany w języku VBA - Microsoft Excel. Przykładowy zrzut z ekranu pomiarów temperatur przedstawiono na rys. 14. Wizualizację całego układu pomiarowego wraz z układem nawiewno - wywiewnym zaprezentowano w arkuszu Microsoft Excel. Rozmieszczenie linii pomiarowych oraz przykładowe temperatury przedstawiono na rys. 14.

Pomiary prowadzono w latach 2006/2016. Do analizy wartości temperatur zebranych w Excelu przetworzonych w programie autorskim napisanym w Visual Basic 6.0. wygenerowano w programie Surfer 8.0 Golden SoftWare około 25670 rozkładów pól temperatur w złożu GWC.



Rys. 12. Schemat blokowy układu DS18B20

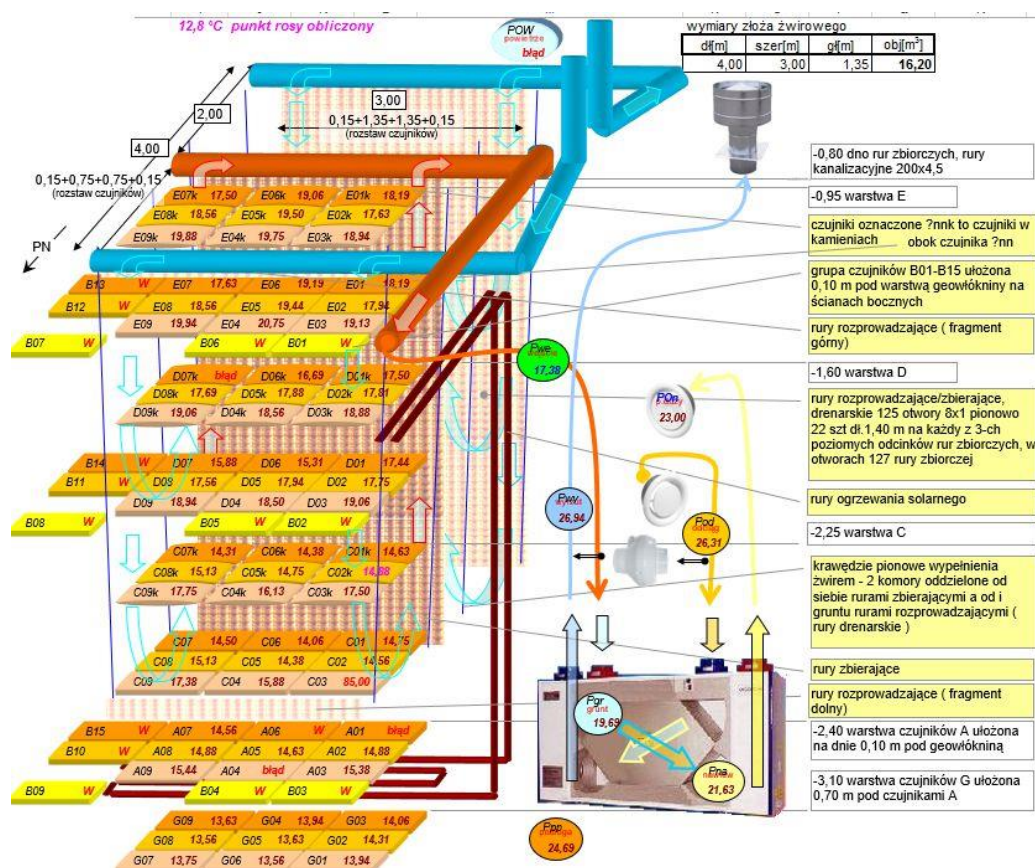
Fig. 12. Block diagram of the DS18B20



Rys. 13. Widok ogólny wymiennika krzyżowego zastosowanego w instalacji

Fig. 13. General view of the plate heat exchanger used in the installation

KOD	P/Pwe	PON	A01	A02	A03	A04	A05	A07	A08	A09	C01	C01K	C02	C02K	C03	C03K	C04	C04K	C05	C05K	C06	C06K	C07	C07K	C08	C08K	C09	C09K	D01	D01K	D02	D02K	D03	D03K	D04	D04K	D05	D05K	D06
2006-12-09 13:16 B	7.84	22.44	8.69	6.31	6.75	6.75	6.36	6.81	6.63	6.88	6.19	6.06	6.31	6.00	6.81	6.75	6.06	6.19	7.69	8.00	7.75	7.94	8.13	6.06	6.06	6.06	6.81	6.75	7.06	7.75	7.81	7.69	9.00	6.88	7.89	6.06	6.88	6.75	6.13
2006-12-09 13:46 B	7.88	22.50	8.76	6.56	6.81	9.00	6.44	6.86	6.75	9.00	6.31	6.19	6.25	7.84	9.00	6.88	6.19	6.25	7.81	8.00	7.75	8.00	8.19	6.06	6.13	6.88	6.81	7.06	7.19	7.88	7.81	6.19	8.94	7.94	6.13	6.94	6.88	6.13	
2006-12-09 14:16 B	7.94	22.56	8.88	6.56	6.88	9.00	6.36	6.88	6.75	9.06	6.26	6.19	6.31	6.13	6.94	6.88	6.19	6.31	7.81	8.06	7.61	8.00	6.19	6.13	6.13	6.13	6.94	6.81	7.13	7.31	7.88	7.88	6.25	9.06	6.06	6.19	6.94	6.88	6.19
2006-12-09 14:46 B	7.94	22.75	9.00	6.63	6.88	9.44	6.50	6.94	6.88	9.06	6.36	6.31	6.36	6.13	9.06	9.00	6.25	6.36	7.88	6.13	7.81	7.89	6.25	6.06	6.19	6.19	9.06	6.94	7.19	7.36	7.94	7.94	6.36	9.19	6.13	6.36	7.00	6.94	5.88
2006-12-09 15:15 B	7.81	22.63	8.81	6.56	6.63	6.94	6.36	6.88	6.75	9.00	6.31	6.06	6.31	6.13	9.00	6.94	6.25	6.31	7.81	6.00	7.75	8.00	6.19	6.13	6.19	6.13	9.00	6.88	7.06	7.31	7.81	7.81	9.36	9.19	6.06	6.25	7.00	6.94	6.19
2006-12-09 15:45 B	7.81	22.50	8.94	6.63	6.94	9.13	6.19	6.94	6.75	9.06	6.31	6.25	6.36	6.19	9.13	9.06	6.31	6.36	7.88	6.06	7.81	6.06	6.25	6.13	6.19	6.19	9.00	6.94	7.19	7.36	7.94	8.00	9.44	9.19	6.19	6.36	7.06	7.00	6.06
2006-12-10 16:48 B	7.81	21.88	8.75	6.50	6.68	8.68	6.50	6.68	6.75	9.00	6.36	6.25	7.75	6.68	7.86	7.63	6.00	7.75	6.00	6.25	7.94	6.13	6.31	6.25	6.06	7.94	7.68	7.31	7.94	8.00	7.88	7.85	7.88	7.44	7.19	7.19	7.63	7.36	6.63
2006-12-10 17:18 B	7.81	22.19	8.81	6.44	6.88	9.00	6.56	6.94	6.75	8.94	6.44	6.25	6.31	6.13	7.69	7.69	7.88	7.61	7.94	6.19	8.00	6.13	6.25	6.19	6.13	6.06	7.75	7.31	7.81	6.00	7.75	7.75	7.36	7.26	7.19	7.31	7.63	7.56	6.69
2006-12-10 17:48 B	7.81	22.25	8.88	6.56	6.75	8.88	6.50	6.94	6.81	9.00	6.36	6.31	6.31	6.19	7.63	7.81	7.94	7.81	6.00	6.25	6.00	6.13	6.31	6.13	6.13	6.06	7.75	7.31	7.88	6.06	7.88	7.81	7.44	7.25	6.75	7.31	7.63	7.56	6.00
2006-12-10 18:18 B	7.75	22.13	8.94	6.63	6.88	8.94	6.50	6.94	6.75	9.06	6.25	6.36	6.44	6.25	7.63	7.69	7.89	7.81	6.00	6.25	6.00	6.13	6.31	6.19	6.13	6.06	7.75	7.31	7.88	6.00	7.75	7.75	7.36	7.19	7.13	7.19	7.69	7.56	6.75
2006-12-10 18:48 B	7.75	22.00	9.06	6.63	6.88	8.94	6.56	6.88	6.81	9.06	6.44	6.36	6.36	6.25	7.63	7.69	7.88	7.81	6.00	6.25	7.94	6.19	6.44	6.19	6.13	6.06	7.81	7.25	7.88	6.06	7.69	7.69	7.36	7.25	7.19	7.31	7.69	7.63	6.88
2006-12-10 19:18 B	7.81	22.00	9.13	6.69	6.94	9.25	6.75	6.94	6.81	9.06	6.44	6.44	6.44	6.25	7.63	7.69	7.84	7.88	6.13	6.31	6.00	6.25	6.36	6.25	6.19	6.13	7.81	7.88	7.84	6.06	7.69	7.69	7.36	7.25	7.19	7.31	7.69	7.63	6.88
2006-12-10 19:48 B	7.81	22.00	9.44	6.75	9.00	9.66	6.69	9.06	6.94	9.19	6.50	6.50	6.56	6.25	7.69	7.75	8.00	7.88	6.19	6.36	6.06	6.31	6.44	6.31	6.19	6.25	7.88	7.36	7.94	6.13	7.75	7.75	7.44	7.25	7.25	7.31	7.75	7.69	6.88
2006-12-11 17:05 B	7.25	21.31	8.69	6.31	6.69	8.44	6.50	6.94	6.68	6.88	6.25	6.00	7.44	7.75	6.31	6.19	6.81	6.63	7.56	6.06	6.00	6.31	6.13	7.88	7.50	7.44	6.50	5.88	7.06	7.19	6.69	6.56	5.81	5.69	5.75	5.81	5.94	6.69	7.00
2006-12-11 17:35 B	7.19	21.13	8.61	6.31	6.63	8.50	6.56	6.88	6.69	6.81	6.25	6.06	7.94	7.81	6.00	6.00	6.69	6.36	7.63	6.00	6.06	6.25	6.13	7.94	7.56	7.44	6.44	5.81	7.06	7.19	6.63	6.50	5.56	5.56	5.69	5.75	6.88	6.75	7.00
2006-12-11 18:05 B	7.25	21.36	8.81	6.31	6.63	8.75	6.50	6.94	6.69	6.81	6.25	6.13	8.00	7.81	6.01	5.88	6.63	6.31	7.63	6.00	6.13	6.25	6.13	7.94	7.56	7.44	6.36	5.69	7.00	7.19	6.63	6.50	5.56	5.44	6.63	6.81	6.69	7.00	
2006-12-11 18:35 B	7.19	21.25	8.88	6.44	6.63	8.63	6.56	6.94	6.69	6.81	6.25	6.13	8.00	7.75	5.69	5.75	6.56	6.19	7.63	6.00	6.13	6.25	6.13	7.94	7.56	7.44	6.36	5.69	7.00	7.25	6.63	6.56	5.36	5.31	5.63	6.63	6.81	6.69	7.00
2006-12-11 19:05 B	7.25	21.69	9.06	6.36	6.63	8.88	6.56	6.94	6.69	6.81	6.25	6.13	8.00	7.81	6.63	6.63	6.50	6.19	7.63	6.00	6.13	6.25	6.13	7.94	7.56	7.44	6.36	5.69	7.00	7.25	6.63	6.50	5.25	5.19	5.56	5.56	6.81	6.69	7.00
2006-12-11 19:35 B	7.19	22.19	8.94	6.36	6.63	9.19	6.56	6.94	6.69	6.81	6.25	6.13	8.00	7.81	5.56	5.56	6.44	6.19	7.63	6.00	6.13	6.25	6.13	7.94	7.56	7.44	6.36	5.56	7.06	7.19	6.63	6.44	5.19	5.13	5.44	5.50	5.81	6.63	7.00
2006-12-11 20:06 B	7.13	21.88	9.00	6.44	6.63	9.31	6.63	6.94	6.69	6.81	6.25	6.13	8.00	7.75	5.44	5.81	6.31	6.06	7.56	6.00	6.13	6.31	6.19	7.94	7.50	7.44	6.25	5.50	7.00	7.19	6.66	6.44	5.13	5.00	5.36	5.36	6.75	6.63	7.00
2006-12-12 01:11 B	6.81	20.75	8.88	6.25	6.36	8.44	6.63	6.94	6.68	6.81	6.06	6.00	7.75	7.56	4.00	4.00	5.36	4.94	7.44	7.88	6.13	6.31	6.06	7.81	7.25	7.19	5.88	5.00	6.75	6.88	6.19	6.00	3.69	3.63	4.44	4.36	5.44	6.31	6.94
2006-12-12 01:41 B	6.88	20.88	8.31	6.44	6.25	8.56	6.94	6.75	6.88	6.19	6.06	7.81	7.56	3.94	3.69	5.31	4.88	7.50	7.88	6.31	6.25	6.13	7.94	7.25	7.19	5.94	5.00	6.75	6.94	6.13	6.00	3.63	3.50	4.36	4.36	6.44	6.31	7.00	
2006-12-12 01:46 B	6.88	20.88	8.31	6.44	6.25	8.56	6.94	6.75	6.88	6.19	6.06	7.81	7.56	3.94	3.69	5.31	4.88	7.50	7.88	6.31	6.25	6.13	7.94	7.25	7.19	5.94	5.00	6.75	6.94	6.13	6.00	3.63	3.50	4.36	4.36	6.44	6.31	7.00	
2006-12-12 01:48 B	6.88	20.88	8.31	6.44	6.25	8.56	6.94	6.75	6.88	6.19	6.06	7.81	7.56	3.94	3.69	5.31	4.88	7.50	7.88	6.31	6.25	6.13	7.94	7.25	7.19	5.94	5.00	6.75	6.94	6.13	6.00	3.63	3.50	4.36	4.36	6.44	6.31	7.00	
2006-12-12 02:11 B	6.81	20.81	8.44	6.50	6.31	8.69	6.06	6.81	6.94	6.25	6.19	7.88	7.56	3.88	3.81	5.36	5.00	7.56	7.94	6.25	6.44	6.19	6.00	7.31	7.25	5.94	5.06	6.81	7.00	6.13	6.00	3.56	3.44	4.36	4.36	6.50	6.36	7.00	
2006-12-12 02:41 B	6.75	20.75	8.44	6.56	6.31	8.69	6.06	6.88	6.94	6.25	6.19	7.88	7.56	3.75	4.13	5.19	4.81	7.63	6.00	6.25	6.44	6.19	6.00	7.31	7.31	6.00	5.00	6.81	7.06	6.13	6.00	3.44	3.36	4.31	4.31	6.50	6.36	7.00	
2006-12-12 03:11 B	6.75	20.75	8.44	6.56	6.36	8.81	6.13	6.88	6.94	6.00	6.31	6.25	7.88	7.56	3.69	3.63	5.25	4.75	7.63	6.00	6.31	6.50	6.25	6.00	7.36	7.25	6.00	5.00	6.81	7.06	6.06	5.94	3.36	3.31	4.25	4.25	6.50	6.36	7.06
2006-12-12 03:41 B	6.75	20.88	8.50	6.56	6.36	8.81	6.13	6.88	6.90	6.00	6.31	6.25	7.88	7.56	3.63	3.68	5.25	4.69	7.63	6.00	6.31	6.56	6.25	6.06	7.36	7.31	6.00	5.00	6.81	7.06	6.06	5.88	3.31	3.19	4.25	4.19	6.50	6.36	7.06
2006-12-12 22:38 B	6.19	21.06	7.68	6.19	7.36	8.00	6.81	6.50	6.68	7.69	7.36	7.00	6.81	6.06	6.00	6.36	6.25	6.31	6.69	7.69	6.00	7.44	7.19	7.13	6.36	6.25	5.19	5.44	5.19	5.44	4.63	4.56	4.44	4.31	4.31	6.00	6.00		
2006-12-12 23:09 B	6.13	21.31	7.88	6.19	6.13	6.56	6.81	6.44	6.56	7.69	7.56	7.19	6.94	6.06	6.06	6.44	6.31	6.36	6.94	7.69	6.00	7.44	7.19	7.25	7.13	6.31	5.75	5.19	5.36	5.13	4.81	5.13	5.00	4.63	4.56	4.50	4.31	6.00	
2006-12-12 23:39 B	6.19	21.44	7.94	6.19	7.81	6.36	6.88	6.50	6.56	7.81	7.44	7.19	7.06	6.06	6.06	6.60	6.60	6.31	6.36</																				

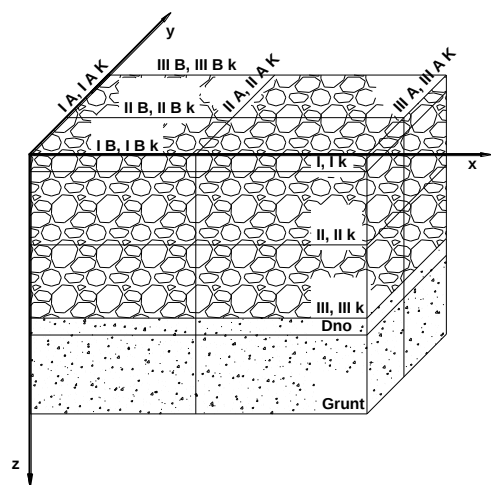


Rys. 15. Rozmieszczenie linii pomiarowych w GWC

Fig. 15. Distribution of measuring lines in the a ground heat exchanger

Pomiary prowadzono w latach 2006/2016. Do analizy wartości temperatur zebranych w Excelu przetworzonych w programie autorskim napisanym w Visual Basic 6.0. wygenerowano w programie Surfer 8.0 Golden SoftWare około 25670 rozkładów pól temperatur w złożu GWC.

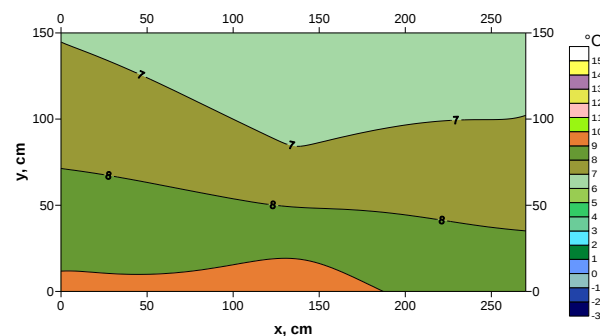
Na rysunku 15 przedstawiono plan płaszczyzn przekrojów dla generowanych pól temperatury wraz ze współrzędnymi kartezjańskimi.



Rys. 16. Schemat umiejscowienia współrzędnych
cejańskich wraz z położeniem warstw przekrojów

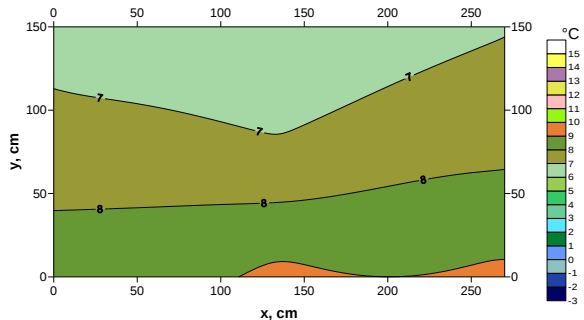
Fig. 16. Scheme of positioning of Cartesian coordinates and the orientation of the layers of cross-sections

Na rysunkach od 17 do 25 przedstawiono przykładowe mapy pól temperatur w wybranych warstwach oraz przekrojach dla powietrza i dla kamienia.



