



MCIT
Modeling, control &
information technologies

2021

V International Scientific-
Practical Conference
November 4-6, Rivne, Ukraine

**Modeling, control
and information
technologies**

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Національний університет «Острозька академія»
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Національний університет «Львівська політехніка»
Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАН України
Ліверпульський університет Джона Мура (Велика Британія)
Університет технологій і наук у Бидгощі (Польща)
Люблінська політехніка (Польща)
Вроцлавська політехніка (Польща)



***«Моделювання, керування та інформаційні
технології»***

V МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

4–6 листопада 2021
Рівне, Україна

Матеріали конференції

Рівне
2021

**Ministry of Education and Science of Ukraine
National University of Water and Environmental Engineering
Taras Shevchenko National University of Kyiv
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
National University of Ostroh Academy
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
Lviv Polytechnic National University
Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and
Mathematics of NAS of Ukraine
Liverpool John Moores University (Great Britain)
University of Technology and Sciences in Bydgoszcz (UTP), Poland
Lublin University of Technology
Wroclaw University of Science and Technology**



«Modeling, control and information technologies»

V INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

4-6 November 2021
Rivne, Ukraine

Conference materials

Rivne
2021

ISBN 978-966-327-514-7
ISSN 2707-1049 (Online)
ISSN 2707-1030 (Print)
DOI 10.31713/MCIT.2021.00

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Мошинський Віктор (Україна)	Пергач Ян (Словаччина)
Агратіні Октавіан (Румунія)	Річ Лі (Тайвань)
Бомба Андрій (Україна)	Роєк Ізабела (Польща)
Бурдук Анна (Польща)	Сабзієв Ельхан (Азербайджан)
Вуйцік Вальдемар (Польща)	Савіна Наталія (Україна)
Гамзе Гюрзой (США)	Сальвадор Цезар (Перу)
Дідманідзе Ібраїм (Грузія)	Сафоник Андрій (Україна)
Крстіч Драгана (Сербія)	Турбал Юрій (Україна)
Литвиненко Володимир (Україна)	Чачанідзе Гурам (Грузія)
Мартинюк Петро (Україна)	Чертов Олег (Україна)
Мазурек Павел (Польща)	Чикрій Аркадій (Україна)
Новицька Валерія (Словаччина)	Шаховська Наталія (Україна)
Пасічник Володимир (Україна)	Штайнгартнер Вільям (Словаччина)
Паталяс-Малішевська Юстина (Польща)	Качмарек Маріуш (Польща)

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Сафоник Андрій, Бурдук Анна, Присяжнюк Олена, Жуковський Віктор, Жуковська Наталія, Христюк Андрій, Грицюк Іванна

Відповідальний за випуск: **Сафоник Андрій**
Підготовлено до друку: **Присяжнюк Олена**

*Матеріали конференції розглянуті і рекомендовані до видання на Вченій раді
Національного університету водного господарства та природокористування.
Протокол № 11, від 22 жовтня 2021 р.*

Моделювання, керування та інформаційні технології : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції. [Електронне видання]. – Рівне : Національний університет водного господарства та природокористування, 2021. – 148 с.

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2021

ISBN 978-966-327-514-7
ISSN 2707-1049 (Online)
ISSN 2707-1030 (Print)
DOI 10.31713/MCIT.2021.00

INTERNATIONAL PROGRAM COMMITTEE

Moshynskiy Viktor (Ukraine)	Perháč Ján (Slovak Republic)
Agratini Octavian (Romania)	Rich C. Lee (Taiwan)
Bomba Andrii (Ukraine)	Rojek Izabela (Poland)
Burduk Anna (Poland)	Sabziev Elkhan (Azerbaijan)
Wójcik Waldemar (Poland)	Savina Natalia (Ukraine)
Gamze Gürsoy (USA)	Salvador César D. (Peru)
Didmanidze Ibrahim (Georgia)	Safonyk Andrii (Ukraine)
Krstić Dragana (Serbia)	Turbal Yurii (Ukraine)
Lytvynenko Volodymyr (Ukraine)	Chachanidze Guram (Georgia)
Martyniuk Petro (Ukraine)	Chertov Oleg (Ukraine)
Mazurek Paweł (Poland)	Chikrii Arkadii (Ukraine)
Novitzka Valerie (Slovak Republic)	Shakhovska Natalia (Ukraine)
Pasichnyk Volodymyr (Ukraine)	Steingartner William (Slovak Republic)
Patalas-Maliszewska Justyna (Poland)	Mariusz Kaczmarek (Poland)

ORGANIZING COMMITTEE OF CONFERENCE

Safonyk Andrii, Burduk Anna, Prysiazhniuk Olena, Zhukovskyy Viktor, Zhukovska Nataliia, Khrystyuk Andriy, Hrytciuk Ivanna

Responsible for release: **Andrii Safonyk**
Prepared for publication: **Olena Prysiazhniuk**

Conference materials have been reviewed and accepted for publication by the Academic Council of the National University of Water and Environmental Engineering on October 22, 2021, Academic Council Meeting Minutes #11.

Modeling, control and information technologies: Materials of V International scientific and practical conference. [Electronic edition]. – Rivne : National University of Water and Environmental Engineering, 2021. – 148 p.

© National University of Water and Environmental Engineering, 2021



Aniksuhyh A., Zhyvolovych O. Generalized solvability and optimal control for an integro-differential equation of a hyperbolic type	8
Babudzhan R., Isaienkov K., Krasii D., Melkonian R., Vodka O., Zadorozhniy I. Collection and processing of bearing vibration data for their technical condition classification by machine learning methods.....	10
Bardan A., Bihun Y. Computer modeling of differential games	16
Beridze Z., Shavadze Ju., Imnaishvili G., Geladze M. Concept and functions of building a private network (VPN)	19
Bomba A., Klymiuk Y. Computer prediction of technological modes of rapid cone-shaped adsorption filters with automated discharge of part of heat from separation surfaces in filtering model	21
Boyko N., Dypko O. Analysis of machine learning methods using spam filtering	25
Boyko N., Kulchytska O. Analysis of tumor classification algorithms for breast cancer prediction by machine learning methods	29
Denysov S., Semenov V., Vedel Ya. A novel adaptive method for operator inclusions	33
Didmanidze M., Chachanidze G., Didmanidze T. Modern trends in unemployment	36
Bagrationi I., Zaslavski V., Didmanidze I., Yamkova O. Ethics of information technology in the context of a global worldview	38
Didmanidze D., Zoidze K., Akhvlediani N., Tsitskishvili G., Samnidze N., Diasamidze M. Use of computer teaching systems in the learning process	42
Dobrydnyk Yu., Khrystyuk A. Analysis of the elevator as an object of automation	44
Gamzayev R., Shkoda B. Development and investigation of adaptive micro-service architecture for messaging software systems	46
Gayev Ye. Student' own discoveries in information theory curriculum	50
Didmanidze I., Geladze D., Motskobili Ia, Akhvlediani D., Koridze L. Follow digitally by using a blog	52
Kirpichnikov A., Khrystyuk A. Automatic apiary care system	54
Kunytyski S., Ivanchuk N. Mathematical modeling of water purification in a bioplato filter	56
Kyrylych V., Milchenko O. Optimal control of a hyperbolic system that describes Slutsky demand	58

Makaradze N., Nakashidze-Makharadze T., Zaslavski V., Gurgeniidze M., Samnidze N., Diasamidze M. Challenges of using computer-based educational technologies in higher education	60
Mamenko P., Zinchenko S., Nosov P., Kyrychenko K., Popovych I., Nahrybelnyi Ya., Kobets V. Research of divergence trajectory with a given risk of ships collisions	64
Mateichuk V., Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P., Nahrybelnyi Ya., Popovych I., Kobets V. Automatic vessel control in stormy conditions	68
Petrivskiy Ya., Petrivskiy V., Bychkov O., Pyzh O. Some features of creating a computer vision system	72
Poliakov V. Calculation of organic substrate decomposition in biofilm and bioreactor-filter taking into account its limitation and inhibition	75
Poliakov V. Mathematical modeling of suspension filtration on a rapid filter at an unregulated rate	78
Prokip V. On the semi-scalar equivalence of polynomial matrices	80
Pysarchuk O., Mironov Y. A proposal of algorithm for automated chromosomal abnormality detection	83
Rybak O., Tarasenko S. Sperner's Theorem	87
Sandrakov G., Hulianytskyi A., Semenov V. Modeling of filtration processes in periodic porous media	90
Stepanets O., Mariiash Yu. Optimal control of the blowing mode parameters during basic oxygen furnace steelmaking process	94
Stepanchenko O., Shostak L., Kozhushko O., Moshynskiy V., Martyniuk P. Modelling soil organic carbon turnover with assimilation of satellite soil moisture data	97
Vinnychenko D., Nazarova N., Vinnychenko I. The dependence of the deviation of the output stabilized current of the resonant power supply during frequency control in the systems of materials pulse processing	100
Voloshchuk V., Nekrashevych O., Gikalo P. Exergy analysis of a reversible chiller	105
Шарко О., Петрушенко Н., Мосін М., Шарко М., Василенко Н., Белоусов А. Інформаційно-керуючі системи та технології оцінки ступеня підготовленості підприємств до інноваційної діяльності за допомогою ланцюгів Маркова	107
Барановський С., Бомба А., Прищепя О. Модифікація моделі інфекційного захворювання для урахування дифузійних збурень в умовах логістичної динаміки	110
Бомба А., Бойчура М., Мічута О. Ідентифікація параметрів структури ґрунтових криволінійних масивів числовими методами квазіконформних відображень	112

Василець К. Метод оцінювання невизначеності вимірювання електроенергії вузлом комерційного обліку	114
Волощук В., Некрашевич О., Гікало П. Доцільність застосування критеріїв ексергетичного аналізу для оцінювання ефективності об'єктів теплоенергетики .	117
Гудь В. Математичне моделювання енергетичної ефективності постійних магнітів в циліндричних магнітних системах	120
Демидюк М. Параметрична оптимізація циклічних транспортних операцій маніпуляторів з активними і пасивними приводами	122
Клепач М., Клепач М. Вейвлет аналіз температурних трендів днища скловарної печі	125
Козирєв С. Керування високовольтним імпульсним розрядом в екзотермічному середовищі	127
Очко О., Аврука І. Безпечне збереження конфіденційної інформації на серверах	131
Реут Д., Древецький В., Матус С. Застосування комп'ютерного зору для автоматичного вимірювання швидкості рідин з тонкодисперсними домішками ..	133
Сафоник А., Грицюк І. Розроблення інформаційної системи для спектрофотометричного аналізу	135
Ткачук В. Квантовий генетичний алгоритм та його реалізація на квантовому компютері	137
Цветкова Т. Комп'ютерна візуалізація гідродинамічного поля в області з криволінійними межами	140
Шпортько О., Бомба А., Шпортько Л. Пристосування словникових методів компресії до прогресуючого ієрархічного стиснення зображень без втрат	142
Сафоник А., Таргоній І. Розробка системи керування напруженістю магнітного поля для процесу знезалізнення технологічних вод	146

Generalized solvability and optimal control for an integro-differential equation of a hyperbolic type

Andrii Anikshyn

Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.01>

Oleksandra Zhyvolovych
University of L'Aquila,
L'Aquila, Italy

Abstract — We consider an integro-differential operator with Volterra type integral term. We provide a priori inequalities in negative norms for certain spaces. Further, using obtained inequalities we prove well-posedness (existence and uniqueness of the (weak) generalized solution) of the corresponding boundary value problem as well as a theorem on optimal control existence

Keywords — Integro-differential equation; generalized solvability; optimal control; a priori inequalities; Volterra operator.

I. INTRODUCTION

The equations of hyperbolic type are one of the well-known and extensively studied PDEs. Mostly due to the significance of the wave equation. On the other hand, partial integro-differential equations (PIDE) could be more appropriate for simulating physical processes. For example, Volterra integro-differential equations describe various processes in materials with memory [1], [2], [3]. The latter include, for example, some polymers and concrete mixtures.

In this paper, we consider a partial integro-differential equation that generalizes the wave equation. Its right-hand side belongs to some negative space. This includes (among others) impulse, pointwise, and other actions on the system (see [4]).

Using the method of a priori inequalities in negative spaces [4], [5], [6] we show that there exists a unique weak solution of the equation and optimal control for the corresponding system.

Main notations and functional spaces

In the cylindrical domain $Q = \Omega \times (0, T)$, we consider a system described by the linear integro-differential equation

$$Lu = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + Au + Bu = F,$$

where $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ is a bounded connected domain of the space variables with regular boundary $\partial\Omega$. Here

$$Au = - \sum_{i,j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} \left(a_{ij}(x) \frac{\partial u}{\partial x_j} \right) + \sum_{i=1}^n a_i(x) \frac{\partial u}{\partial x_i} + a(x)u,$$

$$Bu = \int_0^t \sum_{i=1}^n K_i(t, \tau) u_{x_i x_i}(x, \tau) d\tau.$$

In the paper, we suppose that the kernels $K_i(t, \tau)$ are continuous in $[0, T]^2$ and have a continuous derivative with respect to τ . Furthermore, let a_{ij} , a_i , a be continuous functions in $\bar{\Omega}$, $a_{ij} = a_{ji}$ and there

exists positive number α such that

$$\sum_{i,j=1}^n a_{ij}(x) \lambda_i \lambda_j \geq \alpha \sum_{i=1}^n \lambda_i^2, \text{ for all } \lambda_i \in \mathbb{R} \text{ and } x \in \bar{\Omega}.$$

Function $u(t, x)$ satisfies the following boundary and initial conditions

$$u|_{t=0} = \frac{\partial u}{\partial t}|_{t=0} = 0, \quad u|_{\partial\Omega} = 0.$$

By L we denote the set of all functions $u \in C^\infty(\bar{\Omega})$ such that

$$u|_{t=0} = \frac{\partial u}{\partial t}|_{t=0} = \dots = 0,$$

and by L_T we denote the set of all functions $u \in C^\infty(\bar{\Omega})$ such that

$$u|_{t=T} = \frac{\partial u}{\partial t}|_{t=T} = \dots = 0.$$

By H_0^k , S_0^k , V_0^k , H_T^k , S_T^k , V_T^k we denote the completion of the sets L, L_T with respect to the norms

$$\|u\|_{H_0^k}^2 = \int_Q (u^{(k)})^2 + \sum_{i=1}^n (u_{x_i}^{(k-1)})^2 dQ,$$

$$\|u\|_{V_0^k}^2 = \|u\|_{H_0^k}^2 + \sum_{i=1}^n \int_\Omega (u_{x_i}^{(k-1)})^2|_{t=T} d\Omega,$$

$$\|u\|_{S_0^k}^2 = \|u\|_{V_0^k}^2 + \int_\Omega (u^{(k)})^2|_{t=T} d\Omega,$$

$$\|v\|_{H_T^k}^2 = \int_Q (v^{(k)})^2 + \sum_{i=1}^n (v_{x_i}^{(k-1)})^2 dQ,$$

$$\|v\|_{V_T^k}^2 = \|v\|_{H_T^k}^2 + \sum_{i=1}^n \int_\Omega (v_{x_i}^{(k-1)})^2|_{t=0} d\Omega,$$

$$\|v\|_{S_T^k}^2 = \|v\|_{V_T^k}^2 + \int_\Omega (v^{(k)})^2|_{t=0} d\Omega,$$

respectively. Here $u^{(k)}$ means a derivative of order k with respect to the variable t .

II. RELATED WORKS

There are a lot of papers that use the method of a priori inequalities in negative spaces for various BVP for PDE. See, for example, [7], [8], [9], [10] and the bibliography there. This approach is also appropriate for PIDE. For example, equations of parabolic type were considered in [11], a problem with a non-negative definite integral operator was considered in [12].

In the paper [13] authors consider the case of a purely differential equation ($Bu = 0$) and obtain a priori inequalities for operator L and some results on

weak solvability with any integer k . Further, in [14] the case of integro-differential equation is considered. In case $k = 1$ (in the triple S^0, V^1, H^1) results on weak solvability are obtained. Finally, in [15] authors consider triple S^1, V^0, H^2 (that corresponds to $k = 2$) and provide theorems of generalized solvability. The main goal of the presented paper is to provide a priori inequalities and weak solvability theorems in case $k = 3$, namely in the triple S^2, V^{-1}, H^3 .

III. PROPOSED TECHNIQUE

We claim that the following two estimations hold.

Lemma 1. There exists a positive number c such that the inequality

$$\|Lu\|_{(V_T^{-1})^*} \leq c \|u\|_{H_0^3}$$

holds for every function $u \in L_0$.

Using the latest lemma we extend operator L onto the entire space H_0^3 .

Lemma 2. There exists a positive number c such that the inequality

$$c^{-1} \|u\|_{S_0^2} \leq \|Lu\|_{(V_T^{-1})^*}$$

holds for every function $u \in H_0^3$.

Now, let us consider a problem

$$Lu = F, F \in (V_T^{-1})^*.$$

Definition. The function $u \in H_0^3$ is said to be a generalized solution of the problem $Lu = F, F \in (V_T^{-1})^*$ if there exists a sequence of functions $u_i(x, t) \in L_0$ such that

$$\|u - u_i\|_{S_0^2} \rightarrow 0, \|Lu_i - F\|_{(V_T^{-1})^*} \rightarrow 0, i \rightarrow \infty.$$

Using the approach from [4] we can prove the theorems on generalized solvability, optimal control, provide a numerical method for mentioned problem solving and prove the convergence theorem.

In particular, we consider the optimal control problem

$$\begin{aligned} Lu &= f + C(h), \\ J(h) &\rightarrow \min. \end{aligned}$$

Here h is a control from an admissible set $U_\varrho \subseteq H$. Let the operator C has the following form

$$C(h) = \sum_{i=1}^s \delta(t - t_i) \otimes \phi_i(x), h = \{(t_i, \phi_i)\}_{i=1}^s.$$

In this case $H = (\square \times L_2)^s$ is the corresponding control space.

IV. RESULTS/DISCUSSIONS

Theorem 1. For every $F \in (V_T^{-1})^*$ there exists the unique generalized solution for the problem $Lu = F$.

Theorem 2. There exists positive number c such that the inequality $\|u\|_{H_0^3} \leq c \|F\|_{(V_T^{-1})^*}$, holds for every

$F \in (V_T^{-1})^*$. Here u is the generalized solution for the problem $Lu = F$.

Theorem 3. Assume that the set of admissible control $U_\varrho \subseteq H$ is closed, bounded and convex in the

space H . Moreover, let $J(u) = \Phi(u(h))$ be lower semi-continuous with respect to u . Then there exists an optimal control for the problem

$$Lu = f + C(h), J(h) \rightarrow \min.$$

Remark. The claim of the theorem remains true for other weakly continuous operators of control C as well.

V. CONCLUSION

We have proved the so-called well-posedness of the problem. Using the proved a priori estimates and utilizing approaches from [4], [6] we further considered an optimal control problem and provided the theorem of optimal control existence. Further, it is possible to construct a numerical method for evaluating the generalized solution and mentioned optimal control, etc. We would like to mention as well, that cases $k \geq 4$ are still to be considered as far as it requires non-trivial choosing of so-called “test functions” while establishing a priori inequalities.

REFERENCES

- [1] G. Duvaut, J-L. Lions, Inequalities in Mechanics and Physics, Springer, 1976
- [2] S. Shaw, JR. Whiteman, “Towards adaptive finite element schemes for partial differential Volterra equation solvers.” Advances in Computational Mathematics 6.1(1996): 309–323
- [3] M. Falaleev, S. Orlov “Degenerate integro-differential operators in Banach spaces and their applications.” Russian Mathematics 55.10(2011): 59–69
- [4] S. Lyashko, Generalized optimal control of linear systems with distributed parameters, Springer, 2002.
- [5] A. Anikushyn, D. Nomirovskiy, “Generalized solutions for linear operators with weakened a priori inequalities.” Ukrainian Mathematical Journal 62.8(2011): 1175–1186.
- [6] D. A. Klyushin, S. I. Lyashko, D. A. Nomirovskii, Y. I. Petunin, V. V. Semenov, Generalized Solutions of Operator Equations and Extreme Elements, Springer Science+Business Media, 2011.
- [7] S. Lyashko, D. Nomirovskii, “Generalized Solutions and Optimal Controls in Systems Describing the Dynamics of a Viscous Stratified Fluid.” Differential Equations 39.1(2003): 90–98.
- [8] D. Nomirovskii, “Generalized solvability and optimization of a parabolic system with a discontinuous solution.” Journal of Differential Equations 233.1(2007): 1–21.
- [9] Tymchyshyn, D. Nomirovskii, “Generalized Solvability of a Parabolic Model Describing Transfer Processes in Domains with Thin Inclusions.” Differential Equations 57.8(2021): 1053–1062.
- [10] O.Vostrikov, D. Nomirovskii, “Generalized Statements and Properties of Models of Transport Processes in Domains with Cuts.” Cybernetics and Systems Analysis 52.6(2016): 931–942.
- [11] A. Anikushyn, A. Huliannytskyi, “Generalized solvability of parabolic integro-differential equations.” Differential Equations 50.1(2014): 98–109.
- [12] A. Anikushyn, “Generalized Optimal Control for Systems Described by Linear Integro-Differential Equations with Nonnegative Definite Integral Operators.” Journal of Automation and Information Sciences 46.6(2014): 58–67.
- [13] A.V. Anikushyn, D. A. Nomirovskii, “Trajectory-final control for hyperbolic equations in different classes of distributions.” Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Phys-Math sciences 3(2008): 119–124.
- [14] A.V. Anikushyn, “Generalized solvability of hyperbolic integro-differential equations.” Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Phys-Math sciences 4(2013): 60–65.
- [15] A.V. Anikushyn, H.M. Hranishak, On a weak solvability of a hyperbolic integro-differential equation, in: Proceedings of the 5-th International Conference for Young Scientists on Differential Equations and Applications dedicated to Ya. B. Lopatynsky, Kyiv, 2016, pp. 31–33.

Collection and processing of bearing vibration data for their technical condition classification by machine learning methods

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.02>

Ruslan Babudzhan, Danylo Krasii, Oleksii
Vodka, Ivan Zadorozhnyi

Department of dynamic and strength of machines
NTU “KhPI”
Kharkiv, Ukraine

Kostiantyn Isaienkov, Ruben Melkonian,
Michael Yushchuk

Quantum inc
Lewes, Delaver, USA

Abstract — An experimental research facility has been developed to receive vibration signals from mechanisms with installed rolling bearings. A control block for all equipment has been created. For the repeatability of the experiment, an external microcontroller with a programmed proportional-integral-derivative regulator was used.

Experiments were carried out to obtain initial data for different types of bearings. The processed data were grouped and made publicly available for further research. It is proposed to solve the problem of emergency stop of the generator, arising during operation due to bearings worn, by recognizing the pre-emergency conditions of rotary rig based on the use of advanced machine learning techniques: to highlight the signs of vibration and build clusters according to the degree of worn)

Keywords — vibration; signals; vibrodiagnostics; signal statistics; feature extraction; exploratory data analysis; machine learning; Fourier transform.

I. INTRODUCTION

Signal processing and analysis is widely used in radio electronics, seismic analysis, speech recognition, and vibration diagnostics of industrial structures. From the point of view of a variety of tasks and applications of signal processing, vibration diagnostics of structures is one of the greatest interests. The development of new methods for analyzing vibrations of constructions is actively carried out today. The tasks of analyzing bearing assemblies as one of the most frequent places of failure of rotating machines have become very popular. The empirical approaches to vibrodiagnostics that are widespread now give relatively high-quality results and are actively used in industry today.

However, the classical methods presented, for example, in [1, 2, 3], have a limited range of applications and a fairly large amount of preparatory work on the use of these methods in applied problems. There is a shortage of expert analysts who are able to analyze spectrograms of vibration diagnostics of turbine generators, wind turbines, workbenches, etc., recorded by vibration sensors in real time [4].

Thus, it is necessary to develop automated intelligent systems for online monitoring of vibration conditions with the function of predicting emergency situations.

The implementation of this method will help to classify the vibration states of bearings based on the use of neural network processing of vibration measurement data [5, 6]. This approach provides new opportunities for diagnosing defects in real mechanical engineering structures [7].

To build brand new algorithms for the mathematical analysis of vibrations in bearings, it is necessary to be familiarized with the classical methods of analysis both from the side of the experiment statement and from the side of the signal processing methodology for further drawing conclusions about the state of the structural unit. So, in work [8] the frequency of mechanical vibrations of a motor with a squirrel-cage rotor and an identical motor which operates under the eccentricity of a dynamic rotor are analyzed. Radial vibrations are modeled based on experimental data in no-load and nominal load modes. The focus is on vibration frequency and frequency variation. The need for further study of vibration recognition methods is indicated.

The method for analyzing the operation of bearings proposed in [9] is distinguished by a more detailed description of the diagnostics of the spectra of defect states. Work [10] describes a new approach to identifying bearing defects, namely, spectral images of vibration signals. Spectrum images are simply obtained by fast Fourier transform [11]. Such images are processed using two-dimensional principal component analysis (2DPCA) to reduce the size of the feature space, and then the minimum distance method is applied to the results obtained to classify bearing faults [12]. The purpose of this work is to develop an experimental setup for recording the vibration characteristics of various bearings, to conduct experimental research at the stand, and to create a data set for further research

II. SET UP THE EXPERIMENT

To achieve this goal, a test bench has been developed and configured to simulate the operation of the rotor system. Vibration sensors have been used to monitor the state of mechanisms in an automatic mode, to classify the quality of bearings operation with deep learning methods. The test bench is shown in Fig. 1. The test bench drawing is shown on Fig. 2.

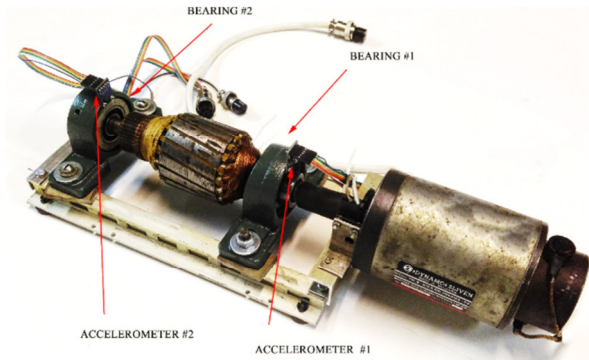


Figure 1. Mechanical part of the test bench

A Dynamo Sliven PIK 8 - 6 / 2.5 electric motor has been used in the design. The motor drives a shaft with an interruption ring mounted. Interrupts are sent to the analog-to-digital converter. The speed of rotation is calculated during operation for a closed-loop speed control system and is also recorded for subsequent processing. Accelerometers model GY-61 have been mounted on two bearing supports. A balanced weight of 3.5 kg has been attached between the struts. The bearing struts have been designed for bearings of the 6204 type, but with the help of nozzles, model 6202 has been used in the experiments.

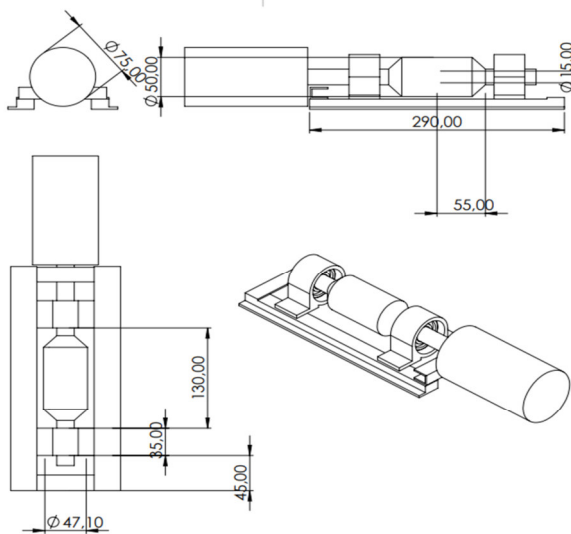


Figure 2. Test bench drawings

The control unit is powered by a standard current of 220 V. Inside the control unit there is a 30 V power supply powering a motor.

There are 2 control modes: manual and from an external microcontroller. DC Speed Controller HHORC-20A is used for external manual control.

External control comes from the Arduino. At the input, the Arduino receives the rotation speed, and at the output it supplies a PWM signal, the frequency of which is generated by the PID controller. The regulator has been tuned and calibrated so that the motor accelerates to 1500 rpm, then maintains this speed and then also slowly decelerates to 200 rpm. This has been done so

that the experimental procedure is similar to each other for any bearing. Thus, for the further analysis it is proposed to use a stationary time section of the installation with a constant shaft rotation frequency. This is a section with an interval of 10 to 20 s.

Accelerometer data has been recorded by an analog-to-digital converter NI USB 6009. The ADC is connected to a computer via a full-speed USB interface and contains eight analog signal input channels (AI), two analog signal generation (AO) channels, 12 digital input / output channels (DIO) and a 32-bit counter.

III. ALGORITHM AND METHODS OF DATA EXTRACTION AND PROCESSING

The bearings have been mounted on the shaft as shown in Figure 2.1. GY-61 ADXL3353 accelerometers have been mounted on the bearing housing. Bearing on position 1 is constant during all experiments. This bearing is new, purchased before starting the experiments. Bearings on position 2 have been previously used in various workbenches and machines and have been replaced from one experiment to another. In this way, the device and feature generation methods aim to classify the bearings on position 2.

The first thirty defective bearings are of type 6204. The rest seventy – 6202. There also has been 7 new bearings of type 6204 and 5 bearings of type 6202. Data collection has been performed using an NI USB-6009 with a sampling rate of 3000 records per second. The speed is determined by an infrared speed sensor. The data was collected according to the acceleration-hold-stop scheme. First, the rotor was accelerated to the desired speed. Then there was a 10-second hold (hereinafter the stationary interval). Then the motor stopped. The recording was carried out for the full load interval.

The resulting dataset consists of 10265700 recordings that describe rotors behavior, 91600 per bearing on average. Collecting data has been uploaded on platform Kaggle and it is in the public domain [13]. The resulting dataset consists of many features, detailed information is presented in table I. For classification, the collected acceleration data of bearings in three axes: X, Y, Z will be used. The name of these features contains the bearing index and the acceleration axis.

TABLE I. DATASET COLUMNS DESCRIPTION

Column name	Description	Units
Experiment ID	Unique identifier of the experiment;	-
Bearing 1/2 ID	Unique identifier of the bearing on the first/second position;	-
Timestamp	Time, measured in seconds;	sec
A1_X/Y/Z	Acceleration along the X, Y and Z axes for the first bearing;	m/s ²
A2_X/Y/Z	Acceleration along the X, Y and Z axes for the second bearing;	m/s ²
RPM/HZ	Rotation speed;	rpm
W	The motor power at a time.	Watts

An example of recorded vibration for experiment number 100 is shown in Fig. 3.

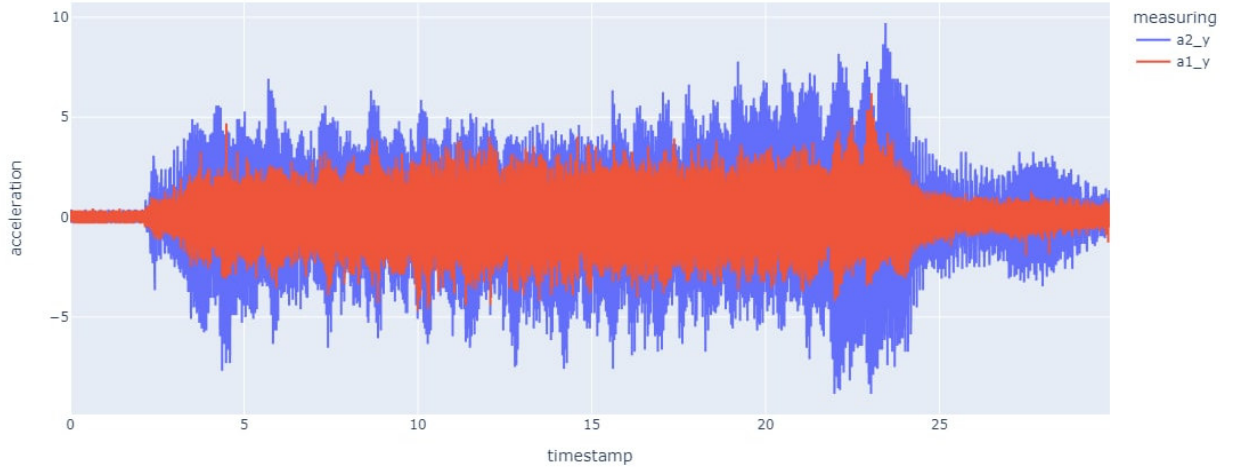


Figure 3. Recorded vibration along the Y axis by two accelerometers

In this paper, it is proposed to use following feature spaces to build classification models:

- Feature space constructed from the values of raw acceleration data on a stationary time interval of the received time series;
- Feature space obtained by evaluating frequency spectrum from the stationary time interval using the fast Fourier transform;
- Space of statistics describing signal behavior;
- Space of statistics describing the frequency spectrum.

The set of statistics have been used in this work is as follows:

1. Coefficient of variation [14].

Coefficient of variation (1) is a measure of relative variability.

$$CV = 100 \frac{s}{\bar{x}} \quad (1)$$

2. Range.

The Range is the difference between the lowest and highest values.

3. Interquartile range (IQR) [14].

IQR (2) is the difference between the 25th and 75th percentile of the data. It is a measure of the dispersion similar to standard deviation or variance, but is much more robust against outliers.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad (2)$$

4. Skewness [14].

Skewness (3) is the lack of symmetry. The larger values, the greater asymmetry in the distribution of observations.

$$g_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}, \quad (3)$$

$$m_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n] - \bar{x})^i \quad (4)$$

5. Kurtosis [14]

Kurtosis (5) is the extent of the peak in a distribution. The smaller values, the more uniform distribution.

$$g_2 = \frac{m_4}{m_2^2} \quad (5)$$

6. Entropy [15]

Entropy is associated with a state of disorder, randomness, or uncertainty. In this paper were used two different ways of measuring Entropy:

a. Shannon entropy.

$$H(X) = - \sum_i p_i \log_2 p_i, \quad (6)$$

where N is the total number of observed events, and p_i is the probability of the i event.

b. Sample entropy [16].

Sample entropy (7) is a modification of approximate entropy, used for assessing the complexity of physiological time-series signals, diagnosis diseased states.

$$SampEn = -\log \frac{A}{B}, \quad (7)$$

where A – number of template vector pairs having distance $d[X_{m+1}(i), X_{m+1}(j)] < r$; B – number of template vector pairs having Chebyshev distance $d[X_m(i), X_m(j)] < r$; r – tolerance, m – embedding dimension, $X_m(i) = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m-1}\}$.

7. Energy.

Energy (8) represents time-series signals size.

$$E_x = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \quad (8)$$

8. Hjorth parameters [17]

The Hjorth parameters describe statistical properties in the time domain.

a. Activity.

Activity (9) represent signal power, or the variance of time-series.

$$\text{Activity} = \text{var}(x) \quad (9)$$

b. Mobility.

The mobility parameter (10) represents the mean frequency or the proportion of standard deviation of the power spectrum. This is defined as the square root of variance of the first derivative of the signal divided by variance of the signal.

$$\text{Mobility}(x) = \sqrt{\frac{\text{var}(x')}{\text{var}(x)}} \quad (10)$$

9. Hurst exponent [18].

Exponent decreases when the delay between two identical pairs of values in the time series increases.

