

MONOGRAFIA
POKONFERENCYJNA

SCIENCE,
RESEARCH, DEVELOPMENT #26

TECHNICS AND TECHNOLOGY.

Познань/Poznan
27.02.2020- 28.02.2020

U.D.C. 004+62+54+66+082

B.B.C. 94

Z 40

Zbiór artykułów naukowych recenzowanych.

(1) Z 40 Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej (on-line) zorganizowanej dla pracowników naukowych uczelni, jednostek naukowo-badawczych oraz badawczych z państw obszaru byłego Związku Radzieckiego oraz byłej Jugosławii.

(28.02.2020) - Warszawa, 2020. - 36 str.

ISBN: 978-83-66401-37-2

Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour»

Adres wydawcy i redakcji: 00-728 Warszawa, ul. S. Kierbedzia, 4 lok.103

e-mail: info@conferenc.pl

Wszelkie prawa autorskie zastrzeżone. Powielanie i kopiowanie materiałów bez zgody autora jest zakazane. Wszelkie prawa do artykułów z konferencji należą do ich autorów.

W artykułach naukowych zachowano oryginalną pisownię.

Wszystkie artykuły naukowe są recenzowane przez dwóch członków Komitetu Naukowego.

Wszelkie prawa, w tym do rozpowszechniania i powielania materiałów opublikowanych w formie elektronicznej w monografii należą Sp. z o.o. «Diamond trading tour».

W przypadku cytowań obowiązkowe jest odniesienie się do monografii.

Publikacja elektroniczna.

«Diamond trading tour» © Warszawa 2020

ISBN: 978-83-66401-37-2

Redaktor naukowy:

W. Okulicz-Kozaryn, dr. hab, MBA, Institute of Law, Administration and Economics of Pedagogical University of Cracow, Poland; The International Scientific Association of Economists and Jurists «Consilium», Switzerland.

KOMITET NAUKOWY:

W. Okulicz-Kozaryn (Przewodniczący), dr. hab, MBA, Institute of Law, Administration and Economics of Pedagogical University of Cracow, Poland; The International Scientific Association of Economists and Jurists «Consilium», Switzerland;

С. Беленцов, д.п.н., профессор, Юго-Западный государственный университет, Россия;

Z. Ćekerevac, Dr., full professor, «Union - Nikola Tesla» University Belgrade, Serbia;

Р. Латыпов, д.т.н., профессор, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), Россия;

И. Лемешевский, д.э.н., профессор, Белорусский государственный университет, Беларусь;

Е. Чекунова, д.п.н., профессор, Южно-Российский институт-филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы, Россия.

KOMITET ORGANIZACYJNY:

A. Murza (Przewodniczący), MBA, Ukraina;

A. Горохов, к.т.н., доцент, Юго-Западный государственный университет, Россия;

A. Kasprzyk, Dr, PWSZ im. prof. S. Tarnowskiego w Tarnobrzegu, Polska;

A. Malovychko, dr, EU Business University, Berlin – London – Paris - Poznań, EU;

S. Seregina, independent trainer and consultant, Netherlands;

M. Stych, dr, Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Polska;

A. Tsimayeu, PhD, associate Professor, Belarusian State Agricultural Academy, Belarus.

I. Bulakh PhD of Architecture, Associate Professor Department of Design of the Architectural Environment, Kiev National University of Construction and Architecture

Recenzenci:

L. Nechaeva, PhD, Instytut PNPU im. K.D. Ushinskogo, Ukraina;

М. Ордынская, профессор, Южный федеральный университет, Россия.

ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING ELECTRIC CIRCUITS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS AND INTERPHASE CONNECTIONS	
Lobodzinskiy V.	5
PROBABILISTIC AUTOMATON IN GAME EVENT GENERATION	
Maiorskiy K.V.	8
PROJECT OF MICROPROCESSOR SYSTEM OF ACCURATE POSITIONING BASED ON STEPPER MOTORS	
Yurko O.,	11
СИСТЕМА ПРЯМОГО КЕРУВАННЯ СТРУМОМ СТАТИЧНОГО СИНХРОНОГО КОМПЕНСАТОРА	
Бурбело М.Й., Лобода Ю.В.	14
ОСОБЛИВОСТІ ОЧИЩЕННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА ГОЛОЗЕРНОГО ВІВСА	
Кустов І.О., Кузьменко Ю.Я., Чернишова О.О.	22
QUANTIZATION OF ENERGY IN NANOSTRUCTURES	
Akhmedov B.B., Rozikov J.Y., Akhmedova Sh.Y., Ruziboev V.U.	26
ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗАСВОЄННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ РОСЛИНАМИ ВЕРБИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НА НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ	
Лопушняк В. І., Грицуляк Г. М.	29

ANALYSIS OF METHODS FOR CALCULATING ELECTRIC CIRCUITS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS AND INTERPHASE CONNECTIONS

Lobodzinskiy Vadim

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

Keywords: distributed circuits, transients, calculation methods, operator method

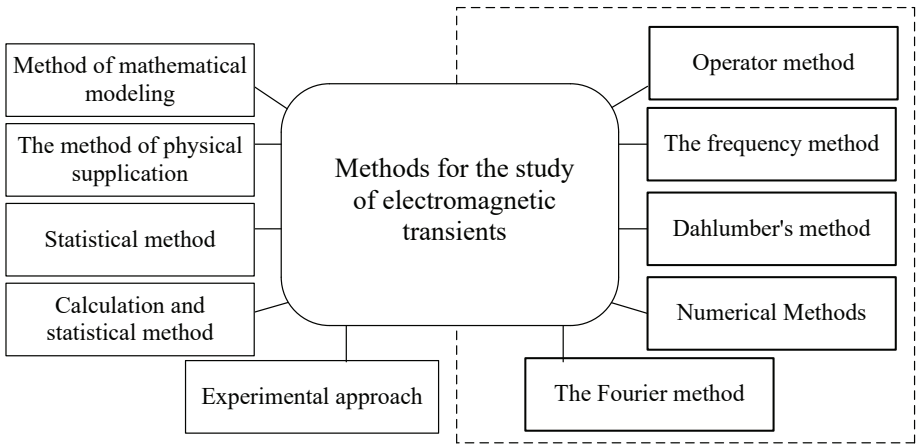
Calculation and prediction of transient electromagnetic processes is not an easy task. Transient occurring in multiphase electric circuits with concentrated and distributed parameters require in-depth study. In addition, this task is static, which requires consideration of a large number of variants in which different factors and their combinations change. Considering such tasks and bringing them to a technical solution is not always possible without the use of modern computing tools. The use of computer simulation is an understanding and interpretation of the results that can be obtained if you first solve the problem in a simplified form, which allows you to bring it to an analytical decision [1–5].

For the analysis of transients in multiphase electric circuits with distributed parameters, different meth-

ods of representation are used in Fig. 1.

Analysis of methods: mathematical modeling, physical modeling, statistical, computational-statistical and experimental approach shows that these methods allow to investigate physical phenomena occurring in the electric circuit, but it is not always possible to generate the necessary results. A number of difficulties are associated with the implementation of full-scale models in practice, which are related to specifications and financial costs.

In the calculation methods: operator, numerical, frequency, Fourier, Dahlumber's, based on the study of a mathematical model of three-phase circle with distributed parameters, in all cases the coefficients included in the equation are determined by the parameters of the substitution scheme,



«Methods for the study of electromagnetic transients» **figure 1**

which are either experimentally or by calculation constructive data, which is not always possible.