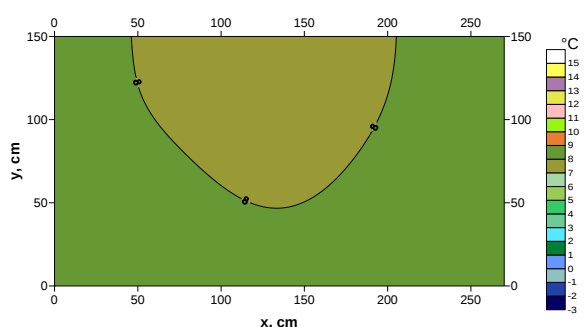
Rys. 17. Pole temperatury przekroju poziomego w warstwie I (powietrze)

Fig. 17. The temperature field in the horizontal section of the layer I (air)



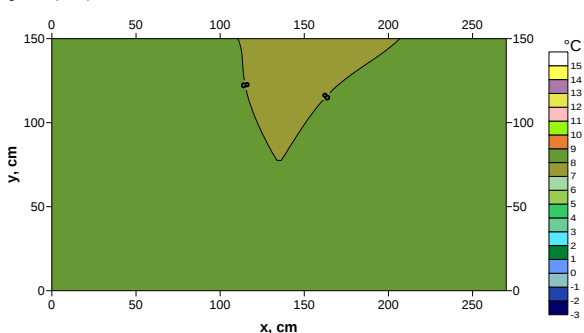
Rys. 18. Pole temperatury przekroju poziomego w warstwie I (kamień)

Fig. 18. The field temperature section in the layer I (stone)



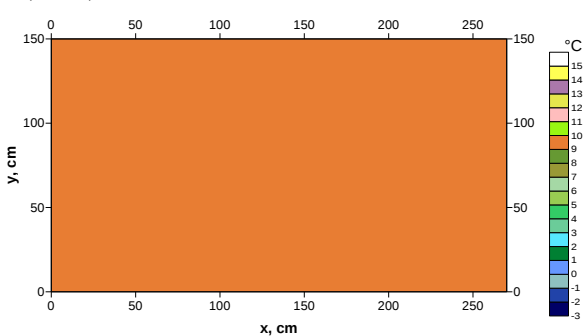
Rys. 19. Pole temperatury przekroju poziomego w warstwie III (powietrze)

Fig. 19. The temperature field section in the third layer (air)



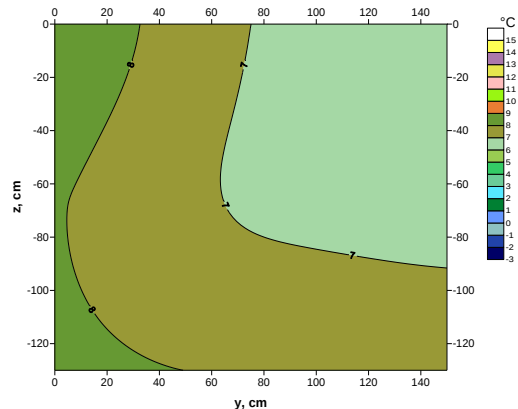
Rys. 20. Pole temperatury przekroju poziomego w warstwie III (kamień)

Fig. 20. The field temperature section in the layer III (stone)



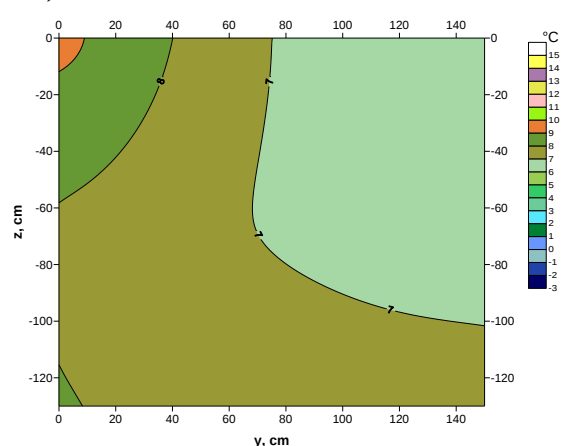
Rys. 21. Pole temperatury przekroju poziomego w warstwie gruntu

Fig. 21. The temperature field in the horizontal section of the layer of soil



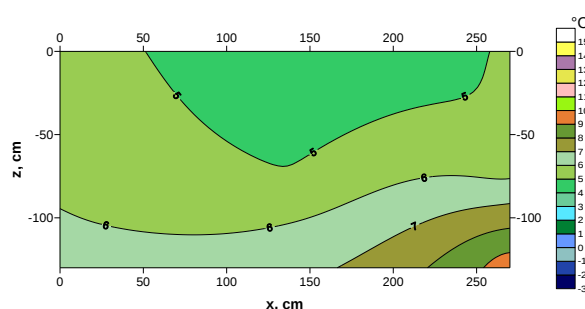
Rys. 22. Pole temperatury przekroju pionowego II-A (kamień)

Fig. 22. The field temperature vertical section II-A (stone)



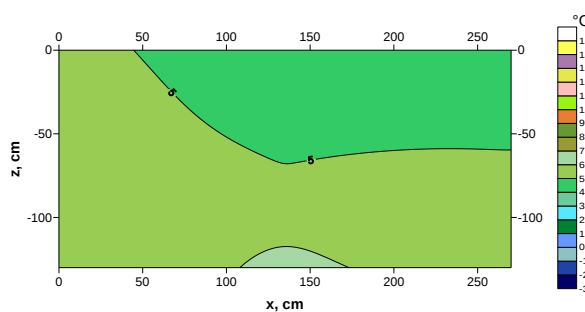
Rys. 23. Pole temperatury przekroju pionowego II-A

Fig. 23. The temperature field vertical section II-A



Rys. 24. Pole temperatury przekroju pionowego I-B

Fig. 24. The temperature field vertical section I-B



Rys. 25. Pole temperatury przekroju pionowego I-B (kamień)

Fig. 25. The field temperature vertical section I-B (stone)

Podsumowanie

1. Podczas eksploatacji zbudowanego układu pomiarowego stwierdzono:

– czas konwersji (odczytu) termometrów cyfrowych DS18B20 zależy od ich ilości na jednej linii pomiarowej – celowym byłoby użycie kilku linii pomiarowych,

– wpływ warunków otoczenia wpływa na błędy odczytu temperatury termometrów cyfrowych DS18B20, przede wszystkim wilgotność przy złym zabezpieczeniu przeciw wilgotnościowym czujnika,

– możliwość uszkodzenia mechanicznego czujników jak również linii przesyłowej (1 – wire) spowodowane znaczną masą GWC.

2. Zaproponowana metoda pomiaru oparta na cyfrowych miernikach temperatury DS18B20 spełniła oczekiwane rezultaty, co pozwoliło na wygenerowanie kilkudziesięciu tysięcy map rozkładów temperatury w GWC.

Literatura

1. <http://www.gwc.com.pl>. dostęp: 2016.08.08
2. <http://www.taniaklima.pl>. dostęp: 2016.08.08
3. **Smolec W. 2000.** Fototermiczna konwersja energii słonecznej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. 273 – 289,
4. **Zator S., Moczko-Król J., Król A. 2006.** Tania energia z gruntowego wymiennika ciepła, Rynek Instalacyjny 12/2006, 51.
5. **Wojcicka-Migasiuk D., Chochowski A., Syrotyuk S. 2014.** The local hybrid power system. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agrifood industry machinery. – Vol. 16. No 4. 105-111.
6. **Obstawski P. 2012.** Modelowanie dynamiki pracy płytowego wymiennika ciepła w układzie przeciwprądowym. Przegląd Elektrotech. Vol. 88 nr 3a. 156-160.
7. **Bidarmaghz A., Narsilio G., Johnston I. 2013.** Numerical Modelling of Ground Heat Exchangers with Different Ground Loop Configurations for Direct Geothermal Applications. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris. 3343-3346.
8. **Czekalski D., Chochowski A., Obstawski P. 2006.** Badania eksploatacyjne wymiennika gruntowego. Ciepł. Ogrzew. Went. Nr. 7-8. 37-40.
9. **Świączny M., Hanuszkiewicz-Drapała M. 2010.** Thermodynamic analysis of ground tubular heat exchangers for air heating up. Model. Inżynierskie Vol. 40, Polit. Śląska Gliwice. 233-239.
10. **Chochowski A., Czekalski D., Obstawski P. 2009.** Monitoring of renewable energy sources hybrid system operations. Przegląd Elektrotechniczny 85 (8). 92–95.
11. **Diaz G.C. 2000.** Simulation and control of heat exchangers using artificial neural networks. PhD. Thesis Depart. of Aerosp. And Mechan. Engin. Univ. Notre Dame, Indiana USA.
12. **Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J., Fic A. 2007.** Numerical analysis of the system: vapour compressor heat pump – vertical ground heat exchanger, Archiv. of Thermodyn., Vol. 28, 1. 15-32.
13. **Żukowski M. 2007.** Projektowanie sond gruntowych. Ciepł. Ogrzew. Went. nr. 9.26-31.
14. **Firląg S., Majkowski M. 2004.** Projekt gruntowego wymiennika ciepła. Narod. Agencja Poszanow. Energii S.A., Warszawa. 19.
15. **Rutkowski K. 2007.** Analiza wydajności pionowego wymiennika dolnego źródła pompy ciepła. Inż. Rol. 6(94), 213-222.
16. **Kurpaska S., Latała H. 2008.** Efektywność pracy pompy ciepła współpracującej z wymiennikami gruntowymi. Inż. Rol. 6(104). 105-112.
17. **Fic A., Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J. 2006.** Analiza numeryczna wymiennika gruntowego pompy grzejnej ułożonego w rejonie zrzutu ścieków. Model. Inżynierskie Polit. Śląska nr. 32. Gliwice. 143-150.
18. **Hanuszkiewicz-Drapała M. 2009.** Modelowanie zjawisk cieplnych w gruntowych wymiennikach ciepła pomp grzejnych z uwzględnieniem oporów przepływu czynnika pośredniczącego. Model. Inżynierskie Polit. Śląska, nr. 38. Gliwice. 57-67.
19. **Pudlik W. 2008.** Wymiana i wymienniki ciepła. Wyd. Polit. Gdańska, Gdańsk.
20. **Kiszczałak A., Chochowski A. 2007.** Ocena efektywności instalacji grzewczej wykorzystującej układ pompa ciepła – wymiennik gruntowy. Ciepł. Ogrzew. Went., nr. 3. 8-12.
21. <http://www.1-wire.rms.biz.pl>. dostęp: 2006.04.08
22. <http://www.elektro.info.pl>. dostęp: 2006.04.08
23. <http://mikrokontrolery.blogspot.com/2011/04/temperatura-pomiar.html>. dostęp: 2016.08.10.

CONTROL LIGHTING BY MEANS OF VIRTUAL CONTROL MEASUREMENT DEVICE

Stepan Khimka¹, Stanislaw Sosnowski²

¹*Lviv National Agrarian University*

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

²*University of Rzeszow*

St. Ćwiklińskiej, 1a, Rzeszow, Poland

Summary. The system of automatic control of artificial lighting is created and it provides color temperature and brightness of light close to sunlight in real time.

Natural light is essential for improving mental and physical condition of the person and productivity of his or her labor. Changing illumination of color reproduction and light is characteristic of the solar radiation during the day, and it is a natural regulator of life. People thousands of years were trying to adapt to the changing parameters of light during the day.

Changing the color temperature of the light source became technically possible only recently through the development and introduction of RGB-LED drivers for their use.

For displaying the desired color temperature it is enough to have a numerical value of two coordinates which are on the plane chromaticity diagram.

It is proposed to develop a system that will register the presence of a person in the room by using the motion sensor and the data is received by control unit.

When receiving this information a system reads information from the sensor illumination about intensity level of the emission spectra of red, green and blue components separately and the total value of natural light outdoors. This value is compared with those that we set and in the absence of coincidence proportional system adjusts the intensity of each color. This allows for constant color temperature to change the level of light.

This system has wide application because it can be used in all areas of human activity where there is a need to create artificial light for a long period time. Through the using of modern energy technologies, in addition to the positive impact on productivity on the physical and mental activity of a man, it can significantly save electricity when comparing to existing lighting systems. With the development of LED production total displacement of systems based on other light sources may occur, due to higher operating parameters that are provided by the system.

Key words: lighting, automatic control, color temperature, RGB-LEDs.

FORMULATION OF THE PROBLEM

Natural light is essential for improving mental and physical condition of the person and productivity of his or her labor. Changing illumination of color reproduction and light is characteristic of the solar radiation during the day, and it is a natural regulator of life. In the day the sunlight is highly intensive with high color temperature and a significant proportion (high temperature) blue light. In the evening the intensity of these compo-

nents are greatly reduced. People thousands of years tried to adapt to the changing parameters of light during the day. Their biological rhythms that affect the changing physical and mental activity during the day actually are determined by three parameters: intensity, color temperature and blue component of solar radiation [1-5].

ANALYSIS OF THE LATEST RESEARCHES AND PUBLICATIONS

Only recently the changing of the color temperature of the light source became technically possible due to the development and introduction of RGB-LED drivers for their use. Their feature is the placement of three light-emitting diodes crystal in a single package with the optical system. This gave the opportunity to change the current value for each of the crystals independently and mixing them to get all the possible shades of color that can distinguish people (Fig. 1) [6-8].



Fig.1. Mixing colors

To play the desired color temperature it is enough to have a numerical value of two coordinates on the plane on chromaticity diagram (Fig. 2). In this diagram the horizontal axis describes the saturation of a color, and vertical its tone [8-10].

SETTING OBJECTIVES

The task is to develop lighting control system that allows you to change basic settings from changing the color temperature and brightness in real time as the natural light in the atmosphere.

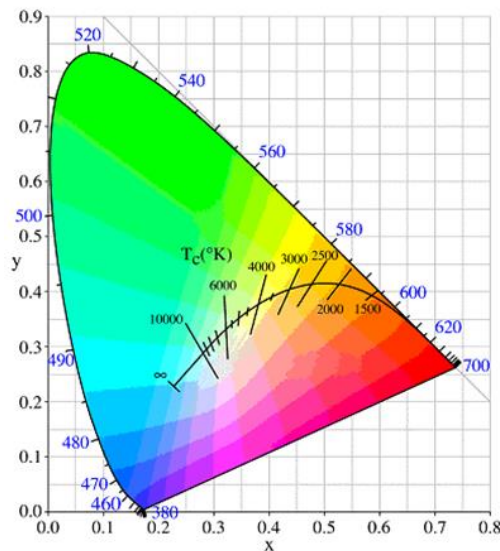


Fig. 2. Chromaticity diagram of the system x, y
PRESENTING MAIN MATERIAL

You can not completely recreate natural lighting parameters using available light today. This is due to the difficulty of establishing sources of light with a spectrum similar to the spectrum of natural light. RGB-LEDs have a spectrum which is most appropriate to the sensitivity of the human eye, and can adjust the color temperature [11-12].

It is proposed to develop a system (Fig. 3) which will register the presence of a person in the room by using the motion sensor and the data it received by control unit.

When a system holds the data, it reads information from the sensor of illumination intensity level of the emission spectra of red, green and blue components separately and the total value of natural light outdoors. This value is compared with these that we set and in the absence of coincidence proportional system adjusts the intensity of each color. This allows for constant color temperature to change light level. From the control unit of information about the intensity of the luminescence of each color serves to block implementation, which forms crystals LED control impulses.

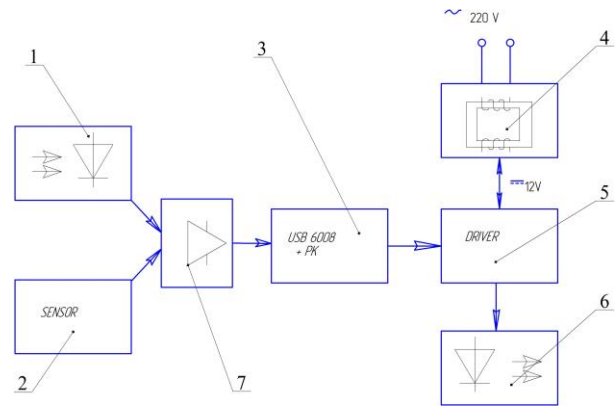


Fig. 3. The system control: 1 – sensor lighting; 2 – motion sensor; 3 – control unit; 4 – Transformer; 5 – unit performance; 6 – LED; 7 – amplifier

In the means of temperature sensor and ambient light we use chip TCS3200 - converter "light - frequency". It consists of a matrix of photodiodes 8 to 8 and the operational amplifier that makes a change in illumination change frequency. Photodiode arrays of 16 photodiodes with blue filter of 16 - with the red, and 16 of the green photodiodes filterless that is to minimize the effect of uneven staggered [2, 13, 14].

The principle is like this (Fig. 5). RGB-filters decompose the light that falls on the red, green and blue components. Photodiode, which is located below the filter, makes the brightness of current, then the current operational amplifiers with input converted current change in the change rate [15].

The main advantage of this chip is a linear dependence of the frequency of light (about 1 kHz to 11k) and spectral sensitivity that is close to the sensitivity of the human eye.

The system is proposed to develop with a help of a system using LabVIEW and board I / O USB 6008. Computer software serves as a highly graphical programming environment LabVIEW [16-19], where you can create flexible systems of measurement, control and test with minimal cost time and money. LabVIEW combines the flexibility of a traditional programming language with interactive technology Express VI (virtual instrument), which has significantly simplified hardware and software. With the help of object programming we can develop structural sequence and method of processing tests. The program creates digital files for each parameter. Processing of an incoming information is possible in real time. The transfer of information between elements of the treatment can be carried out with functional correction (conversion, linearization, etc.). Block diagram of the system for collecting and processing data using VI NI-DAQmx is shown in Fig. 6. The program uses three parallel lines: input, output and proportional mgmt.

Functional Block Diagram

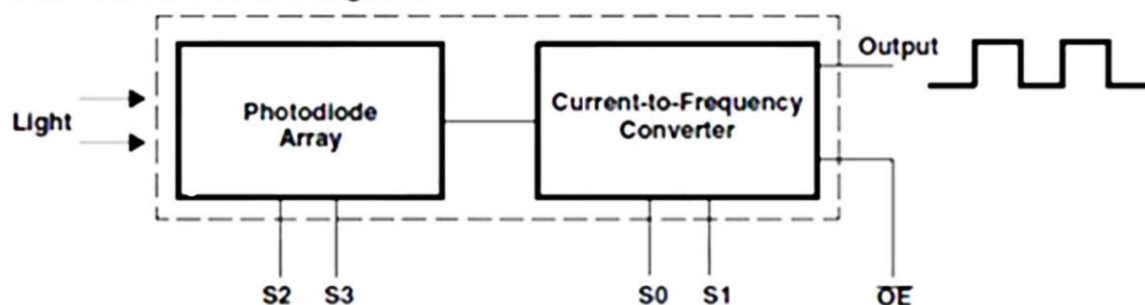


Fig. 5. The principle of the sensor light

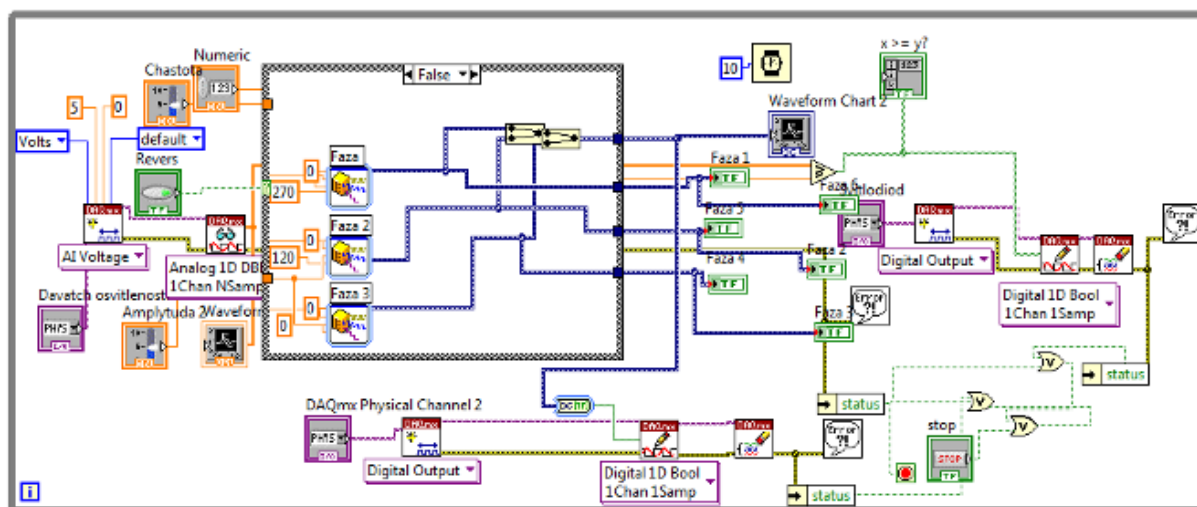


Fig. 6. Block diagram of the system for collecting and processing data

In a motion detector we use infrared sensor. It consists of three elements:

- 1) optical system that shapes the chart orientation sensor determines the shape and type of spatial zones of sensitivity. This system uses a Fresnel lens;
- 2) pyroelectric sensor that registers the thermal radiation rights;
- 3) The signal processing unit sensor that generates signals caused by human movement, against obstacles of natural and artificial origin [20].