10. Fractal dimensions [19].

Fractal dimensions is one of the ways to determine the dimension of a series in a metric space.

a. Higuchi [19], [20].

The essence of method is to transform given time-series $X(1), X(2), \dots, X(N)$ into the new one:

$$X_k^m: X(m), X(m+k), X(m+2k), \dots, X\left(m + \left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor k\right), \quad (11)$$

where $m = \overline{1, k}$. m and k indicate the initial time and the interval time, respectively. Then Higuchi defines the length of the curve associated to each time series X_k^m :

$$L_m(k) = \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor} (X(m+ik) - X(m+(i-1)k)) \right) \left(\frac{N-1}{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor k} \right) \quad (12)$$

and takes the average value of the lengths.

b. Petrosian [19], [21].

The essence of method is in binarizing given time-series, finding the total number of adjacent symbol changes in the sequence N_Δ and calculating fractal dimension:

$$F_{\text{Petrosian}} = \frac{\log_{10}(n)}{\log_{10}(n) + \log_{10}\left(\frac{n}{n+0.4N_\Delta}\right)} \quad (13)$$

11. Zero crossing.

The zero-crossing rate is a statistical feature that describes the number of times that a signal crosses the horizontal axis.

12. Crest factor.

The Crest factor (14) defines how extreme the peaks are in a signal.

$$C = \frac{|x_{\text{peak}}|}{x_{\text{rms}}} = \frac{\|x\|_\infty}{\|x\|_2} \quad (14)$$

Fig. 4 shows the Fourier transform for the acceleration signals along one axis of two bearings, one of which is worn out and the other is new. The selected frequencies are from 1 to 400 Hz.

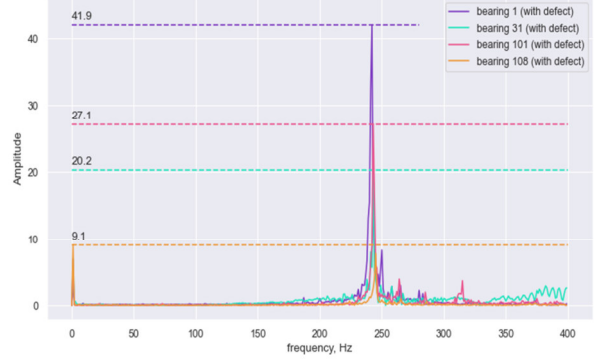


Figure 4. Fourier transform of raw signals

Fig. 5 and Fig. 6 show the cross-correlation of Pearson signals and their spectra respectively along each axis, as well as the rotational speed and power of the engine. The figures show that the correlation between them is rather low. This makes it possible to build linear models based on this data. The figures also show that there is no correlation between the amplitudes and acceleration characteristics of the bench, which complicates the use of empirical approaches to classification.

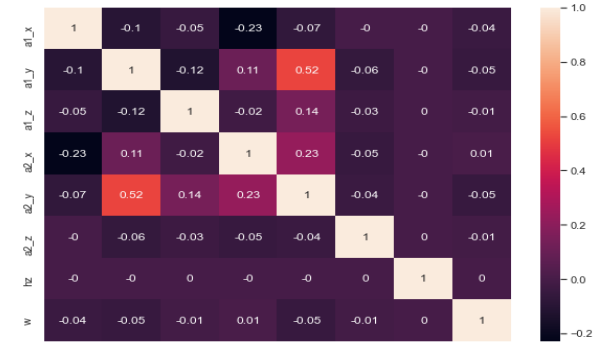


Figure 5. Pearson correlation for signals

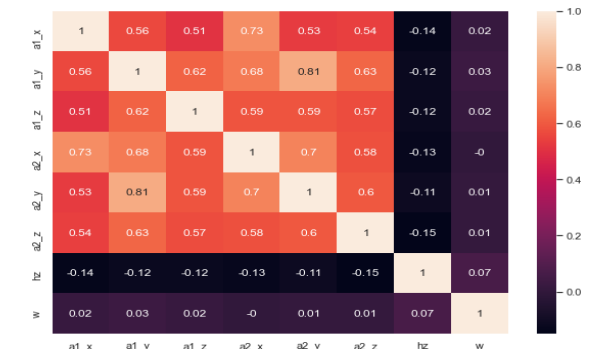


Figure 6. Pearson correlation for signal spectra

Fig. 7 shows the scaled distributions of the selected signal statistics. It could be seen that it is problematic to identify explicit patterns for visual classification based on them.

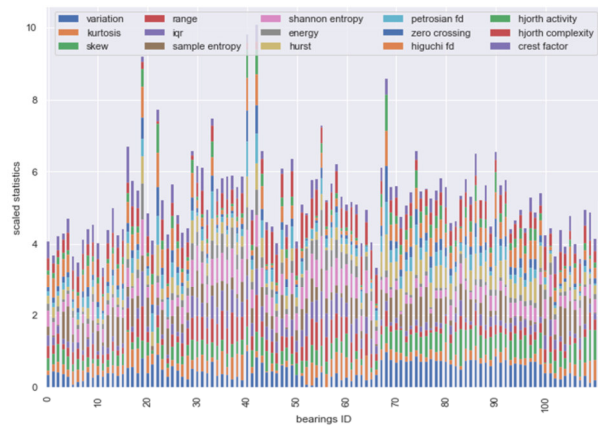


Figure 7. Distribution of signal statistics

Fig. 8 shows a visualization of the distribution of derived quantities from bearing signal statistics. Bearings with and without defects are marked in different colors. Visualization was carried out using the t-SNE method [22]. t-SNE is a tool to visualize high-dimensional data. It converts similarities between data points to joint probabilities and tries to minimize the Kullback-Leibler divergence between the joint probabilities of the low-dimensional embedding and the high-dimensional data. T-SNE has a cost function that is not convex, i.e. with different initializations different results can be obtained. After calculating Pearson's correlation between statistics (Fig. 9), we can come to the conclusion that there is a linear dependence between the presented features. To solve this problem only one statistic from each pair of highly correlated values can be selected.

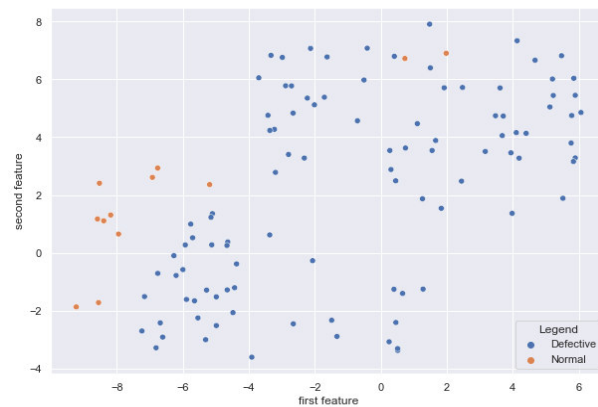


Figure 8. Visualization of derived bearing signal statistics

Fig. 11 shows a visualization of the distribution of the derived quantities from the statistics of the bearing signal spectrum. Features also have been received by t-SNE algorithm. As can be seen from this graph, in contrast to the derivatives of signal features, spectrum features cannot be reduced to a two-dimensional subspace without significant loss of information.

Calculation of the correlation (Fig. 12) also showed that there are features with a strong linear relationship. It can also be seen that the correlated features differ from those shown in the signal statistics.

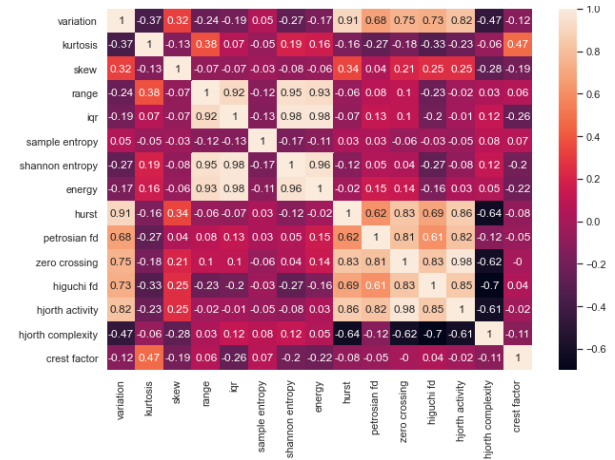


Figure 9. Pearson cross-correlation matrix for one signal

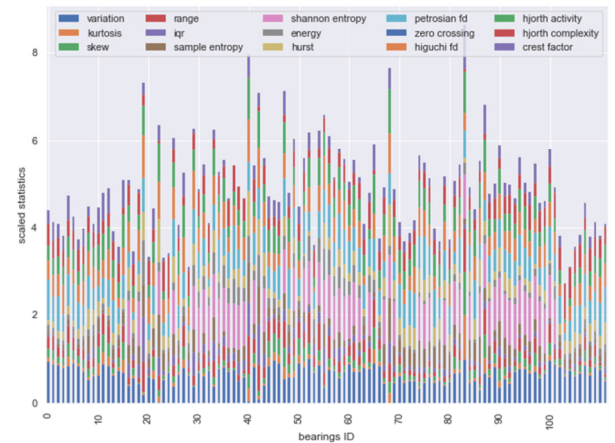


Figure 10. Distribution of signal spectra statistics



Figure 11. Visualization of derived bearing signal spectrum statistics

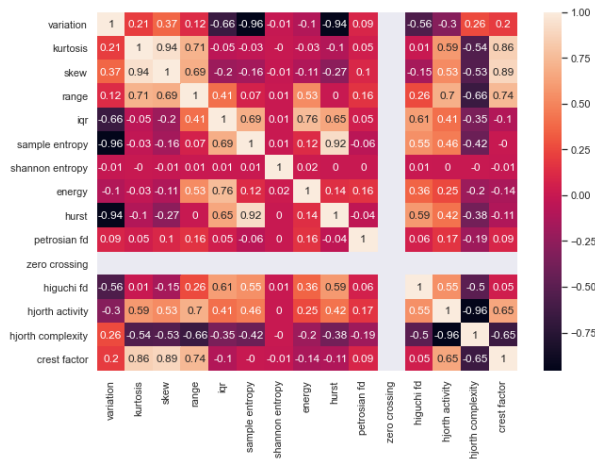


Figure 12. Pearson cross-correlation matrix for spectra of one signal

IV. CONCLUSIONS

The electromechanical part of the experimental bench is a simulator of industrial equipment with rotating units of machines and mechanisms. On-line information about the values of the main vibration parameters flows from the accelerometers to the control unit. The information has been recorded on the computer. Thus, a dataset has been collected for 100 bearings with defects with varying degrees of wear. 12 new bearings have been also included in the experiment. In total, two bearing models participated in the experiments: 6204 and 6202. The obtained dataset is proposed to be used to classify bearing defects, to solve the clustering problem by the degree of wear.

The paper proposes four options for processing the received signals to obtain a feature space used in the development of mathematical models for the classification of defected bearings. These approaches are better applicable for different models due to differences in loss of information because of feature space compression, features number and their distribution. Using these approaches, it is possible to build various machine learning models. Thus, the choice of a particular approach depends on the balance between the accuracy and speed of the model.

Thus, the approach used to take signals of vibration sensors and their subsequent processing can be applied in a wide class of problems using various modern methods of data classification. To compare the proposed processing methods, benchmarking is required using various classical machine learning methods, as well as a variety of neural network architectures.

REFERENCES

[1] H. Saruhan, S. Sandemir, A. Çiçek, I. Uygur, "Vibration Analysis of Rolling Element Bearings Defects", Düzce University, Faculty of Technology, Düzce, Turkey, Journal of Applied Research and Technology, Vol. 12. Issue 3, June 2014, DOI: 10.1016/S1665-6423(14)71620-7

[2] V. E. Yakovlev, P. N. Panochevny "stand diagnostics of vibro bearings by acoustic methods", Pacific National University, "Scientific Notes of PSU" Volume 8, No. 2, 2017

[3] David Kutalek, Milos Hammer, "Vibration diagnostics of rolling bearings using the time series analysis", MM Science Journal, Brno University of Technology, Faculty of Mechanical

Engineering, Brno, Czech Republic, 2015, DOI: 10.17973/MMSJ.2015_12_201548

[4] Klychnikov Vladimir Vladimirovich, Lapin Dmitriy Vladimirovich, and Mark Eduardovich Hubbatulin , "Analysis of methods of non-invasive vibroacoustic diagnostics", AIP Conference Proceedings 2318, 090010 (2021). URL: <https://doi.org/10.1063/5.0035941>

[5] Akimov, Dmitry & Pavelyev, Sergey & Ivchenko, Valery. (2018). "Automated Prediction of Critical States of Turbogenerators During Thermal Expansion of a Rotor and a Stator Based on a Recurrent Neural Network" International Journal of Engineering and Technology(UAE). 7. 37–40. 10.14419/ijet.v7i4.38.24316.

[6] Vladimir Arbuзов, Valery Ivchenko, Ekaterina Matiukhina, Sergey Pavelyev and Andrey Ostroukh "Application of neural network technologies for diagnostics of the technical state of power plant turbo generators based on spectrograms of the vibration measurements", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018

[7] Davorka Šaravanja, Marko Grbešić, "Application of vibration analysis in journal bearing problems diagnostics", for "30th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation", DOI: 10.2507/30th.daaam.proceedings.013

[8] G. Eason, B. Noble, and I.N. Sneddon, "On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions," Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, pp. 529-551, April 1955. (references)

[9] J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp. 68–73.

[10] I. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in Magnetism, vol. III, G.T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.

[11] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetism Japan, p. 301, 1982].

[12] M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

[13] <https://www.kaggle.com/isaikenkov/bearing-classification>

[14] Zwillinger, D. and Kokoska, S. (2000). CRC Standard Probability and Statistics Tables and Formulae. Chapman & Hall: New York, 2000.

[15] Mera-Gaona, Maritza and López, Diego M. and Vargas-Canas, Rubiel. An Ensemble Feature Selection Approach to Identify Relevant Features from EEG Signals. Appl. Sci. 2021, 11(15), 6983; doi.org/10.3390/app11156983

[16] Joshua S. Richman, J. Randall Moorman. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. AJP Heart and Circulatory Physiology, July 2000. DOI: 10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039

[17] Jiang, D.; Ma, Y.; Wang, A.Y. Sleep stage classification using covariance features of multi-channel physiological signals on Riemannian manifolds. Compute. Methods Programs Biomed. 2019, 178, 19–30.

[18] Ding, L.; Luo, Y.; Lin, Y.; Huang, Y. Revisiting the relations between Hurst exponent and fractional differencing parameter for long memory. Phys. A Stat. Mech. Appl. 2021, 566, 125603.

[19] Shi, C.T. Signal pattern recognition based on fractal features and machine learning. Appl. Sci. 2018, 8, 1327.

[20] Chang-Ting Shi. Signal Pattern Recognition Based on Fractal Features and Machine Learning. Appl. Sci. 2018, 8, 1327; doi:10.3390.

[21] Fractal dimension algorithms and their application to time series associated with natural phenomena. F Cervantes-De la Torre et al 2013 J. Phys.: Conf. Ser. 475.

[22] van der Maaten, L.J.P.; Hinton, G.E. Visualizing High-Dimensional Data Using t-SNE. Journal of Machine Learning Research 9:2579-2605, 2008.

Computer modeling of differential games

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.03>

Andrii Bardan

department of applied mathematics
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
Chernivtsi, Ukraine
bardan.andrii@chnu.edu.ua

Yaroslav Bihun

department of applied mathematics
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
Chernivtsi, Ukraine
y.bihun@chnu.edu.ua

Abstract — This paper uses differential games for viewing with simple movement and gives examples of viewing processes. Software has been developed and computer modeling of several methods of interaction in a conflict-driven environment has been introduced.

Keywords — computer modeling; differential games; differential equations; persecution; game theory (key words).

I. INTRODUCTION

Differential game theory, as a branch of control theory, studies the problems of decision-making in a conflict environment of several objects. Similar situations often arise in the economy, ecology and other areas of human life. First and foremost, the theory of differential games allows to solve a large number of such applied problems. Its formation is associated with the names of R. Isaacs [1], L.S. Pontryagina [2]. Ukrainian School of Differential Games was founded by Professor B.M. Pshenychnyy, its development thanks to the work of A.O. Chykria [3] and his students, in particular for differential-difference systems in [4].

II. PROBLEM FORMULATION

Differential game theory emerged as a result of the mathematical implementation of certain technical problems. In the course of such implementation it is necessary to strive to ensure that by choosing the most important features of the technical problem, it remains available for mathematical modeling. Thus, the problem statement should not be given in complete isolation from technical problems.

To have a specific example of the situation, imagine that one plane is chasing another. The purpose of the first plane is to catch up with the second, the purpose of the second is to escape persecution. Each pilot controls his aircraft, having his own goal and using certain information about the situation. The information consists of two parts, the first is a complete knowledge of the technical capabilities of both aircrafts, the second is information about the behavior of your own aircraft and enemy aircraft. Information about the behavior of an aircraft may include various data about their condition at a certain point in time in the past, but nothing is known about the future behavior of an aircraft, because they are controlled and at any point in time the pilot can change the position of the rudder, thereby changing behavior of his own plane. In fact, each of the pilots can receive information about the enemy only with some delay, but there is no need to include this fact in the implementation. Moreover, we can even assume the

known behavior of the enemy with some advance and build a mathematical idealization on this basis, and then show that the resulting theory can be used to approximate the real problem.

The implementation of a mathematical description of the persecution process is not an easy task. Two controlled objects take part in this process: a pursuer and a fugitive. The state of each of the objects at any point of time is determined by its phase vector. The phase vector of the pursuer is denoted by x , and the phase vector of the fugitive – by y , the equation of controlled objects can be written in the form:

$$\dot{x} = f(x, u), \dot{y} = g(y, v), \quad (1)$$

where the point means the time derivative, and u and v are the essence of control, that are the parameters located on the right side of the equation. Each of the parameters belongs to a certain constraint set:

$$u \in P, v \in Q,$$

where P and Q are sets of arbitrary nature. If the control of u becomes a given function of time t , ie $u = u(t)$, then the first of equations (1) becomes an ordinary differential equation, which can be solved for a given initial value $x(0) = x_0$. The same applies to the second equation (1). Since x and y are phase vectors, each of them splits into two parts:

$$x = (x_1, x_2), y = (y_1, y_2),$$

where x_i and y_i determine the geometric position of objects, a x_2 and y_2 – their velocities.

It is believed that the process of persecution ends at the moment of equality:

$$x_1 = y_1, \quad (2)$$

that is, when objects are geometrically matched.

Equation (1) does not describe the motion of objects, but only their possibility, because with different controls $u = u(t)$ and $v = v(t)$ different motion will occur. Therefore, in the example with aircraft, equation (1) describes the technical capabilities of aircraft.

The process of persecution itself can be viewed from two opposite points of view.

1. You can identify yourself with the persecutor. In this case, the goal will be to complete the pursuit process, then control of u is at our complete disposal to achieve this goal. Thus, at each point in time t we must construct the value $u(t)$ of the control u , knowing equation (1), ie the first part of the information, and

using its second part in the form of knowledge of the functions $x(s)$, $y(s)$, $v(s)$ on the segment $t-\theta \leq s \leq t$, where θ — is a correspondingly selected positive number.

2. You can identify yourself with a fugitive. In this case, the goal will be to escape the pursuer, which means to fail to fulfill equality (2). Then control v is at our disposal to achieve this goal. Therefore, at each point in time t we must construct the value $v(t)$ of control v , knowing the solution of equation (1). This way, having the first part of the information, and using the second part of it in the form of values of functions $x(s)$, $y(s)$, $u(s)$ on the segment $t - \theta \leq s \leq t$.

Such a mathematical realization of the process of persecution inevitably splits the problem into two different problems: the problem of persecution and the problem of escape.

The differential game from the process of persecution arises as a result of the natural desire to simplify the notation, namely, instead of two phase vectors x and y we introduce one vector: $z = (x, y)$, creating the phase space of the game R as the direct sum of phase spaces of both projects [3]. Then the pair of equations (1) is written as one equation:

$$\dot{z} = F(z, u, v), \quad (3)$$

and relation (2) defines in the vector space R some subset of M .

III. COMPUTER MODELING OF PROCESSES

To demonstrate the considered theoretical results, using a modern graphical development environment Godot Engine [5], an application was created that allows you to simulate the course of a differential game with a given input data and visualize the trajectory of objects. A two-dimensional space with two different types of objects was created for visualization: the pursuer is a red sphere, and the fugitive is a blue sphere. After starting the visualization process, the objects begin to move iteratively at a given maximum speed, in the appropriate direction to the selected method. The camera follows the pursuer, but it is always possible to switch to the top view, which also shows the path taken by the objects. Images of the created application will be used further as illustrations to the given examples.

The following methods of behavior are most typical for a fugitive [4]:

- linear motion;
- movement at right angles;
- movement from the pursuer.

In turn, the following methods of behavior are most typical for the persecutor:

- running curve method;
- constant bias angle method;
- method of parallel persecution.

Most of these behaviors are based on the complete information that each object has about all other objects

in the system. Namely, information about the current position of the object, and the history of its movement.

Consider in more detail the methods of movement of the pursuer:

1. The running curve method is the simplest guidance method. Characteristic of this method is that the direction vector of the pursuer at each point in time exactly coincides with the direction to the target, and the bias angle equals zero.

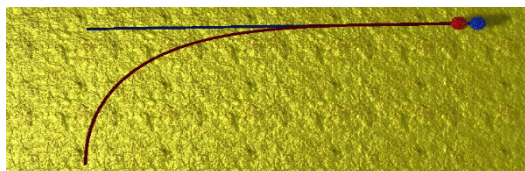


Figure 1. The trajectory of movement by the method of running curve

Fig. 1 shows a partial case of a running curve. If the trajectory of the fugitive is a straight line, then the trajectory of the pursuer is a Euler spiral. The general type of control can be described as follows:

$$u_i = \frac{x_i - y_i}{|x_i - y_i|} \sigma.$$

The running curve method has one significant drawback - a fairly long end time of the game, but it is a very popular method because of its simplicity and guaranteed results, provided that the speed of the fugitive is less than the speed of the pursuer.

2. The constant bias angle method is a modification of the running curve method. The vector of the pursuer's direction at each moment of time is constructed by means of a vector of a direction on the purpose with turn on the angle of bias set by the user. This angle corrects the pursuer's trajectory (see Fig. 2). With the correct value of the angle, the method has a better completion time than the running curve method, but it does not always guarantee its end. The use of this method is impractical if the trajectory of the pursuer is unpredictable.

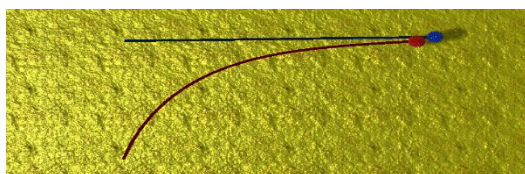


Figure 2. The trajectory of motion by the method of a constant angle of bias

3. The method of parallel pursuit is a modification of the method of constant angle of bias. In the case of parallel pursuit, the bias angle K_p is calculated, depending on the current position of the fugitive and the direction of his movement, and is different at each step [1]. The method is often used in practice to guide rocketry.

According to Isaacs [1], the angle of bias K_p , can be found in this equality:

$$\sin(\psi_e) = -n \times \sin(\psi_p), \text{ где } n = \frac{v_e}{v_p}.$$

If the target moves evenly and rectilinearly, the pursuer will move on the most effective trajectory - in a straight line, then the end time of the game will be minimal and in this case this method is the most effective of the above (see Fig. 3). The method of parallel pursuit guarantees the end of the game.

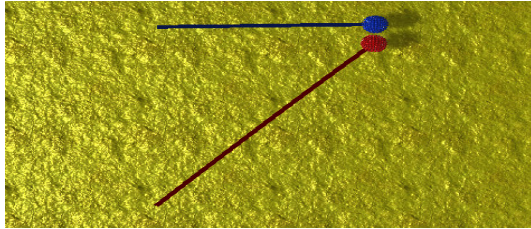


Figure 3. The trajectory of the method of parallel pursuit

Consider in more detail the methods of movement of the fugitive:

1. The method of linear motion is a normal motion in a straight line, in which the object does not change its direction, it moves in a constant static direction. This movement can reflect the fugitive's desire to reach a certain goal at any cost as quickly as possible. For example, a fugitive intends to reach an area that is inaccessible to the pursuer. However, such behavior is the easiest for the persecutor, because it is completely predictable.

2. The method of movement at right angles is a movement with a constant right angle between the direction of movement of the fugitive and the pursuer.

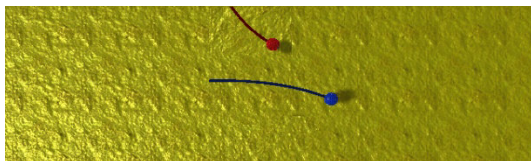


Figure 4. The trajectory of motion at right angle

3. Method of movement from the pursuer - is to choose the movement in the opposite direction, to the current position of the pursuer. For instance, if the pursuer is in the direction (-1.0) from the fugitive, the direction of movement of the fugitive will be equivalent to the vector (1.0) (see Fig. 5). The purpose of such a movement is to be as far away from the pursuer as possible. This behavior will have the best time characteristics for the fugitive.

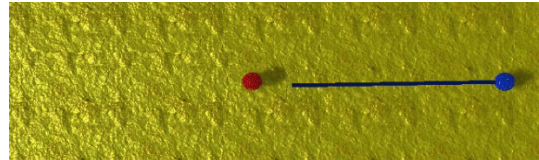


Figure 5. The trajectory of movement from the pursuer

There are more complex modifications of differential games, when there is a group of persecutors, or there is a group of fugitives. The goal of a group of persecutors is to catch all fugitives, and the goal of fugitives is that at least one has to escape from persecution. It is believed that the fugitive will be caught if the pursuers form a convex polygon around him. Thus, the task of the pursuers is to form this convex polygon, for which they move by the method of parallel pursuit. The algorithm of the fugitive's motion depends on the initial conditions (it may belong to the inner part of the convex hull). In some cases, the success of one of the fugitives is guaranteed. For example, if there is a task where we have 4 pursuers and 2 fugitives, under any initial conditions and positions of players, at least one of the fugitives can avoid being caught [4].

IV. CONCLUSIONS

Thus, in this paper were considered: the problem statement of the theory of differential games, mathematical models of conflict-controlled processes, examples of simple persecution processes. Moreover, the main methods of player management were described. The advantages and disadvantages of each of the methods are investigated. Graphical illustrations of methods are given, by means of the specially created application which allows to model a course of differential game with the set input data. The developed software also allows to model complex modifications of differential games - group pursuits.

REFERENCES

- [1] R. Isaacs, "Differential Games: A Mathematical Theory with Applications to Warfare and Pursuit, Control and Optimization," Dover Publications, 1999.
- [2] L.S. Pontryagin, "Selected scientific works," vol. 2, Nauka, 1988, pp. 576–579.
- [3] A.I. Chikriy, "Conflict-controlled processes," Kyiv: Naukova dumka, 1992, pp. 383–385.
- [4] E.A. Lyubarschuk, "Linear nonstationary differential-difference convergence games," Yuri Fedkovych Chernivtsi National University, 2017.
- [5] J. Linietsky, A. Manzur, and the Godot community (CC-BY 3.0), "Godot's documentation," electronic resource, access mode: URL: <https://docs.godotengine.org/en/>, 2014–2020.

Concept and functions of building a private network (VPN)

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.04>

Beridze Zebur
Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
zazaber@mail.ru

Shavadze Jumber
Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
ibraimd@mail.ru

Geladze Nona
Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia

Geladze Miranda
Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia

Abstract – As companies and organizations began to actively use computers in various areas of their work, these computers needed to be integrated into a common network for fast data transfer and efficient interaction. However, this connection must have been reliable and secure.

Keywords – Virtual Private Network; network services; local area networks.

I. INTRODUCTION

In order to effectively fight against network attacks and to ensure the possibility of active and secure use, the concept of building virtual private networks - VPN (Virtual Private Network) was created and is actively being developed.

The word 'virtual VPN' is included in the term to emphasize that a connection between two nodes should be considered as a temporary connection as long as it is not a permanent (hard) connection and exists only when transmitting information flows over an open network.

Since networking services for connecting separate network nodes have appeared, it has made it possible to actively use VPNs based on the Internet. All this made it possible to actively use one of the main virtues of the Internet - easy access. Therefore, anyone with the help of the Internet could easily connect to a bank or various companies from anywhere in the world. However, due to the openness of the Internet data, the data transmitted through this network is available to everyone to read or change it. That is why VPN networks on the Internet have the means to protect the information transmitted between VPN nodes. This is why these networks are usually called VPNs (Virtual Private Networks). In this context, it means both "private" and "protected".

VPN technology soon became strongly associated with cryptographic methods of information protection and the creation of virtual protected networks - VPNs became one of the top priorities. Its main task is to solve 4 main problems: security-confidentiality, authentication, integrity and control of the participants (users). Cryptography is part of a mathematical technique involved in storing data protected from attackers. For example, cryptographic mechanisms have been developed to protect data privacy. Cryptographic schemes are designed in such a way that the information transmitted over the air (e.g., over a

wireless system) is encoded and cannot be interpreted by attackers, although an attacker may obtain encoded data by accessing the data transmitted over the air. Cryptography can also be used to be sure that the data was indeed created by the entity that claimed its creation. This feature is also called data authentication.

Main part. The concept of building a VPN on virtual networks is based on a fairly simple idea: if there are two nodes in a global network that want to exchange information, then it is necessary to build a virtual tunnel between these two nodes to ensure the confidentiality and inviolability of open network information. Access to this tunnel should be very complicated, for all possible active and passive outside observers.

There are two major types of attack threats involved when connecting a corporate local area network to an open network:

- Unauthorized access to the internal resources of corporate local networks, which is obtained by the perpetrator as a result of unauthorized access to this network;

- Unauthorized access to corporate data during the process of their transfer to the open network.

Securing information interaction with local area networks and individual computers, in particular the Internet, can be ensured by effectively solving the following tasks:

- Protect connections of local area networks and operating computers connected to open channels from outside unauthorized action;

- Protection of information in the process of transmission of its connection through open channels.

The protection of information through open channels in its transmission process is based on the use of virtual protected VPN networks. Virtual protected VPN networks are the combination of local area networks and individual computers into a single virtual corporate network that ensures the security of circulating data. Virtual protected VPN networks are formed by building virtual protected connection channels. These virtual protected connection lines are called VPN tunnels. VPN network allows VPN tunnels to connect head office, branch offices, business partner

offices, remote users, and securely exchange information over the Internet

A VPN tunnel is an open network connection that transmits cryptographically protected information packets to virtual network messages. The protection of information in the process of transmitting it through its VPN tunnel is based on the performance of the following functions:

- Authentication of interacting parties;
- Cryptographic closure (encryption) of transmitted data;
- Checking the authenticity and safety of the transmitted information.

These functions are characterized by interrelationships. Cryptographic methods of information protection are used in their realization. The effectiveness of such protection is ensured through the joint use of symmetric and asymmetric cryptographic systems. A VPN tunnel formed by VPN devices has protected dedicated line properties. However, this protected breakdown line breaks down into a network frames with a common connection.

A VPN client is a software or software-hardware complex that is usually run on a personal computer basis. Its network software is modified to perform information flow encryption and authentication by which this device performs interchange operations with other VPN clients or VPN servers.

VPN-Server provides protection of servers from unauthorized access from the environment, as well as the organization of secure connection to computers of the local network segment protected by separate computers and local VPN-products.

The safety and service quality of wireless networks has become a subject of considerable and active research over the past few years, what is caused by a growing requirement for supporting the transfer of data packages. Any node which is located in the transmission range of a delivery node and which knows the operating frequency and other physical attributes (modulation, encoding, etc.) can potentially encrypt the signal so that a sender or an alleged recipient will not know anything about that interference. However, such interference in cable networks can occur if an attacker has an access to physical means of transmission (wires, fibers, etc.) what requires the accession to the facility. As wireless networks are not dependent on infrastructure-based resources, such as power stable source, high frequency, continuous connection or unchanging routing, they can be easily attacked.

CONCLUSION

An experienced hacker or accidentally snooper can easily track the unwanted packages and open the data in it, using the software means. Of course, the main danger is the fact that as a result of such an attack, some people can have access to important information such as usernames and passwords, credit card numbers and other.

VPN technologies allow secure tunnels to be organized both between offices and with separate workstations and servers. However, it does not matter

which Internet provider is used by a particular workstation to connect to protected resources of the enterprise. All that is seen by a stranger observer is a stream of ordinary IP packets with unknown content. Instead of the traditional method of connecting Internet users via modems or dedicated lines, virtual private networks - VPNs are introduced, which allow users to communicate freely with each other via the Internet.

REFERENCES

- [1]. Didmanidze Ibraim, Zaslavski Vladimir, Beridze Zebur, Didmanidze Didar. Analysis of wireless network security systems problems and those solutions. Works of conferences. No. 4 (2020), 5–7 november, Rivne, Ukraine, p. 139–140.
- [2]. Beridze Z. Safety of informational interaction. XXXV international conference PROBLEMS OF DECISION MAKING UNDER UNCERTAINTIES (PDMU-2020). ABSTRACTS. May 11–15, 2020, Baku-Sheki, Republic of Azerbaijan. p. 23.
- [3]. Didmanidze Ibraim, Beridze Zebur. MAIN TASKS AND ALGORITHMS OF WIRELESS NETWORK SECURITY SUPPORTING AUTOMATED SYSTEM. PROBLEMS OF ATOMIC SCIENCE AND TECHNOLOGY, Series: Nuclear Physics Investigations (74), 2020, N 5(129), p. 86–93.
- [4]. Beridze Z., Shavadze J., Geladze M. Main stages of designing automated system supporting wireless networks. XXXIII international conference PROBLEMS OF DECISION MAKING UNDER UNCERTAINTIES (PDMU-2019). ABSTRACTS. January 24–February 1, 2019, Hurgada, Egypt. p. 21–22.

Computer prediction of technological modes of rapid cone-shaped adsorption filters with automated discharge of part of heat from separation surfaces in filtering mode

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.05>

Andrii Bomba

dept. of Computer Science and Applied Mathematics
National University of Water and Environmental
Engineering
Rivne, Ukraine
a.ya.bomba@nuwm.edu.ua

Yurii Klymiuk

dept. of Computer Science and Applied Mathematics
National University of Water and Environmental
Engineering
Rivne, Ukraine
yu.ye.klymiuk@nuwm.edu.ua

Abstract— In the paper a mathematical model of technological modes of filtration with automated removal of part of heat from interface surfaces (water purification from multicomponent impurities), backwashing, chemical regeneration and direct washing of rapid cone-shaped adsorption filters with chemical regeneration of piecewise homogeneous porous loads while maintaining constant velocities of the respective modes is formulated. The proposed models in the complex allow to conduct computer experiments to investigate the change in the concentrations of components of a multicomponent impurity in the filtration stream and on the surface of the loading adsorbent, retained by both physical and chemical adsorption, filtration flow temperature, filtration coefficient, active porosity and pressure along the filter height and on their basis to predict more optimal options for the use of adsorbents of each loading layer and increase the protective time of rapid cone-shaped adsorption filters with automated heat removal from the interface surfaces in filter mode.

Keywords — mathematical model; computer prediction; filtration; washing; chemical regeneration; impurity; adsorption; desorption; temperature; rapid cone-shaped filter; piecewise homogeneous porous loading.