The operator method is the most efficient method of obtaining solutions, since it does not need to take into account the sequential obtaining of series coefficients, and therefore the accuracy of this method does not depend on the orthogonality of eigenfunctions.

The solution of this method can be represented as forward and reverse waves. To obtain the original by the decomposition theorem it is necessary to determine the spectrum of natural frequencies. When solving problems requires a mandatory recording of the entire image, which leads to an increase in the amount of

calculated data. The operator method allows you to automatically take into account initial and boundary conditions.

Considering the methods of studying electromagnetic transients, it is concluded that for calculation of transient voltages and currents in multiphase electric circuits, the most appropriate is the use of calculation methods. These methods allow to increase the accuracy of the results of the calculation of transients, which requires in some practical cases to abandon the assumptions of line symmetry and to develop methods of calculation of transients in asymmetric modes.

Література

1. Лободзинський В.Ю. Перехідні процеси в представлених багатополюс-

- никами трифазних колах із розподіленими параметрами та електромагнітними зв'язками. Дис.... канд. техн. наук. Київ, 2019. с. 145.
2. I.A. Kurylo, V.P. Grudska, L.Yu. Spinul, M.A. Scherba. Calculation of transient processes in linear electric circuits with lumped and distributed parameters: Tutorial. – К.: NTUU «КРІ», 2016. – 241 p.
 3. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В.С. Бойко, В. В. Бойко, Ю. Ф. Видолоб, І. А. Курило, В. І. Шеховцов, Н. А. Шидловська. Київ: Політехніка, 2004.– Т. 1. – 272 с., 2008.– Т. 2. – 224 с., 2013.– Т. 3. – 244 с.
 4. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. СПб.: Питер, 2003. – Т. 1. – 463 с., Т. 2. – 576 с. и Т. 3. – 377 с.
 5. Wedepohl L.M., Welcox D.J. Transient analysis of underground power transmission systems. Proc. Inst. El. Eng, 1973. vol. 120, №2. P. 253–260.

PROBABILISTIC AUTOMATON IN GAME EVENT GENERATION

Maiorskyi K.V.

Student

Kharkiv National University of Radioelectronics

Keywords: event, game, scenario, branch, probabilistic automaton, state-machine, probability, realistic, engaging.

Non-linear game stories or randomly generated events add a good amount of replayability to games and have therefore been commonly used in video games starting from about the late seventies of the previous century [1].

The application of non-linearity of the story and in-game events usually boils down to an extensive state-machine with different branches of events that depend upon the choice the player makes during gameplay.

The pros of such approach are obvious – game designers can completely control all the game events or stories and can ensure they are engaging and in general ‘make sense’. Such approach is also very easy to implement, debug and balance because there’s still a quite limited number of possible game walkthrough paths that can be taken.

If we take a different approach and decide to generate story or events in the game completely randomly, it’s very difficult to keep the world from becoming unrealistic and to build an engaging narrative.

A possible solution that may fit certain games well and take the best properties from both approaches is the use of probabilistic automaton [2,3].

Suppose we want to create a game about journalism, and we want the player to be confronted with daily events and choices whether or not to report those events and in which manner to do that reporting.

If we use a linear approach, it won’t be interesting to play that game more than once because all sequences of events will repeat themselves, at the same time it will be quite easy to build a narrative and sequence of events that are realistic and engaging.

If we follow a non-linear approach using a state-machine with a big variety of branches – it's a much better solution, but the set of possible experiences players will get is still limited because same choices will lead to same outcomes.

Using probabilistic automaton, we can define a large variety of events and possible branches from them and make the outcomes of previous events influence future events, but in a non-deterministic way. For a start, we will need a set of world variables representing different world entities, their states and relationships. For example, we can define a number of countries, their power and relationships between one another. Then we pre-set a generic list of scenario units that are comprised of events. For example, scenario #1 says that 'Country A shots down a jet of country B in neutral waters.' This scenario is basically a tree with different branches of sub-events, which may include the reaction of the attacked country, the world's reaction, etc. There are hundreds of such preset scenarios and all of them have branches of possible sub-events as well as required 'pre-

requisites', simply saying – a country cannot shoot down another country's jet if that other country has no jets, right?

Now let's take a look at an algorithm that can be used to create specific events:

- 1) When a new day starts, the game engine estimates which scenarios are technically possible and would make sense/look realistic (e.g. which countries are currently at war, etc.) by checking which scenarios pass the pre-requisite requirements and setting their probability according to the world's state variables.

- 2) The game randomly selects one of possible scenarios (based on the probability weight).

- 3) Having selected a scenario, all the branches of that scenario receive a probability score too, which is based on the world variables. For example, it's very unlikely Country B will answer with a full-scale war against country A if the latter is more powerful in terms of military capabilities.

- 4) Then again, a branch is selected randomly, taking into account its probability weight, and so on, until there are no more possible sub-events

in the scenario. At this point the scenario is considered complete and is displayed to the player.

As a result, the player receives daily events that look realistic and these events hardly ever look the same. Even if the same scenario is chosen, it can branch out very differently depending on the world state and on the random factor influencing all events.

References

1. Hatfield, T. (2013). Rise Of The Roguelikes: A Genre Evolves. Retrieved February 20, 2020, from <http://pc.gamespy.com/pc/ftl-faster-than-light/1227287p1.html>
2. Rabin, M. O. (1963). Probabilistic automata. *Information and Control*, 6(3), 230–245. doi: 10.1016/s0019-9958(63)90290-0
3. Salomaa, A. (1969). Acknowledgements. *Theory of Automata*, xi. doi: 10.1016/b978-0-08-013376-8.50005-8

PROJECT OF MICROPROCESSOR SYSTEM OF ACCURATE POSITIONING BASED ON STEPPER MOTORS

Yurko Oksana,

Fourth-year student Speciality «Automation and Computer-Integrated Technologies» Bohdan Khmelnytsky National university of Cherkasy, Cherkasy

Due to the rapid development of the latest technologies, age-old traditions have lost their popularity. The masters who were famous for painting Christmas decorations and Easter eggs were forgotten. **The project relevance** is to restore the age-old traditions in a new way. Designing a colorful eggplant device simplifies and speeds up the ancient, painstaking process of creating Easter eggs.

The main point of the project is to use software to control the rotation of “spheres” together with the positioning of a pencil or marker according to the code generated on the PC based on the graphic image.

To use this design, you need to find the image you want, download it to a special program of operating the device and specify the required image size (according to the egg size).

The project purpose is microprocessor system design of accurate positioning based on stepper motors. **The**

research object is the process of creating Easter eggs quickly and easily or Christmas decorations using a device based on stepper motors with software. **The research subject** is device based on stepper motors with software, which is used to draw on spherical objects.

The modern manufacturing more and more goes toward the automation. The one of the automation ways is the machine with computer numerical control (CNC). CNC machine allows to quickly get a computer-designed product, and to make products much faster and more carefully than by hand. Accurate and easily customized CNC machine allows to carry out projects which in other case of using manual technology would prove unworkable or unprofitable.