Its scheme is shown in Fig. 7.

The signal from the human movement occurs at the output of pyroelectric if a man crosses the beam zone of sensitivity. The sensitivity and selectivity of the sensor is formed using Fresnel lenses with different directional diagrams.



Fig. 7. Infrared sensor

The main advantages of the proposed lighting control system are:

- Changing the color temperature of light during the day, according to the changes of natural light;
- The exact maintenance of specified light level;
- Taking into account the presence of people;
- Availability of smooth switching light sources (except LEDs);
- Small size and weight;
- Modular design;
- Low power consumption.

CONCLUSIONS

This system has wide application because it can be used in all areas of human activity where there is a need to create artificial light for a long time. By using modern energy efficient technologies, in addition to the positive impact on productivity, on the physical and mental activity of man, it can significantly save electricity when comparing to existing lighting systems. With the development of LED production other light sources can be displaced, due to higher operating parameters which are provided by the system.

REFERENCES

1. **Khimka S.M., 2015.** Investigation of the characteristics of modern electric light sources on the example of compact fluorescent lamps. Motrol Vol.17D № 4. 61-65. (Russia).
2. **Babenko O.V. 2013.** Automatic lighting control. Scientific papers VNTU, № 1. 50-56 (Ukraine).
3. **Sirotyuk V.M., Khimka S.M. 2011.** Experimental study of energy-efficient modes of vibration of the dispenser loose forages. MOTROL №13D. 62-67. (Ukraine).
4. **Yatsun A.M. 2013** Power of consumption and phase displacement between voltage and a current of the covering ring capacitor transducer over a conducting plate. Motrol. vol. 15 206-211. (England).
5. **Khimka S.M., Goshko M.O., Vasiliv K.M. 2012.** Investigation of the characteristics of modern electric light sources. Bulletin of Lviv National Agrarian University "Agrotechnical research" №16. 56-62. (Ukraine).
6. **Sorokin V.M. 2009.** LED lighting is expands the boundaries. SvitloLyuks №2 37-41. (Ukraine)
7. **Vasilega P.O. 2010.** Electrotechnological installation. Publisher Sumy Sumy State University, 548. (Ukraine).
8. **Ivanov V. 2007.** Poltava standard metrology, new opportunities to protect consumers of lighting products. Standardization, certification, quality. №5. 67-71. (Ukraine).
9. **Władysław Dybczyński. 2007.** The LED intensity curve. «Przegląd Elektrotechniczny» Vol. 1k. 14-16. (Poland).
10. **Zbigniew Siemion. 2004.** Photometric, colorimetric and spectroradiometric LED measurements. «Przegląd Elektrotechniczny» Vol. 5. 455-458. (England).
11. **Kovalchuk I.M., Barhatov O.M. 2013.** Development and evaluation of the effectiveness of LED lighting technology of the house commercial flock of laying hens. TGATU work. 336. (Ukraine).
12. **Jacek Chęciński, Zdzisław Filus. 2016** LED lamp with color temperature control. «Przegląd Elektrotechniczny» Vol. 9. 51-54. (Poland)
13. **Schubert F. 2008.** LEDs. M.: FIZMATLIT, 496. (Ukraine).
14. **Light's Labours Lost – Fact Sheet.** Intenational energy agency http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/light_fact.pdf. (England).
15. **Four Great Reasons to Dim Lutron Electronics** Available online at: <http://europe.lutron.com/dim.htm>. (England).
16. **Khimka S. M. 2012.** Grounding the parameters of the vibrating batcher of friable forages. Manuscript. LvivNAU. 130. (Ukraine).
17. **Eisenberg Y.B. 2007.** Energy conservation - one of the most important problems of modern lighting technology. Light engineering №6. 6-10. (Ukraine)
18. **Sirotyuk V.M., Khimka S.M. 2014.** The results of experimental studies of energy-efficient doser of loose feed. MOTROL Vol.16D № 4. 148-156.
19. **Suranov A.Y. 2007.** LABVIEW 8.2. Function Manual M.: DMK Pres., 536. (Russia).
20. **Andreev S.P. 1998.** IR - passive sensors security alarm. Special equipment. № 1. 20-30. (Ukraine).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ БУРТА ОРГАНИЧЕСКОЙ СМЕСИ ПРИ ЕЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АЭРАЦИИ ДВУХБАРАБАННЫХ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Сергей Павленко

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Ул. Героев Оборона, 15, Киев, Украина. E-mail: life-is-life.08@mail.ru*

Sergey Pavlenko

*National University Of Life And Environmental Sciences Of Ukraine
St. Heroyiv Oborony, 15, Kyiv, Ukraine. E-mail: life-is-life.08@mail.ru*

Аннотация. Физико-математическое описание технологических процессов смешивания, механической аэрации органических отходов, а в дальнейшем и формирования бурта, является достаточно сложным, так как она включает математический аппарат дискретной среды с неоднородными и анизотропными физико-механическими и реологическими свойствами. Поэтому необходимо комплексно решать проблему о создании научных основ технологического процесса смешивания и механической аэрации органических отходов. Различные типы рабочих органов, которые используются при аэрации органической смеси можно обобщить в виде барабана с радиальным расположением лопаток. В предыдущих теоретических исследованиях нами были определены оптимальные параметры однобарабанного рабочего органа и установлены соотношения угловой скорости барабана и скорости его горизонтального перемещения от высоты бурта органической смеси. Целью является исследовать процесс формирования бурта органической смеси при ее механической аэрации двухбарабанным рабочим органом и определить его конструктивно-режимные параметры. Разработана математическая модель процесса формирования бурта органической смеси при ее механической аэрации двухбарабанным рабочим органом. Варьируя значениями горизонтального расстояния между барабанами Δl от 0 до $R'+R''$ и вертикального расстояния между ними $\Delta h = h' - h''$ от $R'+R''$ до $2(R'+R'')$ (при $m = 0,001$ кг; $\eta = 0,0000174$ Н с/м²; $\rho_a = 600$ кг/м³; $\phi_0 = 0,3327$; $g = 9,8$ м / с²; $\Delta\phi = 1,6168$; $\omega = 2,73$ м/с) получена зависимость отношения кинематических коэффициентов λ второго барабана к первому от Δl и Δh . Установлено, что для формирования бурта необходимой высоты H при увеличении расстояния между барабанами отношения кинематических коэффициентов λ второго барабана к первому увеличивается от 1,15 до 2,5.

Ключевые слова: навозо-компостная смесь, бурт, аэрация, барабан, лопатка, компост, модель.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Физико-математическое описание технологических процессов смешивания, механической аэрации органических отходов, а в дальнейшем и формирования бурта, является достаточно сложным, так как она включает математический аппарат дис-

кретной среды с неоднородными и анизотропными физико-механическими и реологическими свойствами. Поэтому необходимо комплексно решать проблему о создании научных основ технологического процесса смешивания и механической аэрации органических отходов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Теоретическому описанию технологического процесса смешивания и механической аэрации посвящено не так много научных работ [1-7]. Ее выводы – весомый вклад в развитие теории фрезерных рабочих органов. Полученные зависимости помогают прогнозировать результаты при изменении некоторых конструктивных и кинематических параметров (диаметр и окружная скорость рабочих органов, коэффициента заполнения). Но недостаточно исследованы зависимости связи между конструктивными и кинематическими параметрами рабочих органов и параметрами созданных буртов органической смеси.

Различные типы рабочих органов, которые используются при аэрации органической смеси можно обобщить в виде барабана с радиальным расположением лопаток. В предыдущих теоретических исследованиях [4-6, 16] нами были определены оптимальные параметры однобарабанного рабочего органа и установлены соотношения угловой скорости барабана и скорости его горизонтального перемещения от высоты бурта органической смеси.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследовать процесс формирования бурта органической смеси при ее механической аэрации двухбарабанным рабочим органом и определить его конструктивно-режимные параметры.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для исследования процесса формирования бурта органической смеси при ее механической аэрации двухбарабанным рабочим органом рассмотрим расчетную схему, которая представлена на рис. 1.

Каждый из барабанов имеет соответствующие конструктивно-режимные параметры: внешний и внутренний радиусы R , r ; угловая скорость вращения лопасти рабочего органа ω ; высота установки фрезерного барабана h ; горизонтальное расстояние

между барабанами Δl . Для нижнего барабана используется обозначение «'», а для верхнего – «''».

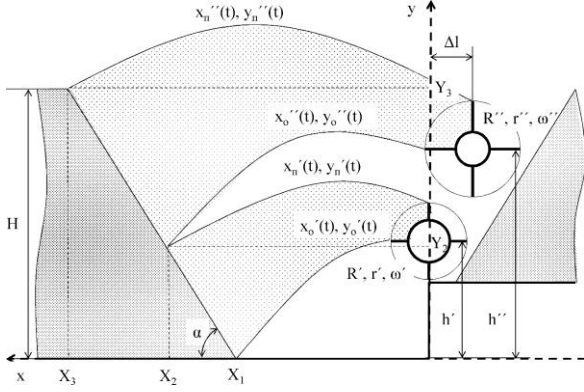


Рис. 1. Зависимость отношения кинематических коэффициентов λ второго барабана к первому от горизонтального расстояния между ними Δl

Fig. 1. The dependence relations kinematic coefficients λ of the second drum to the first the horizontal distance between them Δl

Согласно исследованиям [8-15] обобщенное уравнение траектории полета частиц первой и последней порции материала из нижнего и верхнего барабана можно записать в виде:

$$\begin{cases} x(t) = -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} A_1 e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t}} + A_2 - \Delta l, \\ y(t) = -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} \left(gt + B_1 e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t}} \right) + B_2 + h. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} A_{n1} = R\omega \sin \varphi_0, \\ A_{n2} = -\frac{mR\omega}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} \sin \varphi_0 - R \cos \varphi_0, \\ B_{n1} = \frac{gm}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} + R\omega \cos \varphi_0, \\ B_{n2} = \frac{gm^2}{\left(6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}\right)^2} + \frac{R\omega}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} \cos \varphi_0 + R \sin \varphi_0 + h. \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} A_{o1} &= \sqrt{(\dot{\rho}(\Delta\varphi))^2 + (\omega R)^2} \sin \left(\Delta\varphi + \varphi_0 - \arctg \left(\frac{\dot{\rho}(\Delta\varphi)}{\omega R} \right) \right), \\ A_{o2} &= -R \cos(\Delta\varphi + \varphi_0) + \\ &+ \frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} \sqrt{(\dot{\rho}(\Delta\varphi))^2 + (\omega R)^2} \sin \left(\Delta\varphi + \varphi_0 - \arctg \left(\frac{\dot{\rho}(\Delta\varphi)}{\omega R} \right) \right), \\ B_{o1} &= \frac{gm}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} + \sqrt{(\dot{\rho}(\Delta\varphi))^2 + (\omega R)^2} \cos \left(\Delta\varphi + \varphi_0 - \arctg \left(\frac{\dot{\rho}(\Delta\varphi)}{\omega R} \right) \right), \\ B_{o2} &= \frac{gm^2}{\left(6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}\right)^2} + \\ &+ \frac{\sqrt{(\dot{\rho}(\Delta\varphi))^2 + (\omega R)^2} \cos \left(\Delta\varphi + \varphi_0 - \arctg \left(\frac{\dot{\rho}(\Delta\varphi)}{\omega R} \right) \right)}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} + R \sin(\varphi_0 + \Delta\varphi) + h. \end{aligned} \quad (3)$$

где: R – внешний радиус рабочего органа, м; r – внутренний радиус рабочего органа, м; ω – угловая скорость вращения лопасти рабочего органа, c^{-1} ; m –

масса частицы компоста, кг; η – динамическая вязкость воздуха, Н c/m^2 ; ρ_a – плотность компоста, $кг/м^3$; h – высота установки фрезерного барабана, м; Δl – горизонтальное расстояние между барабанами, м; φ_0 – угол начала разгрузки компоста с лопасти рабочего органа; ρ – координата перемещения частицы компоста, м; g – ускорение свободного падения, $м/с^2$; φ – текущий угол поворота лопасти; f – коэффициент трения компоста о материал лопасти.

Координата перемещения частицы компоста:

$$\rho(\varphi) = \frac{1}{2(1+f^2)\omega^2} e^{-\varphi(f+\sqrt{1+f^2})} \left(2(1+f^2)\omega^2 (C_1 + C_2 e^{-2\varphi\sqrt{1+f^2}}) + \right. \quad (4)$$

$$\left. + 2e^{\varphi(f+\sqrt{1+f^2})} fg \cos(\varphi + \varphi_0) - e^{f\omega(f+\sqrt{1+f^2})} (f^2 - 1)g \sin(\varphi + \varphi_0) \right) \\ C_1 = \frac{1}{\omega^3(1+f^2)^{\frac{3}{2}}} 0,5 \left(r\omega^2 (-f\omega - f^3\omega + \omega\sqrt{1+f^2} + f^2\omega\sqrt{1+f^2}) + \right. \\ \left. + g(0,5\omega(1+f^2) - f\omega\sqrt{1+f^2}) \cos \varphi_0 + \right. \\ \left. + 0,5g(-f\omega - f^3\omega - \omega\sqrt{1+f^2} + f^2\omega\sqrt{1+f^2}) \sin \varphi_0 \right), \\ C_2 = \frac{1}{\omega\sqrt{1+f^2}} 0,5 \left(\frac{g(0,5(1-f^2)\cos \varphi_0 - f \sin \varphi_0)}{(1+f^2)\omega} + \right. \quad (5)$$

$\left. + \omega(f + \sqrt{1+f^2}) \left(-r + \frac{fg \cos \varphi_0}{(1+f^2)\omega^2} - \frac{0,5(f^2-1)g \sin \varphi_0}{(1+f^2)\omega^2} \right) \right) \right).$

Согласно рис. 1 условием формирования бурда правильной геометрической формы являются:

$$\begin{cases} y_o'(t_0) = 0, \\ X_1 = x_o'(t_0), \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} \left(gt_0 + B_1' e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t_0}} \right) + B_2' + h' = 0, \\ X_1 = -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} A_1' e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t_0}} + A_2'. \end{cases} \quad (6)$$

Так как высота сформированного бурда составляет H , а его угол естественного откоса к горизонту α , то следующее условие формирования бурда правильной геометрической формы можно записать в виде:

$$\begin{cases} Y_2 = H = y_o''(t_0), \\ X_3 = X_1 + H \tg \alpha = x_o''(t_0), \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} \left(gt_0 + B_1'' e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t_0}} \right) + B_2'' + h'' = H, \\ -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} A_1'' e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t_0}} + A_2'' - \Delta l = X_1 + H \tg \alpha. \end{cases} \quad (7)$$

Еще два условия формирования бурда правильной геометрической формы, согласно рис. 1 представлены ниже:

$$\begin{cases} Y_2 = y_o''(t_0) = y_o'(t_0), \\ X_2 = x_o''(t_0) = x_o'(t_0), \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} \left(gt_0 + B_1'' e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t_0}} \right) + B_2'' + h'' = \\ = -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} \left(gt_0 + B_1' e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t_0}} \right) + B_2' + h', \\ -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} A_1'' e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t_0}} + A_2'' - \Delta l = \\ = -\frac{m}{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}} A_1' e^{-\frac{6\eta\pi_3\sqrt{\frac{3m}{4\eta\pi_k}}}{t_0}} + A_2'. \end{cases} \quad (8)$$

$$-\frac{m}{6\eta\pi\sqrt[3]{4\pi\phi_k}}\left(gt_0+B_1''e^{-6\eta\pi\sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\phi_k}}t_0}\right)+B_2''+h'' \quad (9)$$

$$\frac{Y_2}{X_2}=\operatorname{tg}\alpha \Rightarrow \frac{-\frac{m}{6\eta\pi\sqrt[3]{4\pi\phi_k}}A_1''e^{-6\eta\pi\sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\phi_k}}t_0}+A_2''-\Delta l}{-\frac{m}{6\eta\pi\sqrt[3]{4\pi\phi_k}}A_1''e^{-6\eta\pi\sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\phi_k}}t_0}+A_2''-\Delta l}=\operatorname{tg}\alpha.$$

Решая совместно уравнения (6-9) с учетом выражений (2-5) в программном пакете Mathematica найдем значение отношения кинематических коэффициентов λ второго барабана к первому [16-19]:

$$\frac{\lambda''}{\lambda'}=\frac{\frac{\omega'R''}{V}}{\frac{\omega'R'}{V}}=\frac{\omega'R''}{\omega'R'} \quad (10)$$

Варьируя значениями Δl от 0 до $R'+R''$ и $\Delta h = h'-h''$ от $R'+R''$ до 2 ($R'+R''$) получаем графическую зависимость отношения кинематических коэффициентов λ второго барабана до первого от Δl и Δh (при $m = 0,001$ кг; $\eta=0,0000174$ Н·с/м²; $\rho_s=600$ кг/м³; $\phi_0 = 0,3327$; $g = 9,8$ м/с²; $\Delta\phi = 1,6168$; 2,73 м/с), которые представлены на рис. 2 и 3.

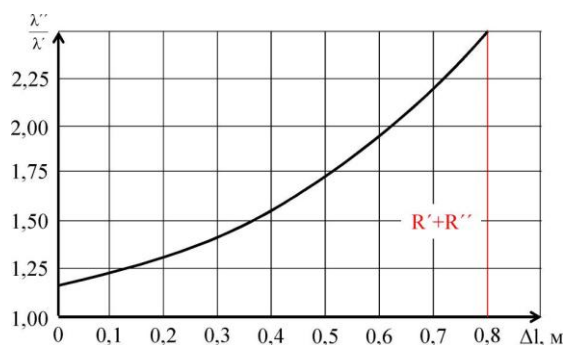


Рис. 2. Зависимость отношения кинематических коэффициентов λ второго барабана до первого от горизонтального расстояния между ними Δl

Fig. 2. The dependence relations kinematic coefficients λ of the second drum to the first the horizontal distance between them Δl

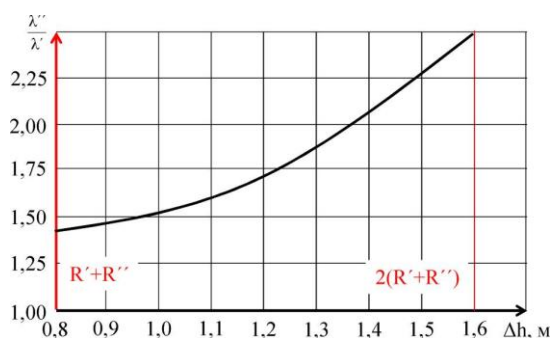


Рис. 3. Зависимость отношения кинематических коэффициентов λ второго барабана до первого от вертикального расстояния между ними Δh

Fig. 3. The dependence relations kinematic coefficients λ of the second drum to the first the vertical distance between them Δh

В результате анализа рис. 2 и 3 установлено, что для формирования бурта определенной высоты $H = 1$ м при увеличении расстояния между барабанами отношение кинематических коэффициентов λ

второго барабана к первому увеличивается от 1,15 до 2,5.