I. INTRODUCTION

For adsorption of large volumes of water, rapid adsorption filters with one- and multilayer porous regenerative loads are increasingly used while maintaining a constant filtration rate. With the help of regeneration (using special chemicals) the adsorption properties of most filter materials are almost completely restored [1–3].

The ever-increasing demand for purified water in the economy and the growing cost of filter materials require research on the one hand their more optimal use and increase the duration of rapid adsorption filters in the filtration mode by choosing their shape, layer height, in particular, taking into account the effects of temperature on the internal kinetics of mass transfer, and on the other is the regeneration of porous loads for their reuse.

Filtration of water through porous loads of rapid adsorption filters is a special case of the movement of liquids through porous materials and the laws of this movement are fully covered in the works of D. M. Mintz, L. S. Leibenzon, N. N. Pavlovsky, S.A. Schubert and others researchers [4–8]. It is established that the linear Darcy's law is usually valid when filtering water through porous materials, ie the laminar regime of water motion takes place. The speed of the adsorption process depends on the concentration, nature and structure of the components of the multicomponent impurity, filtration rate, filtration flow temperature, type and properties of the adsorbent [8]. As mathematical models for predicting the processes of "filtering-regeneration" of porous loads, domestic researchers often use the model of DM Mintz [6, 7] with constant speeds of the respective processes and temperature or some modification (advanced model). In [9, 10] its corresponding spatial models for prediction of technological modes of filtration, backwashing, chemical regeneration and direct washing of rapid cone-shaped adsorption filters with piecewise homogeneous porous loadings taking into account influence of temperature effects on internal kinetics of mass transfer are offered. These models in combination by taking into account the influence of temperature and filtration flow rate along the filter height on the coefficients that characterize the rates of mass transfer during physical and chemical adsorption and desorption, filtration coefficient, allow computer experiments to predict more optimal use of adsorbents the loading layer and the time intervals of the filters, respectively, in the modes of filtration, backwashing, chemical regeneration and direct washing with constant speeds of the respective modes. An urgent task is to generalize the relevant models in the case of computer forecasting of technological modes of rapid cone-shaped adsorption filters with automated removal of part of the heat from the interface surfaces in the filtration mode.

II. MATHEMATICAL MODEL

We will form spatial boundary value problems for forecasting the main technological modes of operation of rapid cone-shaped adsorption filters with chemical regeneration of piecewise homogeneous porous loads for the model domain $G = G_z \times (0, \infty)$, G_z is a spatial one-connected domain ($z = (x, y, z)$), bounded by given smooth, orthogonal to each other along the edges, two equipotential surfaces S_* , S^* and one flow surface S^{**} and divided into p subdomains G_z^r ($r = \overline{1, p}$) by some given $p-1$ equipotential surfaces S_{*r} ($r = \overline{1, p-1}$) (fig. 1).

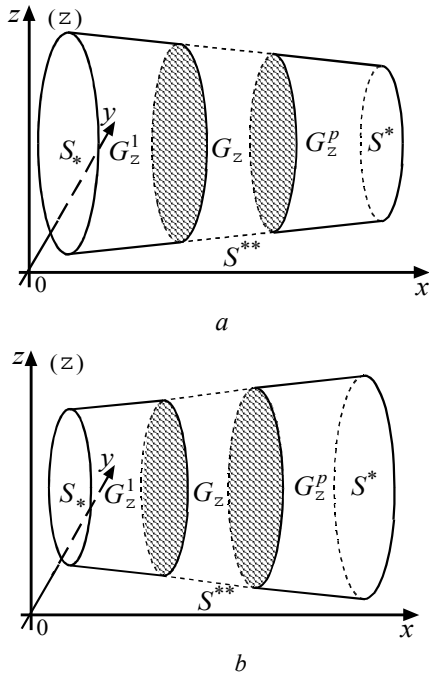


Figure. 1. Spatial filtering domains G_z for model problems of forecasting technological modes: a is filtration and direct washing; b is backwash and chemical regeneration

Considering that in the filtration mode with automated heat removal from the interface surfaces the convective components of heat and mass transfer and physical and chemical adsorption of impurities prevail over the contribution of diffusion and physical desorption, in the chemical regeneration mode the convective components of heat and mass transfer and physical and chemical over the contribution of diffusion and physical adsorption, and in the modes of reverse and direct washing convective components of heat and mass transfer and physical desorption and chemical adsorption prevail over the contribution of diffusion and physical adsorption, spatial model problems for forecasting technological modes of operation of rapid cone-shaped adsorption filter at constant speeds of corresponding modes taking into account the reverse effect of process characteristics (concentrations of multicomponent impurity components in filtration flow and loading adsorbent surface, filtration flow temperature) on loading characteristics active porosity,

the coefficients that characterize the rates of mass transfer during physical and chemical adsorption and desorption of components of a multicomponent impurity) will consist of the equations of motion of the filtration flow according to Darcy's law, equations to determine the change in the concentrations of the components of the multicomponent impurity in the filtration stream and on the surface of the loading adsorbent, held by physical and chemical adsorption, filtration flow temperature, filtration coefficient, active porosity and pressure along the filter height respectively for filtration modes:

$$\begin{cases} (\sigma \cdot C)'_t = \operatorname{div} (D \cdot \operatorname{grad} C) - \bar{v} \cdot \operatorname{grad} C - \\ - \alpha \cdot C + \beta \cdot U - \alpha^* \cdot C, \\ (\sigma \cdot U)'_t = \operatorname{div} (D^* \cdot \operatorname{grad} U) + \alpha \cdot C - \beta \cdot U, \\ (\sigma \cdot W)'_t = \operatorname{div} (D^{**} \cdot \operatorname{grad} W) + \alpha^* \cdot C, \\ (\sigma \cdot T)'_t = \operatorname{div} (D^{***} \cdot \operatorname{grad} T) - \bar{v} \cdot \operatorname{grad} T + \\ + \gamma \cdot (\alpha \cdot C - \beta \cdot U) + \gamma^* \cdot \alpha^* \cdot C, \\ \bar{v} = -\kappa \cdot \operatorname{grad} h, \\ \kappa'_t = -\mu \cdot U - \mu^* \cdot W, \\ \sigma'_t = -\lambda \cdot U - \lambda^* \cdot W, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}, \end{cases}$$

chemical regeneration:

$$\begin{cases} (\sigma \cdot C)'_t = \operatorname{div} (D \cdot \operatorname{grad} C) - \bar{v} \cdot \operatorname{grad} C + \\ + \beta \cdot U - \alpha \cdot C + \beta^* \cdot W, \\ (\sigma \cdot U)'_t = \operatorname{div} (D^* \cdot \operatorname{grad} U) - \beta \cdot U + \alpha \cdot C, \\ (\sigma \cdot W)'_t = \operatorname{div} (D^{**} \cdot \operatorname{grad} W) - \beta^* \cdot W, \\ (\sigma \cdot T)'_t = \operatorname{div} (D^{***} \cdot \operatorname{grad} T) - \bar{v} \cdot \operatorname{grad} T + \\ + \gamma \cdot (\beta \cdot U - \alpha \cdot C) + \gamma^* \cdot \beta^* \cdot W, \\ \bar{v} = -\kappa \cdot \operatorname{grad} h, \\ \kappa'_t = \mu \cdot U + \mu^* \cdot W, \\ \sigma'_t = \lambda \cdot U + \lambda^* \cdot W, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}, \end{cases}$$

reverse and direct flushing:

$$\begin{cases} (\sigma \cdot C)'_t = \operatorname{div} (D \cdot \operatorname{grad} C) - \bar{v} \cdot \operatorname{grad} C + \\ + \beta \cdot U - \alpha \cdot C - \alpha^* \cdot C, \\ (\sigma \cdot U)'_t = \operatorname{div} (D^* \cdot \operatorname{grad} U) - \beta \cdot U + \alpha \cdot C, \\ (\sigma \cdot W)'_t = \operatorname{div} (D^{**} \cdot \operatorname{grad} W) + \alpha^* \cdot C, \\ (\sigma \cdot T)'_t = \operatorname{div} (D^{***} \cdot \operatorname{grad} T) - \bar{v} \cdot \operatorname{grad} T + \\ + \gamma \cdot (\beta \cdot U - \alpha \cdot C) + \gamma^* \cdot \alpha^* \cdot C, \\ \bar{v} = -\kappa \cdot \operatorname{grad} h, \\ \kappa'_t = \mu \cdot U - \mu^* \cdot W, \\ \sigma'_t = \lambda \cdot U - \lambda^* \cdot W, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}, \end{cases}$$

which are supplemented by the following boundary conditions:

$$\begin{cases} C|_{S_*} = c_*^*, C'_n|_{S_*} = 0, C''_n|_{S_*} = 0, \\ U|_{S_*} = u_*^*, U'_n|_{S_*} = 0, U''_n|_{S_*} = 0, \\ W|_{S_*} = w_*^*, W'_n|_{S_*} = 0, W''_n|_{S_*} = 0, \\ T|_{S_*} = T_*^*, T'_n|_{S_*} = 0, T''_n|_{S_*} = 0, \end{cases}$$

initial conditions:

$$\begin{cases} C|_{t=0} = c_0^0, U|_{t=0} = u_0^0, W|_{t=0} = w_0^0, \\ T|_{t=0} = T_0^0, h|_{t=0} = h_0^0, \kappa|_{t=0} = \kappa_0^0, \sigma|_{t=0} = \sigma_0^0, \end{cases}$$

and conditions of consistency on the surfaces of the section S_{*r} ($r = \overline{1, p-1}$):

$$\begin{cases} C|_{S_{r-}} = C|_{S_{r+}}, D_r \cdot C'_n - v_{rn}^0 \cdot C|_{S_{r-}} = \\ = D_{r+1} \cdot C'_n - v_{rn}^0 \cdot C|_{S_{r+}}, \\ U|_{S_{r-}} = U|_{S_{r+}}, D_r^* \cdot U'_n|_{S_{r-}} = D_{r+1}^* \cdot U'_n|_{S_{r+}}, \\ W|_{S_{r-}} = W|_{S_{r+}}, D_r^{**} \cdot W'_n|_{S_{r-}} = D_{r+1}^{**} \cdot W'_n|_{S_{r+}}, \\ T|_{S_{r-}} = T - \theta \cdot T|_{S_{r+}}, D_r^{***} \cdot T'_n - v_{rn}^0 \cdot T|_{S_{r-}} = \\ = D_{r+1}^{***} \cdot T'_n - v_{rn}^0 \cdot T - \theta \cdot T|_{S_{r+}}, \\ h|_{S_{r-}} = h|_{S_{r+}}, \kappa_r \cdot h'_n|_{S_{r-}} = \kappa_r \cdot h'_n|_{S_{r+}}, \\ D_r \cdot C'_n - v_{rn} \cdot C + D_r^* \cdot U' + D_r^{**} \cdot W'_n|_{S_{r-}} = \\ = D_{r+1} \cdot C'_n - v_{rn} \cdot C + D_{r+1}^* \cdot U' + D_{r+1}^{**} \cdot W'_n|_{S_{r+}}, \\ (\sigma \cdot (C + U + W))'_n|_{S_{r-}} = (\sigma \cdot (C + U + W))'_n|_{S_{r+}}, r = \overline{1, p-1}, \end{cases}$$

where $C = C(x, y, z, t)$, $U = U(x, y, z, t)$ i $W = W(x, y, z, t)$ is the concentration of impurities in the filtration stream and on the surface of the loading adsorbent, respectively, retained by physical and chemical adsorption, $T = T(x, y, z, t)$ is filtration flow temperature, $h = h(x, y, z, t)$ is pressure, $\kappa = \kappa(x, y, z, t)$ is filtration coefficient, $\sigma = \sigma(x, y, z, t)$ is active porosity, $\vec{v} = \vec{v}(v_x, v_y, v_z)$ is filtration rate vector, $v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2(x, y, z) + v_y^2(x, y, z) + v_z^2(x, y, z)} \gg 0$, \vec{n} is external normal to the corresponding surface, D , D^* i D^{**} is diffusion coefficients of impurities in the filtration stream and on the surface of the loading adsorbent, respectively, retained by physical and chemical adsorption, $D = \{D_r, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$, $D_r = \varepsilon \cdot d_{r,0}$, $d_{r,0} > 0$ ($r = \overline{1, p}$), $D^* = \{D_r^*, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$, $D_r^* = \varepsilon \cdot d_{r,0}^*$, $d_{r,0}^* > 0$ ($r = \overline{1, p}$), $D^{**} = \{D_r^{**}, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$, $D_r^{**} = \varepsilon \cdot d_{r,0}^{**}$, $d_{r,0}^{**} > 0$ ($r = \overline{1, p}$), D^{***} is coefficient of thermal conductivity, $D^{***} = \{D_r^{***}, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$, $D_r^{***} = \varepsilon \cdot d_{r,0}^{***}$, $d_{r,0}^{***} > 0$ ($r = \overline{1, p}$), α i β is coefficients characterizing the mass transfer rate, respectively, during physical adsorption and desorption of impurities, for the model problem of predicting the filtration mode

$$\alpha = \{\alpha_r, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\},$$

$$\alpha_r = \sum_{s_1=0}^2 \sum_{s_2=0}^{2-s_1} \varepsilon^{s_1+s_2} \cdot \alpha_{r,s_1,s_2} \cdot v^{s_1} \cdot T^{s_2}, \alpha_{r,s_1,s_2} \in \mathbb{R} (r = \overline{1, p},$$

$$s_1, s_2 = \overline{0, 2}), \beta = \{\beta_r, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\},$$

$$\beta_r = \varepsilon \cdot \sum_{s_1=0}^2 \sum_{s_2=0}^{2-s_1} \varepsilon^{s_1+s_2} \cdot \beta_{r,s_1,s_2} \cdot v^{s_1} \cdot T^{s_2}, \beta_{r,s_1,s_2} \in \mathbb{R}$$

($r = \overline{1, p}$, $s_1, s_2 = \overline{0, 2}$), and model problems of forecasting the modes of chemical regeneration, reverse and direct washing $\alpha = \{\alpha_r, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$,

$$\alpha_r = \varepsilon \cdot \sum_{s_1=0}^2 \sum_{s_2=0}^{2-s_1} \varepsilon^{s_1+s_2} \cdot \alpha_{r,s_1,s_2} \cdot v^{s_1} \cdot T^{s_2}, \alpha_{r,s_1,s_2} \in \mathbb{R}$$

$$(r = \overline{1, p}, s_1, s_2 = \overline{0, 2}), \beta = \{\beta_r, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\},$$

$$\beta_r = \sum_{s_1=0}^2 \sum_{s_2=0}^{2-s_1} \varepsilon^{s_1+s_2} \cdot \beta_{r,s_1,s_2} \cdot v^{s_1} \cdot T^{s_2}, \beta_{r,s_1,s_2} \in \mathbb{R} (r = \overline{1, p},$$

$s_1, s_2 = \overline{0, 2}$), α^* is coefficient that characterizes the rate of mass transfer during chemical adsorption of impurities, for model problems of predicting filtration modes, reverse and direct washing, $\alpha^* = \{\alpha_r^*, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$,

$$\alpha_r^* = \sum_{s_1=0}^2 \sum_{s_2=0}^{2-s_1} \varepsilon^{s_1+s_2} \cdot \alpha_{r,s_1,s_2}^* \cdot v^{s_1} \cdot T^{s_2}, \alpha_{r,s_1,s_2}^* \in \mathbb{R} (r = \overline{1, p},$$

$s_1, s_2 = \overline{0, 2}$), β^* is coefficient that characterizes the rate of mass transfer during chemical desorption of impurities, for the model problem of predicting the regime of chemical regeneration, $\beta^* = \{\beta_r^*, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$,

$$\beta_r^* = \sum_{s_1=0}^2 \sum_{s_2=0}^{2-s_1} \varepsilon^{s_1+s_2} \cdot \beta_{r,s_1,s_2}^* \cdot v^{s_1} \cdot T^{s_2}, \beta_{r,s_1,s_2}^* \in \mathbb{R} (j = \overline{1, m},$$

$$r = \overline{1, p}, s_1, s_2 = \overline{0, 2}), \gamma$$

is coefficient characterizing the rate of change of the filtration flow temperature during physical adsorption and desorption of impurities,

$$\gamma = \{\gamma_r, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}, \gamma_r \in \mathbb{R} (r = \overline{1, p}), \gamma^*$$

is coefficient characterizing the rate of change of the filtration flow temperature during chemical adsorption and desorption of impurities, $\gamma^* = \{\gamma_r^*, (x, y, z) \in G_z^r,$

$r = \overline{1, p}\}$, $\gamma_r^* \in \mathbb{R} (r = \overline{1, p})$, μ i λ is coefficients characterizing the rate of change, respectively, of the filtration coefficient and the active porosity of the load during physical adsorption and desorption of impurities,

$$\mu = \{\mu_r, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}, \mu_r = \varepsilon \cdot \sum_{s=0}^2 \varepsilon^s \cdot \mu_{r,s} \cdot T^s,$$

$$\mu_{r,s} \in \mathbb{R} (r = \overline{1, p}, s = \overline{0, 2}),$$

$$\lambda = \{\lambda_r, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}, \lambda_r = \varepsilon \cdot \bar{\lambda}_r (r = \overline{1, p}),$$

μ^* i λ^* is coefficients characterizing the rate of change, respectively, of the filtration coefficient and the active porosity of the load during chemical adsorption and desorption of impurities,

$$\mu^* = \{\mu_r^*, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}, \mu_r^* = \varepsilon \cdot \sum_{s=0}^2 \varepsilon^s \cdot \mu_{r,s}^* \cdot T^s,$$

$\mu_{r,s}^* \in \mathbb{R}$ ($r = \overline{1, p}$, $s = \overline{0, 2}$),
 $\lambda^* = \{\lambda_r^*(x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$, $\lambda_r^* = \varepsilon \cdot \bar{\lambda}_r^*$ ($r = \overline{1, p}$),
 θ_r is coefficient that for the model problem of forecasting the filtration mode characterizes the rate of temperature change at the interface S_{*r}^* due to the automated removal of part of the heat,
 $\theta_r = \begin{cases} 0, & T \leq T_r^0, \\ \theta_r^*, & T \geq T_r^*, \end{cases}$ $\theta_r^* \in \mathbb{R}$, $T_r^0 \in \mathbb{R}$, $T_r^* \in \mathbb{R}$
($r = \overline{1, p-1}$), $\alpha_r = \alpha_r(x, y, z, t)$, $\beta_r = \beta_r(x, y, z, t)$,
 $\alpha_r^* = \alpha_r^*(x, y, z, t)$, $\beta_r^* = \beta_r^*(x, y, z, t)$, $\mu_r = \mu_r(x, y, z, t)$,
 $\bar{\lambda}_r = \bar{\lambda}_r(x, y, z, t)$, $\mu_r^* = \mu_r^*(x, y, z, t)$, $\bar{\lambda}_r^* = \bar{\lambda}_r^*(x, y, z, t)$
($r = \overline{1, p}$) is continuous limited functions, ε is small parameter ($\varepsilon > 0$), $c_0^0 = \{c_r^0, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$,
 $u_0^0 = \{u_r^0, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$,
 $w_0^0 = \{w_r^0, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$,
 $T_0^0 = \{T_r^0, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$,
 $h_0^0 = \{h_r^0, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$,
 $\kappa_0^0 = \{\kappa_r^0, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$,
 $\sigma_0^0 = \{\sigma_r^0, (x, y, z) \in G_z^r, r = \overline{1, p}\}$, $c_*^* = c_*^*(M, t)$,
 $c_r^0 = c_r^0(x, y, z)$, $u_*^* = u_*^*(M, t)$, $u_r^0 = u_r^0(x, y, z)$,
 $w_*^* = w_*^*(M, t)$, $w_r^0 = w_r^0(x, y, z)$, $T_*^* = T_*^*(M, t)$,
 $T_r^0 = T_r^0(x, y, z)$, $h_r^0 = h_r^0(x, y, z)$, $\kappa_r^0 = \kappa_r^0(x, y, z)$,
 $\sigma_r^0 = \sigma_r^0(x, y, z)$ ($r = \overline{1, p}$) is quite smooth functions, consistent with each other on the edges of the domain G [11], $M \in S_*$, $v_{r,n}^0$ i $v_{r,n}$ ($r = \overline{1, p-1}$) is respectively, the initial and current normal velocity components on the interface S_{*r}^* ($r = \overline{1, p-1}$).

III. PROBLEM SOLVING AND CONCLUSIONS

Algorithms for numerical-asymptotic approximations of solutions of the corresponding nonlinear singularly perturbed boundary value problems for model regions of conical shape bounded by two equipotential surfaces and the flow surface are obtained analogously to [9–11].

The proposed models for predicting the processes of “filtration-regeneration” of rapid cone-shaped adsorption filters with piecewise homogeneous porous loads in the complex by taking into account the influence of temperature effects on the internal kinetics of mass transfer similarly [9, 10] allow computer experiments to better investigate the concentrations of the components of the multicomponent impurity in the filtration flow and on the surface of the loading adsorbent, due to physical and chemical adsorption, filtration flow temperature, filtration coefficient and active porosity in each loading layer along the filter height on their basis to predict more optimal use of adsorbents of each loading layer and time intervals of filters, respectively, in the modes of filtration,

backwashing, chemical regeneration and direct washing with constant speeds of the respective modes.

REFERENCES

- [1] Edzwald J. Water Quality & Treatment. A Handbook on Drinking Water. McGraw-Hill Professional, 2010. 1996 p.
- [2] Hendricks D. W. Fundamentals of water treatment unit processes: physical, chemical, and biological. Boca Raton : CRC Press, 2011. 883 p.
- [3] Орлов В. О., Мартинов С. Ю., Зошук А. М. Проектування станцій прояснення та знебарвлення води. Рівне : НУВГП, 2007. 252 с.
- [4] Kinetic regularities of copper ions adsorption by natural zeolite / V. Sabadash, O. Mylanyk, O. Matsuska, J. Gumnytsky. *Chemistry and chemical technology*. 2017. Vol. 11, No. 4. P. 459–462.
- [5] Сакалова Г. В., Василініч Т. М. Дослідження ефективності очищення стічних вод від іонів важких металів з використанням природних адсорбентів : монографія. Вінниця : ТОВ “Твори”, 2019. 92 с.
- [6] Бомба А. Я., Сафоник А. П. Моделювання нелінійно-збурених процесів очищення рідин від багатокомпонентних забруднень: монографія. Рівне : НУВГП, 2017. 296 с.
- [7] Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. М. : Стройиздат, 1964. 156 с.
- [8] Макаревич Н. А., Богданович Н. И. Теоретические основы адсорбции : учебное пособие. Архангельск : САФУ, 2015. 362 с.
- [9] Bomba A., Klymyuk Yu., Prysiazhniuk I. Computer prediction of adsorption water purification process in rapid cone-shaped filters. *Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska*. Warsaw : IAPGOŚ, 2020. № 4. P. 19–24.
- [10] Климяк Ю. С., Бомба А. Я. Комп’ютерне прогнозування процесів “фільтрування–регенерація” швидких конусоподібних адсорбційних фільтрів з кусково-однорідними пористими завантаженнями. *Математичне та комп’ютерне моделювання. Сер. Технічні науки*. Вип. 21. Кам’янець-Подільськ : Кам’янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2020. С. 83–101.
- [11] Бомба А. Я., Климяк Ю. С. Математичне моделювання просторових сингулярно-збурених процесів типу фільтрація-конвекція-дифузія : монографія. Рівне : ТзОВ фірма “Ассоль”, 2014. 273 с.

Analysis of machine learning methods using spam filtering

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.06>

Nataliya Boyko

department of artificial intelligence
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
Nataliya.i.boyko@lpnu.ua

Oleksandra Dypko

department of artificial intelligence
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
oleksandra.dypko.knm.2018@lpnu.ua

Abstract — The paper considers methods of the naive Bayesian classifier. Experiments that show independence between traits are described. Describes the naive Bayesian classifier used to filter spam in messages. The aim of the study is to determine the best method to solve the problem of spam in messages. The paper considers three different variations of the naive Bayesian classifier. The results of experiments and research are given.

Keywords — classification; naive Bayes; machine learning; spam filtering.

I. INTRODUCTION

Spam e-mail is a problem that determines the significant economic impact on society. Spam is a waste of time, storage space and communication bandwidth. The problem of e-mail with the accumulation of spam is gaining relevance. According to the latest statistics, 54.61% of all emails are spam. This is about 15.4 billion emails per day. That is why spam filtering using the naive Bayesian classifier is a topical issue for research [1, 5].

The choice of naive Bayesian classifiers to solve the problem of spam filtering is due to the fact that today they are the most widely used filters for spam classification. They are used in free webmail servers and open source systems [3, 8].

The naive Bayesian classifier method has some advantages over other classifiers that can be used for spam filtering. The paper describes: prediction of the test data set class and the naive Bayes classifier, which works in multi-class forecasting [6, 10, 12].

II. METHODS OVERVIEW

A. Statement of the classification problem

Spam filtering is a type of text classification task, so the following model of the classification task should be used. Statement of the problem of text classification [7, 12]:

Let $\epsilon = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ be a set of text documents with a set of features $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ (ie each text document $d_i = (w_1, w_2, \dots, w_n)$) and a given function of the distance (metric) between objects $\rho(d_i, d_j)$, where $d_i, d_j \in D$ objects.

The classification function is a function $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, which unambiguously corresponds f to each object $d \in D$ cluster number $y \in Y = \{1, \dots, k\}$, $k \leq m$. It is necessary to find such a function f^* that $Q(f^*, C, \rho) = \min(Q(f, C, \rho))$, where $Q(f, C, \rho)$ is the chosen criterion of classification quality.

B. Naive classifier of Bayes

The Bayesian classifier is a broad class of classification algorithms based on the principle of maximum posterior probability. For a classified object, the probability functions of each of the classes are calculated, as well as the back probability of the class. The object belongs to the class for which the rear probability is maximum [2, 4].

The Bayesian classifier is based on the Bayesian theorem – one of the basic theorems of probability theory, which allows to determine the probability of any event A provided that there is another statistically interrelated event B (Formula 1) [1, 6]:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}. \quad (1)$$

Using formula 1, we can calculate the conditional probability $P(A|B)$ that an event A took place, if event B was observed as a result of the experiment, with the known probabilities of occurrence of events – $P(A)$ and $P(B)$, and the conditional probability of occurrence events A with existing B – $P(B|P)$.

Suppose that for each class $C_j \in C$ we know the a priori probability $P(C_j)$ of the appearance of an object of class C_j and the distribution density $P(d|C_j)$ of each of the classes, also called the likelihood functions of the classes.

According to Bayes' theorem, the probability that document d belongs to the class C_j is calculated as follows (Formula 2) [1, 8, 11]:

$$P(C_j|d) = \frac{P(d|C_j)P(C_j)}{P(d)}, \quad (2)$$

where $P(C_j|d)$ – the probability that the document d belongs to the class C_j , this is what we need to calculate; $P(d|C_j)$ – probability to find document d among documents of class C_j (density of class C_j distribution); $P(C_j)$ – a priori (unconditional) probability of the class of occurrence of the document of

class C_j ; $P(d)$ – unconditional probability of appearance of the document d in the body of documents.

The value $P(C_j | d) = \frac{P(d | C_j) P(C_j)}{P(d)}$ is interpreted as an a posteriori probability that the object d belongs to the class $C_j \in C$.

The most probable class C^* to which the document d belongs is the class for which the conditional probability of belonging of the document d class C_j is maximum (Formula 3) [1, 9]:

$$C^* = \arg \max_j P(C_j | d). \quad (3)$$

It is necessary to calculate the probability for all classes and select the class for which the probability has the maximum value. By Bayes' theorem (Formula 4):

$$C^* = \arg \max_j \frac{P(d | C_j) P(C_j)}{P(d)}. \quad (4)$$

According to the solved classification problem, each document $d \in D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ is given by signs with $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, ie each text document $d_i = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. For this model, the features of the document should be considered some characteristics associated with the words contained in it.

The next step is to make an assumption, which explains why this algorithm is called naive. It reads as follows: the denominator can be omitted, because for the same document d the probability $P(d)$ will be the same, which means that it can be ignored (Formula 5):

$$C^* = \arg \max_j P(w_1, w_2, \dots, w_n | C_j) P(C_j). \quad (5)$$

Also in the model of the naive Bayesian classifier it is assumed that all the features w_1, w_2, \dots, w_n of the document d are independent of each other. It is clarified that the position of the term in the sentence is not important.

Thus, the conditional probability $P(w_1, w_2, \dots, w_n | C_j)$ for the features w_1, w_2, \dots, w_n can be represented as follows (Formula 6):

$$P(w_1, w_2, \dots, w_n | C_j) = \prod_j P(w_i | C_j). \quad (6)$$

Thus, to find the most probable class for the document $d = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ using the available Bayesian classifier, it is necessary to calculate the conditional probabilities of the document d for each of the presented classes and choose the class with the maximum probability (principle of maximum a posteriori probability) (Formula 7):

$$C^* = \arg \max_j [P(C_j) \prod_j P(w_i | C_j)], j = 1, 2. \quad (7)$$

Therefore, it all comes down to calculating the probabilities $P(C)$ and $P(w | C)$. Calculating these parameters is called classifier training.

III. REVIEW AND ANALYSIS OF DATA

A dataset consisting of a set of SMS messages should be used for this study. The dataset contains information about SMS-messages, each of which belongs to one of the categories – "spam" or "ham". The total number of records is 5572. After performing a preliminary analysis of the dataset, you need to remove

the attributes that will not be necessary for remote data processing. In Fig. 1 below shows the structure of the dataset.

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 5572 entries, 0 to 5571
Data columns (total 2 columns):
#   Column      Non-Null Count  Dtype
---  ---
0   category    5572 non-null   object
1   text        5572 non-null   object
dtypes: object(2)
memory usage: 87.2+ KB
```

Figure 1. Dataset structure

In fig. 2 shows the first 10 records of the dataset, namely the three features. Each entry in the columns is text, in the first column of unique values only two: "spam", "ham"; in the second more, because they are text messages from different people, so the same messages are very rare.

	category	text
0	ham	Go until jurong point, crazy.. Available only...
1	ham	Ok lar... Joking wif u oni...
2	spam	Free entry in 2 a wkly comp to win FA Cup fina...
3	ham	U dun say so early hor... U c already then say...
4	ham	Nah I don't think he goes to usf, he lives aro...
5	spam	FreeMsg Hey there darling it's been 3 week's n...
6	ham	Even my brother is not like to speak with me. ...
7	ham	As per your request 'Melle Melle (Oru Minnamin...
8	spam	WINNER!! As a valued network customer you have...
9	spam	Had your mobile 11 months or more? U R entitle...

Figure 2. The first 10 records of the dataset

A. Experiments with the Bayesian classifier

During the experiments, different variations of the Bayesian classifier were compared, namely the Bernoulli classifier, the Gaussian classifier and the polynomial classifier. You need to determine the correctness and accuracy of each of them to understand which one is best for filtering spam in messages.

You first need to analyze and review the dataset, and then you need to remove any characters that are not letters except the space, and reduce the case to lowercase for better classifier performance.

The next step is to remove words that are very common but do not make sense in the sentences. In English, these are articles, pronouns, prepositions that stand next to words.

The naive Bayesian classifier uses the TF-IDF statistic, which exists to evaluate important words in documents.

TF (word frequency) characterizes the ratio of the number of input specific words to the total set of words in the documents. IDF (inverse frequency of the document) characterizes the inversion of the frequency with which a particular word is used in the text.

(1, 5096)	0.2827396376113674
(2, 71)	0.23721487928875096
(2, 1203)	0.1696767395440564
(2, 5730)	0.23721487928875096
(2, 7169)	0.12747363739866063
(2, 5686)	0.23721487928875096
(2, 5770)	0.16314375518709073
(2, 865)	0.2230034608092439
:	:
(5567, 7114)	0.20462192608903468
(5567, 6972)	0.17534814880677246
(5567, 5587)	0.2609649194451672
(5567, 1993)	0.20537326878497886
(5567, 5586)	0.21515455417138535

Figure 3. The value of the statistical indicator TD-IDF for each word

In fig. 3 presents two columns, the first of which is a pair of numbers: the number of the sample element and the unique token of this element; the numbers in the second column are the calculated TF-IDF value, which means how important the word is in the text.

The next step is to learn the classifier model and the prediction itself. To do this, the dataset is divided into two samples – test and training in the ratio of 25% to 75%, respectively. As already mentioned, we will teach three models of the Bayesian classifier.

The results of the prediction of different variations of the classifier (Fig. 4):

```
Multinomial Bayes
Accuracy score: 0.9575856443719413
Time for trainig and prediction: 0.24386072158813477
```

Figure 4. Estimation of correctness of prediction by polynomial model

The result of the polynomial model, presented in Fig. 4, shows that the accuracy reached approximately 95.8% and 0.2439 seconds were spent to perform the classification (Fig. 5).

```
Gaussian Bayes
Accuracy score: 0.8591625883632409
Time for trainig and prediction: 2.104794502258301
```

Figure 5. Estimation of the correctness of the prediction by the Gaussian model

In fig. 5 shows that the accuracy of the classification by the Gaussian model reached approximately 85.9% and 2,104 seconds were spent on the classification (Fig. 6).