The microprocessor system of accurate positioning based on stepper motors is a simple drawing mecha-

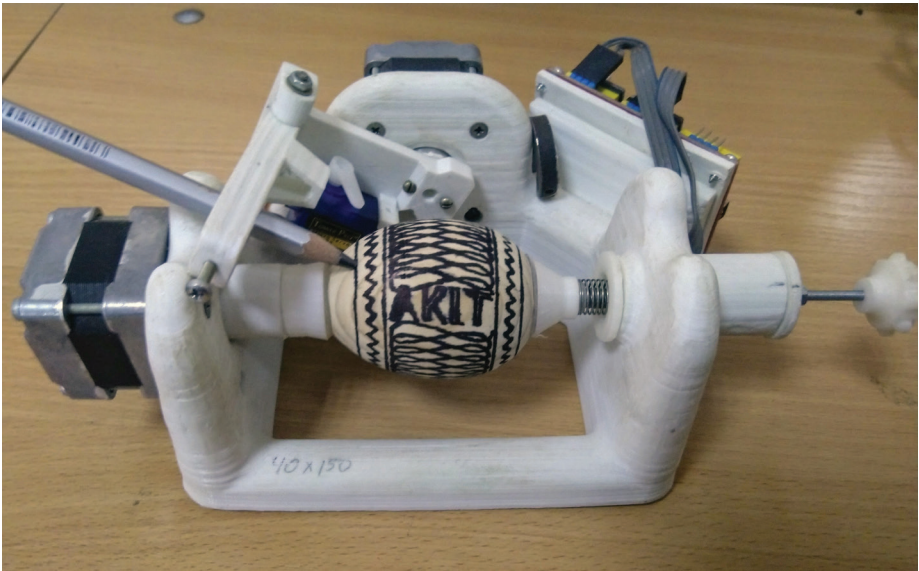


Figure 1- Microprocessor system for painting of spherical surfaces

nism that can draw on most spherical surfaces.

The machine is controlled by two stepper motors with high torque. The mechanism of lifting the pen is a quiet and reliable servos. A power driver is used to connect stepper motors. A control card is used to control the power driver. All machine parts are made by a printer 3D, it's reduced the cost of the creating a microprocessor system.

The core of the device operation is that the device perceives, transforms and generates information from a computer into G-code. By G-code

people interact with computerized machines.

The programmed machine moves the marker according to the instructions given by the G-code through certain trajectories to obtain the drawing according to the predetermined image.

G-code is also used for cutting technologies such as molding or polishing tools.

Reference Documents

1. SPHERE-O-BOT [Electronic resource]. – 2016. – Access mode: <http://www.zhildv.ru/sphere-o-bot/>.
2. Stepper motors and their microprocessor control systems [Electronic re-

source] // asutpp. – 706. – Access
mode: <https://www.asutpp.ru/elektrodvigatel/shagovyj-dvigatel.html>.

3. I. Artobolevsky. Mechanisms in modern technology. – M.: Nauka, 1970 in Russian).

УДК 621.316.1

СИСТЕМА ПРЯМОГО КЕРУВАННЯ СТРУМОМ СТАТИЧНОГО СИНХРОНОГО КОМПЕНСАТОРА

М.Й. Бурбело,

доктор технічних наук, професор
Вінницький національний технічний університет

Ю.В. Лобода

Вінницький національний технічний університет

Обґрунтовано метод прямого керування струмом статичного синхронного компенсатора з формуванням несинусоїдних сигналів, що дорівнюють різниці струмів навантаження та їх основних гармонік, з метою компенсації вищих гармонік, а також синусоїдних несиметричних сигналів для симетрування струмів навантаження, що дозволяє забезпечити розділення контурів керування фільтрування вищих гармонік та симетрування нелінійних несиметричних навантажень. Критеріями ефективності системи керування прийнято: сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень струмів, несиметричність струмів, значення пульсуючих активної та реактивної потужностей, які інтегрально характеризують несиметрію та гармонічні спотворення струмів і напруг в перехідному режимі. Бібл. 8, рис. 4.

Ключові слова: статичний синхронний компенсатор (СТАТКОМ), електричні мережі, несиметричні несинусоїдні режими, симетричні складові, вищі гармоніки.

Keyword: Static Synchronous Compensator (STATCOM), electrical networks, asymmetric non-sinusoidal modes, symmetric components, higher harmonics.

Постановка проблеми. На електричних мережах є однією із сьогоденішній день проблема якості актуальних. В більшості сучасних електричної енергії в розподільчих підприємств використовують

електробладнання, яке знижує якість електричної енергії. До них відносять: випрямлячі, які спотворюють синусоїдність форми струму та напруги; потужні однофазні електроприймачі, що спричиняють виникнення несиметрії навантажень. Ці фактори призводять до завчасного виходу з ладу технологічного обладнання та до збільшення втрат електричної енергії.

Одним із способів покращення якості електричної енергії є встановлення пристроїв динамічної компенсації реактивної потужності таких як статичні синхронні компенсатори (СТАТКОМ), що вирішують комплексно низку вказаних проблем.

Існує велика кількість як систем керування, так і схем виконання силового блоку СТАТКОМ [1-3]. Всі ці варіації мають як переваги, так і недоліки в певних режимах роботи розподільчих мереж. Дуже велика кількість наукових праць пов'язані із вдосконаленням роботи цих пристроїв [4-7].

Метою роботи є вдосконалення системи керування статичними синхронними компенсаторами.

В даній роботі було запропоновано підхід до побудови системи прямим керуванням струмом з використанням струмів зворотної послідовності i_{d2} та i_{q2} .

Обґрунтування результатів. Умови симетрування струмів за синусоїдних напруг і струмів отримують з критеріїв компенсації реактивної складової струму прямої послідовності та обох складових струмів зворотної та нульової послідовностей навантаження. Комплексні струми фаз компенсатора можуть бути визначені за однією з формул:

$$\begin{matrix} I_a^* & 1 & 1 & 1 & jk_1 \operatorname{Im} I_1^* \\ I_b^* & a^2 & a & 1 & k_2 I_2^* \\ I_c^* & a & a^2 & 1 & k_0 I_0^* \end{matrix} ; \quad (1)$$

$$\begin{matrix} I_a & I_A & 1 & 1 & 1 & \operatorname{Re} I_1 & j 1 & k_1 & \operatorname{Im} I_1 \\ I_b & I_B & a^2 & a & 1 & & 0 & & \\ I_c & I_C & a & a^2 & 1 & & 0 & & \end{matrix}, (2)$$

де $a = e^{j120^\circ}$ – фазовий оператор; k_1, k_2, k_0 – ступені компенсації, відповідно, реактивної потужності, струму зворотної та нульової послідовностей.

Визначення струмів компенсатора за формулою (1) відноситься до методу прямого керування струмом СТАТКОМ. Визначення струмів компенсатора за формулою (2) відноситься до опосередковано визначення струмів СТАТКОМ, що реалізовано, наприклад, в методі синхронного детектування.

Для отримання миттєвих струмів прямої та зворотної послідовностей можуть бути використані лінійні перетворення миттєвих синусоїдних струмів [8]:

$$i_1(t) = \frac{1}{\sqrt{6}}(i_\alpha(t) - i'_\beta(t)); i_2(t) = \frac{1}{\sqrt{6}}(i_\alpha(t) + i'_\beta(t)), \quad (3)$$

де $i_\alpha(t) = \frac{1}{\sqrt{6}}(2i_A(t) - i_B(t) - i_C(t))$, $i'_\beta(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}(i'_B(t) - i'_C(t))$ – миттєві струми в системі $\alpha\beta$ -координат; штрихом позначено фазовий зсув миттєвих величин на -90 ел. градусів.