ВЫВОДЫ

Разработана математическая модель процесса формирования бурта органической смеси при ее механической аэрации двухбарабанных рабочим органом. Варьируя значениями горизонтального расстояния между барабанами Δl от 0 до $R'+R''$ и вертикальной расстоянием между ними $\Delta h = h'-h''$ от $R'+R''$ до 2 ($R'+R''$) получена зависимость отношения кинематических коэффициентов λ второго барабана до первого от Δl и Δh . Установлено, что для формирования бурта определенной высоты $H = 1$ м при увеличении расстояния между барабанами отношение кинематических коэффициентов λ второго барабана к первому увеличивается от 1,15 до 2,5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевченко И.А., Харитонов В.И., Ковязин О.С. 2008. Механико-математическая модель процесса разгрузки барабанного органа для смешивания компостных материалов и механической аэрации // Механизация, экологизация и конвертация биомассы в животноводстве. Сборник научных трудов Института механизации животноводства УААН. – Запорожье. Вып.1. (5,6). 248-265. (Украина).
2. Шевченко И.А., Харитонов В.И., Ковязин А.С. 2013. Обоснование внешнего радиуса барабана аэратора компостных смесей // Технические системы и технологии животноводства: Вестник харьковского Национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенка – Харьков, Вып. 132. 292-296. (Украина).
3. Шевченко И.А., Ковязин А.С., Харитонов В.И., Величко И.Г. 2012. Теоретическое обоснование параметров аэратора компостных смесей // Механизация, экологизация и конвертация биомассы в животноводстве. Сборник научных трудов Института механизации животноводства УААН. Вып. 2(10). – Запорожье. 92-109. (Украина).
4. Шевченко И.А., Харитонов В.И., Алиев Е.Б. 2011. Результаты экспериментальных исследований смесителя-аэратора компостов // Механизация, экологизация и конвертация биомассы в животноводстве. Сборник научных трудов Института механизации животноводства НААН. – Запорожье. – № 2(8). 80-88. (Украина).
5. Харитонов В.И., Ковязин А.С., Алиев Э.Б. 2014. Обоснование конструктивных параметров аэратора компостных смесей // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Минск. – Т.2. 16-21.
6. Харитонов В.И., Алиев Е.Б. 2015. Методика инженерного расчета параметров смесителя-аэратора навозо-компостных смесей // Вестник Украинского отделения Международной академии аграрного образования. – Херсон: ОЛДИ-ПЛЮС. – Вып. 3. 132-137. (Украина).

7. **Харитонов В.И., Алиев Е.Б. 2016.** Смена фракционного состава навозо-компостных буртов в результате их перелопачивания смесителем-аэратором // Сборник тез докладов III Международной научно-технической конференции «Крамаровские чтения» (17-18 февраля 2016 г.) / Национальный университет биоресурсов и природоиспользования Украины. – Киев. 105-109. (Украина).
8. **Павленко С.И. 2014.** Теоретические исследования процесса формирования бурта навозо-компостной смеси при механической аэрации // Сборник научных трудов Винницкого национального аграрного университета. Серия: Технические науки. – Вып. №2(85). – Винница. 81-91. (Украина).
9. **Павленко С.И. 2015.** Теоретические исследования процесса взаимодействия лопасти рабочего органа аэратора с навозо-компостной смесью // Сборник научных трудов Винницкого национального аграрного университета. Серия: Технические науки. – Вып. №3(92). – Винница. 24-27. (Украина).
10. **Павленко С.И., Ляшенко А.А., Науменко Н.Н., Гуридова В.А. 2015.** Математическая модель взаимодействия рабочих органов смесителя-аэратора с компостируемыми материалами // Материалы Международной научно-технической конференции. Минск, 22-23 октября 2015 г. – Т.1. – Минск. 137-147.
11. **Павленко С.И., Ляшенко А.А. 2013.** Технологические решения переработки навоза на животноводческих фермах // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. Серия: Механизация, автоматизация и машинные технологии в животноводстве. – Москва: ВНИИМЖ. – №4 (12). 114-121.
12. **Павленко С.И., Ляшенко А.А., Филоненко Ю.А. 2014.** Экспериментальные исследования процесса биоконверсного компостирования птичьего помета // Научный вестник Национального университета биоресурсов и природоиспользования Украины. Серия: Техника и энергетика АПК. Вып. 196. Ч.1. – Киев. 400-409. (Украина).
13. **Павленко С.И. 2014.** Механико-математическая модель процесса разгрузки лопасти барабанного рабочего органа аэратора навозо-компостной смеси // Вестник Львовского национального аграрного университета. Агроинженерные исследования. №18. – Львов. 152-160. (Украина).
14. **Павленко С.И. 2015.** Ресурсосбережение в биоконверсии органического сырья // Научный вестник Таврийского государственного агротехнологического университета. – Мелитополь. – Вып.5, Т.2 156-166. (Украина).
15. **Павленко С.И., Ляшенко О.О., Цис И.С. 2012.** Мониторинг органических отходов животноводства в Украине // Механизация, экологизация и конвертация биомассы в животноводстве. Сборник научных трудов Института механизации животноводства УААН. – Запорожье. – Вып. 1(9). 149-157. (Украина).
16. **Мельник В., Ромашенко А. 2013.** Вывод уравнений для определения нагрузок, возникающих в объеме органических удобрений в процессе формирования валка // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin-Rzeszow, Vol.15, № 7. P. 120-127.
17. **Пискунов Н.С. 1962.** Дифференциальное и интегральное исчисление для вузов. – М.: Гос. издат. физ.-мат. лит. 749-765, 534-542.
18. **Яблонский А.А. 1966.** Курс теоретической механики. Ч. II. Динамика. – Москва: Высшая школа. 39-69.
19. **Самойленко А.М., Кривошея С.А., Перестюк Н.А. 1989.** Дифференциальные уравнения: примеры и задачи. – Москва: Высшая школа, 383.

INVESTIGATION OF FORMING BURT ORGANIC MIX WITH ITS MECHANICAL AERATION DOUBLE DRUM WORKING BODIES

Summary. Physical and mathematical description of the process of mixing, mechanical aeration of organic waste, and later forming collar, is quite complex, as it involves the mathematical formalism of the discrete environment with heterogeneous and anisotropic mechanical and rheological properties. Therefore, you need to comprehensively address the problem of creating the scientific foundations of the process of mixing and mechanical aeration of organic waste. Different types of working elements which are used for aeration of organic compound can be summarized in the form of a drum with a radial arrangement of vanes. In our previous theoretical studies we have determined the optimal parameters of the working body and a single drum set drum angular speed ratio and the speed of horizontal movement of the shoulder height of the organic mixture. The aim is to explore the process of forming the organic compound with the collar of her double-drum mechanical aeration working body and determine its structural and operational parameters. A mathematical model of the process of forming collar organic compound when it is double-drum mechanical aeration working body. By varying the values of the horizontal distance between the drums Δl from 0 to $R'+R''$ and vertical spacing $\Delta h = h'-h''$ from $R'+R''$ to $2(R'+R'')$ (for $m=0,001$ kg; $\eta=0,0000174$ H·s/m²; $\rho_a=600$ kg/m³; $\varphi_0=0,3327$; $g=9,8$ m/s²; $\Delta\varphi=1,6168$; $=2,73$ m/s) is obtained dependence of the kinematic coefficients λ of the second drum to the first of Δl and Δh . It is found that for the formation of the desired height H shoulder when the distance between the drums kinematic relationship λ coefficients of the second to the first drum is increased from 1,15 to 2,5.

Key words: manure-compost mixture, shoulder, aeration and drum blade, compost model.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ШАССИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Валерий Адамчук, Сергей Погорелый

Национальный научный центр „Институт механизации и электрификации сельского хозяйства”

Ул. Вокзальная, 11, Глеваха, Украина. E-mail: pogorilyy_sergiy@ukr.net

Valeriy Adamchuk, Sergey Pogorelyy

National scientific center “Institute for agricultural engineering and electrification”

St. Vokzalna, 11, Glevaha, Ukraine. E-mail: pogorilyy_sergiy@ukr.net

Аннотация. Статья посвящена проблемам повышения эффективности использования автомобильного шасси путей расширения его технологических возможностей.

Проанализированы работы посвященные использованию автомобильного шасси на выполнении сельскохозяйственных операциях на примерах, универсального энергетического средства «Unimog», автомобиля MAN, автомобиля КамАЗ, автомобильное шасси Урал-432065.

Обоснованно перспективные направления использования автомобильных шасси в качестве мобильного энергетического средства для формирования на их базе мобильных сельскохозяйственных агрегатов для выполнения технологических операций в агропромышленном производстве. Автомобильное шасси может использоваться на следующих операциях: внесения твердых и жидких органических удобрений; внесения твердых и жидких минеральных удобрений и химических мелиорантов; обработка почвы (лущения стерни; культивация; дисковка, прикатывание; боронование; снегозадержание); загрузка сеялок; сев; подкормка посевов; уход за посевами; накопление-перегружение сыпучих технологических материалов; транспортировка сыпучих технологических материалов и др.

Наведены и проанализированы конструкционные и эксплуатационные характеристики автомобильного шасси украинского производства ПАО «АвтоКрАЗ» КрАЗ-6322. Автомобильное шасси КрАЗ-6322 может выполнять технологические операции, на выполнение которых необходимо тяговое усилие 21-60 кН при рабочих скоростях движения 5-15 км/ч. Для этого шасси имеет 5 передач. На транспортных операциях автомобильное шасси развивает скорость до 80 км/ч при этом, может устанавливать емкость с технологическим материалом массой 8-10 т.

Установлена эффективность использования мобильного сельскохозяйственного агрегата на базе автомобиля КрАЗ-6322 и МРД-9 на внесении минеральных удобрений по прямоочной схеме внесения по сравнению с существующими агрегатами на базе трактора.

Ключевые слова: автомобильное шасси, мобильный сельскохозяйственный агрегат, универсальное энергетическое средство, машинный агрегат.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Реформирование агропромышленного комплекса Украины привело к возникновению агропромышленных предприятий со значительными размерами посевных площадей [1, 2]. По данным Статистического сборника «Украина в цифрах» за 2014 количество хозяйств, имеющих более 2000 га посевных площадей, составляют 2645 шт, это 5,8 % от общего количества хозяйств Украины. Общая площадь, которая находится в пользовании этих хозяйств, составляет 13,5 млн. га, это 63% от общей площади посевов сельскохозяйственных культур Украины.

Большие аграрные предприятия формируются на землях, которые размещаются на больших расстояниях друг от друга. Плечо переездов может составлять более 100 км. Для соблюдения выполнения технологических операций в агростроки машинно-тракторный парк (МТП) таких хозяйств формируют на широкозахватных машинно-тракторных агрегатах (МТА), которые агрегируются с тракторами тягового класса 5 и более.

Географическое размещение сельскохозяйственных земель, больших по размерам площадей предприятий, требует постоянного перебазирования МТА с одного поля на другое. Транспортная скорость движения тракторов не превышает 30 км/ч, некоторые зарубежные тракторы движутся со скоростью 60 км/ч. Однако при движении трактора с широкозахватных агрегатом при такой скорости очень сложно управлять им. Особенно обостряется проблема при выполнении технологических операций, на которые отведено небольшие по продолжительности промежутки времени, и которые имеют определяющее влияние на формирование будущего урожая, в частности: сев, внесение органических удобрений, закрытие влаги, и тому подобное. Имея высокомошные единичные энергосредства очень сложно в агротехнические сроки выполнить необходимые технологические операции. Это приводит к формированию машинных пунктов в местах размещения посевных площадей и из-за больших затрат на переезды, а также времени на их осуществление вынуждены покупать не один МТА а два и больше.

Учитывая вышесказанное, возникает не обходимость создания мобильных технологических агрегатов, имеющих высокую мобильность, и могут эф-

эффективно использоваться как на сельскохозяйственных операциях, так и на транспортных операциях.

Одним из путей решения этих проблем является использование автомобильных шасси повышенной проходимости на выполнении сельскохозяйственных процессов.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Попытки использования автомобильного транспорта на исполнениях сельскохозяйственных операций осуществляется уже давно. Еще в 50-х годах прошлого века в Германии автомобильный концерн Mercedes начал выпуск универсального энергетического средства «Unimog», который получил широкого использования в вооруженных силах Германии, Франции, а также в коммунальном хозяйстве благодаря возможности установки различного технологического оборудования [3-5] (рис. 1).



Рис. 1. Универсальное энергетическое средство «Unimog»

Fig. 1. Universal power means "Unimog"

На базе грузовой автомобиль MAN были разработаны мобильные агрегаты для выполнения сельскохозяйственных операций и дорожных работ (рис 2) [6-9].



Рис. 2. Автомобиль MAN при выполнении технологических операций

Fig. 2. Car MAN at implementation of technological operations

На базе автомобиля КамАЗ создан посевной комплекс «Agrator-8500 АВТО», «Agrator-9800 АВТО» «Agrator-1000 АВТО» (рис. 3) [10 - 12], ширина захвата соответственно: 8,5, 9,8 и 10 м; производительность: 8,5, 9,8 и 10 га/ч; бункер вместимостью: 7, 7 и 9,8 м³, рабочая скорость движения - 10-15 км/ч. На раме шасси автомобиля устанавливается

емкость и шарнирно присоединяется культиватор с системой сева.



Рис. 3. Посевной комплекс «Agrator-8500 АВТО» на базе автомобиля КамАЗ.

Fig. 3. Sowing complex "Agrator-8500 AUTO" on the base of car KamAZ.

Автомобильный завод «УРАЛ» выпустил специализированное грузовое автомобильное шасси Урал-432065 для создания на его базе транспортно-технологических агрегатов (рис. 4) [13, 14].



Рис. 4. Автомобильное шасси Урал-432065 с оборудованием для внутрипочвенного внесения жидких удобрений СТА-5ЖО.

Fig. 4. Car Ural- 432065 with an equipment for the interflow bringing of liquid fertilizers STA-5JO.

Учитывая вышесказанное, вопрос по использованию автомобильных транспортных средств на сельскохозяйственных операциях актуально и направленной на создание конкурентоспособной, высокопроизводительной техники украинского производства [15].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследований является поиск путей расширения технологических возможностей автомобильного шасси, что позволит повысить эффективность их применения, увеличить годовое грузки и уменьшить их простой.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Повышение транспортной скорости тракторов приводит к значительным изменениям в их конструкции, в частности: подвески для тушения неровностей дорог, которая для больших масс требует высоких требований и изменений в конструкции трактора; системы управления энергосредством; увеличение продольной базы трактора; изменение трансмиссии (коробка передач, главная передача, бортовая передача и т.п.); тормозной системы и другие. Стоимость таких тракторов значительно увели-

чивается. Соответственно и себестоимость единицы выполненной ими работы значительно увеличивается по сравнению с существующими тракторами.

Одним из путей решения этих проблем является использование автомобильного шасси повышенной проходимости (рис. 5) на выполнении сельскохозяйственных операций. Наиболее приспособлено к условиям поля (малая несущая способность почвы, высокая запыленность) автомобиль КрАЗ-6322, который серийно производится в Украине на предприятии ПАТ «АвтоКрАЗ» и за характеристиками соответствуют параметра тракторов тягового класса 5.



Рис. 5. Автомобильное шасси КрАЗ-6322

Fig. 5. Car of KrAZ- 6322

Масса шасси КрАЗ-6322 составляет 11700 кг, мощность двигателя - 243 (330) кВт (л.с.), колесная формула 6×6, максимальная скорость движения – 80 км/ч [16, 17]. На раму автомобиля есть возможность устанавливать емкости с технологическим материалом (массой 8-10 т), а в задней части имеется место для установки навесной системы. С помощью которой осуществлять агрегатирования как навесных, так и прицепных сельскохозяйственных машин или орудий. Масса технологического материала дает возможность увеличить сцепные свойства автомобиля. В конструкции автомобиля предусмотрено централизованную систему контроля давления в шинах колес, позволяет снижать давление при выполнении сельскохозяйственных операций в поле до 0,1 МПа. И увеличивать его до рекомендованных на транспортных переездах 0,3 МПа, а также регулировать его в процессе выполнения технологической операции по мере уменьшения технологического материала. Автомобиль оборудован 8-ми ступенчатой механической коробкой передач, что позволит обеспечивать необходимую рабочую скорость движения машинного агрегата. Ведущие мосты автомобиля двухступенчатые, односкоростные, с межколесным и межмостовым блокирующими дифференциалами, что даст возможность получить высокие тяговые показатели при блокировании дифференциала на тяговых операциях, а разблокирован дифференциал исключает появление паразитной мощности. Расчетная тягово-скоростная характеристика автомобиля КрАЗ-6322 (рис. 6) отражают его тяговые возможности и подтверждают то, что он может агрегатироваться с сельскохозяйственными машинами и орудиями, которые агрегируются с тракторами тягового класса 5.

Диапазон рабочих скоростей МТА находятся в пределах 5-15 км/ч. Как видно из графика у автомобиля КрАЗ-6322 есть 5 скоростей, которые находятся в данном диапазоне. Согласно рис. 6 автомобиль может выполнять технологические операции, на выполнение которых необходимо тяговое усилие 21-60

кН в зависимости от рабочей скорости движения и ширины захвата.

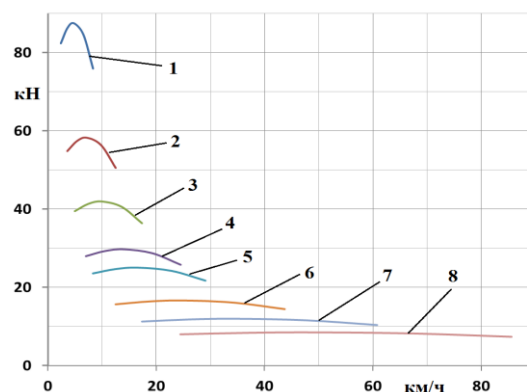


Рис. 6. Тягово-скоростная характеристика автомобиля КрАЗ-6322: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – номер передачи коробки передач

Fig. 6. Hauling-speed description of car KrAZ-6322: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 is a number of transmission of gear-box

Операции, на которых может использоваться машинный агрегат на базе автомобиля (рис. 7):

- внесения твердых и жидких органических удобрений;
- внесения твердых и жидких минеральных удобрений и химических мелиорантов;
- обработка почвы: лущения стерни; культивация; дискование, прикатывание; боронование; снегозадержание;
- загрузчик сеялок;
- сев;
- подкормка посевов;
- уход за посевами;
- накопитель-перегрузчик сыпучих технологических материалов;
- транспортировка сыпучих технологических материалов.