```
Bernoulli Bayes
Accuracy score: 0.9706362153344209
Time for trainig and prediction: 0.6946022510528564
```

Figure 6. Estimation of the correctness of the prediction of the Bernoulli model

The result of the Bernoulli model, presented in Fig. 6, shows that the accuracy reached approximately 97.06% and it took 0.695 seconds to perform the classification.

IV. DISCUSSION OF THE RESULTS OF THE EXPERIMENTS

Given all the results of the experiments conducted in the previous section, we can say that the naive Bayesian classifier Bernoulli best solves the problem of classification of spam messages, as this problem is most common in various messengers and online platforms, where spam attacks spread quickly across the platform, so to resist, that is, to block at the beginning of the attack, you need to quickly adapt the template to new words.

Consider the difference between the three different functions of the Naive Bayes family that we used in the previous section, namely the Bernoulli classifier, the Gaussian class, and the polynomial classifier. The paper determined the correctness and accuracy of each of them to understand which of them is the best for filtering spam in messages.

To compare different variations of the naive Bayesian method classifier, accuracy estimates, program

execution time, and a confusion matrix should be used, which shows the percentage of positive / negative true and false values.

First, a comparison of the accuracy of each method in tabular and graphical form should be presented. Each algorithm first learns from the training data, and then tests on the test. To determine the accuracy of the algorithms, you need to use the built-in sklearn.naive_bayes library .score () function. The input function takes two parameters: X and Y, which are the educational part of the sample. The function returns the average accuracy of the given data.

TABLE 1. COMPARISON OF ACCURACY OF PERFORMANCE OF DIFFERENT VARIATIONS OF NAIVE BAYES

Method	Accuracy	Time
MultinomialNB	0.9575856	0.3036868
GaussianNB	0.86405655	2.02284264
BernoulliNB	0.974986405	0.8595001

In the table. 1 presents a comparison of the accuracy and execution time obtained during testing of each method from the naive Bayes family. For a better understanding, each of the relationships should be presented in the form of bar charts (Fig. 7).

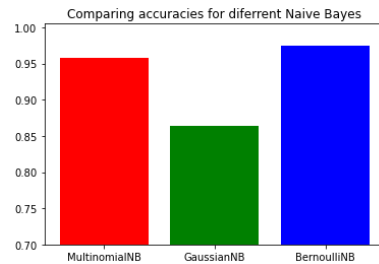


Figure 7. Comparison of the accuracy of different models of the Bayesian classifier

In fig. Figure 7 presents a comparison of the accuracy of classification with different variations of the Bayesian classifier models. There are three variations, namely: MultinomialNB, GaussianNB, BernoulliNB on the X axis. On the B axis, the value of accuracy. From fig. 7 shows that Bernoulli's model performed the prediction with greater accuracy. In turn, the polynomial model performed the prediction with slightly less accuracy than Bernoulli. Specifically, the Gaussian method of classification of the naive Bayes family lags behind in comparison with other models.

In fig. 8 presents a visualization of the comparison of the execution time of each classifier model.

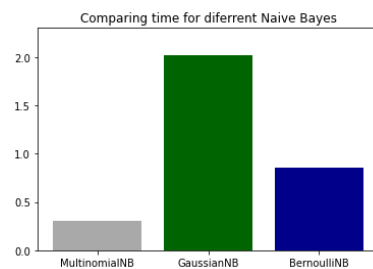


Figure 8. Comparison of program execution time by different models

In fig. 8 presents a comparison of the classification execution time with different variations of the Bayesian classifier models. Variations such as MultinomialNB, GaussianNB, BernoulliNB along the X axis are presented. From fig. 8 shows that the Gaussian model performed the classification for the longest, more than two seconds, in turn, the multinomial model performed the classification on the same data in about 0.3 seconds. The execution time of the Bernoulli model is about 0.9 seconds.

CONCLUSION

The presented study considered widely used variations of the naive Bayes method and their belonging to the problem of classification of e-mail that contains spam. Descriptions of algorithms, and also comparison of their productivity are presented. The results of the experiments showed very promising results, especially in two of the three functions of the Bayesian classifier.

It is established that the current problem of spam filtering in e-mails is best solved by the Bernoulli model of the naive Bayes method, because this model has achieved the highest accuracy and productivity. The Bayesian multinomial model, despite its slightly lower accuracy, is also noteworthy.

The naive Bayesian classifier method has some advantages over other classifiers that can be used for spam filtering. Thus, we can distinguish the main ones: the prediction of the test data set class and the naive Bayes classifier. Predicting the independence of the naive Bayes classifier compared to other models, such as logistic regression, the method works better. Accordingly, less training data is required for work. The classifier works well in the case of categorical input variables compared to numeric variables, because the numeric variables have a normal distribution.

REFERENCES

- [1] A. McCallum, K. Nigam, et al., "A comparison of event models for naive bayes text classification," in *AAAI-98 workshop on learning for text categorization*, vol. 752, 1998, pp. 41–48.
- [2] G. Cormack, "Email spam filtering: a systematic review", *Found Trends Inf Retr.* 1(4), 2008, pp. 335–455.
- [3] L. Wenbin, N. Zhong, "Spam Filtering and Email-Mediated Applications", *Web Intelligence Meets Brain Informatics Lecture Notes in Computer Science*, pp. 382–405. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-540-77028-2_23
- [4] N. Boyko, P. Telishevskiy, B. Kushka, "Analysis of recommendation system methods for accuracy of predicted estimates", *CEUR Workshop Proceedings*, 2021, pp. 1878–1888.
- [5] I. Androutsopoulos, J. Koutsias, K.V. Chandrinos, C.D. Spyropoulos, "An experimental comparison of naive Bayesian and keyword-based anti-spam filtering with encrypted personal e-mail messages", in: *Proc. of the 23rd Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR 2000)*, 2000, pp. 160–167. URL: <https://doi.org/10.1145/345508.345569>
- [6] I. Androutsopoulos, P. Georgios, E. Michelakis, "Learning to filter unsolicited commercial e-mail", *Technical Report 2004/2*, NCSR Demokritos00, 2004.
- [7] R. Bergman, M. Griss, C. Staelin, "A personal email assistant. Technical Report HPL-2002-236", HP Labs Palo Alto, 2002. URL: <http://citeseer.ist.psu.edu/bergman02personal.html>.
- [8] T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila, "The Semantic Web: a new form of Web content that is meaningful to computers will unleash a revolution of new possibilities", *Scientific American*, 284(5), 2001, pp. 34–43. URL: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0501-34>.
- [9] P. O. Boykin, V. Roychowdhury, "Personal email networks: an effective anti-spam tool", *IEEE Computer*, 38(4), 2005, pp. 61–68. URL: <https://doi.org/10.1109/MC.2005.132>
- [10] D. Chris, C.H. Robert, "Cost curves: an improved method for visualizing classifier performance", *Machine Learning*, 65(1), 2006, pp. 95–130. URL: <https://doi.org/10.1007/s10994-006-8199-5>.
- [11] N. Boyko, "Application of mathematical models for improvement of "cloud" data processes organization", in *Mathematical Modeling and Computing*, Vol. 3(2), 2016, pp. 111–119. DOI: <https://doi.org/10.23939/mmc2016.02.111>
- [12] P. Domingos and M. Pazzani, "On the optimality of the simple bayesian classifier under zero-one loss," *Machine learning*, vol. 29, no. 2–3, 1997, pp. 103–130.

Analysis of tumor classification algorithms for breast cancer prediction by machine learning methods

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.07>

Nataliya Boyko

department of artificial intelligence
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
Nataliya.i.boyko@lpnu.ua

Olena Kulchytska

department of artificial intelligence
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
olenakulchutska3@gmail.com

Annotations — The paper presents machine learning methods for classification and forecasting problems. Tumor classification algorithms based on the Random Forest method are considered. To understand the distribution of classified data, a 3D graph of the three attributes of the data set was implemented. For a better understanding, graphs were constructed, namely the ROC curve and the RP curve. The AUC value for the model was also determined. The results of the graphs and AUC values were compared with the NoSkill model, ie the model without skills. High quality of the received models is offered.

Keywords — machine learning; tumor; random forest; foresight; classification.

I. INTRODUCTION

Breast cancer is the most common cancer among women in the world. It accounts for 25% of all cancers, and in 2015 alone more than 2.1 million women were affected. Early diagnosis significantly increases the chances of survival [2, 3]. The main problems facing its detection are how to classify tumors into malignant (cancerous) or benign (non-cancerous). A tumor is considered malignant if the cells can grow into surrounding tissues or spread to distant parts of the body. A benign tumor does not penetrate the surrounding tissues and does not spread to other parts of the body, like cancerous tumors. But benign tumors can be serious if they put pressure on vital structures such as blood vessels or nerves [1, 8].

The aim of the work is to analyze tumor classification algorithms based on the Random Forest method. Achieving this goal will be implemented using methods of data mining and machine learning and requires specific tasks:

- establish general principles of classification;
- clarify its characteristics;
- building a process model according to the dataset.

II. ANALYSIS OF MATERIALS AND METHODS

Random Forest is a controlled learning algorithm. It can be used for both classification and regression. It is also the most flexible and easy to use algorithm. The forest consists of trees. It is said that the more trees in

him, the stronger the forest. Random forests create decision trees on randomly selected data samples, obtain forecasts from each tree, and select the best solution by voting. It also provides a pretty good indicator of the importance of the function.

The primary task of machine learning is classification, to determine the class (group) of affiliation of observation. Data science provides many classification algorithms, such as logistic regression, vector support machine, naive Bayesian classifier, and decision tree. But at the top of the classifier hierarchy is a random forest classifier.

Random forest is implemented in various programs in various fields, such as recommendation mechanisms, image classification and feature selection. In this study, it should be used to classify and predict diseases. It is the basis of Borut's algorithm, which selects important functions of the data set [6, 10].

A random forest consists of a large number of individual decision trees that act as an ensemble. Each individual tree in a random forest gives a prediction of the class, and the class with the most votes becomes the forecast of our model.

To begin with it is necessary to analyze the offered algorithm. Technically, this is an ensemble method (based on a "divide and conquer" approach) of decision trees formed on a randomly divided data set. This collection of decision tree classifiers is also known as forest. Individual decision trees are generated using an attribute selection indicator, such as information increment, gain, and Gini index for each attribute [4, 6].

Each tree depends on an independent random sample. In the classification problem, each tree votes, and the end result is the most popular class. In the case of regression, the average value of all tree outputs is considered the end result. It is simpler and more powerful compared to other nonlinear classification algorithms [5, 7].

The basic concept behind the random forest is a simple but powerful concept – the wisdom of the crowd. In data science, the reason that the random forest model works so well is because of the large number of relatively uncorrelated models (trees) that act as a committee, surpassing any of the individual components of the model [9,11].

The algorithm works in four steps:

1. Select random samples from a given data set.
2. Build a decision tree for each sample and get the result of forecasting from each decision tree.
3. We vote for each expected result.
4. Choose the result of forecasting with the largest number of votes as the final forecast.

Low correlation between models is a key factor. The reason for this wonderful effect is that the trees protect each other from their individual mistakes (if they are not always all wrong in one direction). While some trees may be wrong, many other trees will be right, so as a group, trees can move in the right direction. Thus, the preconditions for an arbitrary forest to work well are:

- Functions must have some actual signal for models built using them to work better than random guesses.
- Predictions (and therefore errors) made by individual trees should be low correlated with each other.

III. THE PROBLEM OF CANCER IN MACHINE LEARNING

Machine learning techniques can significantly increase the level of breast cancer diagnosis. Studies show that experienced doctors can detect cancer with an accuracy of 79%, while machine learning can achieve an accuracy of 91% (sometimes up to 97%) [4, 10].

The random forest method was chosen to classify tumors into benign and malignant. The Random Forest method occupies one of the leading places in modern machine learning. Random Forest is a controlled learning algorithm. It can be used for both classification and regression. It is also the most flexible and easy to use algorithm. The forest consists of trees. Random forests create decision trees on randomly selected data samples, obtain forecasts from each tree, and select the best solution by voting [3, 7].

IV. EXPERIMENTS

A. Analysis and data processing

Before creating a classification model, a very important step is to pre-process and clean the data. The data contains information about a specific tumor. Tumor parameters are ‘mean distance from center to points around the perimeter’, ‘standard deviation of gray scale values’, ‘average tumor nucleus size’, ‘mean of local changes in radius lengths’, ‘mean weight of concave contours’ and others. Among all the signs there is one target categorical variable, which acquires the values "M" or "B" (M - malignant - malignant, B - benign - benign tumor). Working with categorical data is not very suitable for the classifier, so the change of the type of the objective function from categorical to binary is implemented. The serial number of the study of a particular tumor does not carry any useful information for prediction, so it is unnecessary. An important step in pre-processing the data is to check the data for null values and duplicates and clear the dataset from them.

Visualization of data classification in 3D space is part of data analysis. Figure 1 shows that the smaller the values of the signs, namely the average number of concave parts of the contour, the largest average value for the number of concave parts of the contour and the largest perimeter of the tumor, the greater the probability of benign tumor.

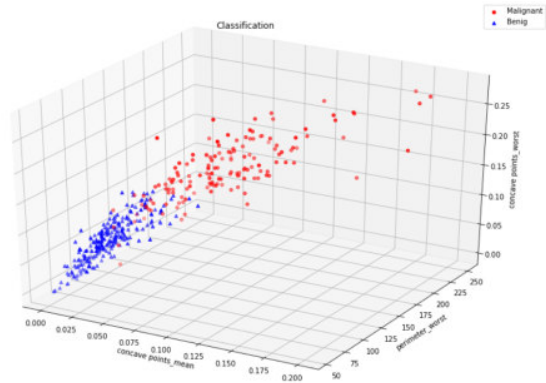


Figure 1. Data visualization

To build a good model, you should make a feature selection to clear the data from noise. To do this, we visualize the correlation matrix. The linear correlation coefficient is estimated between two random variables. Because of this, it is often called the pairwise correlation coefficient. Pearson's correlation coefficient - in statistics, the correlation index (linear dependence) between two variables X and Y, which takes values from -1 to +1 inclusive. It is widely used in science to measure the degree of linear dependence between two variables. That is, constructing a matrix, we obtain data on the linear relationship between all features.

The requirement for features is a high correlation with the target variable. However, independent variables that have a very high correlation with each other should be avoided. In this case, one of these features is removed.

Analyzing the obtained correlation matrix, it is seen that some features have a low correlation (Fig. 2) with the objective function, ie not a high linear relationship. From this we can conclude that this data can make noise and degrade the accuracy of the model. So we can remove one of them to improve accuracy.

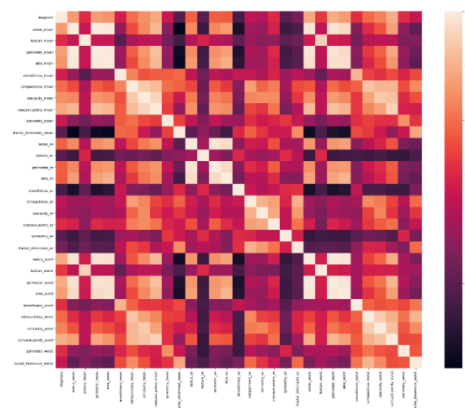


Figure 2. Correlation matrix

B. Building a model

After processing and analyzing the data, you can create and train a random forest model. Each random forest consists of a number of decision trees.

All committee trees are built independently according to a certain procedure: the classification of objects is done by voting: each committee tree refers to an object that is classified to one of the classes, and wins the class for which the largest number of trees voted.

The optimal number of trees is selected so as to minimize the classifier error in the test sample. In our case it is 10 trees (fig. 3).

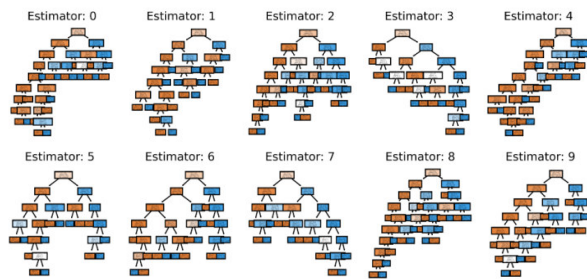


Figure 3. Visualization of a random forest model

C. Quality assessment of the model

It is not enough to consider one parameter to evaluate the model, as it is not objective. Therefore, it is necessary to determine several parameters of the model that will determine an adequate assessment of the model. These parameters include AUC (area bounded by the ROC curve) and F1-score (accuracy), R2-score (clarity) and Accuracy-score. All parameters are contained in table 1.

TABLE 1. MODEL EVALUATIONS

Model	Parameters			
	AUC	F1score	R2 score	Accuracy score
Random Forest	0.995	0.959	0.874	0.971

AUC is the area bounded by the ROC curve and the axis of the proportion of false positive classifications. The higher the AUC, the better the classifier, with a value of 0.5 indicates the unsuitability of the selected classification method (corresponds to conventional guessing). The AUC of our model is 0.995, which indicates the high quality of the classifier.

The F-measure is one of the measures of test accuracy. It is calculated through the accuracy and completeness of the test, where accuracy is the number of correctly determined positive results divided by the number of all positive results, including incorrectly defined, and completeness is the number of correctly determined positive results divided by the number of all samples to be defined as positive. The F-measure of our

model is 0.959, which indicates a very good accuracy of the classifier.

R-squared is a measure of the clarity of the model and expresses the proportion of variance of the model. In the presented study of the model, the estimate is 0.874, which means a high degree of certainty of the model.

Accuracy score is an assessment of the accuracy classification. In a multi-label classification, this function calculates the accuracy of the subset: the set of labels provided for the sample must exactly match the set of labels from the test or training sample. In our case it is equal to 0.971 on the test data. This means that about 97% of the data is classified correctly, which is a very good result and proves the high accuracy of the classifier.

D. ROC and PRC curves

ROC-curve – a graph that allows you to assess the quality of binary classification, shows the ratio between the share of objects from the total number of carriers of the feature, correctly classified to the total number of objects that do not carry features, erroneously classified as having a feature. Also known as the error curve.

The shape of the curve contains a lot of information, including what worries us most about the problem, the expected false-positive and false-negative indicators.

A classifier without skills is one that cannot distinguish classes and assumes a random or permanent class in all cases. At point (0.5, 0.5) the model without skills is presented. The model, which does not have skills at each threshold, is represented by a diagonal line from bottom to left in the graph at the top right and has an AUC of 0.5. In fig. 4 unskilled model is shown by a dotted blue line.

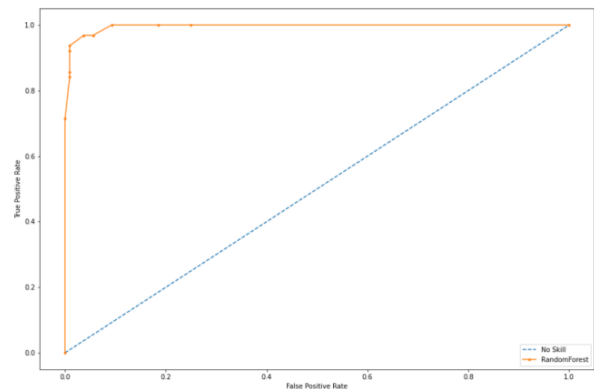


Figure 4. ROC-curve

A good model assigns a higher probability to a randomly selected real positive phenomenon than a negative one on average. This is what is meant when it is emphasized that the model has good skills. As a rule, good models are represented by bends that lean to the upper left corner of the site. In this case, you can see the bends in the upper left corner.

Quantitative interpretation of ROC is given by the indicator - the area bounded by the ROC-curve and the

axis of the share of false positive classifications. The area under the curve (AUC) can be used as a result of the skill of working with the model. An ideal model when the entire area is filled with color, but the proposed model is quite accurate, because the area under the ROC curve occupies almost the entire area of the graph.

PRC or Precision Recall Curve is a curve that shows the changes in Precision and Recall values depending on the threshold. Normally, the threshold is set to zero because the result will be a probability sign on the object. PRC will make it possible to understand how our model distributed probabilities across elements of different classes and how well it did so. This curve can be used only if the probabilities are in the range from 0 to 1, and in our case it is so.

This approach measures precision and recall. Accuracy describes how well the model predicts a positive class. Accuracy is called positive prognostic value. The recall is calculated as the ratio of the number of true positives divided by the sum of true positives and false negatives. Response is the same as sensitivity.

A classifier without skills is one that cannot distinguish classes and assumes a random or permanent class in all cases. The line of lack of skills changes based on the distribution of positive to negative classes. This is a horizontal line with the value of the ratio of positive cases in the data set. For a balanced data set, this is 0.5. The figure shows a blue dotted line (see Figure 5).

The model with good skill is depicted as a point in (1,1). A good model is represented by a curve (yellow) that slopes to (1,1) above a straight line, a model that has no skill (blue dotted).

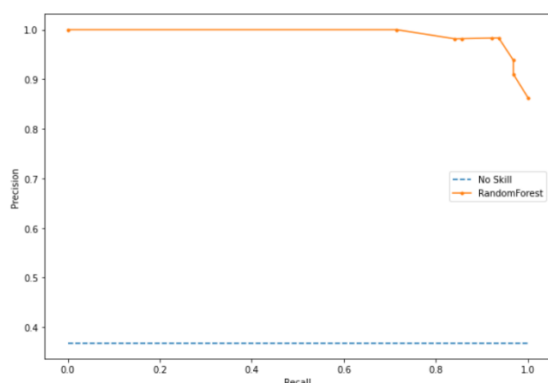


Figure 5. PRC curve

V. CONCLUSION

Summarizing all the above, we can conclude about the work done. During the study, the classification of tumors by Random Forest method was presented.

When applying the algorithm to the data set, it was seen that it had a fairly high accuracy and the quality metrics were very good. Therefore, the data is cleaned and prepared correctly, the type of classifier is well chosen.

For the analysis of the decisive forest, the visualization of individual forest trees as its separate parts was realized.

So, let's summarize the advantages of the Random Forest algorithm over other classifiers:

- a) It has the ability to efficiently process data with a large number of features and classes.
- b) The decision forest is insensitive to the scaling of feature values.
- c) It handles both continuous and discrete features equally well.

Equally important for large volumes of data is that this classifier is characterized by high parallelism and scalability.

REFERENCES

- [1] N. Montañez-Godínez, A.C. Martínez-Olguín, O. Deeb, R. Garduño-Juárez, and G. RamírezGalicia, "QSAR/QSPR as an Application of Artificial Neural Networks", *Journal Artificial Neural Networks*, Vol. 1260, 2015, pp. 319–333.
- [2] M. Nekoei, M. Mohammadhosseini, and E. Pourbasheer, "QSAR study of VEGFR-2 inhibitors by using genetic algorithm-multiple linear regressions (GA-MLR) and genetic algorithm-support vector machine (GA-SVM): a comparative approach", *Journal of Medicinal Chemistry Research*, Vol. 24, No. 7, 2015, pp. 3037–3046.
- [3] O. Ivanciuc, "Drug Design with Artificial Neural Networks", *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, 2009, pp. 2139–2159.
- [4] A. Khajeh, H. Modarress, and H. Zeinoddini-Meymand, "Modified particle swarm optimization method for variable selection in QSAR/QSPR studies", *Journal of Structural Chemistry*, Vol. 24, No. 5, 2013, pp. 1401–1409.
- [5] M. Goodarzi, M.P. Freitas, and R. Jensen, "Ant colony optimization as a feature selection method in the QSAR modeling of anti-HIV-1 activities of 3-(3,5-dimethylbenzyl) uracil derivatives using MLR, PLS and SVM regressions", *Journal of Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, Vol. 98, No. 2., 2009, pp. 123–129.
- [6] L. Blum, and J. Reymond, "970 million drug like small molecules for virtual screening in the chemical universe database GDB -13", *Journal of American Chemical Society*, Vol. 131 (25), 2009, pp. 8732–8733.
- [7] A. Nonell-Canals, and J. Mestres, "In silico target profiling of one billion molecules", *Molecular Informatics*, Vol. 30 (5), 2011, pp. 405–409.
- [8] M. Shahlaie, A. Fassihi, A. Pourhossein, E. Arkan, "Statistically validated QSAR study of some antagonists of the human CCR5 receptor using least square support vector machine based on the genetic algorithm and factor analysis", *Journal of Medicinal Chemistry Research*, Vol. 22, No. 3, 2013, pp. 1399–1414.
- [9] X.B. Zhou, W.J. Han, J. Chen, and X.Q. Lu, "QSAR study on the interactions between antibiotic compounds and DNA by a hybrid genetic-based support vector machine", *Monatshefte für Chemie – Chemical Monthly*, Vol. 142, No. 9, 2011, pp. 949–959.
- [10] B. Sprague, Q. Shi, M.T. Kim, L. Zhang, S.Sedykh, E. Ichiishi, H. Tokuda, K. Lee, and H. Zhu, "Design, synthesis and experimental validation of novel potential chemopreventive agents using random forest and support vector machine binary classifiers", *Journal of Computer-Aided Molecular Design*, Vol. 28, No. 6, 2014, pp 631–646.
- [11] N. Boyko, "Application of mathematical models for improvement of "cloud" data processes organization", in *Mathematical Modeling and Computing*, Vol. 3(2), 2016, pp. 111–119. DOI: <https://doi.org/10.23939/mmc2016.02.111>

A novel adaptive method for operator inclusions

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.08>

Serhii Denysov
 Dept. of Computational Mathematics
 TSNUK
 Kyiv, Ukraine
 denisov.univ@gmail.com

Vladimir Semenov
 Dept. of Computational Mathematics
 TSNUK
 Kyiv, Ukraine
 semenov.volodya@gmail.com

Yana Vedel
 Dept. of Computational Mathematics
 TSNUK
 Kyiv, Ukraine
 yana.vedel@gmail.com

Abstract — A novel splitting algorithm for solving operator inclusion with the sum of the maximal monotone operator and the monotone Lipschitz continuous operator in the Banach space is proposed and studied. The proposed algorithm is an adaptive variant of the forward-reflected-backward algorithm, where the rule used to update the step size does not require knowledge of the Lipschitz constant of the operator. For operator inclusions in 2-uniformly convex and uniformly smooth Banach space, the theorem on the weak convergence of the method is proved.

Keywords — maximal monotone operator; operator inclusion; splitting algorithm; adaptability; 2-uniformly convex Banach space; uniformly smooth Banach space.

I. INTRODUCTION

Let E be a real Banach space with its dual E^* . Consider the next operator inclusion problem:

$$\text{find } x \in E: 0 \in (A + B)x, \quad (1)$$

where $A: E \rightarrow 2^{E^*}$ is multivalued maximal monotone operator, $B: E \rightarrow E^*$ is monotone and Lipschitz continuous operator. Many actual problems can be written in the form of (1). Among them are variational inequalities and optimization problems arising in the field of optimal control, inverse problem theory, machine learning, image processing, operations research, and mathematical physics [1–3]. The most well-known and popular method for solving monotone operator inclusions (1) in Hilbert space is the forward-backward algorithm (FBA) [1, 4, 5]

$$x_{n+1} = J_{\lambda}^A(x_n - \lambda Bx_n),$$

where $J_{\lambda}^A = (I + \lambda A)^{-1}$ is the operator resolvent, $A: H \rightarrow 2^H$, $\lambda > 0$. Note that the FBA scheme includes well-known gradient method and proximal method as special case. For inverse strongly monotone (cocoercive) operators $B: H \rightarrow H$ FBA method is weakly converging [1]. However, FBA may diverge for Lipschitz continuous monotone operators B . The

condition of the inverse strong monotonicity of the operator B is a rather strong assumption. To weaken it, Tseng [6] proposed the next modification of the FBA:

$$\begin{cases} y_n = J_{\lambda}^A(x_n - \lambda Bx_n), \\ x_{n+1} = y_n - \lambda(By_n - Bx_n), \end{cases}$$

where $B: H \rightarrow H$ – monotone and Lipschitz continuous operator with constant $L > 0$ and $\lambda \in (0, L^{-1})$. Further development of this idea led to the forward-reflected-backward algorithm [7]. Some progress has been achieved recently in the study of splitting algorithms for inclusions in Banach spaces [2, 8]. This is largely due to the wide involvement of theoretical results and designs of the geometry of Banach spaces [2, 9, 10]. Book [2] contains an extensive material on this topic.

The current work proposes and studies a new splitting algorithm for solving operator inclusion (1) in Banach space. The algorithm is an adaptive variant of the forward-reflected-backward algorithm, where the step update rule does not require knowledge of Lipschitz constant for operator B . The algorithm's advantage is only one computation at the iteration step of resolvent of maximal monotone operator A and value of operator B . The method weak convergence theorem is proved for operator inclusions in 2-uniformly convex and uniformly smooth Banach space.

II. ALGORIHM

Let us recall several concepts and facts of the geometry of Banach spaces [2, 9–11], that are necessary for the formulation and proof of the results.

Let E be a real Banach space with norm $\|\cdot\|$, E^* is the dual space for E . Let's denote norm in E^* as $\|\cdot\|_*$. Let $S_E = \{x \in E: \|x\| = 1\}$. Banach space is called strictly convex, if for all $x, y \in S_E$ and $x \neq y$ we have

$\left\|\frac{x+y}{2}\right\| < 1$. The modulus of convexity of space E is defined as $(\forall \varepsilon \in (0, 2])$

$$\delta_E(\varepsilon) = \inf \left\{ 1 - \left\|\frac{x+y}{2}\right\| : x, y \in S_E, \|x - y\| = \varepsilon \right\}.$$

A Banach space E is called uniformly convex, if $\delta_E(\varepsilon) > 0$ for all $\varepsilon \in (0, 2]$. Banach space E is called 2-uniformly convex, if there exists such $c > 0$ that $\delta_E(\varepsilon) \geq c\varepsilon^2$ for all $\varepsilon \in (0, 2]$. Obviously, a 2-uniformly convex space is uniformly convex. It is known that the uniformly convex Banach space is reflexive [9]. A Banach space E is called smooth if the limit

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\|x + ty\| - \|x\|}{t} \quad (2)$$

exists for all $x, y \in S_E$. A Banach space E is called uniformly smooth if the limit (2) exists uniformly over $x, y \in S_E$. There is a duality between the convexity and smoothness of the Banach space E and its dual space E^* [26, 27]. It is known that Hilbert spaces and spaces L_p ($1 < p \leq 2$) are 2-uniformly convex and uniformly smooth (spaces L_p are uniformly smooth for $p \in (1, \infty)$) [10]. Also recall [1, 11] that a multivalued operator $A: E \rightarrow 2^{E^*}$ is called monotone if $\forall x, y \in E$ $\langle u - v, x - y \rangle \geq 0 \quad \forall u \in Ax, v \in Ay$. A monotone operator $A: E \rightarrow 2^{E^*}$ is called maximal monotone if for any monotone operator $B: E \rightarrow 2^{E^*}$ we have that $\Gamma(A) \subseteq \Gamma(B)$ implies $\Gamma(A) = \Gamma(B)$, where $\Gamma(A)$ is a graph of A [1]. It is known that if $A: E \rightarrow 2^{E^*}$ is maximal monotone operator, $B: E \rightarrow E^*$ is Lipschitz continuous monotone operator, then $A + B$ is maximal monotone operator. Let us also recall [1] that operator $A: E \rightarrow E^*$ is called inverse strongly monotone (cocoercive) if there exists such a number $\alpha > 0$ (the constant of inverse strong monotonicity) that $\langle Ax - Ay, x - y \rangle \geq \alpha \|Ax - Ay\|^2$. Inverse strongly monotone operator is Lipschitz continuous, but not every Lipschitz continuous operator is inverse strongly monotone. Multivalued operator $J: E \rightarrow 2^{E^*}$, which acts as

$$Jx = \left\{ x^* \in E^* : \langle x^*, x \rangle = \|x\|^2 = \|x^*\|^2 \right\},$$

is called normalized duality mapping. It is known [9, 10] that: if space E is smooth then operator J is single-valued; if space E is strongly convex then operator J is injective and strongly monotone; if space E is reflexive then operator J is surjective; if space E is uniformly smooth then operator J is uniformly continuous on bounded subsets of E . For a Hilbert

space $J = I$. Explicit form of operator J for Banach spaces ℓ_p , L_p , and W_p^m ($p \in (1, \infty)$) is provided in [9–11]. Let E be a reflexive, strictly convex and smooth Banach space. The maximal monotonicity of operator $A: E \rightarrow 2^{E^*}$ is equivalent to equality $R(J + \lambda A) = E^*$ for all $\lambda > 0$. For maximal monotone operator $A: E \rightarrow 2^{E^*}$ and $\lambda > 0$ resolvent $J_\lambda^A: E \rightarrow E$ is defined as follows

$$J_\lambda^A x = (J + \lambda A)^{-1} Jx, \quad x \in E,$$

where J is normalized duality mapping from E to E^* . It is known that

$$A^{-1}0 = F(J_\lambda^A) = \{x \in E : J_\lambda^A x = x\} \quad \forall \lambda > 0.$$

Let E be a smooth Banach space. Let's consider the functional introduced by Yakov Alber [11]

$$\phi(x, y) = \|x\|^2 - 2\langle Jy, x \rangle + \|y\|^2 \quad \forall x, y \in E.$$

If the space E is strictly convex, then for $x, y \in E$ we have $\phi(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$.

Lemma 1 ([12, 13]). Let E be a 2-uniformly convex and smooth Banach space. Then for some $\mu \geq 1$ the next inequality holds:

$$\phi(x, y) \geq \frac{1}{\mu} \|x - y\|^2 \quad \forall x, y \in E.$$

For Banach spaces ℓ_p , L_p and W_p^m ($1 < p \leq 2$) we have $\mu = \frac{1}{p-1}$ [14]. And for a Hilbert space inequality for Lemma 3 becomes identity.

Let E be a 2-uniformly convex and uniformly smooth Banach space. Let A be a multivalued operator acting from E into 2^{E^*} , and B an operator acting from E into E^* . Consider the operator inclusion problem (1) and Assume that the following conditions are satisfied: $A: E \rightarrow 2^{E^*}$ is a maximal monotone operator; $B: E \rightarrow E^*$ is a monotone and Lipschitz continuous operator with Lipschitz constant $L > 0$; set $(A + B)^{-1}0$ is not empty. Operator inclusion (1) can be formulated as the problem of finding a fixed point:

$$\text{find } x \in E : x = J_\lambda^A \circ J^{-1}(Jx - \lambda Bx), \quad (3)$$

where $\lambda > 0$. Formulation (3) is useful because it contains an obvious algorithmic idea. Calculation scheme $x_{n+1} = J_\lambda^A \circ J^{-1}(Jx_n - \lambda Bx_n)$ was studied in [8] for inverse strongly monotone operators $B: E \rightarrow E^*$. However, the scheme generally does not converge for Lipschitz continuous monotone operators. Let's use the idea of work [7] and consider modified scheme

$$x_{n+1} = J_\lambda^A \circ J^{-1}(Jx_n - \lambda Bx_n - \lambda(Bx_n - Bx_{n-1}))$$

with extrapolation term $-\lambda(Bx_n - Bx_{n-1})$, and let's use update rule for $\lambda > 0$ like one from [15] to exclude explicit use of Lipschitz constant of operator B . We will assume that we know constant μ from Lemma 1.

Algorithm 1

Choose some $x_0 \in E$, $x_1 \in E$, $\tau \in (0, \frac{1}{2\mu})$ and

$\lambda_0, \lambda_1 > 0$. Set $n = 1$.

1. Compute

$$x_{n+1} = J_{\lambda_n}^A \circ J^{-1} \left(Jx_n - \lambda_n Bx_n - \lambda_{n-1} (Bx_n - Bx_{n-1}) \right).$$

2. If $x_{n-1} = x_n = x_{n+1}$, then STOP and

$$x_n \in (A + B)^{-1} 0, \text{ else go to 3.}$$

3. Compute

$$\lambda_{n+1} = \begin{cases} \min \left\{ \lambda_n, \tau \frac{\|x_{n+1} - x_n\|}{\|Bx_{n+1} - Bx_n\|_*} \right\}, & \text{if } Bx_{n+1} \neq Bx_n, \\ \lambda_n, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Set $n := n + 1$ and go to 1.

Sequence (λ_n) which is created by rule on step 3 is non-increasing and bounded from below by $\min\{\lambda_1, \tau L^{-1}\}$. So, there exists $\lim_{n \rightarrow \infty} \lambda_n > 0$.

III. MAIN RESULT

In begin this section, we state the inequality on which the proof of Algorithm 1 weak convergence is based.

Lemma 2. For the sequence (x_n) , generated by Algorithm 1 the following inequality holds:

$$\begin{aligned} \phi(z, x_{n+1}) + 2\lambda_n \langle Bx_n - Bx_{n+1}, x_{n+1} - z \rangle + \\ + \tau\mu \frac{\lambda_n}{\lambda_{n+1}} \phi(x_{n+1}, x_n) \leq \\ \leq \phi(z, x_n) + 2\lambda_{n-1} \langle Bx_{n-1} - Bx_n, x_n - z \rangle + \\ + \tau\mu \frac{\lambda_{n-1}}{\lambda_n} \phi(x_n, x_{n-1}) - \\ - \left(1 - \tau\mu \frac{\lambda_{n-1}}{\lambda_n} - \tau\mu \frac{\lambda_n}{\lambda_{n+1}} \right) \phi(x_{n+1}, x_n), \end{aligned}$$

where $z \in (A + B)^{-1} 0$.

Let us formulate the main result.

Theorem 1. Let E be a 2-uniformly convex and uniformly smooth Banach space, $A: E \rightarrow 2^{E^*}$ be a maximal monotone operator, $B: E \rightarrow E^*$ be a monotone and Lipschitz continuous operator, $(A + B)^{-1} 0 \neq \emptyset$. Suppose that the normalized duality map J is sequentially weakly continuous. Then sequence (x_n) generated by Algorithm 1 converges weakly to some point $z \in (A + B)^{-1} 0$.

IV. CONCLUSIONS

In this paper new splitting algorithm for solving an operator inclusion with the sum of a maximal monotone operator and a monotone Lipschitz continuous operator in a Banach space is proposed and studied. The algorithm is an adaptive variant of the forward-reflected-backward algorithm of Malitsky–Tam, where the used rule for updating the step size does not require knowledge of the Lipschitz constant of operator B . An attractive feature of the algorithm is only one computation of the resolvent of the maximal monotone operator A and the value of the monotone Lipschitz continuous operator B at the iteration step. Theorem on the weak convergence of the method is proved for operator inclusions in a 2-uniformly convex and uniformly smooth Banach space. An interesting challenge for the future is the development of a strongly convergent modification of the proposed algorithm.

REFERENCES

- [1] H.H. Bauschke, P.L. Combettes, "Convex Analysis and Monotone Operator Theory in Hilbert Spaces," Berlin, Heidelberg, New York : Springer, 2017.
- [2] Y. Alber, I. Ryazantseva, "Nonlinear Ill Posed Problems of Monotone Type," Dordrecht: Springer, 2006.
- [3] D.R. Luke, C. Charitha, R. Shefi, Y. Malitsky, "Efficient, Quantitative Numerical Methods for Statistical Image Deconvolution and Denoising," in Nanoscale Photonic Imaging. Topics in Applied Physics, vol 134, T. Salditt, A. Egner, D.R. Luke, Eds. Cham: Springer, 2020, pp. 313–338.
- [4] P.L. Lions, B. Mercier, "Splitting algorithms for the sum of two nonlinear operators," SIAM J. Numer. Anal., vol. 16, pp. 964–979, 1979.
- [5] G. B. Passty, "Ergodic Convergence to a Zero of the Sum of Monotone Operators in Hilbert Spaces," J. of Math. Anal. and Appl., 1979. Vol. 72, pp. 383–390.