Оскільки перетворення (3) є достатньо складними в реалізації, то їх можна замінити наближеними виразами:

$$i_1(t) \approx \frac{1}{\sqrt{6}} i(t - T/4); i_2(t) \approx \frac{1}{\sqrt{6}} i(t + T/4), \quad (4)$$

$$\text{де } i(t - T/4) \approx \frac{1}{\sqrt{2}} i_B(t - T/4) - i_C(t - T/4).$$

Від струмів прямої та зворотної послідовностей можна перейти до системи dq -координат:

$$i_{d1}(t) = i_1(t) \cdot \sin \omega t; i_{q1}(t) = i_1(t) \cdot \cos \omega t; \quad (5)$$

$$i_{d2}(t) = i_2(t) \cdot \sin \omega t; \quad i_{q2}(t) = i_2(t) \cdot \cos \omega t. \quad (6)$$

Для компенсації вищих гармонік пропонується метод прямого формування струмів фаз СТАТКОМ, згідно з яким за фазними несинусоїдними струмами навантаження визнаються їх діючі значення і формуються синусоїдні одиничні сигнали з початковими фазами, які дорівнюють початковим фазам несинусоїдних струмів. Добуток цих величин забезпечує формування синусоїдних струмів, що дорівнюють основній гармоніці несинусоїдних струмів фаз навантаження. Різниця струмів навантаження і сформованих синусоїдних струмів компенсується СТАТКОМ.

Реалізація методу прямого керування струмом СТАТКОМ зображена на рис. 1. На схемі позначено: PLL1 – блок трьох однофазних фазочастотних автоналагоджувачів частоти; RMS1 – блок трьох однофазних перетворювачів ефективних значень; перетворювачі координат « $a, b, c/1, 2, 0$ », « $1, 2/d, q$ », « $d, q/\alpha\beta$ », « $\alpha\beta/a, b, c$ »; БІ – блок інтегрування; PLL2 – блок трифазного фазочастотного автоналагоджувача частоти; ШІМ-контролер.

В блоці PLL1 за фазними несинусоїдними струмами навантаження формуються синусоїдні одиничні сигнали з початковими фазами, які дорівнюють початковим фазам несинусоїдних струмів. В блоці RMS1 визнаються діючі значення несинусоїдних струмів навантаження. За допомогою перемноження цих величин забезпечується формування синусоїдних сигналів, що дорівнюють основній гармоніці несинусоїдних струмів фаз навантаження. На виході формується різниця струмів навантаження і сформованих синусоїдних струмів. Цей сигнал використовується для компенсації вищих гармонік.

Проміжний сигнал з виходу помножувача пропорційний основній гармоніці фазних струмів навантаження. Останній пропонується використати для симетрування навантажень за зворотною та нульовою послідовностями.

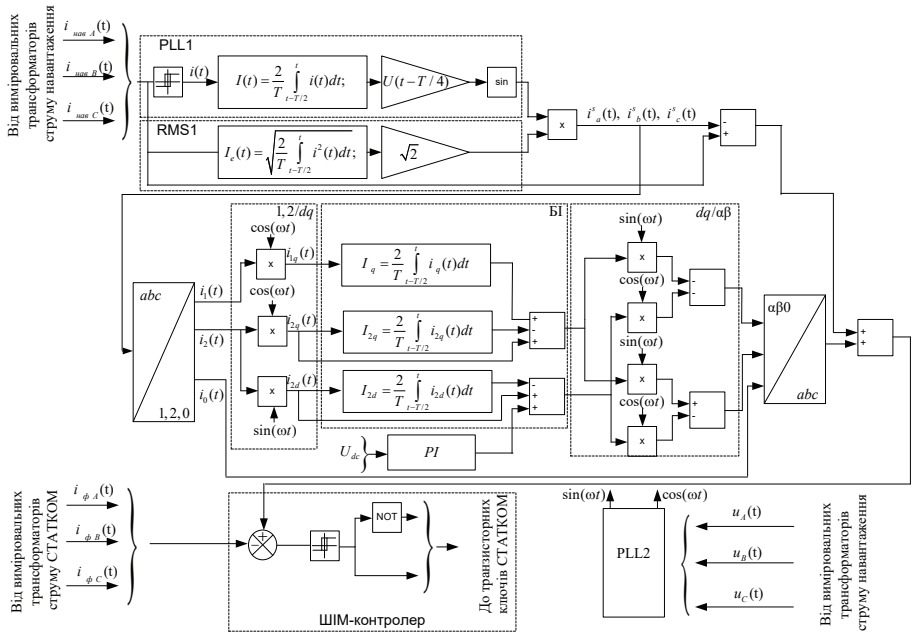


Рис. 1. Блок керування на основі прямого формування струмів СТАТКОМ

В подальшому виконуються такі дії:

1. Перетворення синусоїдних струмів в систему d,q -координат;
2. Інтегрування струмів прямої та зворотної послідовностей, представлених в системі d,q -координат;
3. Підтримання на заданому рівні напруги в колі постійного струму в статичних і динамічних режимах шляхом визначення активної потужності, яку повинен генерувати або споживати СТАТКОМ.
4. Знаходження бажаної залежності компенсаційного струму СТАТКОМ в системі $\alpha\beta$ -координат та в системі фазних a,b,c -координат.
5. Формування імпульсів керування транзисторами інвертора напруги.

Моделювання СТАТКОМ з системою прямого керування струмом виконано в Matlab Simulink. На рис. 2 представлені часові залежності струмів навантаження. В інтервалі часу 0,1-0,18 с відбувається накид однофазного лінійного навантаження на фазу А.