Основные преимущества использования машинных агрегатов на базе автомобиля в АПП:

- высокая техническая надежность автомобиля по сравнению отечественными тракторами;
- высокая транспортная скорость движения автомобиля для переездов и использования его по основному назначению;
- комфортные условия для работы водителя (современная кабина, кондиционер, подогрев кабины и т.д.);
- меньшая стоимость по сравнению с трактором тягового класса 5;
- удешевление парка сельскохозяйственных машин и орудий (для автомобиля будут иметь меньшую стоимость из-за отсутствия ходовых систем емкостей, так как они будут размещаться на раме автомобиля);
- уменьшение давления на почву за счет перераспределения веса машинного агрегата на три оси и регулировании следа контакта шины;
- прицепные и навесные сельскохозяйственные машины и орудия, которые предназначены для работы с трактором, агрегируются с автомобильным шасси без дополнительных изменений конструкции.

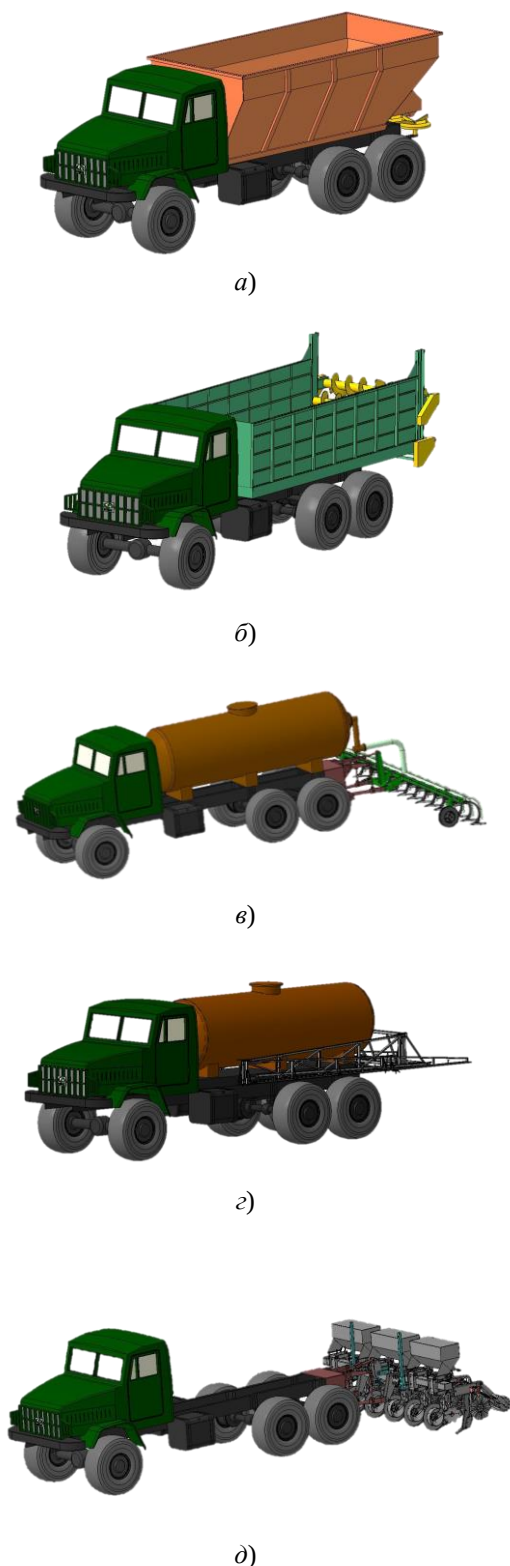


Рис. 7. Машинные агрегаты на базе автомобильного шасси КрАЗ-6322: а) внесения твердых минеральных удобрений; б) внесения твердых органических удобрений; в) внутригрунтове внесения жидких удобрений; г) опрыскивание посевов; д) севба

Fig. 7. Machine aggregates on the base of car KrAZ- 6322: а) are bringing of hard mineral fertilizers; б) are bringing of hard organic fertilizers; в) interflow bringing of liquid fertilizers; г) is sprinkling of sowing; д) sitting down

Высокая транспортная скорость мобильного сельскохозяйственного агрегата на базе автомобиля даст возможность использовать прямоточную схему (склад-поле) на внесенные твердых и жидких органических и минеральных удобрений, что значительно уменьшит расходы на выполнении упомянутых операций. Кроме того отпадает необходимость в использовании дополнительных технических средств для транспортировки и погрузки технологического материала осуществляя упомянутые технологические операции по перевалочной и перегрузочными схемам.

Результаты расчета переменной производительности МТА (Т-150К+РУМ-8, КСА-3, Т-150К+МРД-9 и КрАЗ-6322+МРД-9 [18]) по прямоточной схеме внесения минеральных гранулированных удобрений нормой внесения 0,5 т/га, 8 часовой смены и расстоянии от склада к полю 5 км показали (рис. 8) эффективность агрегата на базе автомобиля КрАЗ. Расчеты проводились по известной методики [19].

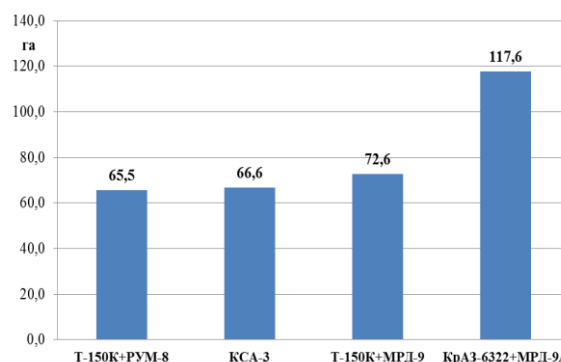


Рис. 8. Сменная производительность МТА по прямоточной схеме внесения минеральных гранулированных удобрений

Fig. 8. Removable productivity of MTA on the прямоточной chart of bringing of mineral granular fertilizers

Из рис. 8 видно, что сменная производительность агрегатов, скомплектованных с использованием машин РУМ-8, КСА-3, МРД-9 и МРД-9А составляет 65,5, 66,6, 72,6 и 117,6 га/см. При одинаковом сменной производительности МРД-9 и МРД-9А на уровне 72,6 га/см расстояние от склада к полю можно увеличить для агрегата КрАЗ-6322+МРД-9А в 6,6 раз (до 33 км). По данным авторов [20] по такой же нормы внесения удобрений МТА РУМ-8 и КСА-3 рекомендуется их использовать по прямоточной схеме внесения удобрений с расстоянием от склада в поле соответственно 8,0 и 19,3 км.

Конечно, наибольшую прибыль владельцам Грузовых автомобилей приносит транспортные работы, но они имеют пиковый характер и выполняются в течение 2-3 месяцев в год. Постоянной загрузки автомобиля в другой период года нет. Поэтому создание переменных технологических модулей для формирования машинных агрегатов на базе автомобильного шасси для выполнения сельскохозяйственных операций является перспективной и важной проблемой. Решение, которой позволило

уменьшить себестоимость сельскохозяйственной продукции и повысить эффективность использования автомобиля.

ВЫВОДЫ

1. Использование автомобильного шасси в качестве мобильного энергетического средства для формирования на его базе мобильного сельскохозяйственного агрегата для выполнения сельскохозяйственных операций уменьшит себестоимость продукции растениеводства за счет применения прямоточных схем внесения технологического материала, уменьшит номенклатуру технических средств для выполнения транспортных операций и повысит эффективность использования автомобиля.

2. Машинный агрегат для внесения минеральных удобрений на базе автомобильного шасси КрАЗ-6322+МРД-9 в сравнении с существующими агрегатами на базе трактора имеет большую сменную производительность на 62 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Галанец В. 2013.** Развитие аграрной политики в Украине в условиях экономического кризиса / MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Vol.15. No.4. 159-166.
2. **Жук И. М. 2015.** Статистический сборник «Украина в цифрах» за 2014 год. Государственная служба статистики. Киев, 239. (Украина).
3. **Электронный ресурс** [http://www.off-road-drive.ru/archive/14/ Universalnyy_soldat.4](http://www.off-road-drive.ru/archive/14/Universalnyy_soldat.4).
4. **Электронный ресурс** <http://jeepstroy.ru/military/d153/>.
5. **Электронный ресурс** <http://gruzavtoperevozki.ru/unimog>.
6. **Дзоценидзе Т.Д. Козловская М.А. 2014.** Технологический уклад и транспортное обеспечение сельхозпроизводства некоторых зарубежных стран Тракторы и сельхозмашины. № 1, 44-47.
7. **Электронный ресурс** <http://www.a-mag.eu>.
8. **Электронный ресурс** <http://www.doskaurala.ru/index.php?id=4268018780>.
9. **Электронный ресурс** <https://www.youtube.com/watch?v=NdeLw7UYXPso>
10. **Измайлов А.Ю., Евтушенко Н.Е. 2009.** Эффективность новых транспортных технологий в АПК //Сельскохозяйственные машины и технологии. № 2(9), 32-37.
11. **Измайлов А.Ю., Евтушенко Н.Е., Дзоценидзе Т.Д., Левшин А.Г. 2012.** Бенчмаркетинг для грузовых автомобилей сельскохозяйственного назначения // Сельскохозяйственные машины и технологии. № 6, 15-18
11. **Электронный ресурс** <http://www.pk-agromaster.ru/9800a>.
12. **Электронный ресурс** <https://www.youtube.com/watch?v=ygUPc9v1vFQ>.

13. **Шкель А.С., Козловская М.А., Дзоценидзе Т.Д. 2016.** Исследование технологии внесения жидких органических удобрений транспортно-технологическим агрегатом сельскохозяйственного назначения // Тракторы и сельхозмашины, № 7. 47-50.
14. **Дзоценидзе Т.Д., Евтушенко Н.Е., Левшин А.Г., Козловская М.А., Мягков А.Е. 2012.** Функциональное назначение автомобилей для сельских поселений//Тракторы и сельхозмашины, №4. 8-11.
15. **Черевко Г., Крунич О., Крунич Р. 2013.** Развитие системы формирования материально-технической базы сельского хозяйства Украины / MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Vol.15. No.4. 97-106.
16. **Черняк Р.Е. Дунь С.В. 2014.** Руководство по эксплуатации автомобиля КрАЗ-6322-016-02-3902010 У РЕ. Кременчук, 262. (Украина).
17. **Электронный ресурс** <http://www.autokraz.com.ua/index.php/uk/produksiya/automobile/civil/shassi/item/1419-kraz-6322>.
18. **Протокол государственных приемочных испытаний № 01-117-95 (1021495). 1995.** Машина для поверхностного внесения минеральных удобрений, извести и гипса. УкрНДИПВТ. Дослидницьке, 15. (Украина).
19. **Заика П.М. 2002.** Теория сельскохозяйственных машин. Харьков, 352. (Украина).
20. **Марченко М.Н. 1983.** Операционная технология применения минеральных удобрений. М.: Россельхозиздат, 175.

USING A CAR CHASSIS TO PERFORM MANUFACTURING OPERATIONS IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Summary. The article is sanctified to the problems of increase of efficiency of the use of motor-car undercarriage of ways of expansion of his technological possibilities.

Works are analysed sanctified to the use of motor-car undercarriage on implementation agricultural operations on examples, universal power means "Unimog", car MAN, car KamAZ, motor-car undercarriage of Ural- 432065.

Reasonably perspective directions of the use of motor-car undercarriages as mobile power means for forming on their base of mobile agricultural aggregates for implementation of technological operations in an agroindustrial production. A motor-car undercarriage can be used on next operations: bringing of hard and liquid organic fertilizers; bringing of hard and liquid mineral fertilizers and chemical мелиорантов; treatment of soil (shelling of stubble; cultivating; rolling up; harrowing; retention of snow on field); loading of сеялок; sitting down; additional fertilizing of sowing; care of sowing; collection and transloading of friable technological materials; transporting of friable technological materials and other.

Construction and operating descriptions of motor-car undercarriage of the Ukrainian production of PAO "AvtoKrAZ" KrAZ-6322 are pointed and analysed. The

motor-car undercarriage of KrAZ-6322 can execute technological operations, on implementation of that hauling effort of 21-60 кН is needed at the working rates of movement 5-15 km/h. For this undercarriage has 5 transmissions. On transport operations a motor-car undercarriage speeds up to 80 km/h here, can set a capacity with technological material by mass 8-10 t.

Efficiency of the use of mobile agricultural aggregate is set on the base of car KrAZ-6322 and MRD-9 on bringing of mineral fertilizers on the прямой chart of bringing as compared to existent aggregates on the base of tractor.

Key words: motor-car undercarriage, mobile agricultural aggregate, universal power means, machine.

ZASTOSOWANIE WYBRANYCH METOD FIZYCZNYCH W AGROTECHNICE**Jakubowski Tomasz¹, Lopushnyak Vasył², Gielżecki Jan¹, Syrotiuk Kateryna²***Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie**Al. Mickiewicza 21, Kraków, Polska. E-mail: gielzecki@o2.pl*²*Lwowski Narodowy Uniwersytet Rolniczy**Ul. W. Welykogo, 1, Dublyany, Ukraina. E-mail: ssyr@ukr.net***Jakubowski Tomasz¹, Lopushnyak Vasył², Gielżecki Jan¹, Syrotiuk Kateryna²***University of Agriculture in Krakow**Al. Mickiewicza 21, Krakow, Poland. E-mail: gielzecki@o2.pl*²*Lviv National Agricultural University**Str. Vladimir the Great, 1, Dublyany, Ukraine. E-mail: ssyr@ukr.net*

Streszczenie. Głównym celem rolniczej produkcji roślinnej jest osiągnięcie wysokich plonów o wysokiej jakości. Producent w rolnictwie ekologicznym zmuszony jest do poszukiwania innych, niż stosowane w rolnictwie konwencjonalnym, metod polepszających plonowanie roślin oraz ograniczających straty wynikłe z procesów przechowywania. Alternatywą dla stosowania środków chemicznych w produkcji roślinnej mogą być fizyczne metody stymulacji materiału biologicznego. W pracy zaprezentowano niektóre metody fizyczne stosowane w odniesieniu do roślin uprawnych oraz efekt oddziaływania tych metod. Omówiono wyniki badań dotyczące działania pola elektrycznego, magnetycznego, światła lasera, promieniowania gamma i mikrofalowego na obiekty roślinne. Zaznaczyć należy, że fizyczne metody uszlachetniania materiału nasiennego znajdują uzasadnienie z punktu widzenia kompleksowych działań proekologicznych. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń wskazują, że metody fizyczne mogą pozytywnie stymulować rozwój roślin uprawnych w okresie ich wegetacji jak również mogą być stosowane jako sposób ograniczania strat przechowalniczych. Nie bez znaczenia jest fakt, że metody fizyczne mogą być alternatywą (lub uzupełnieniem) metod chemicznych stosowanych w agrotechnice w odniesieniu do materiału roślinnego.

Słowa kluczowe: fizyczne metody stymulacji materiału, zwyżką plonu, pole elektryczne, promieniowania elektromagnetyczne, promienie gamma.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Jednym z podstawowych celów prowadzenia roślinnej produkcji rolniczej jest osiągnięcie najwyższych plonów o wysokiej jakości. W rolnictwie konwencjonalnym producent posiada szeroki wybór metod polepszania plonowania i późniejszego zabezpieczenia plonu, natomiast w rolnictwie ekologicznym zmuszony jest on do poszukiwania innych, niż stosowane dotychczas, metod polepszających plonowanie roślin oraz ograniczających straty wynikłe z procesów przechowywania. Obostrzenia i zakazy związane z prowadzeniem upraw ekologicznych dotyczą głównie stosowania niektórych preparatów chemicznych. Alternatywą dla stosowania środków chemicznych w produkcji roślinnej mogą być

fizyczne metody stymulacji materiału biologicznego. Materiał siewny jest podstawowym środkiem w produkcji roślinnej. Wysoki plon jest przede wszystkim determinowany dobrą jakością tego materiału. Dlatego też ważnym jest odpowiednie jego przygotowanie w tym przedsięwzięcie uszlachetnianie. Uszlachetnianie materiału siewnego powinno nie tylko zwiększać jego wigor czy ograniczać zmienności cech fizycznych i chemicznych, ale również korzystnie wpływać na wzrost i rozwój roślin nawet w pokoleniu następnym [Wójcik i in. 2004]. Światowe tendencje i kierunki uszlachetniania materiałów nasiennych zostały omówione w pracy Góreckiego i in. [1994], konkluzją tejże pracy jest zastępowanie tradycyjnych metod chemicznych metodami fizycznymi, jak np. stymulacja elektromagnetyczna. Zaznaczyć należy, że fizyczne metody uszlachetniania materiału nasiennego znajdują uzasadnienie z punktu widzenia kompleksowych działań proekologicznych [Gawrońska 1998, Haman i in. 2000, Lutomińska 2006, Jakubowski 2008g].

W literaturze tematu, od szeregu lat, prezentowane są wyniki badań dotyczące wpływu fal elektromagnetycznych na materiał roślinny. Z punktu widzenia praktyki rolniczej ważne wydają się być wyniki badań dotyczące działania pola elektrycznego, magnetycznego, światła lasera, promieniowania gamma i mikrofalowego na obiekty roślinne.

Zadowalające efekty uzyskiwano stosując stymulację materiału siewnego w polu elektrycznym. Pod wpływem działania pola elektrycznego na zewnętrzną i wewnętrzną powierzchnię błony komórkowej indukują się ładunki elektryczne o przeciwnych znakach. Wzajemne przyciąganie ładunków prowadzi do powstawania porów w błonie komórkowej, a zastosowanie pola o odpowiednich parametrach może prowadzić do otwarcia porów i ich późniejszego zamknięcia. Proces ten zwany jest elektroporacją i został opisany w pracach Zimmermana [1986] oraz Fiedurka i in. [2006]. Dotychczasowe badania wskazują na pozytywne działanie pola elektrycznego na wzrost siewek tytoniu [Cogalniceanu i in. 2000], roślin pszenicy i buraka cukrowego [Pietruszewski 2003] oraz fasoli, bobiku, grochu i ziemniaka [Rogers 1975]. Pozytywny wpływ pola elektrycznego na rośliny ziemniaka stwierdzili między innymi Szorc i in. [1996] badając jakość bulw. Również

Marks [2005ab] badając trwałość przechowalniczą bulw ziemniaka stwierdził, iż straty całkowite i straty chorobowe bulw poddanych działaniu pola elektrycznego były niższe w porównaniu z próbą kontrolną. Także Gut [2007], stwierdził statystycznie istotny (pozytywny) wpływ pola elektrycznego na masę bulw spod jednej rośliny.

Pole magnetyczne wykorzystywano między innymi w procesach pobudzania materiału siewnego [Pietruszewski i in. 1999, 2000ab]. Dawało to pozytywny efekt stymulujący wyrażający się przyspieszeniem kiełkowania, wyższą plonu i poprawą cech mających wpływ na plonowanie [Hirota i in. 1999, Martinez i in. 2000, Rochalska 2003, Rybiński i in. 2003, Pietruszewski 2003, Kornarzyński i in. 2003ab, Krupczyński i in. 2003, Podleśny i in. 2003, Staśelis i in. 2003]. Wyniki laboratoryjne badań przeprowadzone przez Lipca i in. [2004] na wyizolowanych kulturach grzybów i bakterii chorobowych ziemniaka (*Ervinia carotovora*, *Streptomyces scabies*, *Alternaria solani*) poddanych działaniu zmiennego pola magnetycznego wskazują na pozytywny efekt prowadzący do ich zniszczenia lub ograniczenia rozwoju. Badania te znalazły potwierdzenie w pracach Marksa i in. [2005b] oraz Marksa [2005c] gdzie oceniano wpływ pola magnetycznego na stopień porażenia przechowywanych bulw ziemniaka odmian Salto, Drop i Irga rizoktoniozą i parchem zwykłym. Wynik doświadczenia potwierdził poprawę zdrowotności bulw jedynie w przypadku rizoktoniozy. Wyniki badań Marksa i in. [2011] wskazują na pozytywny wpływ stymulacji sadzeniaków ziemniaka odmiany Vineta zmiennym polem magnetycznym na wysokość plonu ogólnego i handlowego bulw oraz jego strukturę masową i wielkościową. Marks i in. [2010a] stwierdził również, że zmienne pole magnetyczne działa hamująco na deformacje (określone poprzez współczynniki kształtu) bulw ziemniaka w plonie roślin potomnych i ma stymulujący wpływ na rozwój części nadziemnej rośliny [Marks i in. 2010b]. Poprzez działanie stałym polem magnetycznym na oczka bulwy sadzeniaka uzyskać można zwiększenie powierzchni asymilacyjnej rośliny potomnej oraz wzrost plonu handlowego o około 20% [Pittman 1972].