- [6] P. Tseng, "A modified forward-backward splitting method for maximal monotone mappings," SIAM Journal on Control and Optimization, 2000, 2000. Vol. 38, pp. 431–446.
- [7] Y. Malitsky, M.K. Tam, "A Forward-Backward Splitting Method for Monotone Inclusions Without Cocoercivity," SIAM Journal on Optimization, 2020. Vol. 30, pp. 1451–1472.
- [8] H. Iiduka, W. Takahashi, "Weak convergence of a projection algorithm for variational inequalities in a Banach space," J. of Math. Anal. and App., 2008. Vol. 339, pp. 668–679.
- [9] J. Diestel, "Geometry of Banach Spaces," Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1975.
- [10] B. Beauzamy, "Introduction to Banach Spaces and Their Geometry," Amsterdam: North-Holland, 1985.
- [11] Y.I. Alber, "Metric and generalized projection operators in Banach spaces: properties and applications," in Theory and Applications of Nonlinear Operators of Accretive and Monotone Type, New York : Dekker, 1996, vol. 178, pp. 15–50.
- [12] K. Aoyama, F. Kohsaka, "Strongly relatively nonexpansive sequences generated by firmly nonexpansive-like mappings," Fixed Point Theory Appl., vol. 95, 2014. doi:10.1186/1687-1812-2014-95.
- [13] T. Bonesky, K. S. Kazimierski, P. Maass, F. Schopfer, T. Schuster, "Minimization of Tikhonov Functionals in Banach Spaces," Abstr. Appl. Anal., article ID 192679, 2008.
- [14] Z.B. Xu, G.F. Roach, "Characteristic inequalities of uniformly convex and uniformly smooth Banach spaces," J. of Math. Anal. and Appl., 1991. vol. 157, pp. 189–210.
- [15] S.V. Denisov, D.A. Nomirowskii, B.V. Rublyov, V.V. Semenov, "Convergence of Extragradient Algorithm with Monotone Step Size Strategy for Variational Inequalities and Operator Equations," J. of Autom. and Inf. Sci., 2019. vol. 51, pp. 12–24.

Modern trends in unemployment

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.09>

Didmanidze Manana
Georgian Technical University
Tbilisi, Georgia
mdidmanidze92@mail.ru

Chachanidze Guram
Georgian Technical University
Tbilisi, Georgia
guramchachanidze@yahoo.com

Didmanidze Tengiz
Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
ibraimd@mail.ru

Abstract – Unemployment is an integral part of a market economy. This means that the inevitable feature of a market economy is the existence of a certain level of unemployment, despite the fact that unemployment is one of the visible indicators of macroeconomic instability in the country. Unemployment causes macroeconomic instability precisely when the level of actual unemployment exceeds the set natural limit.

Keywords – market economy; visible indicators; macroeconomic instability; employment services.

I. INTRODUCTION

There are different types of unemployment. Its division into categories is based on the variety of its causes. Nowadays, the following main types of unemployment are distinguished: frictional, structural and cyclical unemployment.

Main part. Frictional unemployment is short-term unemployment. It arises when a person voluntarily resigns and starts looking for another job. He, of course, needs some time to find a new job. The period after resignation and before a person finds another job is called the period of frictional unemployment. Therefore, we can conclude that frictional unemployment is voluntary unemployment.

The emergence of frictional unemployment is related to the shortcomings of effective dissemination of information in the labor market. At this time the unemployed and employers who own vacancies can not immediately find each other. Therefore, frictional unemployment occurs even when the demand for labor and the supply of labor in the economy are equal.

Structural unemployment, in contrast to friction, is longer. Even in the case of such unemployment, there are vacancies in the labor market, although at this time there is a serious discrepancy between what the company needs and what the worker offers.

Unlike friction, structural unemployment is not voluntary but forced. In this case, people lose their jobs and it is difficult to find them again, due to the ongoing structural changes in the economy.

Frictional and structural unemployment are completely natural phenomena for a market economy. Frictional and structural unemployment can arise even when the labor market is in a state of complete equilibrium. Therefore, we can conclude that the

natural level of unemployment is exactly equal to the sum of frictional and structural unemployment.

The formation of the natural level of unemployment can be affected by many factors, such as economic growth rates, demographic development trends, the emigration-immigration situation of the country, changes in the structure of the labor force, etc. Since the above figures are different in different countries, it is not surprising that every country has a different natural level of unemployment.

Cyclical unemployment is caused by a cycle of the economy characterized by a decline in aggregate demand for goods and services. At the same time, along with the decrease in demand, the level of production falls, the number of people fired from companies increases, and consequently the level of unemployment also increases sharply. Such unemployment is called cyclical unemployment. Cyclical unemployment lasts for quite a long period of time. Cyclical unemployment implies a sharp deviation from the natural level of unemployment, during which people are forced to be unemployed and the economy loses the optimal amount of income.

Like any other socio-economic event, unemployment analysis requires not only qualitative but also quantitative assessment of them. The main indicators of unemployment are: the number of unemployed; duration of unemployment; unemployment rate; the sex-age structure of unemployed; professional-qualified structure of unemployed; sectoral and territorial structure of unemployed.

There are two main methods for determining the number of unemployed:

1. The unemployment rate is determined on the basis of selective observations of a certain part of the population, which is conducted periodically;

2. The unemployment rate can be determined on the basis of applications submitted for the status of unemployed in the state employment services.

Duration of unemployment – The period of unemployment of an economically active person can be different. The most short-term is friction unemployment, which can usually last for weeks or months. Structural unemployment lasts longer than friction, which can last up to a year. Cyclical unemployment is a very undesirable phenomenon for the society. Unemployment at this time lasts 1-3 years or longer.

Unemployment rate – unemployment is the most widespread of the quantitative indicators for assessing the state of unemployment. It is calculated as the ratio of the number of unemployed to the labor force or the economically active population.

Unemployment (%) = number of unemployed/number of labor force 100%

$$U_d = U_r / S_r \times 100$$

The government should try to reduce unemployment in the country not by one specific method, but by complex steps. For example: introduction of an effective labor market information system, development of an active retraining and training program for the unemployed, promotion of competitive labor supply, strengthening of active labor market policies. In order not to increase the level of unemployment in the country, it is important to take a number of measures: improve governance, protect the rights granted to employees by law, improve the system of labor safety and protection of rights, regulate labor migration.

CONCLUSION

The improving of difficult situation in the employment field of course depends on the accelerated development of the region's economy. To accelerate the development, it's necessary to establish and consider the reasons, which interfere local entrepreneurs in business and in creating new workplaces. The majority of interviewee said that the preparation of the low-quality professional staff and bad management interfere employment. This requires preparation of professionals oriented to labor market and it is impossible to do it without scientific research.

In the modern global world, the pandemic has negatively affected the unemployment rate. The world economy stalled, causing great damage to the well-being of the population. The analysis of the economic side is important for us, because we believe that different integration or contractual relations between the countries of the world put the economy of this or that country and its individuals in different positions, which can increase their production capacities, as well as reduce them. This is reflected in different ways in the manifestation of the economic cycle and economic growth in a given country.

REFERENCES

- [1] Labour economics Tbilisi State University (TSU). Shromis economist [Електронний ресурс] / Labour economics Tbilisi State University (TSU). 2016. URL: https://old.tsu.ge/data/file_db/economist_faculty/shromis%20e%20c.pdf. (дата звернення: 30.11.2021).
- [2] Didmanidze Ibraim, Didmanidze Manana, Yamkova Olga, Didmanidze Tengiz. About employment problems in the region. IV international scientific and practical conference «modeling, control and information technologies. Works of conferences. No. 4 (2020), 5–7 november, Rivne, Ukraine, p. 124–125.

- [3] Didmanidze Ibraim, Motskobili Ia, Didmanidze Manana, Didmanidze Tengiz, Zakaradze Zurab. EMPLOYMENT PROBLEMS AMONG YOUNG SPECIALIST IN THE REGION. *XXXV international conference PROBLEMS OF DECISION MAKING UNDER UNCERTAINTIES (PDMU-2020)*. ABSTRACTS. May 11–15, 2020, Baku-Sheki, Republic of Azerbaijan. p. 36–37.
- [4] Didmanidze Ibraim Sh., Motskobili Ia R., Didmanidze Manana I. ENSURING EFFECTIVE GOVERNING FOR REGIONAL DEVELOPMENT. *9th International Scientific-Practical Conference "Computer Simulation and Control in Technics and Technologies CSCTT-2021"*. Kyiv, May 12–14, 2021. Works of conferences. P. 35–38.
- [5] Didmanidze I., Motskobili I. The issue of forecasting demand for specialists. *Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики : XXV Міжнародна наукова конференція APAMS – 2019 : зб. наук. праць. 24–27 вересня, 2019, Львів, Україна*. P. 38–39.

Ethics of information technology in the context of a global worldview

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.10>

Irma Bagrationi
Department of Philosophy
Batumi Shota Rustaveli State University
Batumi Georgia
Irma.bagrationi@bsu.edu.ge

Ibraim Didmanidze
Department of Information Technologies
Batumi Shota Rustaveli State University
Batumi Georgia
ibraimd@mail.ru

Zaslavski Vladimir
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine

Yamkova Olga
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine

Abstract – The present scientific paper outlines in today’s contemporary world - where everything is as it seems at first glance, subordinated to the economy, technology and politics are essentially ruled by ethics, value attitudes, which in that or otherwise find embodiment for purposes activities. After all, the question of goals, intentions is the question about values. The paper underlines that modern information technology has sharpened the problem of the values of the human spirit and choice further path of our world civilization. Everyone remembers the 20th century with its socio-cultural contradictions. And the scale of the achievements, and the scale of destruction committed by people in the twentieth century, incomparable with any other times in its history. The present paper emphasizes that if we want to keep human moral values in the information sphere, then is the technology itself sufficient for this, creating suitable programs forcing save them? Of course, working in networks and not consider off-grid the laws impossible. The paper concludes that what will this process lead to, hard to say. One thing is clear now: interacting with a digital computer, we inevitably become different. Society becomes others. And to regret it is nostalgia for past, it is sweet - meaningless. Like us modern peace or not - but this is reality life, and of them desirable proceed if we want to impact on construction our future.

Keywords – Information Technology; Ethical Dilemmas; Information Ethics; Global Information Society; Virtual Reality; Ethical Approach; Global Worldview.

I. INTRODUCTION

We may say for certain that surely the our world is so objective now complex, dynamic, uncertain, that a person is not able to know anything forward what will happen with confidence and certainty, despite the power of cognitive funds, which he disposes [and mathematics, and available scientific knowledge, and computing and information systems) and on his often good intentions. Procedure adopting decisions extremely got complicated.

Man increasingly wants to strengthen himself the measure of all things. Thriving ethical theory to our time became a quite interesting conception of global worldview is called Emotivism. As it is generally known Emotivism¹ is a doctrine

according to which all value judgments (all moral judgments) is nothing but expressions preferences, installations or feelings, if they are moral or evaluative character [1].

Moreover, in these conditions, it is not easy the question turns out to be: what fundamental principles, what values does a person ultimately want and can follow? Does he focus on the idea of good as perfection or to the concept of consumption, which in the conditions of the almost absolutely total domination of hedonism is transformed into the idea of good? Everybody worries this dilemma, expressed in the well-known aphorism of the German social psychologist and philosopher Erich Fromm’s social worldview theory² “to have or to be” [2] and we are interested here in the Georgian researchers - Ibraim Didmanidze, Zebur Beridze and Irma Bagrationi’s opinion on the “gathering, processing and the ethical analysis of the organizational information” [2].

II. MATERIALS AND METHODS

II.1. On the Essence of Ethics of Information Technology in the Context of a Global Worldview:

There are three known positions in the topic of technology relationship and values. They are formulated, in particular, Ian Graeme Barbour³: 1. Technology as a liberator. It supplies

age expresses emotions and tries to influence others; it has no cognitive content. If I say homosexuality is evil, I’m just expressing my feeling that homosexuality is disgusting! I am expressing my emotions and, at the same time, trying to influence you to dislike homosexuality. The same analysis applies to any moral judgment” [see: <https://reasonandmeaning.com/2016/11/26/emotivism/>]

² Erich Fromm’s famous work “Man for Himself: An Inquiry into the Psychology of Ethics” [first published in 1947] continued and enriched the ideas “Escape of Freedom” – especially – the theory of human nature and character. As it is seen from the social research - Erich Fromm “tries to transfer ethical attitude about human nature in the sphere of management organization; especially each organization, existing in the business sphere, has its own values, which create the so-called organization culture. The coincidence of these values conditions the successful operation of the organization. A human should consider self-development as a valuable thing and should want to realize one’s potential, then he will try to make maximum profit for his firm i. e. their interests coincide. In this case, maximum profit is defined only by the qualification of a man. If a firm is satisfied with fixed importance from the worker, then we must resist the issue – a man is oriented on self-development if his main value is money. Accordingly, in Fromm’s opinion – two Ethics coexist in the business organization: authoritarian and humanistic”

[see: https://en.wikipedia.org/wiki/Erich_Fromm
<https://sgemsocial.org/index.php/elibrary-research-areas?view=publication&task=show&id=3832>]

³ Despite his success as a physics professor, American theologian and scientist Barbour chose to move in a new direction in 1953, enrolling

¹ “Emotivism is a theory that claims that moral language or judgments: a. is either true or false; b. expresses our emotions; and c. tries to influence others to agree with us. Emotivists believe that moral language

good for people and from here optimistic views on technology. 2. Technology as a threat. Great are human technology costs: monotony in a mass society, narrow criteria of efficiency, impersonality and manipulation, uncontrollable technologies, alienation, impoverishment of human relations. From here there is a criticism of technologies and their pessimistic assessment. 3. Technology as an instrument of power, or contextual assessment: technology itself is neither good nor bad; it is just a tool, a tool whose application depends on social context. Each of the three positions has many options, but each of them emphasizes that or some other value. The fourth position seems to be taking shape: recognition the fact that technologies are included in the system of human goal-setting, and “the emphasis on character and community wisdom increases the possibility of idiosyncratic and unsound decision making” [3].

Man can only want something if he already has by means of technology achievements this something. So we're going to live longer since there are corresponding biotechnologies based on genetics. When these technologies were not there, we did not set such a goal.

All the more insistently make themselves felt ethical issues of technological activity person. There are formed yet and Biological ethics, and environmental ethics, and biomedical ethics, and the ethics of information and communication technologies. Information technology plays a special role among new digital technologies by social and global theoretical worldview. Technically, they are at the heart of all other technologies and at the heart of the emerging cultural global information society. Information technology is closely related to industry, government, economic structures authorities, with personal human life.

The power of networking technologies many times over multiplies thanks to virtual technology reality. They open up new opportunities for the system of power relations: allow replace straight social control and the impact is mediated. Instead of direct requirements and restrictions virtual reality invites us to fascinating worlds and travels. Instead of rough or more or less mild suppression free involvement occurs.

The virtual symbolic environment is made our reality. Virtual culture reality is a world of images, interpreted signs and symbols. You can say information society culture filled with simulacra. The civilization world of simulacra owes much of its existence to technical information technology. So, for example, on the internet human communicates with model another, and not with the other. Media Machine Absorbing Products computer revolution blurs the boundaries between simulated and real, between cultural spectacle and politics. Information technology that enriches virtual worlds has great success and is developing intensively. Virtual reality is something added to the world, created by people, which is computer reality, sensual reality, vital, environmental, in which events is here and now.

The human life world has become different – new opportunities have opened up for disclosure “your spiritual world of your “I” and to hide it. Doesn't meet face to face man with others human, how it was in Ancient Epoch or in Middle Ages” [4]. Direct personal communication by voice, behavior, gestures or at least with a weapon went into past. Not only we send rockets on the enemy generally, but also communicate online with abstract, in fact, we serve as a person and ourselves as a partial person – in some role. It's interesting to note that according to the Georgian and Russian professors –

Ibraim Didmanidze, Irma Bagrationi, Vladimir Ulanov and Nataliia Matrosova's scientific discussion “information technology and educational centers are head divisions in system of the entrepreneur establishments: maintenance statistical, operative-help and other information, and also computerizations and constructions of regional information networks” [5]. The Virtual world of the internet becomes ours element. In him the eternal man's dream of his freedom: to do what want, outside of any prohibitions. And here it is in the sphere of permissiveness, a person comprehends himself: their innermost deep values, what he regards as good, and what as evil, what he allows himself and what does not. How it's not strange, the machine in the person of information technology becomes an instrument of knowledge by the user himself [6]; and the network is an empirical basis for psychology and sociology. On the one hand, man can hide himself, be anonymous, put on a mask, and on the other side, is exposed his inner self, his fundamental values, his moral principles.

II. 2. On the peculiarities of Ethics of Information Technology in the Context of a Global Worldview:

Information technologies have penetrated in all spheres Human life brought with a new language, new styles and new fashion. The habitat turned out to be unusual and almost impossible for those who were born in times of book culture. Feeling alien this new world and its unnaturalness for them. But these changes found themselves not local, but global. According to a Georgian scientist Irma Bagrationi's outlook “as a consequence of these core assumptions, we focused on the concrete and mundane internet information practices carried out by online intercultural communication” [7]

Has changed under the influence of information technology and the external environment human life, and his inner world...? Information technologies play significant role in the formation consumer attitudes in society, providing attractive items for consumption, awe-inspiring and pleasing sensuality. For example, information technology develops love for gadgets, for their consumption for the sake of fashion. At the same time, one cannot fail to notice the influence, mind-changing user - his rationality is brought up. For example, Makes study classify knowledge; refer the name of interest to this or that ethical class of words or problems; “history and theoretical foundation of information and computer Ethics, the state of computer Ethics as a philosophical field of inquiry: some contemporary perspectives, future projections, and current resources; computer systems: moral entities but not moral agents” [8]. Develop systemic thinking, for any communication through information technology includes human in real working, but not abstract system.

There is one way or another, no doubt huge impact of information technology on our civilization. The power of information Technology manifests itself in that they:

- are a means of influencing economy, culture, science, technology, other technologies;
- create a new sphere of reality;
- Virtual reality (practical activity person in world of electronic objects);
- change Lifestyle human and his spiritual peace [9].

Who supplies information technology? Their manufacturer is the community information technology professionals and companies. The emerging information technology community, from the point of view of its internal structure, is as a system of norms and values. Norms outline the circle of the permissible, possible, acceptability of behavior within the community. Values determine what is due, in the name of which people in their actions follow the accepted norms. Community information technology manufacturers include specialists with higher and secondary qualifications in the

at Yale Divinity School to study Theology and Ethics. Even before completing his divinity degree in 1956, he was appointed to teach in both the religion & physics departments of Carleton College in Northfield [see: <https://www.britannica.com/biography/Ian-Barbour>]

information and communication sphere, and business managers (people business) different status.

This process of building the information technology community just started but happens enough quickly. An important feature of the information sphere technology versus previous science lies in their close connection with the business, with economy. This gives rise to its ethical dilemmas and ethical approach and problems. They are caused by the fact that the information technology professional is a participant in the implementation of practical actions, which is always morally painted. Information technology companies are subjects Business Ethics. Many of them support development of ethical dilemmas and aspects of activity information technology companies.

The number of information technology professionals is quite large. At one time, a Spanish philosopher Jose Ortega y Gasset in his work "The Rise of the Masses" paid attention to the fact that it may well belong to the "mass" scientist, scientific employee [10]. Now, in the contemporary century, when the product of the specialist's activity is goods, especially so demanded as information product, found themselves especially are important their moral foundations, insofar as in their hands located information. Are important their motives, why and for what purpose they acquire his profession. After all, they are included in the mass society, may be in different degree, and share its values.

We must note here that the object immanent circle of information technology users is very wide: it is both a person and an legal or public institutional organization, and the state, and in perspective constructing global information society the total use of them is seen. A user can be a child playing with a gadget, the media, an organization, an individual, and a state security institution. They have different goals, different possibilities and different reactions to information technologies.

Gradually among users personal computer, everything appears more people for whom the computer is just a black box that works by unknown they didn't interested their principles. Now the average person will not disassemble the TV and fix it. A digital computer becomes the same device that works by itself and does not require for this participation user. The number of practical users is becoming more and more [10]. Thus, the computer literacy has now become a kind of personality trait: diligence, punctuality, responsibility. Share of skilled professional users among them decreases.

III. DISCUSSION

Accordingly, it is very interesting here for us active, operative theoretical and axiological discussion on the scientific and worldview and ideological ethical issues. Information technology development brings with it not only the growth of the achievements of mankind, but also the danger. How do they manifest themselves and what are their reasons or cause and motive for them? The new socio-reality produces new sphere relations between people and new types relationship. The rules governing them are established both spontaneously in practice and deliberately. Arise whether new moral rules or the same old apply to a new region?

It is worrying that information technology is being used effectively by criminals. Cyberspace is bad lends itself strict legislative regulation, therefore is increasing importance ethical approach. But in the global network in different regions there is neither ethical nor legal unity. The rapid development of the Internet is causing fears. Is it necessary and possible to enter control measures and related legal framework? The internet is evolving, becoming structural technology and transforming society online. The complexity of the global information space stipulates need critical review access, intellectual property, privacy life of citizens, security

and human rights and dialogue over geographic, linguistic and cultural barriers. Concerns related to the development of the Internet, are rooted in the peculiarities of this technology: it is outside the control of society and requires change behavior and habits cultural and global society.

To investigate these problems there is International Center for Information Ethics established (info-ethics). Are underway researches in the area of Computer Ethics, Internet Ethics and Cyber Ethics? In leading educational institutions the world is found educational discipline on Computer Ethics (one name still was not installed). One of the main tasks is shaping personal principles Ethics of social responsibility as at work place, and in the life of society as a whole. Ethics of responsibility is not built on the idea of good for him, but it follows from understanding the situation, in which the subject is here and now. It includes both debt and impact assessment [11]. Of course the problem gets complicated and the fact that values societies and the values of the professional community may not match. Illustrated is famous example from medical practice: the operation was performed perfectly - the patient died. Information Ethics includes Professional Ethics, User Ethics and some issues of state policy.

It is best-known for us that World Summits on the Information Society in Geneva (2003) and in Tunisia (2005) devoted to the legal ethical analysis of the different sides the emerging global information society. In the Declaration of Principles, adopted in Tunisia, Principle Five states: "The information society must be based on ethical and moral values and provide conditions under which in full human dignity is respected and strengthened" [9]. As ethical moral values information society, as well as generally accepted, such as peace, freedom thoughts, conscience and religion, equality, solidarity, tolerance, respect to nature, particularly important values truthfulness, trust, honesty are recognized, justice, human dignity, privacy, protection cultural diversity, respect for moral, social and religious values all societies [11].

It is also generally known that United Nations' documents emphasize the importance of ethical aspects and formulated the task of developing a deeper understanding ethical, legal and social implications use information and communication technologies. Changes that bring new solutions in the field of information and communication technologies, can do societies are much more open. The main fundamental principles of the global information society are declared the principles of a democratic and tolerant society.

As we know UNESCO sees its main tasks in the field info-ethics first of all in the following:

- Observance of human rights and fundamental freedoms in cyberspace;
- An increase in the amount of information is in the public domain;
- Providing diversity content in information networks;
- Assistance greater accessibility information and funds communications.

Cyberspace reflects the relation forces taking place in real life; the desire to embody in it old values - material and spiritual. What new has it brought? Most likely, exacerbation of old problems due to large power of technology and its new, specific professional, their own ethos. The first is obvious and before worries about everything.

IV. RESULTS

Above all, the main fundamental ethical principles preserve economic interest i.e. the focus is on modern economic property values. Ethical issues such as copyright and copying information on electronic and digital media, intertwined with legal laws governing property relations, economic relationship. For example changing market in the recording industry

during has a lot to do with the development of information and communication technologies. The next round of digital and information technology development had significantly influenced on the company, earnings which associated with selling digital copies works. Of course, personal protection is also a priority, freedom of speech and other values of a democratic society, protection from what counts a crime in morality and law. Info-ethics principles require you to behave not criminal in this area of human activities.

As in life, a person can behave in cyberspace and be good, and poorly. Honesty and trust are ethical categories; remain in contrast from legislative and Economic restrictions. Attempts are being made to solve the problems legally. At the same time, the intensity of the efforts and attempts conceived by the inner and internal forces increases.

To solve the problem of theft and digital online scams are created special computer programs, maintaining a high level of security work in networks. Except Moreover, attempts are being made to organize general cooperation, agreements on persecution similar crimes. However, information technology community meets and with serious difficulties. So, there is sufficient reason to believe that the exercise effective control of pornography and suspicious communities through modern information technology is incompatible with the right to privacy as it is now understood. Further development Internet technologies will determine the situation in this area. Or a question about intellectual property: there are supporters and opponents copyright. So, are given arguments that copyright in mostly not protects interests of the authors, but, on the contrary, helps to infringe on them; the only exceptions are isolated cases of writers promoted before receiving millions of royalties, and even the authors of the notorious pop music [12]. In relation to the intellectual property plays a decisive role persuasion man, his own solution.

V. CONCLUSION

As it is seen from our scientific research, we would like to answer an important question: all ethical and legal problems will be solved by technology, or some will remain for the state, for a person, society? Electronic support mechanisms information systems security used in the electronic world and especially on the Internet are beginning to play a role similar to roles played in an organized society the laws. Their main purpose is to ensure the protection of the owners' electronic property, including multimedia publications, audio files, images and video and text documents.

From the above-mentioned we may conclude that in real there are many ethical norms associated with the concept of property in the world. A similar situation takes place in the electronic world, where they take their form. Are used various types of electronic protection means. Protection mechanisms are based on cryptography, digital signature and digital watermark sign. They provide information security. Electronic ethics rules vary depending on by the nature of the mechanism used protection. Role this ethics very large since in significant degree defines behavior person in the electronic world. But one cannot fail to notice that self-regulation mechanisms appear in the network community. A prime example is spam problem. Against him the only one persistent rejection of spam by the online community, which was due to need self-preservation network community? Is the inability to control information technology system sufficient basis, so that they afraid? Network done people. It's hard to assume that evil will outweigh good. Humanity has a long history of exploiting technological change. At this it had and pluses, and minuses: overcoming ailments and ecological damage. Such is you can suppose, there will be an outcome contemporary and current digital information revolution.

VI. ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to Assist. Prof. Irma Bagrationi from Batumi Shota Rustaveli State University for the competent advices, consultations and direct participation in the translation, literary, technical and visual editing of the article.

REFERENCES

- [1] L. P. Hartman, J. DesJardins & C. MacDonald, Business Ethics: Decision Making for Personal Integrity and Social Responsibility, Third Edition, New York, Published by "McGraw-Hill", 2014. pp. 414–424.
- [2] I. Didmanidze, Z. Beridze and I. Bagrationi, "On the Ethical Values of Business and Technology Education According to Erich Fromm's Social Pedagogy Views", Proceedings: "SGEM 2019–6th International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts", Vol. 6, Published by STEF92 Technology Ltd., 51., „Alexander Malinov“ Blvd., 1712 Sofia, Bulgaria, 2019. pp. 53–62. DOI: [10.5593/sgemsocial2019V6.1/S07.007](https://doi.org/10.5593/sgemsocial2019V6.1/S07.007)
- [3] D. N. Bersoff, "The Virtue of Principle Ethics", The Counseling Psychologist, № 24 (7), New York, Hauppauge: "Barron's Educational Series Publication", 1996 [January]. URL: <https://doi.org/10.1177/0011000096241004>
- [4] S. T. Segun, "Critically Engaging the Ethics of AI for a Global Audience", In the Journal "Ethics and Information Technology", Publisher: "Springer Netherlands", 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s10676-020-09570-y>
- [5] I. Didmanidze, I. Bagrationi, V. Ulanov, N. Matrosova & G. Chargazia, "The Ethical Transformations of the Technological Systems For Digital Education Management", Proceedings: „DTMIS'2020 – Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service“, Published by ACM – The Association for Computing Machinery, New York, United States, 2020. Article № 69, pp. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1145/3446434.3446456>
- [6] A. Dr. Behiye, "The Relationship Between Technology and Ethics: From Society To Schools", Istanbul University, Hasan Ali Yucel Faculty of Education Istanbul, Turkish Online Journal of Distance Education (TOJDE). Vol. 9. No. 4. Article 9, 2008.
- [7] I. Bagrationi, "For the Issues of the World-View Online Foreign Language Learning", Proceedings: "SGEM 2018–5th International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts", Vol. 5, Issue 2.2, Published by STEF92 Technology Ltd., 51., „Alexander Malinov“ Blvd., 1712 Sofia, Albena Co., Bulgaria. 2018. pp. 497–504. DOI: [10.5593/sgemsocial2018/2.2/S09.063](https://doi.org/10.5593/sgemsocial2018/2.2/S09.063)
- [8] The Ethics of Information Technologies, The Library of Essays on the Ethics of Emerging Technologies, Edited by Keith W. Miller and Mariarosaria Tadeo, "Routledge", UK, 2016 [November]. pp. 217–227.
- [9] J. Ady, "Survey across the World", In Mark Warschauer (Ed.), Virtual Connections: Online Activities and Projects for Networking Language Learners, Second Language Teaching and Curriculum Center, Honolulu: "University of Hawai'i", 1995. pp. 52–57.
- [10] G. Morrie, "Building a Secure Computer System", Designed by Beth Tondreau, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1988. pp. 23–29.
- [11] M. Warschauer, "Electronic Literacy: Language, Culture and Power in Online Education", Mahwah, NJ: "Erlbaum", 1999. pp. 105–114.
- [12] K. Martin, K. Shilton & J. Smith, "Business and the Ethical Implications of Technology: Introduction to the Symposium", In the "Journal of Business Ethics". Number 160, 2019. pp. 307–317. URL: <https://doi.org/10.1007/s10551-019-04213-9>

Use of computer teaching systems in the learning process

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.11>

Didmanidze Didar

Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
ddidari1966@gmail.com

Akhvlediani Neli

Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
nelitemo@inbox.ru

Samnidze Nino

Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
nino.samnidze@bsu.edu.ge

Zoidze Ketevan

Batumi State Maritime Academy, BSMA
Batumi, Georgia
kzoidze10@gmail.com

Tsitskishvili Givi

Batumi State Maritime Academy, BSMA
Batumi, Georgia
gtsgiviko@gmail.com

Diasamidze Medea

Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
medea.diasamidze@bsu.edu.ge