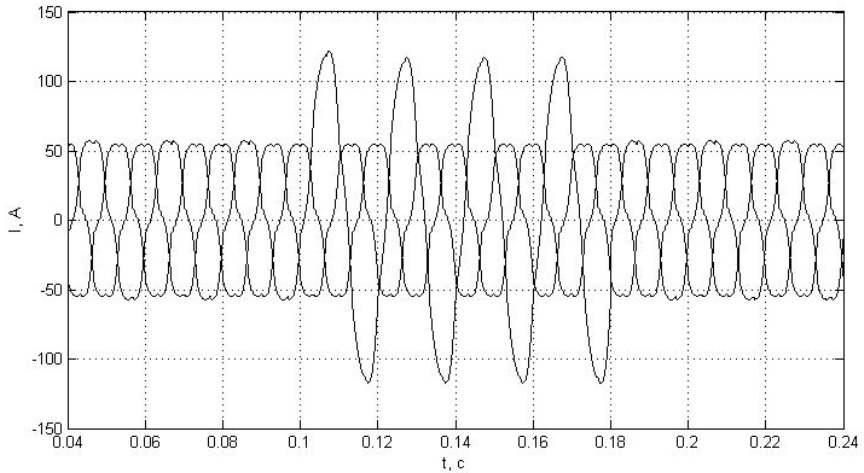


Рис. 2. Струми несиметричного несинусоїдного навантаження

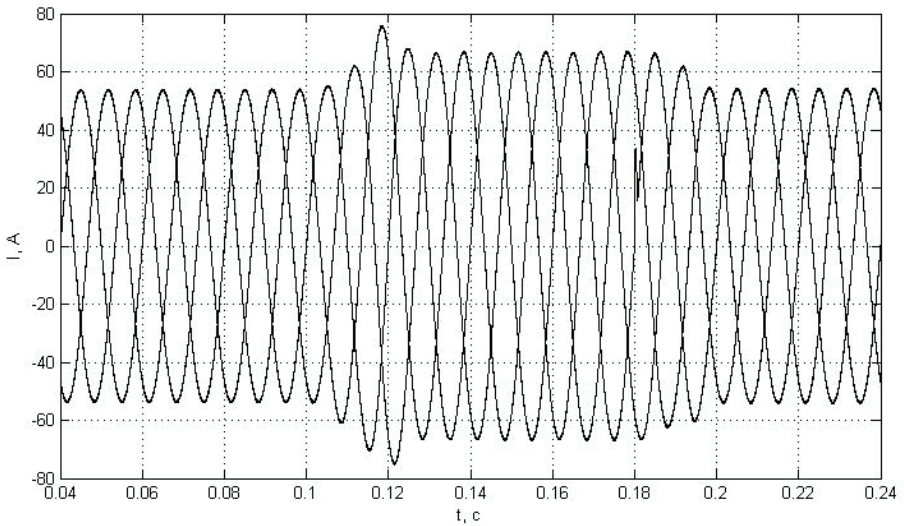


Рис. 3. Струми мережі у разі компенсації реактивної потужності

Критеріями ефективності системи керування прийнято: сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень струмів фаз мережі, несиметричність струмів фаз мережі. Якість перехідного режиму при зміні навантаження можна характеризувати коефіцієнтом перерегулювання та тривалістю перехідного процесу. Ще одним критерієм якості перехідного режиму є

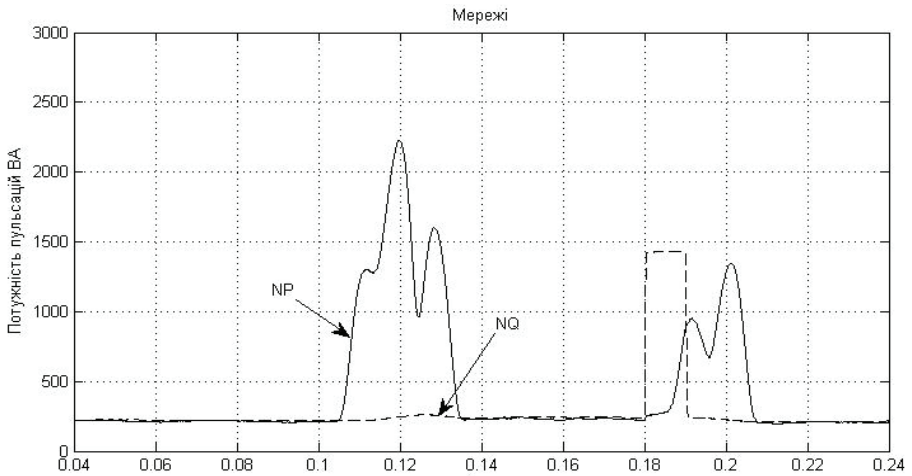


Рис. 4. Пульсуючі потужності мережі у разі компенсації реактивної потужності

значення пульсуючих активної та реактивної потужностей, які інтегрально характеризують несиметрію та гармонічні спотворення струмів і напруг.

На рис. 3 зображено залежності струмів мережі за наявності СТАТКОМ.

Значення фізичних величин за несиметричного несинусоїдного навантаження

Значення фізичних величин для несиметричного режиму	Фаза А	Фаза В	Фаза С
Діючі значення струмів навантаження (I_l, A)	$83,64 e^{j34,7}$	$41,16 e^{j216,7}$	$41,16 e^{j97,7}$
Коефіцієнт нелінійного спотворення струмів навантаження ($THD_p, \%$)	5,78	12,8	11,75
Діючі значення струмів мережі (I_s, A)	$47,08 e^0$	$47,08 e^{j240}$	$47,13 e^{j120}$
Коефіцієнт нелінійного спотворення струмів мережі ($THD_p, \%$)	0,34	0,44	0,34

Як випливає з таблиці, точність симетрування навантажень та якість компенсації вищих гармонік СТАТКОМ з прямим керуванням струмом достатньо високі.

На рис. 4 зображено залежності пульсуючих активної та реактивної потужностей мережі за наявності СТАТКОМ.

Висновки

Розроблено метод прямого керування струмом з використанням струмів зворотної послідовності в dq -координатах, що дозволяє більш ефективно керувати СТАТКОМ за рахунок розділення контуру визначення гармонічних спотворень та струмів симетрування. За рахунок цього підходу за необхідності можливе обмеження як компенсації реактивної потужності, так і симетрування навантаження.

Література

- [1] В. И. Кочкин О. П. Нечаев, «Применение статических компенсаторов реактивной мощности в электрических сетях энергосистем и предприятий» М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 248 с. 2002.
- [2] А. В. Николаев, «Разработка принципов управления статическим компенсатором (СТАТКОМ) и исследование его работы на подстанциях переменного и постоянного тока,» Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность 05.14.02. Санкт-Петербург. 2005.
- [3] М. В. Пешков, «Разработка и исследование системы управления статическим компенсатором реактивной мощности типа СТАТКОМ для электроэнергетических систем» Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальности: 05.14.02, 05.09.12. М.: ОАО «НТЦ электроэнергетики». 2009.
- [4] А. Б. Лоскутов, Б. Ю. Алтунин, И. А. Карнавский, «Модель многоуровневого каскадного инвертора для компенсации реактивной мощности и мощности искажений в сетях с выпрямительной нагрузкой,» PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE. № 2(16), с. 32–38. 2011.
- [5] Б. Ю. Алтунин, И. А. Карнавский, А. А. Кралин, «Имитационная модель системы управления СТАТКОМ для симметрирования сетевых токов,» Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. № 4(97), с. 232–236. 2012.
- [6] С. В. Кузьмин, «Принцип построения и математическое моделирование статического компенсатора реактивной мощности в тяговой сети переменного тока,» Известия ПГУПС. № 3. С. 70–77. 2011.
- [7] Bhim Singh, Sabha Raj Arya, «Design and control of a DSTATCOM for power quality improvement using cross correlation function approach,» International Journal of Engineering, Science and Technology. Vol. 4, No. 1. P. 74–86. 2012.
- [8] М. Й. Бурбело, та О. В. Степура, „Застосування узагальнених симетричних складових для виявлення споживачів, які спотворюють якість електроенергії,» Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Енергетика: надійність та енергоефективність, № 14 (1339), с. 78–82, 2019.

ОСОБЛИВОСТІ ОЧИЩЕННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА ГОЛОЗЕРНОГО ВІВСА

Кустов І.О.

к.т.н., старший викладач,
Одеська національна академія харчових технологій

Кузьменко Ю.Я.

к.т.н., старший викладач,
Одеська національна академія харчових технологій

Чернишова О.О.

старший викладач,
Одеська національна академія харчових технологій

Підвищення рівня продовольчого використання зерна вівса та збільшення виходу та якості круп та пластівців можливе при використанні у технологічному процесі сортів вівса з покращеними технологічними властивостями та хімічним складом. Використання сучасних селекційних голозерних сортів вівса для виробництва харчових продуктів за рахунок відсутності на поверхні зерна квіткових плівок забезпечує зменшення кількості технологічних операцій та протяжність технологічного процесу та дозволяє отримувати збільшений вихід та круп'яні продукти високої якості.