Do uszlachetniania materiału nasiennego stosowano również generatory promieniowania elektromagnetycznego działające w oparciu o zjawisko emisji wymuszonej (laser - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) [Wilczek i in. 2007]. Wiązka promieni generowana przez laser jest koherentna w czasie i przestrzeni, zazwyczaj spolaryzowana i o bardzo małej rozbieżności, cechuje się małą szerokością linii emisyjnej, co jest równoważne bardzo dużej mocy w wybranym, wąskim obszarze widma [Koper i in. 1994]. Zdaniem Szajnsner i in. [2003, 2007] oraz Drozda i in. [2007] większą podatność na światło lasera wykazują rośliny warzywne niż rośliny zbożowe. Pozytywne skutki naświetlania obserwowano poprzez bardziej wyrównane wschody, przyspieszone dojrzewanie oraz większy plon. Istotnym skutkiem tego procesu jest również większa wartość biologiczna i przetwórcza owoców oraz zwiększona zawartość substancji odżywczych. Światło lasera przyczynia się do

zmiany przebiegu procesów fizjologicznych i biochemicznych w początkowym okresie wzrostu i rozwoju roślin, oddziałuje również na metabolizm roślin i aktywność fotosyntezy, co wpływa korzystnie na szybszy wzrost roślin oraz lepsze ich przystosowanie do niekorzystnych warunków środowiska. Zagadnienia wpływu światła lasera były również przedmiotem prac Podleśnego [1998, 2000ab, 2007], Kopera i in. [1999, 2002] oraz Zubala [1990] i Gładyszewskiej [2002]. Badacze Ci są zgodni co do pozytywnego wpływu biostymulacji światłem laserowym nasion na późniejszy wzrost, rozwój oraz plonowanie wyrosłych z nich roślin. Stymulacja spójnym światłem laserowym znalazła również zastosowanie w ograniczaniu eutrofizacji ekosystemów wodnych jako biotechnologia w oczyszczaniu ścieków. Biostymulację laserową stosowano w odniesieniu do roślin (*Lemna minor*, *Phragmites australis* i *Salix sp.*) stosowanych w oczyszczalniach hydrobotanicznych [Dobrowolski i in. 1996, 1999, 2002].

Promienie gamma (wysokoenergetyczna forma promieniowania elektromagnetycznego) mając właściwości sterylizujące, znalazły zastosowanie w medycynie oraz w przemyśle spożywczym. W rolnictwie, poprzez wykorzystanie technik nuklearnych, uzyskano ponad 1800 odmian roślin w efekcie bezpośredniego wykorzystania mutantów lub ich użycia w krzyżowaniach. Według Rybińskiego i in. [2003] stosowanie technik nuklearnych w hodowli roślin jest adresowane między innymi bezpośrednio do indukowania mutacji. Wykorzystanie promieni X, gamma czy neutronów dla indukowania zmienności genetycznej stało się dobrze poznaną technologią, co przyczyniło się do poprawienia licznych cech u takich gatunków rozmnażanych przez nasiona jak pszenica, ryż, jęczmień, bawełna, orzech ziemny czy fasola [Ahloowalia 2001]. Mimo, że promienie gamma należą do czynników mutagennych o wysokiej efektywności indukowania mutacji, w pierwszym pokoleniu po napromieniowaniu, wywołują one wysoki poziom uszkodzeń biologicznych co w wielu przypadkach stanowi istotną przeszkodę w uzyskaniu dostatecznej liczby nasion koniecznych do wysiewu na pokolenie kolejne w którym prowadzi się wybór mutantów. Dotyczy to w szczególności wyższych dawek promieni gamma, w wielu przypadkach powodujących całkowitą sterylność roślin pokolenia pierwszego przy wysokim poziomie aberracji chromosomowych [Maruyama i in. 2004, Rybiński i in. 2004]. Prace Benkeblia i in. [1999, 2003] wskazują na istnienie zależności pomiędzy dawkami promieniowania gamma a zawartością kwasu askorbinowego oraz glukozy i fruktozy w roślinach cebuli (*Allium cepa L.*).

Badania Olchowik i in. [1994ab, 1996ab, 1997, 2001, 2002] prowadzone na nasionach roślin wykazały, że zastosowanie mikrofal w przedświejnej obróbce nasion powoduje wzrost zdolności i energii kiełkowania przy dyskretnych wartościach częstotliwości. Zaznaczyć należy, że oprócz częstotliwości o pozytywnym efekcie działania istniały również takie, które wpływały destrukcyjnie na parametry vitalne nasion i roślin. W doświadczeniu wykorzystywano generator mikrofal G4-141 wytwarzający (poprzez lampę fali wstecznej) fale o

częstotliwości od 37,50 GHz do 54,04 GHz o regulowanej mocy wyjściowej od 0 mW do 20 mW·cm⁻². Generator wyposażony był w falowód zakończony anteną będącą emitery mikrofal. Olchowik [1994a, 1997] prowadziła badania dotyczące wpływu promieniowania mikrofalowego o gęstości mocy poniżej 10 mW·cm⁻², czyli poniżej oddziaływań termicznych, na strukturę plonu gryki. W doświadczeniu zastosowano częstotliwości 38,46, 39,50, 42,13, 48,38 i 53,57 GHz oraz czasy napromieniowania 2, 5, 10, 15, 20, 45 min. Napromieniowane nasiona wysiano na poletka a po zbiorze plonu wykonano pomiary biometryczne, oceniano liczbę i masę nasion z rośliny. Wyniki badań wskazują, że optymalnymi parametrami promieniowania mikrofalowego zastosowanego w przedsięwzięciu obróbki nasion gryki jest częstotliwość 48,38 GHz i czas napromieniowania 20 min. Wpływ promieniowania mikrofalowego na energię i zdolność kiełkowania nasion lnu został opisany w pracach Olchowik i in. [1994b, 2002]. W doświadczeniu tym nasiona ułożone na płytce Petriego napromieniowano przez czas 20 min. i 45 min. mikrofalami o częstotliwości 38,46, 39,50, 42,13, 48,38 i 53,57 GHz a następnie dokonano (po 3 dniach) pomiaru energii i (po 7 dniach) zdolność ich kiełkowania. Przy obu czasach napromieniowania obserwowano największy wzrost energii i zdolności kiełkowania przy częstotliwościach 42,13 GHz i 53,57 GHz (korzystniejszy okazał się czas napromieniowania 20 min). Doświadczenie dotyczące zwiększania zdolności kiełkowania nasion ogórków pod wpływem promieniowania mikrofalowego zostało opisane w pracy Olchowik i in. [1996a]. Nasiona, których wilgotność nie przekraczała 15 %, 6 miesięcy przed wysiewem napromieniowano mikrofalami o częstotliwości od 37,88 GHz do 39,04 GHz i gęstości mocy od 1 mW·cm⁻² do 10 mW·cm⁻² przez okres od 30 min do 45 min. Największą zdolność kiełkowania nasion stwierdzono przy częstotliwości mikrofal 38,46 GHz. Ta metoda uszlachetniania materiału nasiennego została również opisana w patencie nr 1686691 B1 [Olchowik i in. 1996b]. Podobne badania, dotyczące wpływu przedsięwzięcia biostymulacji nasion buraka cukrowego (odmian Colibri i Maria) promieniowaniem mikrofalowym o częstotliwościach 53,57, 48,38, 42,13 i 38,46 GHz, z użyciem generatora mikrofal G4-141 prowadzili Wójcik i in. [2004]. Wyniki tego doświadczenia polowego wskazują na istotne modyfikacje w plonie korzeni buraka; przedsięwzięcia stymulacja nasion promieniowaniem mikrofalowym, średnio, niezależnie od odmiany i częstotliwości istotnie zwiększała ten plon. Najwyższy plon korzeni (56,8 t·ha⁻¹) uzyskano w kombinacjach, w których zastosowano częstotliwość 48,38 GHz i 38,46 GHz. Promieniowanie mikrofalowe o częstotliwości 48,38 GHz było najkorzystniejsze dla odmiany Colibri, natomiast w przypadku odmiany Maria najwyższe plony korzeni uzyskano stosując częstotliwość 42,13 GHz. Pod wpływem przedsięwzięcia stymulacji nasion obserwowano większą zawartość cukru w korzeniach roślin potomnych, natomiast malała zawartość melasotworów. Hamada [2007] prowadził badania związane z wpływem promieniowania

mikrofalowego o długości fali 2,85 cm, częstotliwości 10,525 GHz na nasiona pszenicy (*Triticum aestivum* L. Sakha 61). Nasiona napromieniowano przez okres 15, 45 i 75 min. i pozostawiono, aby kiełkowały przez 7 lub 14 dni. Zakresem badań objęto zmiany w zawartości wybranych aminokwasów, karotenoidów, chlorofilu, kwasów nukleinowych, fenoli, proliny (α-aminokwasów), białek i węglowodanów oraz mierzono długość kiełków, zawartość świeżej i suchej masy. Wyniki badań wskazują, że 75 minutowa ekspozycja nie modyfikuje długości kiełków oraz zawartości świeżej i suchej masy napromieniowanych ziaren pszenicy. Napromieniowanie nasion mikrofalami powoduje natomiast podwyższenie zawartości związków białkowych i aminokwasów, a obniżenie węglowodanów, kwasów nukleinowych i fenoli. W przeprowadzonym doświadczeniu najbardziej korzystny okazał się 15 minutowy czas ekspozycji, który stymulował procesy syntezy proliny. Badania własne autora (wstępne) [Jakubowski 2010b], których celem było zbadanie wpływu promieniowania mikrofalowego o częstotliwościach w zakresie (2,45 ÷ 54) GHz na wybrane procesy życiowe roślin ziemniaka odmiany Felka Bona, wykazały pozytywny wpływ promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 2,45 GHz na masę kiełków napromieniowanych sadzeniaków oraz na masę bulw w plonie. Wpływu takiego nie stwierdzono dla promieniowania mikrofalowego o częstotliwościach 38 GHz, 46 GHz i 54 GHz.

PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń wskazują, że omówione metody fizyczne mogą pozytywnie stymulować rozwój roślin uprawnych w okresie ich wegetacji jak również mogą być stosowane jako sposób ograniczania strat przechowalniczych. Nie bez znaczenia jest fakt, że metody fizyczne mogą być alternatywą (lub uzupełnieniem) metod chemicznych stosowanych w agrotechnice w odniesieniu do materiału roślinnego.

BIBLIOGRAFIA

1. **Ahloowalia B.S., Maluszyński M. 2001.** Induced mutations – a new paradigm in plant breeding. *Euphytica* 118. 167-173.
2. **Benkeblia N., Selselet-Attou G. 1999.** Effect of γ irradiation and storage time on the ascorbic acid concentration in onion bulbs (*Allium cepa* L.). *International Agrophysics*, 13 (4). 417-420.
3. **Benkeblia N., Varoquaux P. 2003.** Effects of γ irradiation, temperature and storage time on the status of the glucose, fructose and sucrose in onion bulbs *Allium cepa* L. *International Agrophysics* 17 (1). 1-5.
4. **Cagalniceanu G., Radu M., Fologea D., Brezeanu A. 2000.** Short high – voltage pulsed microwave adventitious shoot differentiation from intact tobacco seedlings. *Electro and Magnetobiology*, 19.

5. **Dobrowolski J., Wąchalewski T., Smyk B., Barabasz W. 1996.** Experiments on the influence of laser light on some biological elements of natural environment. *Environmental Management and Health*, 8(4). 136-140.
6. **Dobrowolski J., Rózanowski B., Zielińska-Loek A. 1999.** Zastosowanie biostymulacji laserowej w biotechnologii środowiskowej. *Biotechnologia Środowiskowa*. 313-320.
7. **Dobrowolski J. 2002.** Zastosowanie biostymulacji laserowej w ekoinżynierii i ekorozwoju. *Inżynieria Ekologiczna. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej*. 194-196.
8. **Drozd D., Szajsner H. 2007.** Efekt zastosowania przedsewnej stymulacji laserowej dla nieoplewionych genotypów owsa. *Acta Agrophysica* 9(3). 583-589.
9. **Fiedurek J., Skowronek M., Jamroz J. 2006.** Zmiany strukturalne i fizjologiczne w układach biologicznych indukowane pulsacyjnym polem elektrycznym. *Postępy Nauk Rolniczych* (6). 41-55.
10. **Gawrońska H. 1998.** Wytwarzanie i dystrybucja biomasy u ziemniaka *Solanum tuberosum* L. w zróżnicowanych warunkach środowiska. Rozprawa habilitacyjna. Fundacja Rozwój SGGW, 6.
11. **Gładyszewska B., Koper R. 2002.** Ustalanie dawek promieniowania laserowego w procesie biostymulacji nasion. *Acta Agrophysica* 62. 15-23.
12. **Górecki R. J., Grzesiuk S. 1994.** Światowe tendencje i kierunki uszlachetniania materiałów nasiennych. *Mat. Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych”*, Olsztyn-Kortowo. 9-2.
13. **Gut M. 2007.** Wpływ przemiennego pola elektrycznego na wzrost i plonowanie bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* 8 (96), 73-80.
14. **Haman J., Konstankiewicz K., Zdunek A. 2000.** Influence of water potential on the failure of potato tissue. *International Agrophysics* 14. 181-186.
15. **Hamada E. 2007.** Effects of microwave treatment on growth, photosynthetic pigments and some metabolites of wheat. *Biologia Plantarum* 51(2). 343-345.
16. **Hirota N., Nakagawa J., Kitazawa K. 1999.** Effects of a magnetic field on the germination of plants. *Journal of Applied Physics* 85(8). 122-126.
17. **Jakubowski T. 2008g.** Badania dotyczące wpływu metod fizycznych na przebieg niektórych procesów ontogenezy roślin ziemniaka. http://ziemniak.wa.ur.krakow.pl/materialy/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=11&Itemid=2 (dostępny on-line).
18. **Jakubowski T. 2010b.** The impact of microwave radiation at different frequencies on weight of seed potato germs and crop of potato tubers. *Agricultural Engineering* 6(124). 57-64.
19. **Kornarzyński K., Gładyszewska B., Pietruszewski St., Segit Z., Łacek K. 2003a.** Ocena wpływu biostymulacji zmiennym polem magnetycznym na kiełkowanie nasion pszenicy w oparciu o zastosowanie modelu symulacyjnego. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Agrolaser 2003 Lublin.
20. **Kornarzyński K., Pietruszewski St., Segit Z., Łacek R. 2003b.** Próba oceny wpływu pola magnetycznego na szybkość wzrostu kiełków pszenicy. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Agrolaser 2003 Lublin.
21. **Krupczyński M., Zeńczak M. 2003.** Oddziaływanie pola elektromagnetycznego 50 Hz na nasiona. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Agrolaser 2003 Lublin.
22. **Koper R., Dygdała Z. 1994.** Urządzenie do obróbki przedsewnej nasion promieniowaniem laserowym. Patent RP, Nr 162598.
23. **Koper R., Kornas-Czuczwar B., Próchniak T. 1999.** Wpływ przedsewnej biostymulacji laserowej nasion łubinu białego na właściwości mechaniczne plonu. *Inżynieria Rolnicza* 2(8). 21-28.
24. **Koper R., Kornas-Czuczwar B., Truchliński J., Więclaw A., 2002.** Przedsewna laserowa biostymulacja nasion metodą wiązki naturalnej. *Acta Agrophysica* 62. 35-40.
25. **Lipiec J., Janas P., Barabasz W. 2004.** Effect of oscillating magnetic field pulses on the survival of selected microorganisms. *International Agrophysics* 18(4). 325-328.
26. **Lutomirska B. 2006.** Przyspieszanie zbioru ziemniaków bardzo wczesnych. *Ziemniak Polski* 1. 12-15.
27. **Marks N. 2005a.** Wpływ impulsowego pola elektrycznego na straty przechowalnicze bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* 10 (70). 303-309.
28. **Marks N., Lipiec J., Jakubowski T. 2005b.** Ocena przydatności metod fizycznych do zwalczania przechowalniczych chorób bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* 7(67). 169-175.
29. **Marks N. 2005c.** Wpływ zmiennego pola magnetycznego na straty przechowalnicze bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* 10(70). 295-302.
30. **Marks N., Szczówka P. 2010a.** Wpływ stymulacji sadzeniaków zmiennym polem magnetycznym na kształt bulw ziemniaka. *Inżynieria Rolnicza* 5(123). 181-188.
31. **Marks N., Szczówka P. 2010b.** Impact of variable magnetic field stimulation on growth of aboveground parts of potato plants. *International Agrophysics* 24(2). 165-170.
32. **Marks N., Szczówka P. 2011.** Wpływ stymulacji sadzeniaków zmiennym polem magnetycznym na plonowanie ziemniaków. *Acta Agrophysica* 17(1). 135-150.
33. **Martinez E., Carbonell M.V., Amaya J.M. 2000.** Electro - and Magnetobiology 19 (3). 23-28.
34. **Maruyama K., Araki H., Kato H. 2004.** Thermosensitive genic male sterility induced by radiation. *Rice Genetics* II. IRRI, Manila, Philippines. 227-235.