Abstract – Just a few decades ago, books were mostly used as educational media, while posters, various mechanical models, etc. were used as educational visual illustrations. Laboratory experiments for teaching chemistry, physics, biology, etc. were conducted in schools and colleges using real materials. Today the situation is drastically changed and all this has been forgotten. Modern computer teaching technologies are being rapidly introduced in the educational space replacing old technology with hypertexts, e-books and textbooks, tutorials and many other forms and contents.

Keywords – computer teaching systems; learning process; computer technology.

I. INTRODUCTION

One of the main directions of the process of informatization of modern society is the informatization of education. Informatization of education, of course, implies the introduction of new information technologies and technical means in the education system. Education informatization provides and enables:

- Improving the management of the education system on the basis of the use of scientific-pedagogical information, teaching-methodical information materials and communication network database automation;
- Improving the relevant tasks for the development of teaching methodology choice and process management strategy in the system, teaching methods and organizational forms, the listener's personality in the modern conditions of public informatization;
- Creation of modern, innovative methodological teaching systems, which is focused on the development of the listener's intellectual potential, the formation of the ability to acquire knowledge individually (independently), the implementation of information-learning, experimental-research activities,

various types of independent information processing activities.

II. MAIN PART

Although computer technology is actively used in the teaching process today, we must always remember that it is only a modern teaching aid. Just as the teacher was a leading figure in the traditional learning process, the teacher still maintains leadership in classes or classrooms equipped with modern computer technology. Moreover, the teacher today appears as the creator of innovative pedagogical technologies and therefore he is not only a teacher, but also a teacher-technologist.

In the traditional teaching process, the teacher is the main source of information in the student / pupil relationship. An important feature in this process is the presence of feedback, which is more or less successfully implemented. We see a completely different picture when using computer technology in the learning process. The main feature that distinguishes this process from the traditional one is the availability to organize an effective dialogue between a person and a computer through interactive programs.

Clearly, e-books have many advantages over traditional textbooks that are reflected in the learning process. However, it also has its downsides, which must be identified and avoided. One of the positive aspects is that the electronic text book, as an emotional tool, has a positive effect on the user's mind, is easily perceived and helps to activate a memorable function. For example, any study topic in a traditional textbook may require a large textual explanation (sometimes even impossible) and still be difficult to comprehend, while for an e-textbook this process is very simple to imagine.

The use of computer teaching systems provides access to primary information through interactive learning programs, which significantly helps students, if properly competent, to master this or that subject or any topic of this subject.

With information unlimited in time and space, the student can independently consult using different sources of information; Constantly performing self-control in different forms, which significantly increases the motivation for cognitive activities and the creative nature of learning.

The types of e-training are determined depending on the task of designing e-learning and the purpose of teaching.

E-training can be of the following types:

- subject-oriented;
- Class-oriented;
- Focused on each topic of the subject;
- Skill development oriented;
- Focus on technology studies, etc.

The learning environment, which will maximize the student's independent cognitive activity and expression of creative skills, depends on the quality of the use of modern computer teaching systems in the learning process.

The flexibility of computer teaching systems and knowledge of their application skills is one of the most perspective ways to increase the effectiveness of learning. The use of modern computer teaching systems in learning processes should not be limited to accelerating the process, but should also be aimed at a deeper understanding of the topics and events to be studied.

The task solving method for each new exercise in computer training should be based on strict logic and include the following steps:

1. Discuss several tasks of one type and purpose;
2. Develop a specific algorithm for solving each task;
3. Analysis of the results of the obtained solution.

The main place in the given methodology should be to compile an algorithm, which is a sequence of precisely formulated rules for solving a specific type of task. Obviously, this algorithm is nothing more than a plan for solving a task. As a result of mastering different types of tasks, it is necessary for students to be able to compile a generalized algorithm and an appropriate program in an interactive mode, using computer tutorials.

We need to focus on the specific feature of a particular task, which is an important methodological problem. When creating a computer assignment, it is necessary to take into account the intellectual abilities of the student. Therefore, software product creation methods should be geared towards a simple execution process, including user instructions.

In the process of training a specialist, training on computer training and analysis of targeted experiments allows the specialist to develop reflexive skills to understand and orient in a difficult situation. In addition, on computer training we can visually demonstrate the physical essence and nature of the processes going on at the facility or equipment; their relationship to each other and a number of such important details, which, unfortunately, are not always given proper importance in practice and which can pose a significant threat to the facility management process.

CONCLUSION

Computer training can be of great help in analyzing the expected accidents of technical equipment and planning appropriate preventive measures to avoid adverse events caused by the accident. Clearly, this can be achieved by reproducing facility or maintenance management statistics and artificially created emergency and contingency simulations on computer trainings. All this should be done in the process of training specialists in higher education, which should be reinforced by the curriculum. Curricula should include the use of e-training in the learning process in the form of visuals, which will model the ongoing technological processes at the facility, which belongs to the field of activity of the future specialist.

REFERENCES

- [1] Didmanidze Ibram, Akhvlediani Neli, Didmanidze Didar, Khujadze Nino. Interactive multimedia tools. XXXV international conference *PROBLEMS OF DECISION MAKING UNDER UNCER-TAINTIES (PDMU-2020)*. ABSTRACTS. May 11–15, 2020, Baku-Sheki, Republic of Azerbaijan. p. 33–34.
- [2] Didmanidze I., Akhvlediani N., Didmanidze D., Khujadze N. TEACHING OF COMPUTER TECHNOLOGIES. XXXIII international conference *PROBLEMS OF DECISION MAKING UNDER UNCER-TAINTIES (PDMU-2019)*. ABSTRACTS. January 24 – February 1, 2019, Hurgada, Egypt. p. 33–34.
- [3] I. Didmanidze, N. Akhvlediani, D. Didmanidze. Training Process Using Computer Technologies. *ВІСНИК КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА. Сер. ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ*. № 2 2017, Україна, Київ 2017. p. 60–62.
- [4] Didmanidze Ibram, Zoidze Ketevan, Putkaradze Nino. Technological support in language learning and teaching. *IV international scientific and practical conference modeling, control and information technologies*. Works of conferences. No. 4 (2020), 5–7 november, Rivne, Ukraine, p. 83–86.

Analysis of the elevator as an object of automation

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.12>

Dobrydnyk Yurii

Department of Automation, Electrical and
Computer-Integrated Technologies

National University of Water and Environmental
Engineering
Rivne, Ukraine

Khrystyuk Andriy

Department of Automation, Electrical and Computer-
Integrated Technologies

National University of Water and Environmental
Engineering
Rivne, Ukraine

Abstract – the analysis of the relationship between the parameters of the process, typical automation schemes and requirements for the drying process, was made. It allows to determine all the contours of regulation and measurement.

Keywords — elevator; grain dryer; temperature; humidity.

I. INTRODUCTION

Ukraine needs to have grain stocks that would meet the daily needs of grain and its processed products for all consumers. The elevator industry is engaged in creation of such stocks. It not only takes grain into its granaries, but also does a lot of work to preserve and improve its quality, while excluding losses. This industry is the material and technical base of the country's grain turnover.

Managers of enterprises in the field of storage and processing of grain face difficult questions: how to reduce the cost of production, while improving its quality? How much production capacity is used optimally? Is it possible to improve production and financial results? One of the key factors in solving these problems is to increase labor efficiency in the entire technological chain – from raw materials to shipment of finished products. Other important tasks of automation – obtaining at any time necessary for decision-making reliable technological and economic information, ensuring the continuity and safety of technological processes [1].

Nowadays, new mini-complexes are being built, existing mechanized currents, receiving-cleaning, cleaning-drying and other points are being reconstructed and expanded. They included mini-elevators and mini-grain processing plants. Requirements for service personnel have significantly increased. Ensuring continuous reception, preserving the accepted grain without loss and improving its quality during storage is the most important task of employees of the elevator industry. The enterprises of the branch are assigned important tasks on reception, placement, processing, storage and processing of grain resources, their centralized use and maintenance of all branches of a national economy of the country [2].

Elevator industry enterprises purchase, process and sell varietal seeds of cereals, legumes, oilseeds for industrial use, as well as harvest and process hybrid and varietal seeds of different crops.

Cereals are and will be one of the main sources of income in Ukraine. Currently, the grain market of Ukraine is a system that includes trade in food, feed and seed grain, as well as grain for industrial processing, which differs in quality. Ukraine has the ability to export up to 20–25 million tons of grain. Determining the quality of grain in accordance with international standards is becoming increasingly important, as it is the quality of grain that includes its market value [3].

The aim of the work is to analyze an elevator as an object for develop an automatic control system for remote control and monitoring.

II. MAIN PART

One of the main stages of grain production is post-harvest processing, which consists in its cleaning and drying. Postharvest processing of grain in the cost is about 40%, and in labor costs – more than 50% [3–6]. In this regard, post-harvest processing and storage of grain is an integral and important part of all agricultural production. At the same time, farmers face the task of not only getting a good harvest, but also to preserve it so as to avoid losses. Losses of grain and products of its processing can occur due to a number of reasons. A significant amount of grown grain is lost during grain transportation, during the post-harvest processing and storage. To reduce grain losses to a minimum, it is necessary to protect it from the effects of adverse environments, to create conditions in which metabolism is delayed. To solve these problems, granaries equipped with appropriate equipment are required for drying, active ventilation, disinfection of grain entering the enterprises engaged in the reception and placement, storage of large masses of grain [7–9].

Grain storage technology is a method and methods of influencing grain masses and the environment, which allow to ensure quantitative and qualitative preservation of grain masses taking into account their features: what storage modes to use, how long to store, how to deal with pests of grain stocks, how to dry and ventilate grain and so on [10].

Grain is a living organism, it breathes, under certain conditions it can germinate, it can die or spoil. Life processes in the grain can intensify under favorable conditions, and in an unfavorable situation – to slow down. The intensity of life processes depends on storage conditions, ie on the state of the environment (heat, cold, humidity), on the state of the grain itself (humidity, temperature, content of waste and grain impurities). This is important because only on the basis of knowledge of biochemical processes observed in stored products and their effects, it is possible to more rationally organize the storage of large masses of a plant raw material and minimize losses [10].

The main part of the elevator is grain dryer. Grain dryers must ensure complete storage or improvement of grain quality, and therefore, uniform heating and drying; simultaneous drying of grain of different humidity; drying of grain of any initial humidity to final in one pass; drying of grain without its preliminary cleaning; continuous reception of grain, ie its drying in the flow of grain; exclusion of removal and mechanical damage of grain; efficient cooling of grain; relatively low fuel consumption, electricity, capital investment. Grain dryers should be universal, environmentally friendly, fireproof, easy to maintain and automatically adjustable [2; 3; 7]. According to the method of heat supply, there are convective and conductive grain dryers. According to the condition of the grain layer, there are dryers with dense fixed, gravitationally moving, fluidized, falling and suspended layers.

Studies of the grain drying process revealed that the existing automation system is significantly outdated, as well as the main part of the equipment installed on the elevator. Certain economic and qualitative losses during grain drying are caused by non-economical (suboptimal) use of thermal resources and the need for additional drying of a certain amount of grain, which has already passed through the dryer due to the fact that the equipment is obsolete. Optimizing the initial parameters of grain moisture and improving the management of the parameters of the drying process can become a reality due to the creation of a modern functional scheme of automation. It is advisable to create a modern control system for the drying process.

We propose a certain replacement of obsolete equipment with new ones, the introduction of modern industrial means of automatic process control, the introduction of means of collecting and archiving data on the processes in the dryer.

The analysis of the relationship between the parameters of the process, typical automation schemes and requirements for the drying process, allows you to determine all the contours of regulation and measurement. The developed automation system will be able to provide all the needs of the technological process and create safe working conditions for staff.

The main parameters that characterize the course of the grain drying process are: the temperature in the dryer zones, the level of grain in the hopper above the dryer and especially the humidity of the dried grain. When one of these parameters goes beyond the

technological limits, the process of grain drying should be stopped, as there is a danger of reducing the quality of grain or significant overuse of energy resources during drying. With this in mind, the creation of the FSA must implement the appropriate locking and signaling circuits. To monitor the process, you need to ensure the output of data and parameters on the display of a personal computer.

Figure 1 shows the structure of a set of technical means developed by us that provides automation of the grain drying process.

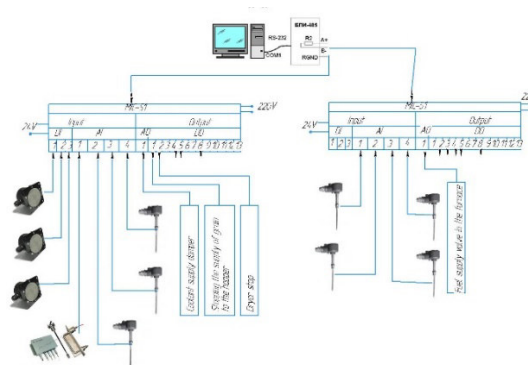


Figure. 1. Structure of a set of technical means

When choosing means of automation it is necessary to take into account not only the technical characteristics of sensors, transducers, regulators but also the environment in which they will work, in addition, the developed set of tools should ensure a smooth and predictable process.

III. CONCLUSIONS

Implementation of the developed control system should reduce grain volumes, which will require re-drying by 6–8%, with the introduction of moisture control of the source product will increase the quality of grain drying, as well as reduce the risk of dangerous and emergency situations, reduce periods of scheduled and unscheduled repairs.

REFERENCES

- [1] Atanazevych V. Y. Sushka zerna. M. : Ahropromyzzdat, 1989. 240 s.
- [2] Stankevych H. M., Strakhova T. V. Atanazevych V. I. Sushinnya zerna. Kyiv, Lybid', 1997. 352 s.
- [3] Zhydko V. Y., Reznikov V. A., Ukolov V. S. Zernosushenye y zernosushylky. M. : Kolos, 1982. 239 s.
- [4] Instruktsiya po sushinnyu prodovol'choho, kormovoho zerna, nasinnya oliynykh kul'tur ta ekspluatatsiyi zernosusharok. Odesa–Kyiv, 1997. 72 s.
- [5] Malyn N. Y. Snyzhenye énerhozatr na sushku zerna. M. : TSNYYTÉY VNPO Zernoproduct, 1991. S. 1–46.
- [6] Malyn N. Y. Spravochnyk po sushke zerna. M. : Ahropromyzzdat, 1986. 158 s.
- [7] Zhuravlëv A. P. Zernosushenye y zernosushylky. Monohrafiya. Kyne! : RYTS S-HSKHA, 2014. 293 s.
- [8] Shevtsov A. A., Drannykov A. V., Kutsov S. V. Zernosushenye. Uchebnoe posobyte. Voronezh : VHTA, 2011. 80 s.
- [9] Anysymova L. V. Proektyrovanye élevatorov. Uchebnoe posobyte. Barnaul : Yzd-vo AlHTU ym. Y. Y. Polzunova, 2004. 167 s.
- [10] Vynokurov K. V. Élevatory, sklady, zernosushylky. Uchebnoe posobyte. Saratov, S-HTU, 2008. 88 s.

Development and investigation of adaptive micro-service architecture for messaging software systems

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.13>

Gamzayev Rustam

V.N. Karazin Kharkiv National University
Kharkiv, Ukraine
Rustam.Gamzayev@karazin.ua

Shkoda Bohdan

V.N. Karazin Kharkiv National University
Kharkiv, Ukraine
xa11867771@student.karazin.ua

Abstract — Messaging Software systems (MSS) are one of the most popular tools used by huge amount of people. They could be used for personal communication and for business purposes. Building an own MSS system requires analysis of the quality attributes and considering adaptation to the changing environment. In this paper an overview of existing MSS architecture was done. Data model was developed to support historical and real time data storage and processing. An own approach to build Adaptive Microservice MSS based on the messaging middleware and NoSQL database was proposed.

Keywords — microservice; messaging; system; architecture; software.

I. INTRODUCTION

Development of the Messaging Software system (MSS) is not trivial and requires considering complex approaches in the modern scalable architecture design. With the invention of the World Wide Web, humanity has taken a big step in information technology and in social relationship. Using it, each person can look for information that meets his needs, to communicate, using smart devices and IoT. After an amount of devices connected to internet have increased, and collaboration relationships of different software systems become more complicated it was necessary to modify approaches and methods to develop software systems.

There are presented a lot of different approaches that are used in building of architectures and design. Early development started with single big applications that were easy to maintain at the beginning but after a time when it was becoming bigger and bigger it was obvious that once it would be impossible to manage this big chunk. In a nutshell, it was a monolithic architecture.

Building monolithic applications can be very expensive and hard to support. A big application that contains the whole logic is also hard to scale. For example, if this type of an application can be deployed in 10 and more minutes, it is hard to imagine how fast and safe can the application be restored in the case of unexpected issues [1]. Though it can be really fast to develop at the beginning as you don't think about most of the issues but it is not a good solution for the future if

we talking about the development of messaging systems that process more and more data from time to time.

When developing MSS we need to consider the following parameters [2]:

- reusable;
- lightweight;
- easy to scale;
- independent.

One of possible approaches for software development that will meet such quality attributes is a microservice architecture. Microservice architecture is an architectural style which structures a system as small, loosely coupled services. Simply, we can imagine this architecture as a decomposed monolith. Each of those services have a single responsibility for specific domain models. It allows us to deliver mostly each part independently. Moreover, it gives an opportunity to build scalable high load systems which are the main aspects of messaging applications. But we need to consider and reimagine much more that we could omit earlier. After some time this architecture became one of the most popular. Though it is used in the web sphere mostly it is hard to find an application that does not use this approach nowadays. There are a lot of studies but the one that is done in [1] describes microservice architecture usage in cloud native systems as they are full of distributed computing. From it we can see that after some time microservice architecture was started to be used in different processing models and it will be used for a very long time for sure.

The purpose of the work is to analyze, study high-load architecture, existing solutions, practices, approaches and development using a highly loaded architecture with micro-service solutions to maintain and ensure the security of a large amount of data, not having a large amount of hardware resources.

II. RELATED WORK

Though microservices mostly appeared in 2014, since that time there were published an enormous

number of papers and this number extremely goes up even now.

In [3] was conducted a research regarding architectural models and technologies and focused on common problems, pitfalls and main algorithms what should be followed in order to design and develop a system that using a microservice architecture.

Comparing to the monolith architecture, security layer is harder to implement in the microservice architecture. Having multiple services in the network gives us multiple APIs and multiple attack points which can be accessed in case of not very secure system. In [4] was conducted a research regarding microservices security. Attacks, processes and other things were described which can make any microservice system vulnerable. Also, a lot of approaches were presented on how to organize the process of securing microservice architecture.

Working with data can be also challenging. Having a big model that is divided to each microservice and its data source creates new ways on how to process, obtain and aggregate data. In [5] a research described the ways of managing data in microservice architecture. Moreover, the architecture generates a new ways of data communications using HTTP or asynchronous methods of communication (by using RabbitMQ or Kafka).

III. ANALYSIS AND INVESTIGATION OF EXISTING MESSAGING SYSTEMS DEVELOPMENT METHODS

Messaging software systems become very popular in the last 10–15 years. One of those was ICQ. First ever created prototypes didn't have such a variety of functions comparing to the modern solutions but still it was very helpful.

Every day something new is developed. When smart devices become an integral part of our community, a society faced new problems which should be solved. The marketplace is growing very fast and provides such solutions from time to time. It's hard to imagine a messaging application without audio or video streaming functionality nowadays though in the past we had a possibility to exchange with messages containing different types of information. For now, there are a lot of prototypes that are made for specific environment. It can be a business area's solutions which were developed for big companies or it can be open solutions that connect people all around the world.

In this paper some of the most popular solutions were analyzed to get the idea of how the messaging service works under the hood to make a generic approach and design on how to build MSS. Those were Slack, Avito Messenger, Viber, WhatsApp, Discord.

Slack is an enterprise messenger written using a PHP programming language and a MySQL database. The algorithm of this messenger can be described by the following steps:

1) A request is made to the server (authentication), which returns a token for interaction. The session starts for the user;

2) MySQL databases are searched. There are a lot of them and they all contain information on chats and users.

3) A server looks for the user's shard and when it is found a user will be able to interact with an application.

For a data transfer, Slack uses an analogue of a websocket protocol that is developed by a Slack team.

The entire database of the application is divided into many databases containing the same structure and different data (sharding) – the principle of database design, in which logically independent rows of the database table are stored separately.

Because MySQL is used, the team was faced the situation that when it was necessary to scale the system, it became very complicated and expensive due to sharding architecture. When a new node was added, many other nodes stopped working properly, which caused the system's performance to drop and had to be refactored. Due to the closely related structure, the team had to spend a lot of time reworking the architecture [6].

Avito Messenger is a messenger for users of the website Avito – an online service for placing ads about goods, real estate, work vacancies etc. and as well as services from individuals and companies. Messenger also uses sharding, but with a different NoSQL database – MongoDB. A total of 8 replica sets are used, which are independent, as well as shards by user ID. This messenger allows to have non-group chats between only two users. To store messages, 2 shards are used - for the recipient and for the sender. The algorithm of sending the message is next: firstly, the message is sent to the service API component, which immediately writes it to the sender's shard. The message then goes to the service-db-store component and is stored for the recipient [7].

Next investigated messengers were Viber and WhatsApp. Those are primarily mobile messengers but can be also accessed from desktop clients. Viber and WhatsApp messengers use local data storage. That is, if the message was delivered to the recipient, it is not stored on the server, but stored only on the recipient's device. In the case of WhatsApp, if a message is not delivered to the recipient, it is stored on the server for 30 days. Then, if it was not sent, it will be deleted from the server and will not be received in the future. Viber does not store messages on the server at all [8, 9].

And the last very popular messenger that was investigated was Discord. Discord is a free messenger with support for voice over IP (VoIP), video conferencing. Mostly, it is developed for gaming purposes such as streaming, recording etc. Initially, a MongoDB database was used in an architecture. Everything in Discord was specially stored in a single replica network, and messages were stored in a collection with a single composite index on channel_id and created_at. Over time, the limit of 100 million messages in the database was surpassed, and then problems began to arise: long delays, big chunks of non-managed data – etc. It was decided to move to CassandraDB because:

1) the read / write ratio of the database is approximately 50/50.

2) linear scalability (transferring data to another shard after reaching the limit was not an option).

3) the ability to generate readings by criteria, such as the last 30 days [10].

After the deep analysis of those prototypes it was decided that the approach that was used in Discord met all our requirements and it was used in the next part – a design of the messaging system.

IV. DESIGN OF A MESSAGING SYSTEM

Messengers process a lot of messages in real time so a correct and fast communication protocol is a must. There are a lot of different protocols such as HTTP that are used in the modern web. HTTP is an application layer protocol for data transmitting that uses requests. The basis of this protocol is a client-server technology, where the server is a provider that expects requests from clients, and clients are who send requests to the server [11]. But having a lot of HTTP requests sent to a server can make an overload and slow down the processing if we try to send messages using this protocol. There should be used a protocol that allows us to process data asynchronously and without a need of waiting for the response from the server if we talk about messaging sending. Something that is similar to websocket can be used as it allows to initiate a bidirectional connection between a client and a server to process data. Though there are a lot of modern solutions for real time messages processing, it was decided to use a STOMP streaming protocol that is built on top of websocket for the messaging sending and an HTTP protocol for simple requests such as user registration/login, information editing etc.

STOMP is a real-time data transfer protocol that is very similar to HTTP and runs on top of TCP and websocket protocols using commands for real-time connection and communication [12].

As those two protocols by default are not secure, TLS will be used in order to not expose any data to the real world and non-authorized users. A complex encryption mechanism was not included as the main purpose was to research design and performance sides

Because in a microservice architecture we can have many independent services the main task is also to set up communication between these services, as data or business logic can be broken down between different services. Typically, synchronous communication is used through the HTTP protocol. This means that we will wait for the result of the request to another microservice until we receive a response. If a service takes some time to process a request, it can block the entire system or individual services, which affects performance.

In this case, very often use asynchronous principles that allow you to give a specific task for processing to the queue, and when the result of the task is ready, a user will receive it. It was decided to use both technologies to support asynchronous communication – RabbitMQ and Apache Kafka.

RabbitMQ was only used for the data protocol because the STOMP protocol's queues are slower than RabbitMQ queues. It increased a message processing's performance a lot.

Apache Kafka was used to interact between consumer / producer services. These two types are responsible for the basic logic of chat, for example sending messages, joining chats. Once the message has been sent from the user interface and read from the RabbitMQ queue, it is in the first stage - the processing stage. The service checks whether the message can be sent to the chat (whether the user can send the message to the chat, whether he is connected to this chat etc.) and checks the structure of the message. If everything that user entered is correct, the message is written to the database tables and sent to the Kafka queue. From this queue, the message will be taken and sent to the main chat by the consumer service.

Because the data in a storage appears quickly, retrieving this data from tables for example from SQL databases can become very slow. As said earlier, it was decided to use a similar approach that is used by a Discord team – using a Cassandra database.

Apache Cassandra is a distributed database management system related to NoSQL types and is designed to create highly scalable and reliable storages of huge data sets. Because messengers require a huge storage to save messages into, it is a must to have a right way in order not to slow down a system as a number of messages increases. With Cassandra, it is possible to create a separate structure for storing messages of each chat with the subsequent sectioning of this data by time sections. This means that separate sections will be created for each chat, in which messages for a specific period and a chat will be stored. This specific time period is determined by the year and month.

Additionally, for the application security it is essential to have authentication and authorization processes. Authentication and authorization processes are used to prevent unauthorized access. Authentication is the process of recognizing an individual. Authorization is a process that allows you to give permission to the client to perform certain actions. Because developing an application security layer is very complex from the beginning and time consuming, it was decided to use already developed solution Keycloak to organize these two processes.

Keycloak is a single sign-on server with the ability to manage the status of a connected client. With its help, it is also possible to organize the process of user registration. It also allows you to configure special user groups and grant them rights to use certain system functionality.

And the last important part through which a user interacts is a web interface. Also, the web application must monitor states of chats. A Redux library allows to manage states of web applications. And the main single application page's structure was developed using the React.js library. A collection of ready-made graphic components that were used were provided in the Ant Design library.

If we combine everything together, we shall have a similar architecture that is displayed on the figure 1.

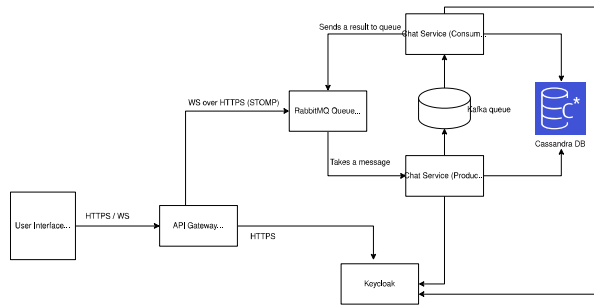


Figure 1. Messaging system architecture

Therefore, based on the done research, it was shown that developing MSS is very hard and needs a deep understanding. Using microservice architecture it was shown that additional actions were needed to settle drawbacks and make a system highly available. In order to work with any amount of data a data storage model was introduced and selected based on the done research of the modern messaging solutions. Various communication and security methods were used to achieve the maximally optimized system.

REFERENCES

- [1] Pachghare, Vinod. (2016). Microservices Architecture for Cloud Computing. *Journal of Information Technology and Sciences*. 2. 13.
- [2] Bushong V., Abdelfattah A. S., Maruf A. A., Das D., Lehman A., Jaroszewski E., Coffey M., Cerny T., Frajtek K., Tisnovsky P., Bures M. On Microservice Analysis and Architecture Evolution: A Systematic Mapping Study. *Applied Sciences*. 2021, 11(17):7856.
- [3] Gamzaev R. O. Architectural models and technologies of microservices in order to increase the adaptability of variability in the development of lines of software products [sciences. pr.]: materials of the XV international scientific-practical Internet conference (m. Kiev, 11 chervnya 2021 r.). Kiev, 2021. P. 224–233.
- [4] Mateus-Coelho, Nuno. (2020). Security in Microservices Architectures.
- [5] Damyanov, Ivo. (2019). Data Aggregation in Microservice Architecture. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. 15. 81. 10.3991/ijoe.v15i12.11095.
- [6] Keith Adams. How Slack Works, Youtube, URL: <https://youtu.be/WE9c9AZe-DY>
- [7] Alexandr Emelin. Avito Messenger Architecture // Youtube, February 26, 2020. URL: <https://youtu.be/4tIS58sQ7Mc>
- [8] Bringing modern storage to Viber’s users: Google, July 1, 2020. URL: <https://android-developers.googleblog.com/2020/07/bringing-modern-storage-to-vibers-users.html>
- [9] Privacy Notice: WhatsUp, 2021. URL: <https://www.whatsapp.com/legal/updates/privacy-policy/?lang=en>
- [10] Stanislav Vishnevskiy. How Discord Stores Billions of Messages: [Електронний ресурс] Discord Blog, Jav 14, 2017. URL: <https://blog.discord.com/how-discord-stores-billions-of-messages-7fa6ec7ee4c7>
- [11] MDN contributors, “An overview of HTTP”, URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Overview>
- [12] Jeff Mesnil, “STOMP Over WebSocket”, URL: <http://jmesnil.net/stomp-websocket/doc/>

Student' own discoveries in information theory curriculum

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.14>

Gayev Yevgeny
 Aerospace Control Systems dept.
 National aviation university
 Kyiv, Ukraine
 Ye_Gayev@i.ua

Abstract — A recent approach to learning Information and Coding Theory is suggested basing on power of modern computer science. Students willingly try to rediscover known and famous technologies by means of programming them. In order not to distract their attention, an ‘easy programming’ is suggested for what MATLAB seems to be the best tool. Collection of programs developed mutually by author and his students forms an ‘Information Theory Digital Laboratory’.

Keywords — Information Theory; educational curriculum; coding-decoding; error-correcting codes.

I. INTRODUCTION

Information Theory is a discipline fundamental for many modern specialties. It is so important to educate students in accordance with recent methodology involving computer technologies. Author suggests an active educational approach called “Student’s own discoveries”. It includes suggestion to students a virtual repetition of fundamental inventions from this area by means their own programming. MATLAB seems to be one of most preferable tools for this because it allows to pay less attention to programming technology itself but more for essence of the problem in focus. Author wrote a textbook about [1]. It is his intention to present this material now.

II. STUDENT “DISCOVERIES”

Initial invitation for student’s discoveries should be an overview of coding technologies of recent days unlikely to meet in classical textbooks yet, and a Gallery of Information Era Heroes; they may prepare essays about them. Simple coding programs like Morse (Fig. 1) or Bodo codes (Fig. 2), variable length coding and/or constant-length one as well as other similar ones may be suggested next [2, 3]. Any language may be used here to understand the problem deeper, but MATLAB seems to be the most easy one. Another useful research programming task for them may be an analysis of a literature text for frequency of its characters [2, 3]; such work required several years in the past but few minutes today. Having determined such probabilities, a vector $p=[p_1, p_2, p_3, \dots, p_n]$, MATLAB allows to get entropy of corresponding alphabet in one simple line:

```
>> H=-sum(p.*log2(p))
```

Similar, programs for channel entropies from three points of view (i.e. Receiver vs. Sender, Sender vs. Receiver and their mutual entropy) are worth to be prepared and analyzed by students. Channel noise may be easily simulated in any programming language by probabilities for 1 to being changed to 0, and vice versa, 0 to 1.

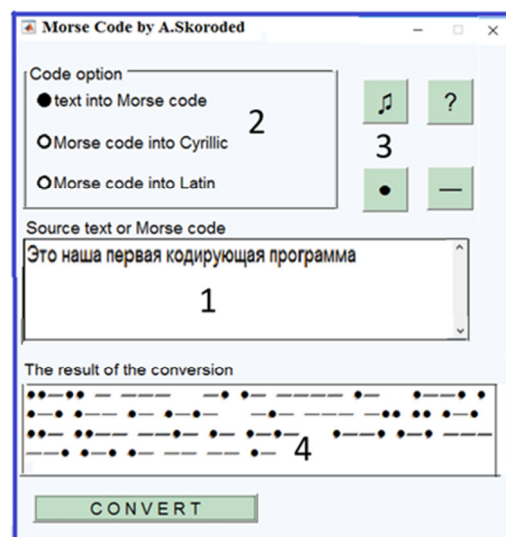


Figure 1. GUI-program for coding and decoding by Morse alphabet: 1 – input window, 2, 3 – options acoustic reproduction, getting help etc., 4 – window for encoded text

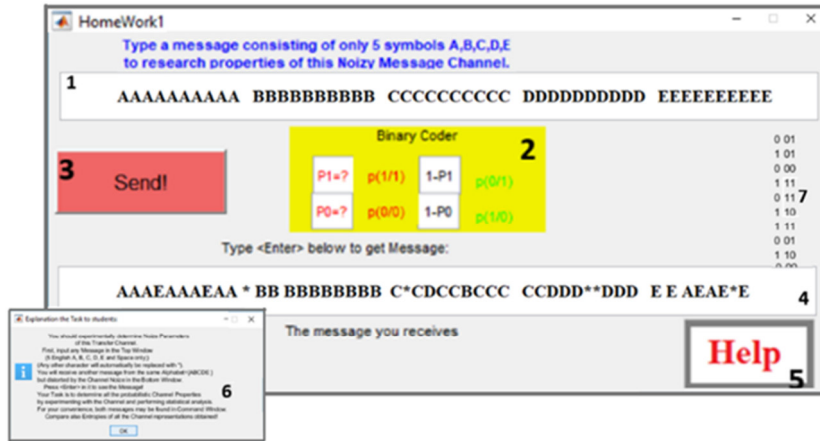


Figure. 2. GUI-program HomeWork1 for laboratory work on determining probability parameters of an information transfer channel: 1 – window for input messages; 2 – hidden parameters of binary noise; 6 – Help, instruction to work

One of the most challenging problems in information theory and technology is development of ‘smart codes’ able to correct transfer errors. Redundancy is to be used for them but as minimized as possible. Application of theory is suggested to students to develop such coding technology with supplementing programs [4, 5].

Having developed them allows to get statistical analysis how these technologies reduce percentage of errors. All these constitute Digital Laboratory for virtual examination of information transfer technologies.

III. CONCLUSIONS

It is up-to-date to suggest an innovative educational method of ‘Own student’ discoveries’ to learn actively and research problems in Information and Coding Theory curriculum. It means developing student’s own computer programs that allow to focus more deeper on the problem. It is advised to apply an ‘easy’ programming for doing this. MATLAB seems to be the most preferable language [6].

‘Digital laboratory’ of Information Theory may be constantly developed further by educators and student’s mutual efforts.

ACKNOWLEDGMENT

Author thanks his students for the fruitful cooperation during our classes, and especially Olexiy Boiko, Anastasiya Skoroded and Kateryna Khavray.

REFERENCES

- [1] С. О. Гаєв. Теорія інформаційних процесів методом відкриттів з MATLAB і Java. Навчально-дослідницька робота. К. : НАУ, 2021. 140 с. (in Ukrainian)
- [2] Ye. A. Gayev et all. Digital Laboratory of Information Processes Theory: an innovative educational approach. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції “Авіа-2017”. 19–21 квітня, Київ : НАУ, 2017. 9.42, р. 638–641. URL: http://avia.nau.edu.ua/doc/avia-2017/AVIA_2017.pdf
- [3] Ye. A. Gayev and V. M. Azarskov. Educational “Own Discoveries” Method by an easy MATLAB-Programming for Engineers. URL: http://proceedings2018.caeconference.com/posteraward/PosterAward_2018_finalists%2038.pdf
- [4] O. O. Boiko, Digital laboratory for information process theory. Java-realization. Bachelor Thesis. Kyiv : NAU, 2018. 85 pp.
- [5] A. V. Baboryga, Digital laboratory for information process theory. MATLAB-realization. Bachelor Thesis. Kyiv : NAU, 2018. 90 pp.
- [6] Гаєв С. А., Азарсков В. Н. Сучасне програмування для інженерів : навч. посіб. Програмування та математика з MATLAB. 2019. Ч. 1. 300 с. Складні типи даних та алгоритми, інтелектуальні програми. 2016. Ч. 2. 198 с.

Follow digitally by using a blog

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.15>

Geladze Darejan
Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
darejan.geladze@bsu.edu.ge

Motskobili Ia
Batumi State Maritime Academy, BSMA
Batumi, Georgia
ia_motskobili@mail.ru

Didmanidze Ibraim
Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
ibraimd@ukr.net

Akhvlediani Diana
Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
diana.akhvlediani@bsu.edu.ge

Koridze Lili
Lep1 Batumi 6 physics-mathematical public school
Batumi, Georgia
koridze.lili@teachers.gov.ge

Abstract – Worldwide, education innovation is considered a top priority, with the access to and diversity of educational resources having increased significantly since the widespread use of the Internet. Initially, Internet platforms and tools were not directly adapted to the learning process. Along with the mastery of technologies by education specialists, numerous useful resources or tools have been created, which can be used by all interested teachers and they can become the author of the resource.

Keywords – blog, education; learning process; learning blogs.

I. INTRODUCTION

Blogging as an effective teaching-learning tool is becoming more and more popular. It is very important to make the most use of this resource. Previously, an education worker could not even dream about it, as long as there was no computer, no internet, neither in the educational institution, nor at home. The technical equipment of the school and the internetization (although there are some problems here as well) were almost completed throughout Georgia. Considering this situation, it is now possible to use blogs when planning and conducting various learning activities.

Blogs or Internet e-journals are increasingly being used to facilitate collaborative learning. Some of these sites are accessible to everyone, such as Blogger.com, the global generator at Google. All you have to do to create a Gmail email address and go through the blog creation process.

A blog is a website created by one or more people for regular posts. The recording can be text type, video or audio material. A blog usually describes a different event, gives an authorial rating, makes a comment, and offers it to others for discussion; Blogs, or Internet e-journals, are increasingly being used to facilitate collaborative learning. Some of these sites are available to everyone!

Blogging helps to change the traditional classroom environment, the classroom changes across the country and current and future careers depend on powerful computer skills, blogging helps your students develop the skills needed for their further education and lucrative employment. The world of blogging is like a creative and fun way to cross literacy. Most blogs include

commentary and discussion tools that allow students to incorporate their ideas into conversations with others, whether in local learning communities or in an open network.

The public, ongoing nature of blogs can help students find connections between more integrated learning practices, personal, professional and academic experience. The main value of blogs in learning is that they enable anyone to participate in knowledge creation.

The blogging software is very simple but also flexible enough to be customized in both style and structure.

The aim of the topic: to study the use of the platform-blog by teachers/students in Adjara Secondary School, which will help to improve the learning experience, diversify the teaching process, increase communication and cooperation between teachers and students.

Research objectives:

1. Identify the benefits of blogging in the learning process;
2. Survey of teachers and students in terms of basic skills in working with blogs, how much additional training is needed, how, why and to what extent they use blogs in the learning process, sharing their experiences.

Scientific research news: Substantiate the importance of creating and using learning blogs to improve the quality of teaching. Offer recommendations to solve existing problems.

Importance of the research: The latest papers on the creation of the blog, research results, experience were analyzed and relevant recommendations and conclusions were prepared.

The teacher should be guided by the existing subject standard, the content of the program and based on it should find and prepare teaching resources. "The teacher has to adapt the teaching material in such a way that the material provided to students is understandable and easily understood. However, the role of the parent is also an important issue here.

In the learning process, blogs are used to gather students' opinions to understand what has been learned, or to debate over the learning topic:

What do they use the blog for:

- To find information;
- For the portfolio;

Modeling, control and information technologies – 2021

- For personal records;
- To complete assignments;
- Involvement of blogs in teaching-learning on the one hand (in students):
 - Serves to create a positive emotional background;
 - Develops the child's creative skills;
 - Increases the child's motivation and individuality;
 - Makes teaching diverse;

On the other hand, it helps teachers:

- To understand and evaluate the student's skills better;
- Helps to find new, non-traditional teaching methods and forms;
- Helps to increase the quality of cooperation with colleagues;
- Helps to introduce and share innovations;

It is interesting to determine the extent of using blogs in teaching and learning, what teachers and students use this resource for, how the use of blogs affect the quality of teaching and learning, what kind of problems accompany this involvement and how they can be minimized.

The followings were used to explore the benefits of blogging and its involvement in teaching:

1. Methods of finding materials related to the topic from the internet and their systematization, analysis.

2. Interview, social network

With the help of Internet resources (electronic libraries, foreign databases), information was obtained on educational innovations, recent scientific research and reviews on the use of ICT in education.

II. DESCRIPTION OF RESEARCH RESULTS

The study showed that all teachers and students are aware of the importance of using blogs in the learning process, although 13% of teachers and 2% of students use it for educational purposes. Teachers blame the problem on the lack of time, lack of technical means and malfunction. Low level of competencies to work with technical means, particularly the blog and consequently students do not have information about the blog. It is advisable for teachers to analyze the ways of creating a blog with students' and the need for the Ministry of Education to plan more training courses, seminars, conferences in order to increase teachers' competencies.

Most of the teachers surveyed mentioned that they often use a blog in the learning process:

- Prepare assignments (class, homework, independent) relevant instructions and assessment scheme on a daily basis according to the classes.

- One of the activities during the lesson is always connected to blog to see the assignment, to do it, to make comments, to view the work of classmates.

- They also write options for their daily lesson plan in their blogs.

- Prepare questionnaires, tests, options for summery work as needed.

- They also post some interesting links connected to the topic of the lesson, student's work on the blog.

Teachers want students to leave some comments on the blog, where they will post their opinions on the difficulty of the assignments, wishes on what type of

assignments they want to place, assessments on classmates' work and many more.

The blog helps students:

1. Find interesting and necessary information;
2. Perform practical tasks tailored to their needs;
3. Ask questions to the teacher on incomprehensible issues, get feedback promptly;
4. Comment on their own opinions, assessments and see that their opinion is important;
5. Learn about and use of new technologies;

The blog is:

- Collaboration between teachers and students, experiments and research, mutual assistance, sharing of experiences.

- The learning process continues without limitation of time and space.

- Cheerful, easy-to-understand, collaborative lessons change our attitudes towards learning and each other.

- The student is more critical of his/her own work and tries to constantly develop 21st century skills.

- A blog is universal, effective means of teaching and learning, with all teachers and students realizing that modern technologies, including blogs, need to be involved in the learning process to ensure effective teaching.

CONCLUSION

The result of the study revealed the following recommendations:

- It is obligatory for the Ministry of Education to frequently plan training courses, seminars, conferences in order to increase the digital competencies of teachers;

- It is desirable to strengthen the practice of digital teaching-learning in the learning process;

- Targeted use of the digital resources owned by the school and the student;

- It is desirable for teachers to be interested in digital tools which will help to effectively integrate technologies to achieve learning outcomes;

- It is desirable for teachers to create an electronic resource information board with students;

- Send homework to students electronically through the blog and receive the necessary feedback;

- It is desirable for a teacher to be an innovator, mentor, catalyst, motivator;

- lessons should become constructivist, diverse and oriented to the 21st century skills;

Thus, blogging is a creative and fun way to cross digital literacy in learning/ teaching. It helps to change the traditional classroom environment, giving everyone the opportunity to participate in knowledge creation.

REFERENCES

- [1] Akhalkatsi N. How to create a blog and e-portfolio. URL: <https://www.slideshare.net/niniax/ss-32095599>;
- [2] Gordeziani Ts. Modern Pedagogical Technologies, Tbilisi, 2004.
- [3] National Curriculum, Chapter II. Article 8. Tbilisi, 2018–2024.
- [4] Tvaliashvili P. Creating and Managing Blogs, (textbook), Tbilisi.
- [5] Kupatadze K. Electronic Learning, Tbilisi, 2009.
- [6] Lobzhanidze S., Phirchkhadze M., Ratiani M., interactive Methods in Practice, Teacher's book. Tbilisi, 2016.

Automatic apiary care system

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.16>

Kirpichnikov Anton

Department of Automation, Electrical and Computer-
Integrated Technologies
National University of Water and Environmental
Engineering
Rivne, Ukraine

Khrystyuk Andriy

Department of Automation, Electrical and Computer-
Integrated Technologies
National University of Water and Environmental
Engineering
Rivne, Ukraine

Abstract – an automatic control system for remote control and monitoring of bee life parameters in hives is developed. Based on the research of the main parameters of the life of bees in the hive, we have developed a scheme for managing and monitoring the weight of the hive, temperature and humidity, noise level, prevention of theft.

Keywords — monitoring; weight; temperature; hive; noise.

I. INTRODUCTION

The trend of scientific and technological development in recent decades is the automation and application of information technology in traditional fields of human activity. One of the major areas of activity, where automation and informatization gives great economic benefits, is agriculture, namely honey production [1, 2]. More than 90% of honey in Ukraine is produced by households, the process of honey production in such farms is little automated, almost all production is done manually.

The aim of the work is to develop an automatic control system for remote control and monitoring of bee life parameters in hives.

II. EXPERIMENTAL LEARNING

Based on the research of the main parameters of the life of bees in the hive, we have developed a scheme for managing and monitoring the following parameters:

1. The weight of the hive. Data on the mass of the hive allows you to control the filling of the hive with honey. Our system offers a single-point strain gauge.

2. Temperature and humidity -the temperature range measured must be between -20°C and 40°C . We proposed the use of a two-parameter temperature and humidity sensor.

The temperature will be regulated by a fan and a heater. The system will maintain a constant temperature under different conditions: in spring and summer the temperature of the hive should be $25...27^{\circ}\text{C}$. In September, the temperature should be 20°C . When there is no brood, it is reduced to $9...12^{\circ}\text{C}$. In October, its norm is $8...9^{\circ}\text{C}$. At the beginning of winter the temperature should be the same. Its reduction inhibits the activity of bees.

3. Noise level. Noise level measurement is implemented using a sound sensor. A healthy family was taken as a standard and noise levels were taken under normal conditions, in a state of rest, restlessness,

or swarming, and a "true" value was established according to which the noise norm threshold was established.

4. Prevention of theft. To provide an alarm for the opening of the hive, the alarm is implemented when closing/opening the lid using the opening sensor.

Management, processing and output of data will perform the ESP 8266 microcontroller with built-in Wi-Fi module, the received data is collected and displayed on the web server, for remote monitoring of parameters (fig. 1).

Power provided by an external battery 12 V. Sensors: DHT-11 digital temperature and humidity sensor; microphone with sound amplifier LM386 and comparator LM393 with analog output, step-down voltage converter on the chip XL4015 with regulation of output voltage and current limitation and maximum output current up to 5A, the converter has protection against short circuit of the load when triggered. 2pcs 5V 1-channel low level relay modules; superminiature reed switch 2-pin.

Executing mechanism: film heater for beehives 12V with a power of 10 W; cooler with a nominal voltage of 12V.

The developed algorithm of system functioning (fig. 2) provides measurement of temperature, humidity, weight, noise level, check of a signal from a reed switch and sending to the site / server. Accordingly, is checked for compliance with the condition: the temperature is in the range of set values or not, respectively, if the temperature is not within, the fan or heater will be turned on. If the temperature is within the set range, the heater / fan is switched off.

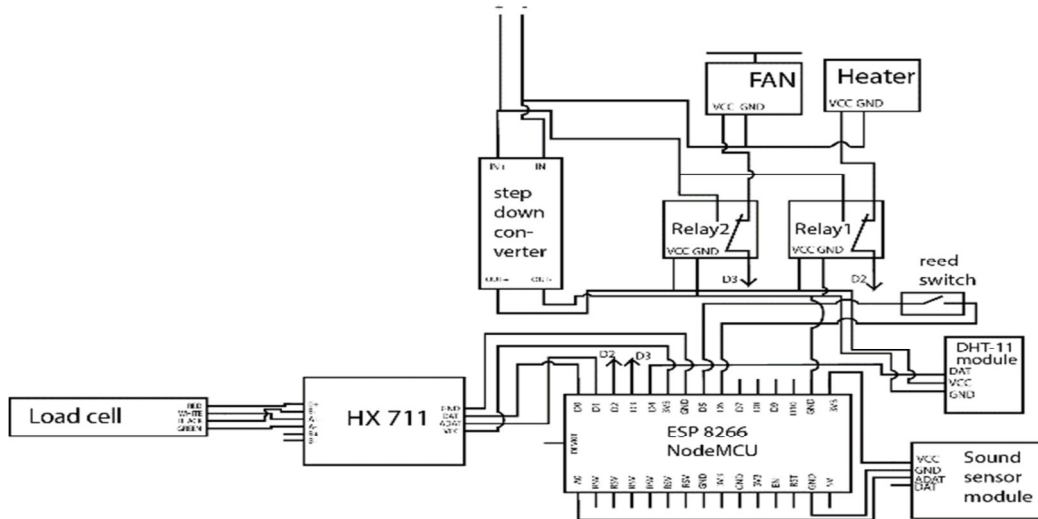


Figure. 1. Block diagram of the automatic system of care of a beehive

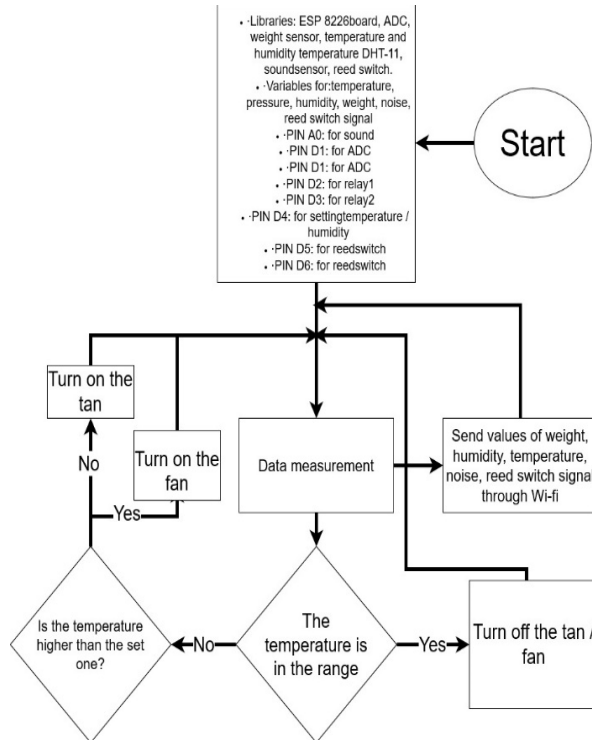


Figure. 2. Algorithm of functioning of the automatic system of care of a beehive

Figure 3 shows a mounted model of the prototype of the developed system

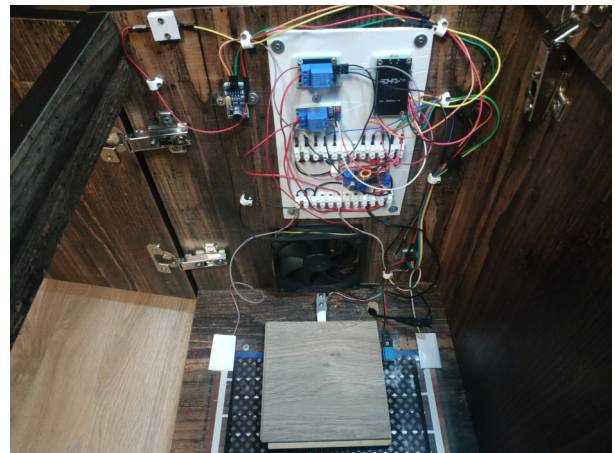


Figure. 3. The experimental model of the developed system

III. CONCLUSIONS

An automated system for remote care of the hive has been developed, which allows to remotely control and maintain the state of the basic parameters of bee activity. Among the further improvements can be noted the transition to autonomous power supply through the use of solar energy (solar panel, battery, charge controller)

REFERENCES

- [1] Anna Burka, National Adviser to the Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.facebook.com/ann.burka.7/posts/3935692319816890>
- [2] National Honey Forum "Golden Apiary 4.0" 2020 UHBDP. URL: <https://uhbdp.org/ua/news/project-news/2456-medovyiforum-zolota-pasika-40-sohodni-u-fokusi-ukrainskebdzhilnytstvo>
- [3] Vadim Tikhomirov "Wintering of bees". 2019. 104 pp.
- [4] Vadim Tikhomirov "Beekeeping for beginners. The most understandable step-by-step guide for the whole year". 2014. 172 s.
- [5] Jeremy Bloom "Studying the Arduino. Tools and methods of technical magic". 2013. 334 pp.
- [6] Simon Monk "Programming an Arduino. Professional work with sketches". 2017. 208 pp.
- [7] Tamara Rutska "Bees. Breeding and maintenance". 2015. 194 pp.

Mathematical modeling of water purification in a bioplato filter

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.17>

Kunytskyi Sergiy
 Science and research part
 The National University of Water and Environmental
 Engineering
 Rivne, Ukraine
 s.o.kunytskyi@nuwm.edu.ua

Ivanchuk Natalia
 Department of Computer Science and Applied
 Mathematics
 The National University of Water and Environmental
 Engineering
 Rivne, Ukraine
 n.v.medvid@nuwm.edu.ua

Abstract — A mathematical model of filtration taking into account clogging and suffusion in the bioplato filter system in the two-dimensional case was built. The constructed mathematical model takes into account the physical effects of the dynamic change of porosity and the dependence of the filtration coefficient on the concentration of contaminants, which is not in the known analogues

Keywords — bioplato filter; filtration problem; clogging; suffusion; finite element method.

I. INTRODUCTION

In recent years, bioplato have become widespread and are used for treatment and re-treatment of domestic, industrial wastewater, surface runoff in different countries [2, 3]. This is due to the fact that they require virtually no consumption of electricity and chemical reagents, significant maintenance and provide the necessary quality of water treatment from a wide range of pollutants of organic and mineral nature [1].

However, in the known structures of the bioplato there is a gradual clogging of the pore space of the filter backfill and bottom drainage with biofilm and mineralized sludge, accumulation of sludge in the bottom of structures, reduced oxygen supply to the root system of plants, which can lead to reduced efficiency. Especially negative is the supply of water to such bioplato with a high content of suspended particles, which significantly enhances the negative processes that take place in the thickness of the filter backfill.

In essence, it is necessary to study the process of migration of undissolved particles in porous media. The importance of the process of migration of solid particles in porous media is emphasized in [5], because along with them can migrate and viruses associated with these particles. A mathematical model of suspension transfer in porous media was constructed and applied to suffusion processes in [6]. In [6] the transfer of iron nanoparticles in porous media and their use for purification of contaminated soil and groundwater was investigated. However, in the process of clogging there is a dynamic change in the porosity of the porous medium, which, in turn, affects the filtration coefficient and, indirectly, the entire filtration process.

II. MATHEMATICAL MODEL OF WATER PURIFICATION IN A BIOPLATO FILTER

A bioplato filter with a length of 50 meters and a height of 2 meters with a gravel backfill with a particle size of 20 mm was considered as a model problem. Contaminated water is fed through the upper drainage system from perforated pipes and is removed in the lower part of the backfill by means of perforated drainage located at the bottom of the bioplato.

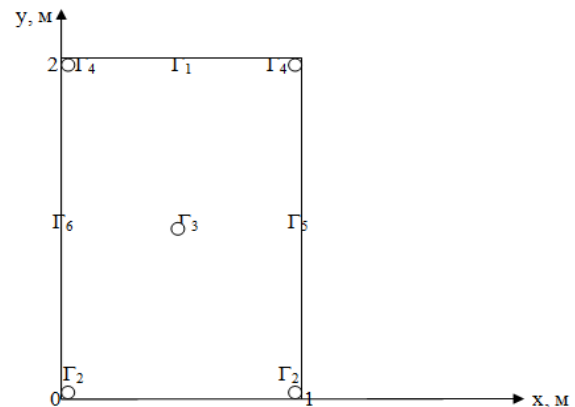


Figure. 1. Cross section of the solution area of the problem

From [4] the mathematical model of filtration taking into account clogging contains the following equations

$$\nabla \cdot (\rho_p(c)k_h(c, \sigma)\nabla h) = \sigma \frac{\partial \rho_p}{\partial c} \cdot \frac{\partial c}{\partial t} - \frac{\rho_p}{\rho_s} \frac{\partial s}{\partial t}, X \in \Omega, \quad (1)$$

$$\sigma \left(1 - \frac{c}{\rho_p} \frac{\partial \rho_p}{\partial c}\right) \frac{\partial c}{\partial t} = \quad (2)$$

$$= \nabla \cdot (D_c \nabla c) - u \left(1 - \frac{c}{\rho_p} \frac{\partial \rho_p}{\partial c}\right) \nabla c - \frac{\partial s}{\partial t}, X \in \Omega,$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \alpha \cdot c - \beta \cdot s, X \in \Omega, \quad (3)$$

$$u = -k_h(c, s, \sigma)\nabla h, X \in \Omega. \quad (4)$$

Mathematical model (1) – (4) allowed to increase the adequacy of the results for the studied physical processes, but does not reduce the negative impact of clogging and showed the need to develop engineering solutions to reduce the impact of clogging-suffusion processes on filtration processes. This will require, in

turn, the consideration of these engineering solutions in the mathematical model. That is why in this paper the authors propose to supplement the bioplato filter system with an additional system of perforated pipes, which is located in the thickness of the filter backfill. The additional system of perforated pipes sets the conditions for pumping water, but with less intensity. This water is re-fed to the upper system of perforated pipes. Thus, the filter water is purified in two stages.

Initial conditions:

$$c(x, y, 0) = C_0, (X) \in \bar{\Omega},$$

$$s(x, y, 0) = s_0, (X) \in \bar{\Omega}.$$

Boundary conditions

$$h(\mathbf{X}, t)|_{X \in \Gamma_1, \Gamma_4} = y.$$

At the boundaries and the flow depends on the distance to the right edge:

$$q|_{X \in \Gamma_2} = \frac{q_{\min}(x - x_2)}{x_1 - x_2} + \frac{q_{\max}(x - x_1)}{x_2 - x_1},$$

$$q|_{X \in \Gamma_3} = w * q|_{X \in \Gamma_2},$$

where

w – coefficient,

q – fluid flow per unit length,

$$x_1 = 0,$$

$$x_2 = 1,$$

$$c(\mathbf{X}, t)|_{X \in \Gamma_1, \Gamma_4} = C_{\max},$$

Γ_5, Γ_6 – limits of impermeability.

Here $\sigma(\mathbf{X}, t)$ – the porosity of the soil, which is variable over time due to changes in the concentration of clogging particles; $s(\mathbf{X}, t)$ – mass concentration of clogging particles (mass of particles that are associated with the soil skeleton and are classified per unit volume); c – concentration of the suspension to be filtered (mass of suspended particles per unit volume of pore liquid); ρ_s – the density of the material of clogging particles; $\rho_p = \rho_p(c)$ – the density of the pore liquid (suspension), which depends on the concentration of suspended particles; $k_h = k_h(c, \sigma)$ – filtration coefficient, which depends on the concentration of the suspension and porosity; h – pressure in the pore fluid; D_c – particle dispersion coefficient in the pore suspension; $u = -k_h(c, s, \sigma) \nabla h$ – filtration rate of the pore suspension; α – particle adhesion rate coefficient; β – particle separation rate coefficient.

The finite element method was used to find an approximate solution of the boundary value problem.

The weak formulation of the boundary value problem is as follows. Multiply equation (1) by the test function

$$v1(\mathbf{X}) \in H_0 = \left\{ v1(\mathbf{X}) : v1(\mathbf{X}) \in W_2^1(\Omega) \right\}, v1(\mathbf{X})|_{\Gamma_1 \cup \Gamma_2} = 0,$$

integrate over the domain, apply the Ostrogradsky-Gauss formula and obtain

$$\iint_{\Omega} (k_h \rho_p \nabla h \nabla v1) d\Omega + \iint_{\Omega} \left(\sigma \frac{\partial \rho_p}{\partial c} \cdot \frac{\partial c}{\partial t} \cdot v1 \right) d\Omega - \iint_{\Omega} \left(\frac{\rho_p}{\rho_s} \cdot \frac{\partial s}{\partial t} \cdot v1 \right) d\Omega = 0,$$

Multiply equation (2) and integrate the initial condition for the concentration of the suspension on the test function by region

$$v2(\mathbf{X}) \in H_0 = \left\{ v2(\mathbf{X}) : v2(\mathbf{X}) \in W_2^1(\Omega) \right\}, v2(\mathbf{X})|_{\Gamma_1} = 0,$$

apply the Ostrogradsky-Gauss formula and obtain

$$\iint_{\Omega} (D_c \nabla c \nabla v2) d\Omega - \iint_{\Omega} \left(u \left(1 - \frac{c}{\rho_p} \frac{\partial \rho_p}{\partial c} \right) \cdot \nabla c \cdot v2 \right) d\Omega + \iint_{\Omega} \left(\frac{\partial s}{\partial t} \cdot v2 \right) d\Omega =$$

$$\iint_{\Omega} \left(\sigma \left(1 - \frac{c}{\rho_p} \frac{\partial \rho_p}{\partial c} \right) \cdot \frac{c^i - c^{i-1}}{dt} \cdot v2 \right) d\Omega,$$

$$\iint_{\Omega} c(x, y, 0) \cdot v2(\mathbf{X}) d\Omega = \iint_{\Omega} c_0 \cdot v2(\mathbf{X}) d\Omega,$$

$$u = -k_h \nabla h, s^i = (\alpha \cdot c^{i-1} - \beta \cdot s^{i-1}) \cdot dt + s^{i-1}.$$

In order to find an approximate generalized solution of the obtained problem, time sampling should be used (for more detailed information, see [4]).

III. CONCLUSIONS AND DIRECTIONS OF FURTHER RESEARCH

An improved mathematical model of the suspension filtration process in a bioplato filter is constructed, which, unlike known analogues, takes into account the nonlinear dependence of the filtration coefficient on the concentration of clogging particles and the dynamic change of porosity in the filtration process. The presented mathematical model also takes into account the presence of an additional system of perforated pipes, which is located in the thickness of the filter backfill. Taking into account these factors allows to increase the adequacy of the mathematical model for the studied physical processes. Numerical solutions of the corresponding nonlinear boundary value problem are found by the finite element method.

Further directions of the authors' research will concern the construction of the studied area and conducting numerical experiments to solve the obtained boundary value problem and compare the obtained results with field experiments. It is planned to use the free software environment FreeFem++ for conducting numerical experiments.

REFERENCES

- [1] V. L. Filipchuk, M. S. Kurilyuk, L. V. Filipchuk, O. M. Kurilyuk, V. M. Krilyuk, O. V. Pochtar, "Turbid water treatment in filtration-regeneration bioplates," *Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, Vol. 3, 2016, pp. 150–155.
- [2] E. G. Gleichman-Verheyc, W. H. Putten, L. Vander, "Alvalwaterzuivering met helofytenfilters, een haalbaarheidsstudie," *Tijdschr. watervoorz. en. Afvalwater*, 1992, № 3, pp. 56–60.
- [3] A. Healy, M. Cawleyb, "Nutrient Processing Capacity of a Constructed Wetland in Western Ireland," *J. Environ. Quality*, № 31, 2002, pp. 1739–1747.
- [4] V. Moshynskiy, V. Filipchuk, N. Ivanchuk, P. Martyniuk, "Computer modeling of water cleaning in wetland taking into account of suffosion ang colmatation," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, № 1/10(91), 2018, pp. 38–43.
- [5] N. Seetha, M. S. Mohan Kumar, S. M. Hassanizadeh, "Modeling the co-transport of viruses and colloids in unsaturated porous media," *Journal of Contaminant Hydrology*, 2015, Vol. 181, pp. 82–101.
- [6] M. Zhang, F. He, D. Zhao, X. Hao, "Transport of stabilized iron nanoparticles in porous media: Effects of surface and solution chemistry and role of adsorption," *Journal of Hazardous Materials*, 2017, Vol. 322, Part A, pp. 284–291.

Optimal control of a hyperbolic system that describes Slutsky demand

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.18>

Kyrylych Volodymyr

Department of Mathematical Economics, Econometrics,
Financial and Insurance Mathematics
Ivan Franko National University of Lviv
Lviv, Ukraine
vkyrylych@ukr.net

Milchenko Olga

Department of Mathematical Economics, Econometrics,
Financial and Insurance Mathematics
Ivan Franko National University of Lviv
Lviv, Ukraine
olga.milchenko@lnu.edu.ua

Abstract — A non-linear optimal control problem for a hyperbolic system of first order equations on a line in the case of degeneracy of the initial condition line is considered. This problem describes many natural, economic and social processes, in particular, the optimality of the Slutsky demand, the theory of bio-population, etc. The research is based on the method of characteristics and the use of nonstandard variations of the increment of target functional, which leads to the construction of efficient computational algorithms.

Keywords — optimal control; hyperbolic equations; Slutsky equations; curved sector.

I. INTRODUCTION

The paper [2] describes consumer behaviour from a consumption theory which mathematical model is reduced to finding an optimal solution of the Cauchy problem for a hyperbolic system of first order equations with two independent variables. (Slutsky demand response to a change in price and demand.) An extended version of such a model with boundary conditions is considered in [4].

We propose a variant of the optimal control problem, for the case of a domain where the initial conditions line degenerates into a point. From the consumption theory it means that the degenerate point is zero consumption factor and after $t = T$ there is no increase in the benefit of consumption.

II. STATEMENT OF THE PROBLEM

Hence, to find the level of Slutsky demand under increasing prices and capital in terms of the established notation of the theory of hyperbolic systems of first order equations with two independent variables we formulate the problem: in the domain

$(x, t) \in S = \{x, t : a(t) < x < b(t), 0 < t < T, a(0) = b(0) = 0\}$
we consider some process $y = y(x, t)$, which evolution in time and space we describe by semilinear system of first order hyperbolic equations

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial t} + \lambda(x, t) \frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = f(y(x, t), x, t), \quad (1)$$

where $y : S \rightarrow \mathbb{R}^n$ is the vector-function of solution, λ is the reflection from \bar{S} on the space of $n \times n$ diagonal real-valued matrices

$$\lambda(x, t) = \text{diag}(\lambda_1(x, t), \lambda_2(x, t), \dots, \lambda_n(x, t)),$$

$f : \mathbb{R}^n \times S \rightarrow \mathbb{R}^n$ is the given nonlinear vector-function and $a : [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^1, b : [0, T] \rightarrow \mathbb{R}^1$.

Note that in the one-dimensional case an arbitrary semilinear hyperbolic system with a nondiagonal characteristic matrix can always be reduced to a semilinear hyperbolic system with a diagonal matrix [3].

Let us consider sets

$$I = \{1, 2, \dots, n\},$$

$$I_a = \{i \in I, \lambda_i(x, t) > 0, (x, t) \in \bar{S}\},$$

$$I_b = \{i \in I, \lambda_i(x, t) < 0, (x, t) \in \bar{S}\},$$

for which $m_1 = \text{card}(I_a), m_2 = \text{card}(I_b)$.

That is, we assume that the first m_1 eigenvalues of the matrix $\lambda(x, t)$ are positive and the remaining $m_2 = n - m_1$ are negative. This distribution of signs of eigenvalues implies that none of the characteristics of equation (1) that exit from the point $(0, 0)$ in the direction of increasing t , fall into \bar{S} .

For system (1), let us set nonlinear boundary conditions

$$y_+(a(t), t) = \gamma^a(y_-(a(t), t), u^{(1)}(t), t), t \in [0, T], \quad (2)$$

$$y_-(b(t), t) = \gamma^b(y_+(b(t), t), u^{(2)}(t), t), t \in [0, T]. \quad (3)$$

Here $u^{(1)}, u^{(2)}$ are the controlling influences, such that for the compacts $U^1, U^2, u^{(i)} : [0, T] \rightarrow U^i, U^i \subset \mathbb{R}^{r_i} (r_i \in \mathbb{N}, i = 1, 2); y_+ : \bar{S} \rightarrow \mathbb{R}^{m_1}$,

$y_- : \bar{S} \rightarrow \square^{n-m_1}$ are the vector y subvectors that correspond to positive and negative eigenvalues of the characteristic matrix of the system (1) (we will use analogous notation for the other functions);

$$\gamma^a : \square^{n-m_1} \times U^1 \times [0, T] \rightarrow \square^{m_1},$$

$$\gamma^b : \square^{m_1} \times U^2 \times [0, T] \rightarrow \square^{n-m_1}.$$

The target functional has the form

$$J(u^{(1)}, u^{(2)}) = \int_0^T G_0(y_-(a(t), y_+(b(t), t), t)) dt + \iint_S G(y(x, t), x, t) dx dt, \quad (4)$$

where $G_0 : \square^n \times [0, T] \rightarrow [0, T]$; $G : \square^n \times \bar{S} \rightarrow \bar{S}$

and these functions are measurable on $[0, T]$ for arbitrary function y from the corresponding space. So, we should investigate the problem

$$\min_{u^{(1)}, u^{(2)}} J(u^{(1)}, u^{(2)}), \quad (5)$$

where the minimum is taken for those $u^{(1)}, u^{(2)}$, for which there exists a single solution of the problem (1)–(3).

In this paper we prove the correct solvability of the formulated problem under the satisfying of the proper smoothness conditions for initial data of the problem (1) – (4) and under the fulfilling of the conditions of the agreement

$$\gamma^a(y_-(0, 0), u^{(1)}(0), 0) = \gamma^b(y_+(0, 0), u^{(2)}(0), 0).$$

The variation analysis of the investigated problem is constructed by the rule

$$u_{\varepsilon, \delta}^i(t) = u^{(i)}(t + \varepsilon \delta^{(i)}(t)), \quad t \in [0, T], \quad i = 1, 2, \quad (6)$$

where $\varepsilon \in [0, 1]$ is the parameter characterizing smallness of variation, $\delta^{(i)}(t)$ is continuously differentiable function, which satisfies condition

$$0 \leq t + \delta(t) \leq T, \quad t \in [0, T], \quad \delta(0) = \delta(T) = 0.$$

Choosing variation by rule (6) we found necessary optimality conditions for problem (1) – (5), which are formulated as appropriate theorems.

In simplified such models, for example, for the optimal control problems of age-structured population or in the problems of renewal of gravity wave profile, effective numerical algorithms for solving corresponding optimal control problems were constructed [1].

Remark. If characteristics of the system (1), that exit from the point $(0, 0)$ fall in the domain S , then the boundary conditions (2) – (3) have another number, see, for example, [5].

REFERENCES

- [1] Arguchintsev A. V. Optimal Control of Hyperbolic Systems. Moscow : Fizmatlit Publ., 2007. 168 p.
- [2] Ashmanov S. A. Mathematical models and methods in economics. Moscow : Moscow State University, 1980. 199 p.
- [3] Courant R. Partial Differential equations. NY-London. 1962.
- [4] Derevianko T. O., Kyrlych V. M. Problem of optimal control for a semilinear hyperbolic system of equations of the first order with infinite horizon planning. Ukrainian Math. Journal, 2015. Vol. 67. № 2. P. 211–229.
- [5] Melnyk Z. O., Kyrlych V. M. Problem without initial conditions with integral constraints for hyperbolic equations and systems on a line. Ukrainian Math. Journal, 1983. Vol. 35. № 6. P. 722–727.

Challenges of using computer-based educational technologies in higher education

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.19>

Makaradze Nana

Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
nmakaradze@bsu.edu.ge

Zaslavski Vladimir

Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine

Samnidze Nino

Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
nino.samnidze@bsu.edu.ge

Nakashidze-Makharadze Tatia

Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
tatia.nakashidze@bsu.edu.ge

Gurgenidze Marine

Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia

Diasamidze Medea

Batumi Shota Rustaveli State University, BSU
Batumi, Georgia
medea.diasamidze@bsu.edu.ge

Abstract—The level of higher education faces great needs and challenges in the use of computer technology. The technology-based learning process has several important priorities. In particular, the learning process is flexible and comfortable; It is much more exciting and creative; The learning material is comprehensive and teaching/ learning process is of high quality. However, the process, along with the priorities is fraught with many problems and challenges. In this paper, we aim to conduct research and determine what hinders the introduction of computer-based educational technologies and to work out the recommendations for the educators to enhance the quantitative and qualitative quality of the use of computer-based educational technologies. The survey was conducted using online survey, Interview, Focus group and Experiment methods. The following conclusions were made by analyzing the results: students preference is in favor of computer-based educational technologies; Not all the staff implementing higher education programs use computer-based educational technologies in the educational process; HEIs have poorly renovated equipment; The quality does not meet modern requirements; Professors lack of competence; Readiness to actively use computer-based educational technologies and participate in the trainings; To respond the results: It is important to review the training courses in the field of computer technology in the educational programs of HEIs and focus on the use of computer educational technologies; Making a mandatory requirement to use of computer-based educational technologies in the process of planning and implementing educational programs; Plan trainings in the field; To enhance the quality, the studies and surveys should be conducted by HEI quality assurance services.

Keywords — Computer-based educational technologies; educational process; e-resources; mobile applications; e-platforms.

I. INTRODUCTION

A computer has become an integral part of a human's life in the modern world. One can hardly find the field of activity that doesn't require the application of computer directly or indirectly to achieve the desired

results and meet high-quality demands. Technical progress puts the educational system under high demands, which, regardless of the level of education, considers the use of a computer to be the most essential in the teaching process. It has been decades since there were attempts to implement information technologies in the educational process and other fields as well. [7] There are some instances of application of computer technologies in the early educational process by finding, preparing, demonstrating various electronic resources. Judging by the example of Georgia 'The Professional Standard of the Educator-Teacher' approved in 2018 can be the relevant document to confirm above mentioned discussion. The role and significance of computer is even more crucial on the school education level. Besides, the rapid spread of information, communication technologies in social and economic fields brought the necessity for every single citizen to acquire the basic skills in order to become a full-fledged member of the information society [2]. Schools put emphasis not only on the application of computer technologies by primary school students but the development of the information technology competences. In the Georgian Education system, for instance, according to the primary document "Georgian National Curriculum", regulating the general education, the school subject – Information and Communication Technologies, has been taught up to the current period to the first and second-grade students (with the duration of one semester).