Для переробки голозерного вівса в круп'яні продукти у технологічно-

му процесі передбачено очищення зерна від домішок, шліфування, сортування продуктів шліфування, зволоження (при виробництві плющених продуктів), пропарювання, сушіння (при виробництві борошна), плющення (для отримання плющених продуктів), здрібнювання ядра в борошно, сортування, контроль готової продукції.

Зерно голозерного вівса із бункерів для неочищеного зерна надходить на попереднє очищення у скальператор. Дана технологічна операція забезпечує виділення із зерна найбільших за розмірами грубих домішок, які значно більші розмірів зерна основної культури, тому їх вилучення проводять на ситах з крупними отворами

20×20 мм та 10×10 мм. Після цього зерно перед етапом основного очищення зважують на автоматичних вагах.

На наступному етапі воно надходить в ситоповітряний сепаратор, де сходом верхнього сита вилучають відходи I...II категорії, проходом нижнього сита відбирають дрібне і щупле зерно разом із дрібними домішками. Основне зерно надходить у пневматичний канал сепаратора для вилучення аеродинамічно легких і пиловидних домішок. Після цього у магнітному сепараторі У1-БМЗ проводять видалення металоманітних домішок та у каменевідбірній машині РЗ-БКТ – мінеральних домішок. Очищене таким чином зерно голозерного вівса для фракціонування надходить у круп'яний розсійник, де отримують крупну та дрібну фракцію зерна. Дрібна фракція зерна надходить на очищення у трієр-куколевідбірник після чого її спрямовують на переробку. Крупна фракція, що характеризується вмістом переважно крупних домішок, разом із необрушеним і плівчастим зерном надходить спочатку

на сепарування у трієр-вівсюговідбірник та у накопичувальний бункер. Із бункера зерно крупної фракції спрямовується на контроль на одну систему падді-машин, яка забезпечує остаточне видалення із зерна необрушеного та плівчастого зерна. Після чого крупну фракцію також спрямовують на переробку.

Проведення очищення зерна голозерного вівса за такою структурою дозволить проводити найбільш повне вилучення домішок із зерна, що дозволить підвищити ефективність наступних етапів переробки та за забезпечить стабільну якість готової продукції.

Очищене від домішок одним потоком або розділене на крупну і дрібну фракції зерно голозерного вівса надходить на шліфування. Даний етап проводять у шліфувальних машинах, які працюють за принципом інтенсивного стирання оболонки типу А1-ЗШН. Суміш продуктів шліфування направляють на сортування яке здійснюють у круп'яних розсійниках на відповідних ситах отримуючи при цьому крупну і дрібну фракції шліфованого ядра. Кожну фракцію окре-

мо контролюють шляхом послідовного пропуску крізь системи повітряних сепараторів та на вміст металомангнітних домішок у магнітних сепараторах.

Отримане таким чином шліфоване ядро голозерного вівса являє собою напівфабрикат який можливо направляти на фасування та використовувати в якості готового продукту.

При подальшій переробці ядро обох фракцій об'єднують спрямовують на етап воднотеплової обробки який в залежності від подальшого його використання проводять або за методом гарячого кондиціювання (пропарювання), або включає комбінований метод холодного і гарячого кондиціювання (зволоження та відволоження ядра перед пропарюванням).

При виробництві із ядра плющених продуктів його на першому етапі зволожують на 3-5 % після чого відволожують і направляють на пропарювання, при виробництві крупи і борошна ядро відразу надходить на пропарювання.

Пропарювання здійснюють при надлишковому тиску пари у про-

парювачі періодичної дії типу ПЗ-1 та в залежності від продукту спрямовують або на сушіння, або у бункери для темперування. Підсушування ядра проводять на вертикальних парових сушарках типу ВС. При виробництві крупи ядро після пропарювання сушать до вологості 12-13 % та після контролю спрямовують на контроль фасування готової продукції. При виробництві плющених продуктів ядро після пропарювання темперують протягом 10-15 хв і направляють на плющення. В залежності від асортименту продуктів що виробляється плющення проводять на вальцових або плющильних верстатах на гладких або рифлених вальцях. Міжвалковий зазор регулюють таким чином щоб отримати пластівці із товщиною характерною для даного виду плющених продуктів. Продукти плющення просіюють на ситоповітряних сепараторах на відповідних ситах виділяють частинки подрібненого ядра та борошенце. Після цього проводять контроль на двох системах аспіраційних колонок та у магнітних сепараторах. Отримані

пластівці направляють у бункери для готової продукції.

Список літератури

1. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. – К., 1998. – 164 с.
2. Sykut-Domańska, E. Chemical composition variability of naked and husked oat grain (*Avena sativa* L.) / E. Sykut-Domańska, Z. Rzedzicki, Z. Nita // *Cereal Research Communications*. – 2013. – vol. 41, № 2. – P. 327 – 337.
3. Li, Q. Changes in nutritive value and in vitro digestibility of proteins from naked oats during germination / Q. Li, J.G. Xu // *European Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – vol. 3, № 2. – P. 49 – 57.
4. Kulp, K. *Handbook of Cereal Science and Technology* / K. Kulp. – CRC Press, 2000. – 808 p.
5. Webster, F.H. *Oats chemistry and technology* / F.H. Webster, P.J. Wood. – St. Paul, MN, USA: American Association of Cereal Chemists. – 1986. – 433 p.

QUANTIZATION OF ENERGY IN NANOSTRUCTURES

Akhmedov B.B.

Post-doctoral student
Fergana state university

Rozikov J.Y.

Teacher of the department of physics
Fergana state university

Akhmedova Sh.Y.

Teacher of the physics
School №1, Fergana city

Ruziboev V.U.

Teacher of the department of physics
Fergana state university

Abstract: *The article is devoted to semiconductors with low-dimensional systems, which are actively developing and are a relatively new direction. The concept of quantum wells, quantum threads, and quantum dots is revealed in the paper.*

Key words: quantization, quantum wells, quantum wires, quantum dots.

An important component of modern semiconductor physics is a relatively new, actively developing area – the physics of low-dimensional systems. Semiconductor low-dimensional systems include, first of all, various nanostructures – superlattices, structures with quantum wells, systems of quantum wires and dots, the practical development of which is supported by the ever-increasing capabilities of new technologies. Along with the fact that such structures already serve as the elemental basis of modern micro and nanoelectronics, they are objects of

promising research on the creation of fundamentally new quantum devices (spintronics devices, quantum computers).