35. **Olchowik G., Dziamba S. 1994a.** Wpływ promieniowania mikrofalowego na elementy struktury plonu gryki. *Mat. Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych“*, Olsztyn-Kortowo. 283-287.
36. **Olchowik G., Gawda H. 1994b.** Wpływ promieniowania milimetrowego na energię i zdolność kiełkowania nasion lnu. *Mat. Konf. Nauk. „Uszlachetnianie materiałów nasiennych“*, Olsztyn-Kortowo. 289-292.
37. **Olchowik G., Murkowski A. 1996a.** Effects of microwave radiation on primary photosynthesis reaction in cucumber plants. *Folia Histochemica et Cytologica*, v.34, suppl.2, 41. Abstracts of the 6th Conference on Cell Biology, 12-14 sept. 1996, Lublin, Poland.
38. **Olchowik G., Dziamba S., Gawda H. Grigoriev A., Milejew W. 1996b.** Sposób zwiększania zdolności kiełkowania nasion ogórków. Patent 1686691 B1, 22.03.1996 WUP 03/96.
39. **Olchowik G., Dziamba S. 1997.** The influence of microwave radiation on the buckwheat yields. 6th International Conference on Agrophysics, Sept. 15-18 Lublin, Book of abstracts 2. 289-290.
40. **Olchowik G., Gawda H. 2001.** Uszlachetnianie materiału nasiennego za pomocą promieniowania mikrofalowego. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Agrolaser 2001”, Oddziaływanie pól elektromagnetycznych na środowisko rolnicze, Lublin 26-28.09. 155-156.
41. **Olchowik G., Gawda H. 2002.** Influence of microwave radiation on germination capacity of flax seeds. *Acta Agrophysica* 62. 63-68.
42. **Pietruszewski S., Kornarzyński K. 1999.** Wpływ pól magnetycznych na proces kiełkowania nasion. *Inżynieria Rolnicza* 2(8). 13-20.
43. **Pietruszewski S., Wójcik S. 2000a.** Wpływ pola magnetycznego na plony buraka cukrowego Odmian Kalwia i Polko. *Inżynieria Rolnicza* 5(16). 207-210.
44. **Pietruszewski S., Kornarzyński K. 2000b.** Wpływ przedsewnego oddziaływania pola magnetycznego na właściwości chemiczne i technologiczne pszenicy. *Inżynieria Rolnicza* 5(16). 211-214.
45. **Pietruszewski S. 2003.** Magnetyczna i elektryczna biostymulacja nasion roślin uprawnych. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Oddziaływanie Pól Elektromagnetycznych na Środowisko Rolnicze”. Agrolaser, Lublin.
46. **Podleśny J., Pietruszewski S., Sowiński M. 2003.** Wpływ biostymulacji magnetycznej nasion na kształtowanie się cech morfologicznych i plonowanie grochu siewnego. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Agrolaser Lublin.
47. **Podleśny J. 1998.** Wpływ przedsewnego traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój i plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*). *Pamiętniki Puławskie* 113, 73-84.
48. **Podleśny J. 2000a.** Biostymulacja nasion światłem laserowym i jej wpływ na wzrost, rozwój oraz plonowanie roślin. *Postępy Nauk Rolniczych* 6. 27-39.
49. **Podleśny J. 2000b.** Wpływ traktowania nasion promieniami laserowymi na rozwój oraz dynamikę gromadzenia suchej masy łubinu białego (*Lupinus albus* L.). *Pamiętniki Puławskie* 121. 147-170.
50. **Podleśny J. 2007.** Wpływ napromieniowania nasion laserem i desykcji roślin na plonowanie i cechy jakościowe nasion łubinu białego. *Acta Agrophysica* 9(3). 733-745.
51. **Pittman U. 1972.** Biomagnetic responses in potatoes. *Can J. Plant Sci.* (52). 727-733.
52. **Rogers A. 1975.** The response of plant tissue to high voltage electric fields. Houston University, Houston, TX 77004, USA, 5.
53. **Rochalska M. 2003.** Wpływ zmiennego pola magnetycznego na zawartość chlorofilu w liściach roślin. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Agrolaser Lublin.
54. **Rybiński W., Pietruszewski S., Kornarzyński K. 2003.** Influence of magnetic field with chemomutagen and gamma rays on the variability of yielding parameters in barley (*Hordeum vulgare* L.). *International Agrophysics* 17(2). 85-91.
55. **Rybiński W., Pietruszewski S., Kornarzyński K. 2004.** Analiza wpływu pola magnetycznego i promieni gamma na zmienność elementów plonowania jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agrophysica* 3(3). 579-591.
56. **Stašelis A., Duchowski P., Brazaityte A. 2003.** The impact of electromagnetic fields on morphogenesis and physiological indices of tomato. II Międzynarodowa Konferencja Naukowa, Agrolaser Lublin.
57. **Szajsner H., Drozd D. 2003.** Możliwość zastosowania przedsewniej biostymulacji laserowej do poprawy wartości siewnej wybranych odmian jęczmienia *Acta Agrophysica* 2(4). 851-856.
58. **Szajsner H., Drozd D. 2007.** Uszlachetnianie nasion wybranych gatunków roślin warzywnych poprzez stymulację promieniami lasera. *Roczniki AR Poznań. CCCLXXXIII, Ogrodnictwo* 41. 625-629.
59. **Szorc J., Korpál W., Weiner W., Ringel T. 1996.** Badania i urządzenia pozwalające ustalić wpływ stymulacji elektrycznej na poprawę jakości bulw ziemniaczanych. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych* 425. 241-248.
60. **Wilczek M., Fordoński G. 2007.** Wpływ stymulacji nasion światłem lasera na intensywność fotosyntezy i transpiracji oraz plonowanie koniczyiny czerwonej. *Acta Agrophysica* 9(2). 517-524.
61. **Wójcik S., Dziamba M., Pietruszewski S. 2004.** Wpływ promieniowania mikrofalowego na plonowanie i jakość technologiczną korzeni buraka cukrowego. *Acta Agrophysica* 3(3). 623-630.
62. **Zimmerman U. 1986.** Electrical breakdown, electroporation and electrofusion. *Rev. Physiol. Biochem Pharmacol.* 105. 176-256.
63. **Zubal P. 1990.** Wpływ stymulacji osiwa laserem na urody obilnim o strukovin. *Vedecke Prace Vyskumneho Ustavu Rastinneho Vyrobu*, 23.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ

Богдан Гевко¹, Роман Чвартацкий¹, Игор Чвартацкий², Стефания Билук²

¹Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя

Ул. Русская 56, Тернополь, Украина. E-mail: vova221@ukr.net

²ВПНУБИП «Бережанський агротехнічний інститут»

Ул. Академическая, 20, Бережаны, Украина. E-mail: vova221@ukr.net

Bohdan Gevko¹, Roman Chvartackii¹, Ihor Chvartackii², Stefania Biluk²

¹Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Str. Ruska, 56, Ternopil, Ukraine. E-mail: vova221@ukr.net

²Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Berezhany Agrotechnical Institute

Str. Akademicka 20, Berezhany, Ukraine. E-mail: vova221@ukr.net

Аннотация: Наиболее распространенными способами измельчения корнеплодов являются механические, которые характеризуются простотой конструкции, надежностью и высокой производительностью оборудования. По особенностям взаимодействия между рабочими органами и рабочей средой (обрабатываемым материалом) следует выделить следующие основные способы измельчения: раздавливания, перетирания, разбивание и резка. Общая особенность их не зависит от характеристик материала, который подвергается переработке. Особенностью предложений конструкции измельчения корнеплодов авторов, является наличия режущих кромок на поверхности подвижного транспортера конвейера и опорной поверхности где происходит измельчение корнебульбоплодов одновременно с двух сторон с отвержением стружки в зону под опорной стенкой и в зону транспортера конвейера. Перемещение сырья происходит за счет прижима лент конвейера и под действием силы тяжести. Одновременное действие этих сил, а также наличие неровностей на поверхности конвейера способствуют перемещению и измельчению корней. Резка корнебульбоплодов происходит одновременно многими режущими лезвиями, расположенными как на поверхности транспортера, так и на опорной стенке. Выведено аналитические зависимости для определения усилия резания корнеплодов, где установлено, что для увеличения производительности конвейера необходимо увеличивать количество режущих кромок на полотне конвейера, а также увеличить ширину и толщину срезаемого слоя корнеплода. Установлены зависимости оптимального угла раздвига бункера от плотности режущих инструментов от ширины и высоты срезаемого слоя.

Ключевые слова: корнеплоды, технологический процесс, измельчения.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Известны различные способы силового воздействия на материал, который подвергается переработке. Наиболее распространенными являются механические способы измельчения, которые характеризуются простотой конструкции, надежностью и

высокой производительностью оборудования. По особенностям взаимодействия между рабочими органами и рабочей средой (обрабатываемым материалом) следует выделить следующие основные способы измельчения: раздавливания, перетирания, разбивание и резки. Общая суть их не зависит от характеристик материала, подвергается переработке.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В кормопроизводстве для измельчения кормов, по данным проф. Ревенко И.И. [1] распространены дисковые и барабанные режущие аппараты, которые обладают рядом весовых недостатков. По данным авторов, среди которых, М.М. Белянчикова [2], А.А. Яворский [3], Л.И. Грачева [4, 18-20] основным недостатком существующих методов измельчения корнеклубнеплодов является их низкая производительность, высокая технологическая сложность оборудования и энергозатраты.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы – разработка конструкции установки для измельчения и смешивания корнеплодов с комбикормами, вывод аналитических зависимостей этих процессов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Установка для измельчения и смешивания кормов (рис. 1) выполнена в виде рамы 1 на которой крепятся все механизмы и рабочие органы. В нижней части установки на раме 1 жестко установлен желоб 2 в установленный винтовой рабочий орган 3, с валом 4 с возможностью кругового проворачивания. С левого края установки на раме жестко установлен электродвигатель 5 с муфтой (на чертеже не показано), которая соединяет приводной вал двигателя с валом 4. Над желобом 2 с левой стороны установлен цепной многорядный измельчающий конвейер 6 с ведущим 7 и ведомым зубчатыми шкивами 8, в которых в звеньев цепей через шаг жестко закреплены отдельные измельчающие ножи 9 длиной равной ширине конвейера с возможностью сгибания при их движении по шкивах 7 и 8. Установление

измельчающих ножей 9 через шаг обеспечит свободное просыпания измельчающего корма в желоб 2. Равномерно по длине соседних ножей 9 в шахматном порядке выполнены полукруглые режущие конические элементы 10 со сквозными окнами 11 которые наклонены в сторону движения режущих ножей 9. Кроме этого на опорной стенке корпуса 12 измельчающего конвейера в зоне измельчения корма, установленной соосно с рабочими ножами 9 конвейера углом меньше образующей подвижной режущей ветви конвейера к горизонту. На шарнирах 13 снизу в зоне между подвижными и неподвижными режущими элементами ножи с помощью регулировочного механизма 14 установлены аналогичные режущие конические элементы 15 со сквозными окнами 11 в шахматном порядке с наклоном в противоположную сторону с возможностью двухстороннего измельчения корма. При этом между опорной стенкой 12 корпуса зоны измельчения корма и образующей подвижного измельчающего конвейера 6 образована условная трапеция ABCD в которой верхняя основа BC является большей нижней AD при условии увеличения BC с помощью регулировочного механизма 14, жестко закрепленный на задней стенке 16. Кроме этого бункер 17 с кормовой свеклой 18 жестко установлен на корпусе 19 измельчающего конвейера.

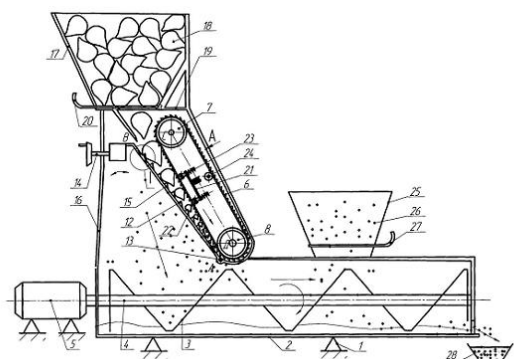


Рис. 1 Установка для измельчения и смешивания кормов

Fig. 1. Installation for grinding and mixing the feeds

Регулирование подачи кормовой свеклы 18 осуществляется шибром 20. Натяжение цепей 6 из измельчая мы ножами 9 осуществляется с середины конвейера с помощью натяжного устройства 21 с роликами 22 и пружинами 23. Кроме этого противоположная ветка цепного конвейера 6 поддерживается от прогиба роликом 24 известной конструкции.

Кроме этого для свободной подачи измельчающего корма с зоны измельчения осуществляется через окно в нижней части корпуса 12, который на чертеже не показано.

За счет наличия режущих кромок на поверхности подвижного транспортера конвейера и опорной поверхности происходит измельчение корнебурьболов одновременно с двух сторон с отвержением стружки в зону под опорной стенкой и в зону транспортера конвейера. Перемещение сырья происходит за счет прижимания ленты конвейера и под действием силы тяжести. Одновременное действие этих сил, а также наличие неровностей на поверхности конвейера способствуют перемещению и измельчению корней. Резки корнебурьболов происходит одновременно многими режущими лезвиями, расположенными как на поверхности транспортера, так и на опорной стенке. Усилие резания одним лезвием может быть выражено по формуле, предложенной акад. В.П.Горячкиным [2]. На рис. 2 представлена схема формы резального элемента

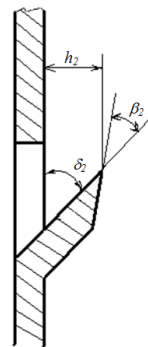


Рис. 2 Схема формы резального элемента
Fig. 2. Form of cutting element

$$P = P_0 + Kbh + \varepsilon bhV^2, \quad (1)$$

где: P_0 – постоянное сопротивление резке, который зависит от физико-механических свойств корнеплодов, остроты и геометрии режущего лезвия, толщины стружки; K – удельный коэффициент сопротивления резке; ε – коэффициент скоростного сопротивления; b и h – ширина и толщина срезаемого слоя, соответственно; V – скорость резки.

При относительно малых скоростях резания, когда стружка не улетает в сторону от режущего лезвия, а легко отходит под собственным весом, в последнее слагаемым, характеризующий инерционные и вязущие силы, можно пренебречь.

В этом случае сила резания (1) практически постоянной величиной, которая определяется конструкцией режущего лезвия. Важную роль в ее значении играют геометрические параметры лезвия – угол заточки, передний и задний углы режущей поверхности, радиус закругления режущей кромки заточенного лезвия. Геометрия срезаемого слоя b и h определяется шириной лезвия, выступлением режущей кромки относительно опорной поверхности и углом его установки в направлении резки и практически неизменной для используемого инструмента. При изменении геометрии лезвия измельчителя

будет изменена структура стружки корнеплода, ее размеры и, соответственно, изменится усилие резания.

Скорость резки ножами опорной поверхности V_1 та полотном V_2 конвейера зависит от перемещения корнеплода по опорной поверхности. В случае $V_1=0$ корнеплод останавливается на этой поверхности, заклинившись в ее ножах. Для перемещения корнеплодов по поверхности необходимо, чтобы суммарная сила резания ножей ленты конвейера незначительно превышала аналогичную силу резания ножей опорной поверхности. В этом случае корнеплод будет продвигаться вниз под действием сил резания ножей ленты конвейера и силы собственного веса и веса корнеплодов, находящихся выше. В среднем можно считать, что скорости резки корнеплодов удовлетворяют таким зависимостям:

$$\begin{aligned} V_1 + V_2 &= V; \\ V_1 \approx V_2 &\approx \frac{V}{2}; \end{aligned} \quad (3)$$

где: V – скорость движения ленты конвейера.

Усилие резания всеми ножами опорной поверхности, с учетом коэффициента использования режущих кромок, равна:

$$P_1 = \lambda_k N_1 (P_{10} + K_1 b_1 h_1 + \varepsilon b_1 h_1 V_1^2). \quad (4)$$

Аналогично, усилия резания ножами конвейера определяется формулой:

$$P_2 = \lambda_k N_2 (P_{20} + K_2 b_2 h_2 + \varepsilon b_2 h_2 V_2^2). \quad (5)$$

Как было отмечено выше, для нормального процесса измельчения важно, чтобы корнеплод двигался относительно обеих режущих кромок с примерно равной скоростью, равной половине скорости подвижной части ленты конвейера (3). С этой целью необходимо обеспечить условие:

$$P_2 + m_k g \sin \alpha + F_2 > P_1 + F_1, \quad (6)$$

где: m_k – масса корнеплодов в бункере; α – угол наклона опорной поверхности до горизонта; F_1 – суммарная сила трения корнеплодов по опорной поверхности; F_2 – суммарная сила трения корнеплодов по поверхности конвейера.

Условие (6) предусматривает преимущественное усилия в направлении движения ленты конвейера. Невыполнение условия (6) приведет к заклиниванию корнеплодов на опорной поверхности и сделает невозможным движение по ней. С этой целью необходимо осуществить соответствующие конструктивные меры для обеспечения выполнения условия движения и резки корнеплодов (6).

Силы трения корнеплодов с элементами конструкции измельчителя зависят от многих факторов – материала конструкции, угла наклона опорной поверхности, условий смазывания соком измельченных корней, угла розхилу бункера, формы режущих кромок.

Анализ выражений (4) и (5) показывает, что для увеличения силы резания P_2 необходимо увеличить количество режущих кромок на полотне конвейера, а также, увеличить ширину и толщину срезаемого слоя корнеплода. Если количество элементов для резки определяется конструкцией транспор-

тера, то ширина и особенно толщина срезаемого слоя может быть существенно увеличена конструктивными мерами. Также важна зависимость коэффициента K_2 от формы и заостренности кромки режущего лезвия.

Значительное увеличение усилия резания P_2 также нецелесообразно, вследствие заклинивания корнеплодов на поверхности транспортера конвейера. Однако, в этом случае, процесс резки будет происходить за счет сужения бункера.

Оптимальным является определенный баланс усилий резания и трения на обеих поверхностях, удовлетворяет условию (6) и способствует измельчению и продвижению сырья вдоль опорной поверхности бункера.

Усилие резания свекловичных корней рассмотрены в литературе [3]. В исследованиях И. Новикова показано, что коэффициенты силы резания в формуле (1) можно определить следующим образом:

$$P_0 = B_0 L_0 \delta^m e_0, \quad (7)$$

где: B_0 – коэффициент, зависящий от механической прочности материала (для свеклы – 10,4) L_0 – длина

части лезвия, участвующий в резке; $\delta = 2r_k \cos \frac{\beta}{2}$ –

острота лезвия ножа, определяется радиусом закругления режущей кромки r_k та углом заточки инструмента β ; m – показатель степени (для свеклы – 0,53); e_0 – отношение величины пути сжатия h_{cm} к длине элемента стружки l (рис. 3).

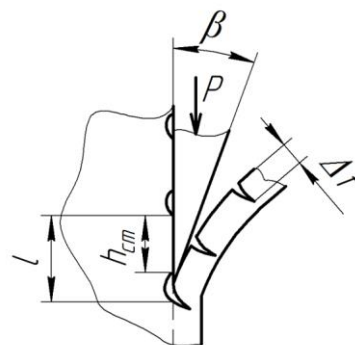


Рис. 3. Схема образования стружки
Fig. 3. Scheme of chip formation

Важным фактором правильного прохождения процесса измельчения корней является оптимальное значение угла розхилу бункера γ (рис. 1). При малом его значении и известной длине ленты конвейера входное отверстие окажется недостаточным для размещения корня, или выходное отверстие будет слишком большим и измельчения не будет происходить полностью. Если же угол розхилу бункера γ будет слишком большим, измельчения происходить только в зоне, близкой к выходному отверстию, что существенно уменьшает производительность измельчителя. Оптимальным, с точки зрения повышения производительности измельчения корней, по нашему мнению, такая конструкция бункера, в котором корнеплод, что попал в бункер, полностью был бы измельченный, двигаясь со скоростью $\frac{V}{2}$

вдоль опорной поверхности. Условием такого дробления является равенство объема (массы) стружки, срезанной с корнеплода, уменьшению эффективного объема бункера (с учетом коэффициента λ_k).

Рассмотрим рис. 4, на котором схематично изображены геометрические параметры бункера и связанная с ним система координат. Объем бункера, в зависимости от координаты x , ограниченной неравенством $0 \leq \tilde{\sigma} \leq L$, записывается зависимостью, следует из известной формулы площади трапеции, какова боковой вид бункера:

$$v(x) = B \left(a_1 + \frac{x}{2} \operatorname{tg} \gamma \right) x; \quad (9)$$

а полный полезный объем бункера:

$$v(L) = \lambda_b B \left(a_1 + \frac{L}{2} \operatorname{tg} \gamma \right) L, \quad (10)$$

где: B – ширина бункера, приближенно равна ширине режущей ленты транспортера конвейера; λ_b – коэффициент использования объема бункера – отношение объема корнеплодов к объему бункера.

Размер выходного отверстия бункера является конструктивным параметром и выбирается из условия минимального размера остатка корнеплода, который допускается в процессе измельчения.