The physical properties of a solid are determined by the pattern of interaction of its constituent particles – electrons and atomic nuclei. Particle motion is always subject to the laws of quantum mechanics [1]. One of the most important manifestations of quantum laws is that the energy spectrum of a particle moving in a limited volume consists of discrete levels. This fact is easy to explain on the basis

of the concept of the wave function of a particle with momentum p characterized by a de Broglie wavelength of $\lambda = 2\pi\hbar / p$. Indeed, if the electron motion is limited by a region of space with a linear size L , then outside this region the wave function vanishes, and inside it necessarily has an integer number of nodes. In other words, an integer number of halves of the wavelength fits into the length L , so that the pulse can take only discrete values: $p = \pi\hbar n / L$ where $n = 1, 2, \dots$. Substituting these values of p in the formula for the energy $E = p^2 / 2m$ of an electron with effective mass m , we find that the energy spectrum is discrete, and the gap between the lower energy levels is.

$$\Delta E = \frac{3\pi^2}{2} \frac{\hbar^2}{mL^2} \quad (1.1)$$

The linear dimensions L of macroscopic bodies far exceed the atomic unit of length – the Bohr radius $a_b \sim 10^{-1} nm$. If the dimensions of the body significantly exceed the nanometer scale, then in most problems the discreteness of energy can be neglected. For example, let it be the electron energy in the conduction band of a semiconductor with an ef-

fective mass m of the order of the electron mass m_0 in vacuum, and the sample size in all directions has a micron scale ($L \sim 10^3 nm \sim 10^4 a_b$) [2].

Then the scale of energy discreteness (1.1) will be only $\Delta E \sim 10^{-6} eV$, which is much less than the energy of thermal fluctuations $k_B T$ at any temperature of the sample under ordinary conditions; here k_B is the Boltzmann constant, T is the absolute temperature. At $\Delta E \ll k_B T$, the interaction with thermal vibrations of the crystal lattice scatters electrons over an extremely large number of discrete energy levels, and in this case it can be assumed with reasonable accuracy that the electron energy spectrum is described by the $E = p^2 / 2m$ formula with continuous momentum values p . The larger the sample, the better the idea of a continuous energy spectrum is justified.

Now we reduce the thickness of the sample in one of the directions, for example, along the z axis, to the values $L_z \sim 10 nm$ [2]. This will lead to a sharp increase (by a factor of 10 – according to the law of $1/L_z^2$) of the interval ΔE between the energy levels corresponding to the motion of the

electron along the z axis. If, in addition, we take a semiconductor material with a small effective electron mass, $m \ll m_0$, then in a wide temperature range we can achieve the inequality

$$\Delta E \ll k_B T \quad (1.2)$$

Under such conditions, the thermal vibrations of the lattice, like any external perturbations with an energy low compared to, do not lead to electron transitions between levels corresponding to different states of motion along the z axis. In other words, an electron in a sufficiently thin film “loses” the degree of freedom associated with movement across this film. At the same time, the motion in the two remaining dimensions (in the x, y plane) at large sizes L_x and L_y retains its continuous character. Therefore, we can say that in this example we are dealing with a two-dimensional system of electrons enclosed in a quantum well. Similarly, in the quantum wire – an elongated conductor with a sufficiently small transverse dimensions – the quantization of energy

becomes important to have two degrees of freedom of an electron, and the motion of the continuous energy spectrum is one-dimensional. Finally, at the so-called quantum dot, the condition of substantial discreteness of the energy spectrum (1.1) is satisfied for all three orbital degrees of freedom of the electron; in this sense, a quantum dot can be called a zero-dimensional system. Quantum wells, wires and dots make an elemental basis to build more complex structures of semiconductor nanoelectronics. Such objects are usually called quantum-dimensional structures or low-dimensionally structures.

References

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Москва: Физматлит, 2004. – 800 с
2. Peter Y.Yu., Manuel Cardona. Fundamentals of semiconductors. Springer, 1995. – 317 pp.
3. Akhmedov B.B. Material's electronic structure / B.B. Akhmedov, J.Y. Rozikov, I.A. Muminov // science, research, development/ technics and technology. (29.04.2019 – 30.04.2019) – Barcelona: – 2019. – #16. – pp. 78 -80.

ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗАСВОЄННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ РОСЛИНАМИ ВЕРБИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НА НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ

В. І. Лопушняк*, Г. М. Грицуляк**

*Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» м. Харків, 61024

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 76019

Ключові слова: важкі метали, осад стічних вод, верба енергетична, нафтозабруднена територія.

Keywords: heavy metals, sewage sludge, willow energy, oil-contaminated territory.

Ґрунт – специфічний компонент біосфери, оскільки він не лише геохімічно акумулює складники забруднень, але є природним буфером, який контролює перенесення хімічних елементів і сполук в атмосферу, гідросферу і живу речовину [1, 2].

Важливою властивістю ґрунтів є їхня родючість. Тому охорона ґрунтів, раціональне їх використання, збереження та підвищення їхньої родючості – неодмінна умова подальшого сталого економічного розвитку суспільства. Нафта і нафтопродукти є одними з найпоширеніших та небезпечних техногенних забруднювачів. Це зумовлено здатністю вуглеводнів утворювати

токсичні сполуки в ґрунтах, поверхневих та підземних водах. Забруднені нафтопродуктами ґрунти втрачають здатність вбирати і затримувати вологу. Нафтопродукти мають властивість розчинятися у воді та спроможність всмоктуватися в пористі матеріали (ґрунт). У забруднених нафтопродуктами ґрунтах пригнічується мікробіологічна діяльність, що негативно впливає на екологічний стан самого ґрунту та на виконання ним екологічних функцій [2, 3, 9].

На території Передкарпаття однією з таких екологічно забруднених територій вважають Битківський нафтогазовий промисел, розташований адміністративно в

межах селища Битків та села Пасічна Надвірнянського району Івано-Франківської області. Цей район привертає значну увагу через те, що має найдовшу історію видобувної діяльності, початок якої сягає кінця XIX століття [2, 4, 5].

Відновлення екологічних та продукційних функцій деградованих ґрунтів є однією з найневідкладніших проблем сучасності, тому стоїть нагальна потреба у розробленні технологій рекультивациі та ревіталізації техногенно забрудненого ґрунтового покриву.

Для вирощування на рекультивованих територіях часто використовують рослини з невисокою вибагливістю до ґрунтових умов (невибагливість до вмісту поживних речовин та можливість росту на бідному ґрунтовому субстраті), швидким ростом на початковій стадії розвитку кореневої системи та наземної частини [8].

Саме такою невибагливою рослиною є верба енергетична. Для її вирощування підходять малородючі деградовані землі, зокрема землі які практично непридатні для вирощування більшості типо-

вих сільськогосподарських культур. Коренева система її може сягати глибини понад 5 – 8 м, через що корені пронизують не лише верхній шар ґрунту, але й проникають значно глибше в підґрунтові шари [4, 10]. Важливим чинником підвищення продуктивності агрофітоценозів верби енергетичної є застосування осаду стічних вод як добрива, що зумовлює не тільки зростання виходу біомаси з одиниці площі, а й покращання екологічного стану ґрунту та відновлення його властивостей [6, 7].

Метою наших досліджень є розроблення та вивчення ефективності технологій рекультивациі нафтозабруднених територій.

Дослідження проводили на ділянках у с. Битків Надвірнянського району Івано-Франківської області на 3-х рекультивованих ділянках видобутку нафти різного віку впродовж 2016 – 2019 років.

Схема досліду включала такі варіанти:

1. Варіант 1 – контроль, на території колекційно-дослідного поля Івано-Франківського коледжу ЛНАУ в с. Чукалівка Тисменицько-

Таблиця 1

Вміст важких металів в ґрунті на початку та на кінці періоду вегетації верби енергетичної, мг/кг ґрунту (середнє 2016 – 2019 рр.)

№ з/п	На початку періоду вегетації						На кінці періоду вегетації					
	Pb*	Pb**	Cd*	Cd**	Co*	Co**	Pb*	Pb**	Cd*	Cd**	Co*	Co**
1	13,68	3,76	0,59	0,19	21,73	2,08	13,67	3,75	0,59	0,19	21,72	2,06
2.	31,99	8,99	3,84	1,22	51,98	6,27	30,94	8,95	3,82	1,20	50,96	6,20
3.	31,73	6,44	3,10	0,88	50,82	5,31	30,70	6,39	2,99	0,85	49,80	5,29
4.	29,95	5,58	2,83	0,69	49,63	4,60	29,91	5,55	2,80	0,67	48,60	3,57
ГДК	30,0	6,0	3,0	0,7	50,0	5,0	30,0	6,0	3,0	0,7	50,0	5,0

* міцнов'язана форма

**рухома форма

го району для порівняння та визначення достовірності результатів аналізу;

2. Варіант 2 – ділянка видобутку нафти, на якій виробнича діяльність припинена 10 років тому;

3. Варіант 3 – ділянка видобутку нафти, на якій виробнича діяльність припинена 25 років тому;

4. Варіант 4 – ділянка видобутку нафти, на якій виробнича діяльність припинена 45 років тому.

Насамперед провели рихлення ґрунтового покриву дослідних ділянок, згодом внесли осад стічних вод з Івано-Франківської станції аерації у нормі 60 т/га, який заорювали на глибину 0,20 – 0,25 м. Норма внесення рекомендована нашими попередніми дослідженнями [4, 7]. Рано навесні проводили висадження верби енергетичної. Площа

облікової ділянки – 25 м². Схема садіння 30 x 70 см. Пагони завдовжки 20 – 25 см замочували на 24 год. у воді, для кращого приживлювання.

Органічна речовина та поживні речовини, які містяться в осаді стічних вод, сприяють активізації мікробіологічних процесів. Це, в свою чергу, сприяє приживлюваності рослин на забрудненій нафтопродуктами території. З іншого боку, вміст важких металів в осаді стічних вод може здійснювати негативний вплив на екологічний стан ґрунту [4, 7].

Відомо, що важкі метали в ґрунті можуть перебувати в різноманітних формах за рівнем розчинності та рухомості, а саме: нерозчинні, які входять до складу ґрунтових мінералів; обмінні, які перебува-

Таблиця 2.

Вміст важких металів в зеленій масі та корневих системах верби енергетичної, мг/кг ґрунту (середнє 2016 – 2019 рр.)

№ з/п	в зеленій масі			в коренях рослин		
	Cd	Pb	Co	Cd	Pb	Co
1.	0,53	0,21	0,24	0,67	0,38	0,30
2.	0,56	0,25	0,29	0,71	0,41	0,35
3.	0,63	0,30	0,35	0,78	0,49	0,41
4.	0,67	0,35	0,41	0,83	0,52	0,44

ють у динамічній рівновазі з іонами визначеного металу в ґрунтового розчині; рухомі та розчинні форми. Між ними існує не тільки тісний взаємозв'язок, а й можливе динамічне перетворення одних форм в інші. Рухомі форми металів можуть нагромаджуватися в ґрунті до великих концентрацій, які зумовлюють їх токсичність як для ґрунту, так і для рослини. Так, встановлено, що свинець порівняно з іншими важкими металами, менш рухомий та, в основному, накопичується в верхньому горизонті ґрунтового покриву [10].

Вміст важких металів у ґрунті визначали на початку та вкінці вегетації рослини.

Рухомість кадмію в ґрунті залежить від середовища і окислювально-відновного потенціалу. Забруднення ґрунтового покриву кадмієм вважається одним з найбільш не-

безпечних екологічних явищ, так як він накопичується в рослинах вище норми, навіть при слабкому забрудненні ґрунту. Також необхідно враховувати, що рослини по різному засвоюють деякі метали, наприклад, свинець, навіть за високої концентрації в ґрунті, перебуває в слабозрочинних сполуках і тому рівень його в рослинах буде меншим [10]. Отже, свинець – слабо накопичується і слабо утримується в рослинах.

Згідно отриманих нами результатів досліджень, вміст важких металів в ґрунті на кінець періоду вегетації верби енергетичної знизився порівняно з періодом початку вегетації рослини на 0,1 – 3,2% міцнозв'язана форма та 0,3 – 0,7% рухома форма металів.

Для моніторингу важких металів в системі ґрунт – рослина, зрізали по кілька пагонів верби енер-

гетичної з кожного варіанту досліджень та визначали вміст елементів в зеленій масі та в кореневих системах рослин (табл. 2).

Згідно результатів наших досліджень вміст важких металів в коренях та зеленій масі рослин верби енергетичної засвоюється у співвідношенні 1,5: 1. Отже, більша частка вмісту важких металів зосереджена в кореневих системах верби енергетичної. Результати досліджень свідчать про високий рівень акумуляції іонів важких металів у коренях рослин.

На основі проведених польових і лабораторних дослідів можна зробити висновки, що найбільш небезпечні хімічні елементи (кадмій, свинець та кобальт), які містяться в забрудненому нафтопродуктами ґрунті, частково засвоюються рослинами верби енергетичної. А переважна частина зосереджується в кореневій системі. Властивість верби енергетичної накопичувати важкі метали може бути використана як один із методів ремедіації та рекультивації забруднених ґрунтів.

Вирощування верби енергетичної з внесенням осаду стічних вод у

нормі 60 т/га на нафтозабруднених територіях сприяє транслокації важких металів в кореневих системах рослин, що зумовлює зниження рівня забруднення ґрунтового покриву та підвищення його здатності до самовідновлення.

Література:

1. Агроэкологическое обоснование ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых длительно используемых, нарушенных и загрязнённых землях / Ю. А. Мажайский, Т. Ф. Персикова и др.: монография. Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2015. 508 с.
2. Гідротехнічні меліорації лісових земель / за ред. В. Ю. Юхновського. К.: Кондор, 2014. 374 с.
3. Гринчишин Н. М. Реабілітація ґрунтів, забруднених аварійними виливами нафтопродуктів / Науковий вісник НЛТУ, 2012. Вип. 22.7. С. 43-49.
4. Грицуляк Г. М., Лопушняк В. І. Осад стічних вод у системі удобрення верби енергетичної: монографія. Львів: Простір-М, 2017. 180 с.
5. Качала Т. Б. Дослідження забруднених нафтопродуктами земельних ділянок Івано-Франківської області // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал. Спецвипуск. 2014. С. 5-9.
6. Лопушняк В. І. Екологічний стан темно-сірого опідзоленого ґрунту за різних систем удобрення. Агроекологічний журнал, 2013. № 3. С. 47-52.

7. Лопушняк В., Грицуляк Г. Біотоксичний стан дерново-підзолистого ґрунту під впливом унесення добрив на основі осаду стічних вод. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. Львів, 2017. № 21. С. 189–193.
8. Морозов В. В. Ландшафтні меліорації: навч. посіб. Херсон: Видавництво ХДУ, 2007. 224 с.
9. Панас Р. М. Рекультивація земель: навч. посібник. Львів: Новий світ, 2000. 224 с.
10. Перепелиця О. П. Екохімія та ендоекологія елементів: довідник з екологічного захисту. К.: Екохім, 2004. 735 с.
11. Сучасний стан, основні проблеми водних меліорацій та шляхи їх вирішення / за ред. П. І. Коваленка. К.: Аграрна наука, 2001. 214 с.