За время перемещения тела в бункере со скоростью $\frac{V}{2}$ объем усеченной части и полезный объем бункера должны быть равны:

$$\frac{2\lambda_k L}{V} (N_1 b_1 h_1 V_1 + N_2 b_2 h_2 V_2) = \lambda_b B \left(a_1 + \frac{L}{2} \operatorname{tg} \gamma \right) L.$$

или, учитывая (3),

$$\lambda_k (N_1 b_1 h_1 + N_2 b_2 h_2) = \lambda_b B \left(a_1 + \frac{L}{2} \operatorname{tg} \gamma \right). \quad (11)$$

Отсюда определяем необходимый угол розхилу бункера γ :

$$\gamma = \arctg \left\{ \frac{2}{BL} \left[\frac{\lambda_k}{\lambda_b} (N_1 b_1 h_1 + N_2 b_2 h_2) - B a_1 \right] \right\}. \quad (12)$$

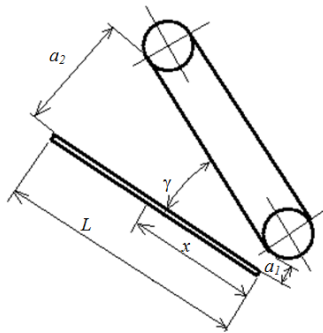


Рис. 4 Схема бункера

Fig. 4. Scheme of bunker

Из рис. 4 видно, что знаменатель выражения (12) определяет площадь опорной поверхности, а потому соотношение $\sigma_1 = \frac{N_1}{BL}$ и $\sigma_2 = \frac{N_2}{BL}$ характеризует удельную плотность режущих элементов, соответственно, на опорной поверхности и на ленте

транспортера. С учетом этого, выражение (12) можно записать в виде:

$$\gamma = \arctg \left\{ 2 \left[\frac{\lambda_k}{\lambda_b} (\sigma_1 b_1 h_1 + \sigma_2 b_2 h_2) - \frac{a_1}{L} \right] \right\} \quad (13)$$

Вычислено значение угла розхилу бункера определяется конструктивными параметрами устройства и размерами отверстий для прохождения стружки. Несоответствие угла розхилу бункера выражения (13) приведет к уменьшению производительности работы измельчителя.

Размер входного отверстия бункера, как следует из рис. 4:

$$a_2 = a_1 + L \operatorname{tg} \gamma. \quad (14)$$

Это значение следует выбирать из расчета соответствия максимальному размеру головки корнеплода для его свободного проникновения в бункер измельчителя. На практике этот размер устанавливают несколько большим из-за возможности заклинивания сырья со стороны подачи. Наличие нескольких меньших по размеру корнеплодов не влияет существенно на процесс измельчения в результате их сжатия наклоненным конвейером до размеров, необходимых для измельчения в текущем месте бункера.

Вычислить оптимальный угол раскрытия бункера, выбрав следующие его конструктивные характеристики: $b_1 = b_2 = 5 \text{ мм}$, $h_1 = h_2 = 3 \text{ мм}$, $\sigma_1 = 5000 \text{ шт/м}^2$, $\sigma_2 = 2000 \text{ шт/м}^2$, $\lambda_k = 0,7$, $\lambda_b = 0,5$, $a_1 = 20 \text{ мм}$, $L = 1 \text{ м}$, $B = 0,7 \text{ м}$.

Підставивши вказані величини у вираз (13), отримаємо $\gamma = 14,25^\circ$. При цьому розрахункова величина розрива входного отвору $a_2 = 0,274 \text{ м}$.

Полученное значение угла раскрытия бункера γ гарантирует производительность процесса измельчения, которая определяется из выражения (11), разделив массу корнеплодов в полезном объеме бункера на продвижении корнеплодов со скоростью V_1 вдоль опорной поверхности длиной L :

$$M = \frac{\lambda_b \rho B V}{2L} \left(a_1 + \frac{L}{2} \operatorname{tg} \gamma \right). \quad (15)$$

Подставив вышеуказанные числовые характеристики бункера и учитывая, что плотность корнеплода $\rho = 1060 \text{ кг/м}^3$, определим производительность процесса измельчения $M = 27,3 \text{ кг/с}$. Конечно, полученное значение производительности максимально достижимым при оптимальной загрузке бункера. Реальные характеристики процесса будут несколько ниже показателя.

Значительный интерес представляет вычисление мощности приводного механизма, необходимого для обеспечения указанной его производительности и удельная энергия измельчения.

Мощность, затрачиваемая на процесс резки корнеплодов, определяется суммой произведений соответствующих сил резания и трения на скорость резания:

$$W = (P_1 + F_1) V_1 + (P_2 + F_2) V_2. \quad (16)$$

Приняв предположение (3) и подставив в (16) выражения (4) и (5), получим

Соответственно, полная мощность привода, с учетом КПД приводного механизма η , запишется в виде:

$$W_m = \frac{1}{\eta} \left\{ \frac{\lambda_k V}{2} \left[N_1 (P_{10} + K_1 b_1 h_1 + \varepsilon b_1 h_1 V_1^2) + N_2 (P_{20} + K_2 b_2 h_2 + \varepsilon b_2 h_2 V_2^2) \right] + \frac{V}{2} (F_1 + F_2) \right\} \quad (18)$$

Приняв предварительные числовые величины, которые применялись при силовом расчете, а также, приняв, что силы трения существенно не увеличивают необходимую мощность привода вследствие достаточного смазывания поверхности соком корнеплода, вычислим необходимую мощность приводного механизма без учета сил трения.

Усилия на одном лезвии опорной поверхности, которое вычислено по-прежнему составляет $P = 4,8 \text{ Н}$, количество лезвий $N_1 = \sigma_1 BL = 3500 \text{ шт.}$ Суммарное усилие $P_1 = \lambda_k P N_1 = 11,76 \text{ кН.}$

Соответствующая мощность привода с учетом ккд $\eta = 0,8$ составит $W_m = 14,7 \text{ кВт.}$

Расчетная удельная энергия измельчения корнеплодов, с учетом максимальной производительности, составит $\frac{W_m}{M} = 0,538 \text{ кДж/кг.}$

Проанализируем зависимость основных характеристик процесса измельчения от конструктивных параметров бункера.

Одним из основных параметров бункера есть угол его розхилу, характеризующий объем материала, который может быть обработан в нем. Вычисления по формуле (13) иллюстрируются на рис. 5. Видно, что увеличение количества отверстий (плотности режущих элементов) пропорционально влияет на увеличение угла розхилу бункера и, соответственно, увеличение производительности процесса измельчения.

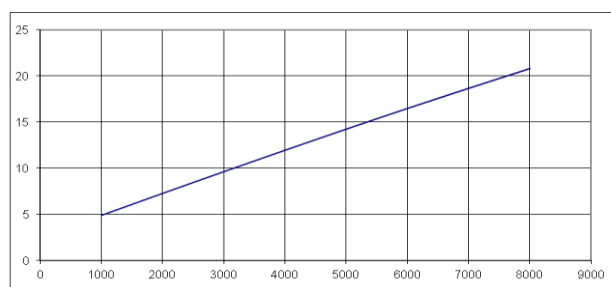


Рис. 5. Зависимость оптимального угла бункера от плотности режущих элементов

Fig. 5. Dependence of the optimal angle of bunker opening on the density of cutting elements.

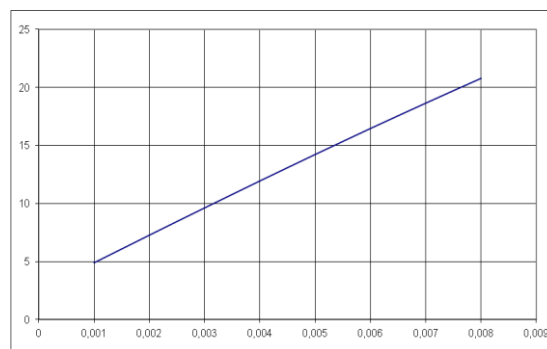


Рис. 6. Зависимость оптимального угла розхилу бункера γ от ширины и высоты срезаемого слоя $b i h$

Fig. 6. Dependence of the optimal angle of bunker opening γ on the width and height of the cutting layer $b i h$

Аналогично рис. 5 зависимость угла розхилу бункера наблюдается и для ширины и высоты срезаемого слоя $b i h$ (рис. 6), что объясняется их произведением. Как следует из анализа формулы (13), основным показателем, влияющим на угол γ , является суммарная производительность срезаемого материала пропорциональна высоте и ширине режущих элементов и их количеству на поверхности бункера.

Анализ формулы, что определяет производительность процесса измельчения, показывает линейную зависимость от ширины бункера B , скорости V и тангенса угла розхилу бункера γ . Однако, необходимо считать, что угол не может быть избран произвольно, а определяется выше приведенными зависимостями (12).

Мощность приводного механизма, как видно из формулы (18), прямо пропорциональна скорости резки V , количеству режущих кромок N_1 и N_2 , ширине и высоте срезаемого слоя $b i h$ (с соответствующими индексами), а также коэффициент статического сопротивления резке P_{10} и P_{20} . Каждый из компонентов вносит свою долю в усилия резания, однако наибольшее влияние имеют слагаемые $K_1 b_1 h_1$ и $K_2 b_2 h_2$. Усилиями трения F_1 и F_2 можно пренебречь, считая, что трения по опорной поверхности, вследствие значительного смазки выделенным соком корнеплода, является незначительным.

ВЫВОДЫ

Предложена конструкция для измельчения и смешивания корнеплодов в которой имеется наличие режущих кромок на поверхности подвижного транспортера, конвейер с опорной поверхностью, где происходит измельчение корнебульбоплодов одновременно с двух сторон с отвержением стружки в зону под опорной стенкой и в зону транспортера конвейера.

Выведены аналитические зависимости для определения усилия резания корнеплодов, с увеличением производительности конвейера путем увеличения количества режущих кромок на полотне

конвейера, а также увеличение ширины и толщины срезаемого слоя корнеплода.

Обоснованно выбор параметров бункера с повышением производительности измельчения путем увеличения режущих кромок и скорости измельчения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Горечкин В.П. 1968.** Собрание сочинений. /В.П. Горышкин. – М.: “Колос”, 354.
2. **Новиков Г.И. 1952** Исследование процесса резания корнеплодов./Г.И. Новиков/Труда ВИМ. – Т16. 3-26.
3. **Ревенко И.И., Манько В.М., Кравчук В.И. 1990.** Машина - использование в животноводстве/ [И.И. Ревенко, В.М. Манько, В.И. Кравчук]. – К.: Высшая школа, 208. (Украина)
4. **Кухта Г.М., Колесник А.Л., Кухта С.Г. 1990.** Механизация и автоматизация животноводства. [Г.М. Кухта, А.Л. Колесник, С.Г. Кухта] – К.: Высшая школа, 355. (Украина)
5. **Кулаковский И.В., Кирничников Ф.С., Резник Е.И. 1987-1988.** Машины и оборудование для приготовления кормов. Справочник в 4х Томах. – М.: Россельхоздрат. 4Т, 284.
6. **Мельников С.В. 1985** Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов. Л.Агровидав. – 640.
7. **Патент №55150 МПК (2009) В02С 18/00 2010.** Установка для измельчения и смешивания кормов. Чвартацкий Р.И. и другие. Бюл. №23. (Украина).
8. **Гевко Б.М. 2006.** Технология сельскохозяйственного машиностроения. / Б.М. Гевко – К.: Кондор, 490. (Украина).
9. **Zenkov R. L. 1980.** Mashyny nepreruyvnoho transporta. – М.: Mashinostroenie, 367.
10. **Гевко И. Б. 2013.** Научно-прикладные основы создания винтовых транспортно-технологических механизмов: Автореф. дис. на получение науч. степени доктора техн. наук: спец. 05. 02.02 «Машиноведение» – Львов, 42. (Украина)
11. **Жолобов О.О., Кириллович В.А., Мельничук П.П. 2008.** Технология автоматизованого виробництва. / [О.О. Жолобов., В.А. Кириллович, П.П. Мельничук] – Житомир, 1014. (Украина).
12. **Патент 36344, МПК: (2008) В03В 5/52.** Винтовой классификатор. / Р.И. Чвартацкий, И.Б. Гевко, В.Б. Левенец, О.Л. Ляшук, М.Р. Гевко. № u200805573; заявка 29.04.2008; опубл. 27.10.2008 Бюл.№ 20. (Украина).
13. **Патент № 62656 МПК: (2008) В01F 7/08** Смеситель винтовой с подъемно-рассыпным механизмом / Р.О. Любачивский, А.Э. Дячун, И.Б. Гевко, Р.И. Чвартацкий № u 2011 01236 заявка 04.02.2011; опубл. 12.09.2011 Бюл.№ 17. (Украина).
14. **Патент № 60547 МПК: (2011) В02С 13/00** Роторно-шнековая дробилка / Р.И. Чвартацкий, И.И. Чвартацкий, О.М. Лясота., С.Г. Билык, В.И. Солтысюк, И.Б. Гевко № u 2010 13591 заявка 15.11.2010; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12. (Украина).
15. **Патент № 30397 МПК: (2011) В65G 33/00** Украины. Стенд для исследования нагрузочной способности винтового рабочего органа. / И.Б. Гевко, Р.И. Чвартацкий № u 2007 12075 заявка 01.11.2007; опубл. 25.02.2008, Бюл. № 4. (Украина).
16. **Патент № 66136 (2011).** А01D 43/10 Двухступенчатый штифто-зубовый измельчитель свечи сухих растительных стеблей / В.М. Павлиский., М.В. Гнатюк, И.В. Логущ, И.И. Чвартацкий, И.В. Фльонц, Р.И. Чвартацкий, А.В. Грабар № u 2011 06787 заявка 30.05.2011; опубл. 26.11.2011, Бюл. № 24. (Украина).
17. **Патент № 68682 (2011).** В21D 11/06 Способ изготовления винтовых рабочих органов машины повышенной эксплуатационной надежности и долговечности / Б.М. Гевко, А.Э. Дячун, Р.О. Любачивский, Р.И. Чвартацкий, Р.Р. Ивасечко, И.Б. Гевко, № u 2011 101143 заявка 17.08.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7. (Украина).
18. **Фабричникова И., Коломиец В. 2013.** Разработка и внедрение комплексного способа упрочнения свеклорезных ножей для срезания стружки / И. Фабричникова, В. Коломиец // MOTROL. – Lublin-Rzeszow. – Vol. 15, No 7. 234-241.
19. **Дубровин В. 2013.** Идентификация процесса разработки адаптированной корнеуборочной машины / Валерий Дубровин, Геннадий Голуб, Виктор Барановский, Виктор Теслюк // MOTROL. – Lublin-Rzeszow. – Vol. 15. №3. 243–255.
20. **Кухта Г.М. 1987.** Машины и оборудование для приготовления кормов / Г.М. Кухта – М.: Агропромиздат, 303.

THE STUDY OF TECHNOLOGY PROCESS OF GRINDING THE ROOT CROPS

Summary. The most common methods of grinding the root crops are mechanical methods, which are characterized by simplicity of design, reliability and high performance of equipment. Taking into account the peculiarities of the interaction between the working bodies and working environment (finished material), the following methods of grinding should be highlighted: crushing, rubbing, breaking and cutting. Their common feature does not depend on the characteristics of the material, which is recycled. The root crops are grinded simultaneously on both sides with a rejection of chips into the area beneath the support wall and into the area of a conveyor belt. There are cutting edges on the surface of the moving conveyor belt and the support surface. The presence of these edges in the area of grinding is the main feature of the construction proposed by the authors. The raw materials displaced by pressing the conveyor belt and under the action of gravity. The simultaneous effect of these forces, as well

as the presence of irregularities on the surface of the conveyor belt contributes to the displacement and breakage of roots. The root crops are cut simultaneously by means of many cutting blades located on the conveyor surface and the support wall. The analytical dependencies for determination of cutting efforts of root crops are developed. To increase the conveyor performance, it is necessary to increase the

number of cutting edges on the conveyor belt, as well as to increase the width and thickness of the shear layer of roots. The dependences of the optimum angle of opening the bunker on the density of the cutting tools and on the width and height of the cutting layer are defined.

Key words: root crops, technology process, grinding.

СОДЕРЖАНИЕ

Ирина Деревенько. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНОГО ЭФФЕКТА В ПРОЦЕССАХ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ.....	3
Oleg Burdo, Sergey Terziev, Aleksandr Zykov, Nataliya Ruzhitskaya. THE TECHNOLOGIES OF TARGETED ENERGY SUPPLY IN FOOD INDUTRY.....	7
Виктор Куций, Виталий Янович, Алина Гурич, Николай Любин. ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА СТЕРИЛИЗАЦИИ МЯСНЫХ ПАШТЕТОВ.....	15
Игорь Паламарчук, Игорь Липовый. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ИНСУЛИНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ВИБРАЦИОННО-ПЛАНЕТАРНЫМ СПОСОБОМ.....	23
Леонид Ярошенко, Роман Чубик, Олег Омелянов, Мыкола Омелянов. СТАБИЛИЗАЦИЯ СКОРОСТИ ВИБРОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ СЫПУЧЕЙ ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКЦИИ.....	29
Ruslan Gorbatyuk. MODEL OF MACHINE WITH ACTIVATOR FOR VIBRO ABRASIVE TREATMENT OF THE DETAILS OF AGRICULTURAL MACHINERY.....	35
Валентин Мироненко, Роман Мельник, Владимир Слободян. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ЕЛЕКТРОТРАКТОРА.....	43
Andrzej Chochowski, Daniel Małz, Serhiy Syrotyuk. IDENTYFIKACJA WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNYCH WYMIENNIKA GRUNTOWEGO.....	47
Евгений Дубинин, Александр Полянский, Андрей Молодан, Дмитрий Клец, Вячеслав Плетнёв. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ МАШИНЫ.....	53
Александр Сидорчук, Йосыф Колодий, Павло Луб, Николай Рудинец. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВЛИЯНИЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЕКТОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА КУЛЬТУР.....	59
Василий Дмитрив. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПУЛЬСИРУЮЩИМ ВАКУУМНЫМ СИСТЕМАМ.....	69
Giełżeczki Jan, Syrotyuk Serhiy, Jakubowski Tomasz, Syrotyuk Kateryna. WYKORZYSTANIE CYFROWYCH MIERNIKÓW TEMPERATURY DS18B20 DO OKREŚLENIA RZECZYWISTEGO ROZKŁADU TEMPERATUR GRUNTOWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA.....	77
Stepan Khimka, Stanislaw Sosnowski. CONTROL LIGHTING BY MEANS OF VIRTUAL CONTROL MEASUREMENT DEVICE.....	85
Сергей Павленко. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ БУРТА ОРГАНИЧЕСКОЙ СМЕСИ ПРИ ЕЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АЭРАЦИИ ДВУХБАРАБАНЫХ РАБОЧИМ ОРГАНОМ.....	89
Валерий Адамчук, Сергей Погорелый. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ШАССИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	93
Jakubowski Tomasz, Lopushnyak Vasyl, Giełżeczki Jan, Syrotyuk Kateryna. ZASTOSOWANIE WYBRANYCH METOD FIZYCZNYCH W AGROTECHNICE.....	99
Богдан Гевко, Роман Чвартацкий, Игор Чвартацкий, Стефания Билык. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ.....	105

List of the Reviewers

- | | | | |
|----|----------------------|-----|-----------------------|
| 1. | <i>O. Kalakhan</i> | 8. | <i>I. Palamarchuk</i> |
| 2. | <i>V. Petruk</i> | 9. | <i>I. Sivak</i> |
| 3. | <i>V. Dmytriv</i> | 10. | <i>V. Tymochko</i> |
| 4. | <i>O. Lyashuk</i> | 11. | <i>A. Tryguba</i> |
| 5. | <i>M. Podryhalo</i> | 12. | <i>V. Syrotiuk</i> |
| 6. | <i>A. Fenenko</i> | 13. | <i>A. Adamenko</i> |
| 7. | <i>W. Lychoczwor</i> | 14. | <i>R. Kuzminskyi</i> |

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 1,8 (Listopad 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. (Table1).

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), (% m³m⁻³) or (% gg⁻¹), Thermal conductivity (W m⁻¹K⁻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. 1).

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. (1). 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.