However, since the second semester of 2020–2021, putting forward the distance teaching component in the conditions of Covid 19 across the globe has drawn the issue of distance teaching to the peak of attention along with the enhancement of ICT (Information and communication technologies) competences in school students.

Main part. In literary sources, electronic information and communication technologies are defined as follows: ICT is technology that supports activities involving information. Such activities include gathering, processing, storing and presenting data.

Modeling, control and information technologies – 2021

Increasingly these activities also involve collaboration and communication. Hence IT has become ICT: information and communication technology [7]. Information and Communication technology (ICT) is a broad term used to describe a transmission or idea exchange using equipment, tools, or networks. Examples of ICTs include: the Internet, cell phones, and personal digital assistants (PDA).

To enhance students' competence in information and communication technologies Georgian government decided to pilot the subject "Computer Technologies" in about 400 schools since the second semester of 2020–2021. Moreover, this subject will become mandatory after the first semester of 2021–2022 for the second, third and fourth-grade students in Georgian schools. Naturally, the society and parents' attitude towards the abovementioned issue is quite heterogeneous due to the fact that some of them strongly believe that children, especially, junior students, spend excessive time using computers. They believe that introduction of the subject in the school curriculum will make their kids even more addicted to computers. However, it doesn't represent the object of our research. We focus on the relevance of computer-based educational technologies and the significance of their application in any stage of education, among them junior school education. Not to mention the basic and secondary education, where the educational process relies mostly on computer technologies, the demand for a skilled teacher is quite high and the students' competencies are comparatively close to the requirements and needs of their application. The teaching/ learning's objectives of the "National curriculum" aim at developing pervasive skills and values, such as critical and creative thinking skills, collaboration, communication, ethics, entrepreneurship, showing initiative and action, orientation in time and space, research, independence. It includes the application of communication and information technology which involves important skills to the learner, such as: network search, dissemination of information, finding and using electronic resources in the teaching process.

In respect of applying computer technology, higher education faces the greatest needs and challenges. It is logical since the application of computer-based education technology at this level of study is unanimously crucial in teaching, as well as the learning process. The technology-based teaching process has several priorities:

- The teaching process is flexible and comfortable;
- The teaching process is much more exciting;
- The learning process is more creative;
- It enhances motivation;
- It is easier to achieve the learning goals – the learners can obtain necessary information more easily, in less time and with making fewer efforts.
- The study material is easy to comprehend;
- The quality of teaching/learning is higher;
- It facilitates the enhancement of information-communication competences [4];
- It fosters PBL (problem Based learning);
- It facilitates the development of the ability to simultaneously own various competencies, including

computer technologies and information sorting (knowledge management).

This list can be endless taking on board the field, teaching course, topic, objectives and others. Nevertheless, the application of computer-based educational technologies, along with other priorities, is connected with lots of problems and challenges. There is a certain list of problems that can be noticed at a glance, even with a naked eye. Among them there are professor and teacher insufficient competences (both, in terms of the technology ownership, as well as resource preparation); the obsolescence of computer equipment caused by the rapid development of technologies; the problem with access to technology; the problems connected with Internet frequency; the low level of student activity (in terms of doing assignments); taking control of the process of working on assignments independently.

Since on the one hand, we are fully aware of the importance and necessity of computer-based educational technology and on the other hand, we realize the challenges and barriers of its complete and quality implementation, we set the aim to conduct the research and determine what hinders the implementation of computer technologies and what recommendations can be made for the representatives of the education sector to enhance the quantitative and qualitative quality of the use of computer-based educational technology.

Research progress: The research was carried out in two directions due to the meaning and context of the term: Computer-based information technologies': On the one hand, we needed to explore the practice of using computer in teaching. On the other hand, those educational resources can be prepared and applied in the teaching/learning process using computer technology.

To find out the role, importance, frequency and problems revealed in the teaching process at the higher education level, we carried out the standard survey with the help of quantitative methods. 323 academic/invited staff from 12 higher education institutions of Georgia participated in the online survey including 174 (53,87%) women and 149 (46,13%) men.

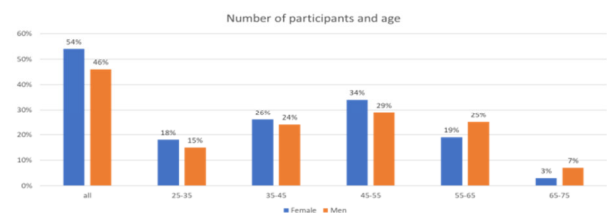


Figure. 1. Research on the use of computers and educational technologies in higher education

As it was expected, 88% of respondents actively use computers in the learning process, 12% – use it less frequently. Among the interviewed students, there was no respondent who does not use a computer at all in the learning process.

Modeling, control and information technologies – 2021

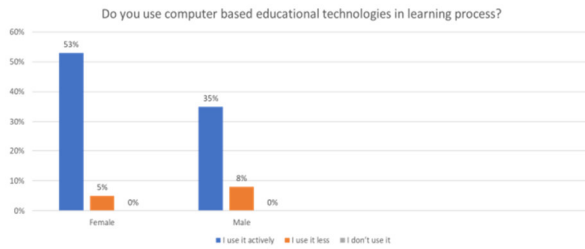


Figure 2. Do you use computer based educational technologies in learning process?

It should also be noted that the indicator of the percentages is distributed approximately equally among all Higher Educational Institutions. There were two highly important factors in this study: the age indicators of the participants and the question of how long they have been actively using the computer in the learning process. It is noteworthy that with age, the age of computer-savvy (users) professors decreases, although naturally, it does not appear in all cases.

Another important indicator was given to us by the research on the issue that refers to another matter: this is how many years the computer has been actively used by professors in the teaching process. It turned out that only in the last one year only 21% of respondents have been actively using computers. We think that these professors exactly belong to the category of professors who use computers only for some special needs or in case of urgent need (and it can be said – when it is compulsory and under duress) due to the transition from face-to-face learning to distance learning. 12% of the respondents have been using computers for teaching for the last 2-3 years, 18% for the last 5 years and more, 49% for more than 5 years.

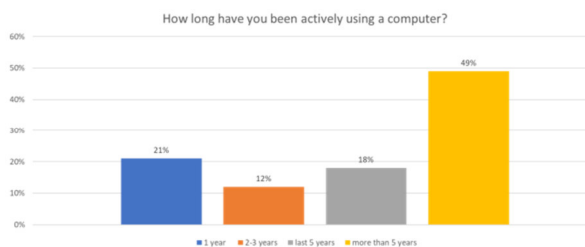


Figure 3. How long have you been actively using a computer?

Taking into consideration the fact that the study involved specialists from different fields, all training courses due to some certain specific characteristics do not allow the systematic use of the computer (for example, the board is a more important tool in teaching mathematics than using the computer, physical education and sport trainings are also conducted in a specific way quiet differently etc.). We think the results obtained can be considered statistically reliable.

In the second phase of the study, we explored the share of educational programs that use different types of digital tools (electronic resources) in teaching. The Emphasis was placed on the use of different types of electronic resources (both ready-made and prepared by the staff themselves), as well as the use of different platforms in teaching (for example, Moodle, Zoom, Teams, mobile applications, etc.).

As the research showed, almost half of the professors – 47.4% use computer educational technologies with some frequency, although this is not

the active use in all cases.

In the third stage of the research, which was conducted at Batumi Shota Rustaveli State University, the experimental method of research was used: In order not to damage any training course and not to interfere with or prevent teaching-learning process itself, as well as its quality, we have chosen a training course that allows both forms of teaching (with or without using computer educational technologies), Accordingly, we have chosen a foreign language training course.

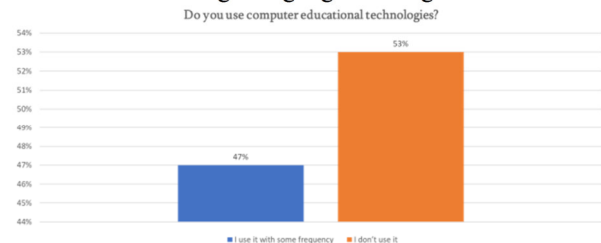


Figure 4. Do you use computer educational technologies?

We also selected control (number of students 150) and experimental (number of students 150) groups. In the control group, we measured the frequency of use of computer digital tools and the results of their usage in different ways:

A) The syllabus of the training course was analyzed in order to determine the extent to which the use of computer-based educational technologies was envisaged in the syllabus;

B) interviews were conducted with the lecturers of the training course;

C) a focus group was held with students;

D) The learning process in the control group was carried out in accordance with the syllabus planned in the syllabus of the training course and educational technologies (presentation programs, technology spreadsheets, graphic packages) were used a total of 4 times during the semester. At the end of the course, the students' assessments of the control groups were analyzed. The academic performance of the students was as follows:

- A – 5%
- B – 11%
- C – 25%
- D – 34%
- E – 25%

As for the experimental group, we selected those weeks from the syllabus that allowed us to use computer technology without changing the course content and learning outcomes (We have ensured compliance with teaching-learning and assessment methods and the use of various types of computer educational technology). Presentation programs, Microsoft educational programs, Dropbox, technology project, word processors, spreadsheets, graphics packages were used.

Discussions were carried out based on an animated film screening, a written assignment (topic) was uploaded to the Moodle platform, cases were reviewed on the Zoom platform, and the groups were automatically split, and presentations prepared in different formats were actively used during the teaching-learning process in the groups. At the end of the course, the students' assessments of the control groups were analysed. The academic performance of the students

Modeling, control and information technologies – 2021

was as follows:

- A – 12%
- B – 14%
- C – 38%
- D – 31%
- E – 5%

A comparative analysis of experimental group and control group student assessments revealed significantly that the experimental group student scores were significantly higher than those of the control group students.

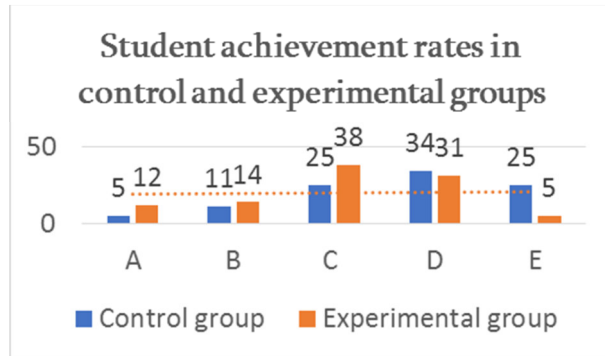


Figure. 5. Student achievement rates in control and experimental groups

In addition, a focus group with students and interviews with leading course lecturers was conducted to research student satisfaction. Analysis of the results of qualitative research showed that the diversity of educational technologies and intensive use in the learning process increased students' motivation, interest, involvement, responsibility, independence, group work, presentation and other skills.

The interview revealed that despite the important steps taken by HEIs, it is not able to update the computer equipment in its possession at the required pace, which significantly hinders the process of setting foot for modern technologies; Also, professors find it difficult to select and use adequate technologies for course content; Nevertheless, there was a willingness on the part of the professors to use computer-based educational technologies in the presence of appropriate conditions and training in this area.

The conducted experiment unequivocally revealed the importance of using computer-based educational technologies in the educational process. The "triangle" of results itself is noteworthy, which means the comfort and self-esteem associated with the implementation of the learning process by the lecturer, the increase of students' interest, motivation, level of involvement and the increased quality of teaching-learning process.

CONCLUSION

- Students prefer teaching-learning practices (training courses) where computer-based educational technologies are actively used;
- Despite the requirements set by higher educational institutions, for the implementation of innovative approaches in the educational process, the staff members still do not fully or accordingly use computer-based educational technologies in their teaching-learning process;

- Despite significant steps taken by HEIs, the computers and existing technical equipment in their possession is outdated / old/ can no longer support technological progress in a very short time;
- The quality of using computer-based educational technologies does not meet modern requirements;
- Professors have difficulty in selecting and using adequate and appropriate technologies for their course content;
- Professors are ready to use computer-based educational technologies actively in case of appropriate training courses in this field.

RECOMMENDATIONS:

Based on the research carried out at our university, the following recommendations should be given:

- to review the training courses in the field of computer technology in the educational programs of higher educational institutions and to focus on and concentrate on the usage of computer educational technologies (because all adolescents, especially all students, already master elementary ICT competencies);
- The use of computer-based educational technologies should become a mandatory requirement in the process of planning and implementation of educational programs;
- To plan trainings and workshops for professors how to use and implement computer-based educational technologies in teaching process;
- The research conducted by higher educational institutions quality assurance services should include a study of the state of the usage of computer-based educational technologies and take care of developing the quality of their use.

REFERENCES

- [1]. Agéllí Genlott, A., Grönlund, Å. & Viberg, O. (2019). Disseminating digital innovation in school: leading second-order educational change. *Education and Information Technologies: Official Journal of the IFIP technical committee on Education*, 24 (5), 3021–3039. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09908-0>
- [2]. APT Asia-Pacific Summit on the Information Society: 31 Oct- 2 Nov 2000, Tokyo Declaration.
- [3]. Borsook, T. K., & Higginbotham-Wheat, N. (1991). Interactivity: What is it and what can it do for computer-based instruction? *Educational Technology*, 31(10), 11–17.
- [4]. Blau, I., & Shamir-Inbal, T. (2017). Digital competences and long-term ICT integration in school culture: The perspective of elementary school leaders. *Education and Information Technologies*, 22(3), 769–787. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-015-9456-7>
- [5]. Clement, F. J. (1981). Affective considerations in computer-based education. *Educational Technology*, 21(4), 28–32.
- [6]. Ertmer, P. A., Evenbeck, E., Cennamo, K. S., & Lehman, J. D. (1994). Enhancing self-efficacy for computer technologies through the use of positive classroom experiences. *Educational Technology Research and Development*, 42(3), 45–62.
- [7]. Gokhe M., (2000), *Information and Communication technology*.

Research of divergence trajectory with a given risk of ships collisions

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.20>

Pavlo Mamenko

Senior lecturer
Department of Ship Handling at Sea
Kherson State Maritime Academy
Kherson, Ukraine

Serhii Zinchenko

Candidate of Engineering, Associate Professor
Department of Ship Handling at Sea
Kherson State Maritime Academy
Kherson, Ukraine

Pavlo Nosov

Candidate of Engineering, Associate Professor
Navigation Department
Kherson State Maritime Academy
Kherson, Ukraine

Kostiantyn Kyrychenko

Candidate of Engineering, Senior lecturer
Department of Ship Handling at Sea
Kherson State Maritime Academy
Kherson, Ukraine

Ihor Popovych

Doctor of Psychological Sciences,
Full Professor,
Professor of General and
Social Psychology Department,
Kherson State University
Kherson, Ukraine

Yaroslav Nahrybelnyi

Dean of Navigation Faculty, Associate Professor, Doctor
of Pedagogical Sciences
Kherson State Maritime Academy
Kherson, Ukraine

Vitaliy Kobets

Doctor of Economic Sciences,
Professor Department of Informatics,
Software Engineering and Economic Cybernetics,
Kherson State University
Kherson, Ukraine

Abstract — There were considered the issues of the optimal collision avoidance in the target's risk field. A method of optimal divergence by course maneuvering is proposed, which makes it possible to minimize the divergence trajectory for a given risk of collision and consists in organizing the movement of the vessel along the trajectory of a given risk. The risk field of the target is a normal distribution law characterized by the root-mean-square parameters of the uncertainties associated with measurement errors of the parameters of the vessel's state vector and target, errors of actuators, errors of the used mathematical models, errors of calculation, etc. The operability and efficiency of the proposed method, algorithmic and software were tested on the Imitation Modeling Stand, which is the Navi Trainer 5000 navigation simulator and a model of on-board controller included in its local network with the software of the risk divergence module. The Imitation Modeling Stand allows to work out the software of control systems, including the considered optimal divergence module, in a closed circuit with the Navi Trainer 5000 navigation simulator, using all its advantages

Keywords — collision avoidance; control systems; automatic control; navigation simulator.

I. INTRODUCTION

Over the past 10–20 years, the intensity of navigation and the speed of vessels have significantly increased, and with them the flow of information has also increased. It becomes more and more difficult for navigators to find the right management decisions, especially in critical situations, which is the reason for the increasing number of accidents and disasters in maritime transport. According to the United Kingdom

Protection and Indemnity Club human error is responsible for 89–96% of vessel collisions, 84–88% of tanker accidents, 79% of vessel towing yards, and costs the maritime industry approximately \$ 541 million a year. A detailed analysis of the causes of vessel accidents at sea due to the human factor is given in [1]. Studies of the human factor influence on vessel control are considered in the works of many authors, in particular [1–5]. Organizational measures taken to strengthen the training and retraining of boat masters, amendments to the International Convention on Standards for the Training, Certification and Watch keeping of Seafarers [1], other measures did not lead to a significant reduction in accidents. Experts note that the only way to achieve the desired result is the development and implementation of automated control systems.

In works [6–8], the issues of using ergatic systems to control the influence of the human factor on control processes are considered. Ergatic systems allow to detect deviations in the behavior of the navigators in the early stages of manifestation, to prevent their development and thus reduce the influence of the human factor on the processes of traffic control.

The modeling of information potential management of complex systems in the conditions of risk and forecasting of multidimensional no stationary data flows in the conditions of uncertainty is devoted to works [9–11].

Automatic control systems can radically reduce the impact of the human factor on control processes, as the operator only decides on the use of a module, and further vessel control is fully automatic. Automatic control systems allows to optimize control processes, significantly improve the reliability and efficiency of control. An example of an automatic control module, which has long and reliably served as navigators, is autopilot, which allows to maintain a given course and trajectory in fully automatic mode. Other software modules of automatic control (dynamic positioning, automatic avoid collision, optimal control, etc.) are also known [12, 13]. Of these works, the most interesting for the article are the works [14, 15], devoted to solving the problems of vessel diverging.

As follows from the above review, the proposed methods require large computational costs. Therefore, the development of more effective control methods remains an urgent scientific and technical task.

In this paper, the authors considered the divergence method using risk fields. Despite the fact that the problem is optimization, it does not require significant computational costs, since it is reduced to the problem of sliding along a trajectory with a given risk.

II. RESEARCH RESULTS

To solve the problem of divergence in the field of risks caused by the presence of other vessels, define the function of risks $C(\mathbf{x})$ in the form [16]

$$C(\mathbf{x}) = C_m f(\mathbf{x}) = \frac{C_m}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-r_{xy}^2}} \cdot e^{-\frac{1}{2(1-r_{xy}^2)}\left[\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} - \frac{2r_{xy}(x-x_0)(y-y_0)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2}\right]} \quad (1)$$

where C_m is the maximum penalty value, $f(\mathbf{x})$ is the risk distribution function, σ_x, σ_y – are the root-mean-square deviations along the axes of the related coordinate system, r_{xy} is the correlation coefficient between σ_x, σ_y , x_0, y_0 are the measured position of a target, x, y are the current coordinates for which the probability of collision risk is calculated.

Root-mean-square deviations σ_x, σ_y is determined by various uncertain factors (errors in

measuring the position of the vessel and targets, partial uncertainty of the vessel and targets characteristics, partial uncertainty of the used mathematical model, etc.). The influence of many random factors is described by the normal or Gaussian distribution law [17], represented by equation (1).

Thus, equation (1) can be considered as a risk field of one target with the existing uncertainties. The first important point is that this field is smooth and extends to the entire space of operations, which means that gradient methods can be used to find the optimal solution. The second important point is that the method under consideration does not guarantee complete safety in case of divergence of the vessels (as well as any other method), but allows to set the risk of collision and organize the vessel control in case of divergence with a risk not exceeding the specified one.

Let's set in equation (1) the value of the function $C(\mathbf{x}) = C^*$, where C^* is the given risk and let's logarithm the expression. After simple transformations, we obtain a curve of a given risk C^* , which is an ellipse, the semi-axes of which are functions of parameters $\sigma_x, \sigma_y, r_{xy}$ and a given risk C^*

$$\frac{(x-x_0)^2}{a^2} + \frac{(y-y_0)^2}{b^2} = 1. \quad (2)$$

Moving along the risk line (ellipse) keeps the risk of collision, moving to inside the ellipse increases the risk of collision but decreases the path of divergence $S(\mathbf{x})$ and moving out of the ellipse reduces the risk of collision but increases the path of divergence $S(\mathbf{x})$. Thus, we obtain a vector function $\varphi(\mathbf{x})$ as integrand of the objective functional in form (3):

$$\varphi(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} S(\mathbf{x}) \\ C(\mathbf{x}) \end{bmatrix}; L(\mathbf{x}) \rightarrow \min \int_L \varphi(\mathbf{x}) d\mathbf{x}. \quad (3)$$

Problem (3) is a vector problem of optimal control for distributed system. However, for all its theoretical complexity, it has a simple solution – you need to move along the line of equal risk, then the distance covered by the divergence will be minimal for a given risk, and the risk will not exceed this one.

Suppose that our vessel is on an ellipse of equal risk. Then the position of our vessel at the next calculation step can be determined by the formulas

To enter the sliding trajectory and exit the sliding trajectory, it is necessary to determine coordinates of the touch point B (x_B, y_B) of the circulation circle

$(x_1 - x_A)^2 + (y_1 - r)^2 = r^2$ to the ellipse of a given risk by jointly solving these two equations.

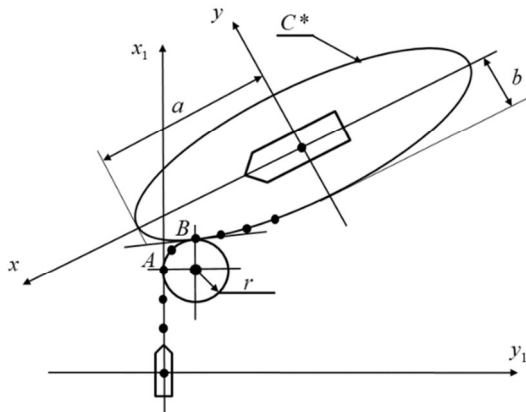


Figure 1. Entering the trajectory of a given risk

After finding the coordinates of p. B, we substitute them into the circulation circle $(x_B - x_A)^2 + (y_B - r)^2 = r^2$ and determine the p. A $(x_A, 0)$ coordinates of transition beginning to the ellipse of a given risk C^* .

$$x_A = x_B - \sqrt{2y_B r - y_B^2}. \quad (4)$$

The coordinates of the departure point from the trajectory of equal risk are determined in a similar way.

There are two solutions for divergence with target. The first solution corresponds to the sliding of our vessel along the line of a given risk in the direction to the target stern, and the second corresponds to sliding in the direction to the target bow. Of these two options, the first is preferable, since it does not involve crossing the target course line.

Consider the features of divergence depending on the ratio $k = \frac{V_{tg}}{V}$, where V_{tg} is the target speed.

Variants of divergence for $k = 2; 1; 0,5$.

Evasion trajectory **a** corresponds to the case when the target speed is twice ($k = 2$) the speed of own vessel. If the slip problem is solved and the accuracy ε is achieved, then the trajectory of the own vessel is determined from the slip task along the equal risk line, otherwise, if the own vessel does not keep up with the target, the course is assumed to be opposite or equal to the initial course.

The longest divergence trajectory along the constant risk line corresponds to the case of divergence with a slow target ($k = 0,5$). This case is typical for large-tonnage targets, the divergence from which is carried out at the maximum safe distance.

To carry out mathematical modeling of the optimal divergence with a given risk criterion, in Control System Model of Imitation Modeling Stand were flashed programs.

At the instructor's workplace, a task has been created to simulate a divergence of two vessels MSC Container Ship (Dis. 32025t). Vessel characteristics :

engine's type is low-speed diesel (1x15890)kWt , propulsion type is FPP, bow thruster is present, stern thruster isn't present, displacement is $Dis = 32025t$, maximum speed is $V_{max} = 19,4kn$, length is $L = 203,6m$, width is $B = 25,4m$, bow/stern draft is $d = 9,6/10m$.

The probability of finding a target in an ellipse of a given risk is assumed to be 99.7%, which corresponds to a collision risk 0.3%. This probability corresponds to the 3σ range of the spread of the set of random parameters. Of all the possible random processes affecting safety, we will choose the most significant ones: the error in measuring the RADAR range (root-mean-square error $\sigma = 20m$), the influence of external factors on the accuracy of program execution by the control system (root-mean-square error $\sigma = 15m$). Since these random processes are not correlated, the total root-mean-square error $\sigma = 35m$ and $3\sigma = 105m$. The semi-axes of the ellipse of a given risk, taking into account the size of the vessel, are equal to $a = \frac{L}{2} + 3\sigma = 101,8 + 105 = 206,8m$,

$$b = \frac{B}{2} + 3\sigma = 12,7 + 105 = 117,7m.$$

From this moment, the automatic control system deflects the rudder to the right and the vessel starts circulation with the calculated radius r to exit tangentially to the ellipse of the given risk. Further movement of the vessel occurs along the ellipse of a given risk 3, which moves along the X -axis at the speed of the target V_{tg} . Fig. 3 shows the positions of the target's equal risk ellipse at subsequent times, as well as the positions of our vessel on the equal risk ellipses during the divergence. The positions of the vessel on the ellipses of equal risk form the trajectory of optimal divergence. When the vessel approaches along the trajectory of the optimal divergence 2 to the line of the initial course for the calculated distance, the control system deflects the rudder to the right to start circulation with a given radius and reach the line of the initial course.

As can be seen from the examples considered, the optimal divergence along the minimum path and the given risk is carried out in three stages: entering the trajectory of the given risk, moving along the trajectory of the given risk, moving from the trajectory of the given risk to the trajectory of the initial course, and further movement along the trajectory of the initial course. Movement along the trajectory of a given risk is the longest stage of the vessels divergence, in which the own vessel slides along the elliptical trajectory built around the target. Such movement involves a constant change in the course of own vessel.

III. CONCLUSIONS

Solved the optimal divergence problem with a target minimizing the divergence trajectory for a given collision risk. It is shown that the optimal trajectory is obtained by organizing the sliding of the vessel along the ellipse of a given risk. There are determined the coordinates of the circulation beginning for the conjugation of the initial course line with an ellipse of a given risk by the circulation circle of a given radius. There were developed algorithmic and software for optimal divergence with a target. In comparison with the known solutions of the optimal divergence, the proposed method does not require large computational costs, since it has a simple geometric interpretation - sliding along the line of a given risk, which can be easily implemented in automatic divergence systems. In comparison with manual control, the proposed solution can significantly increase the accuracy and safety of the discrepancy. The operability and efficiency of the method, algorithmic and software was tested at the Imitation Modeling Stand in a closed circuit with a navigation simulator Navi Trainer 5000. The simulation results confirmed the possibility of using the method, algorithmic and software in the development of modules for the optimal divergence of on-board controllers of automatic divergence systems.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out in the framework of the research “Development of software solutions for dynamic functions of dynamically positioning systems of marine vessels”, (state registration number 0119U100948), Department of Navigation and Electronic Navigation Systems of Kherson State Maritime Academy.

REFERENCES

- [1] Apostol – Mates, R., Barbu, A. (2016). Human error – the main factor in marine accidents. *Naval Academy Scientific Bulletin*. 19, 2. DOI: 10.21279/1454-864X-16-12-068
- [2] Sotiralis, P., Ventikos, N. P., Hamann, R., Golyshev, P., Teixeira, A. P. (2016). Incorporation of human factors into ship collision risk models focusing on human centered design aspects. *Reliability Engineering & System Safety*. 156, 210–227. DOI: [10.1016/j.res.2016.08.007](https://doi.org/10.1016/j.res.2016.08.007)
- [3] Luo, M., Shin, S. (2016). Half-century research developments in maritime accidents. *Future directions, Accident Analysis & Prevention*, 123, 448–460. DOI: [10.1016/j.aap.2016.04.010](https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.010)
- [4] Popovych, I., Blynova O., Nass Álvarez, Juan Luis, Nosov, P., Zinchenko S. (2021). A historical dimension of the research on social expectations of an individual. *Revista Notas Históricas y Geográficas*, Número 27 Julio-Diciembre. 190–217. URL: <https://www.revistanotashistoricasygeograficas.cl/index.php/nhyg/article/view/365>
- [5] Popovych, I., Halian I., Halian O., Nosov P., Zinchenko S., Panok V. (2021). Research on personality determinants of athletes' mental exhaustion during the ongoing COVID-19 pandemic. *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*, Vol. 21(4), Art. 224. 1769–1780. DOI: 10.7752/jpes.2021.04224
- [6] Nosov, P., Zinchenko, S., Popovych, I., Safonov, M., Palamarchuk, I., Blah, V. (2020). Decision support during the vessel control at the time of negative manifestation of human factor. *CEUR Workshop Proceedings*, 2608, 12–26. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2608/paper2.pdf>
- [7] Nosov, P., Ben, A., Zinchenko, S., Popovych, I., Mateichuk, V., Nosova, H. (2020). Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. *CEUR Workshop Proceedings*, 2732, 823–838. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2732/20200823.pdf>
- [8] Nosov, P., Zinchenko, S., Ben, A., Prokopchuk, Yu., Mamenko, P., Popovych, I., Moiseienko, V., Kruglyj, D. (2021). Navigation safety control system development through navigator action prediction by data mining means // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*, Vol. 2. No. 9 (110). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237>
- [9] Sharko, M., Sharko, A. (2016). Innovative aspects of management of development of enterprises of regional tourism. *Actual Probl. Econ.* 7(181), 206–213.
- [10] Sharko, M., Gusarina, N., Burenko, J. (2017). Modeling of management of the information potential of complex economic systems under conditions of risk. *Technol Audit Prod Reserves* 34:14–19. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.98275>
- [11] Sharko, M., Lopushynskiy, I., Petrusenko, N., Zaitseva, O., Kliutsevskiy, V., Yarchenko, Y. (2020). Management of tourists' enterprises adaptation strategies for identifying and predicting multidimensional non-stationary data flows in the face of uncertainties. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 135–151. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3>
- [12] Mamenko P., Zinchenko S., Kobets V., Nosov P., Popovych I. (2021) Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 77, 252–265, Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_17
- [13] Zinchenko, S., Tovstokoryi, O., Ben, A., Nosov, P., Popovych, I., Nahrybelnyi, Ya. (2021) Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices. In: Babichev S., Lytvynenko V. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 77, 266–281, Springer, Cham. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82014-5_18
- [14] Zinchenko S., Moiseienko V., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I. (2021) Automatic Beam Aiming of the Laser Optical Reference System at the Center of Reflector to Improve the Accuracy and Reliability of Dynamic Positioning. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education IV. ICCSEE 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 83, Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-80472-5_1
- [15] Zinchenko S., Tovstokoryi O., Nosov P., Popovych I., Kobets V., Abramov G. (2020). Mathematical support of the vessel information and risk control systems. *CEUR Workshop Proceedings*, 2805, 335–354. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>
- [16] Lisowski, J. (2000). *Simulation models of the safe ship's steering process in collision situations*. Risk Analysis II, Wit Press, Computational Mechanics Publications: Southampton and Boston, 13–22.
- [17] Lisowski, J. (2004). The multistage positional game of process decision in marine collision situations. In: *Proc. of the XV International Conference on Systems Science*, Wroclaw, 1–10.

Automatic vessel control in stormy conditions

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.21>

Vadym Mateichuk, Serhii Zinchenko, Oleh
Tovstokoryi, Pavlo Nosov and Yaroslav
Nahrybelnyi
Navigation faculty
Kherson State Maritime Academy
Kherson, Ukraine

Ihor Popovych
Department of Psychology,
Kherson State University
Kherson, Ukraine

Vitaliy Kobets

Chair of Informatics, Software Engineering and Economic Cybernetics
Kherson State University
Kherson, Ukraine

Abstract — Vessel control in a storm is the most difficult stage in the vessel voyage, as it requires quick decisions to be made in difficult conditions. Practical experience shows that the deterioration of the working conditions of the crew is usually associated with increase in the number of control mistakes [1]. The article examines the possibility of automatic control of a vessel in a stormy conditions by automatic calculation in the on-board controller of the vessel optimal safe speed and course during a storm. This allowed to significantly increase the accuracy of calculations, to exclude the human factor, to reduce the depletion of the crew, to increase the reliability of the vessel control in a storm. The efficiency and effectiveness of the method, algorithmic and software were tested on Imitation Modeling Stand in a closed loop with mathematical vessel models of the navigation simulator Navi Trainer 5000.

Keywords — Automatic control; Closed loop systems; Control system synthesis; Motion control; Steering systems.

I. INTRODUCTION

In ancient times and the Middle Ages, vessel control in a storm was performed in such a way as to coordinate their actions with the actions of the element and not to contradict it. With the advent of the sail, active vessel control methods emerged.

The seaworthiness of modern ships, their speed and size have changed a lot. The range of their possible applications has also expanded. For example, in articles [2–9], recommendations for control a modern ship in a storm are considered.

To facilitate the task of a vessel control in storm, a number of scientists have proposed special diagrams for choosing the course and speed in storm conditions.

The most widespread is the universal diagram of the Yu.V. Remez, which allows to determine unfavorable combinations of velocity and course angles of waves (resonant zones) for any vessel and any wavelength λ and choose a safe speed and course of the vessel outside the resonance zone.

The use of automatic control systems of the vessel allows to significantly reduce the impact of the human factor and increase the safety of navigation [19–35], especially in difficult sailing conditions.

This paper proposes an automatic storm system, which does not have disadvantages of manual control, namely: the automatic storm system uses specialized equipment to measure the parameters of the wave; measurement of vessel motion parameters and excitation parameters, as well as their processing and formation of controls is automatic and constant, which allows to constantly monitor any changes in vessel motion and wave parameters; software always calculates the correct result and can work in any stormy conditions; moreover, unlike manual storming, the problem can be solved optimally. Therefore, the development of the vessel automatic storm system is an urgent scientific and technical task.

It is required to develop an automatic control system that would ensure safe sailing in stormy conditions without operator intervention [36–48].

II. RESEARCH RESULTS

Pitching and rolling of the vessel are excited by forced oscillations of waves. Conditional period of waves $\tau(n)$ depends on the wave length λ , vessel speed $V(n)$ and the course angle of the wave $q(n)$ – the angle between the waves direction and the vessel diametrical plane

$$\tau(n) = \frac{\lambda}{1.25\sqrt{\lambda} + 0.514V(n)\cos q(n)}. \quad (1)$$

Particularly dangerous is the case of resonant oscillation, in which the period of free oscillations of the vessel coincides with the period of forced oscillations or close to it.

$$0,7 \leq \frac{T_B}{\tau(n)} \leq 1,3, \quad (2)$$

$$0,7 \leq \frac{T_L}{\tau(n)} \leq 1,3. \quad (3)$$

Inequalities (2), (3) determine the resonance zone Ω for the rolling and pitching respectively. The task control in the storm is to create such conditions for the movement of the vessel, under which inequalities (2)–(3) are not fulfilled.

To determine the resonance zone Ω , from inequalities (2), (3), taking into account (1), we find

$$e(n) \cos q(n) \geq \frac{1}{V_{\max}} \left(1,42 \frac{\lambda}{T_B} - 2,31\sqrt{\lambda} \right), \quad (4)$$

$$e(n) \cos q(n) \leq \frac{1}{V_{\max}} \left(2,64 \frac{\lambda}{T_B} - 2,31\sqrt{\lambda} \right), \quad (5)$$

$$e(n) \cos q(n) \geq \frac{1}{V_{\max}} \left(1,42 \frac{\lambda}{T_L} - 2,31\sqrt{\lambda} \right), \quad (6)$$

$$e(n) \cos q(n) \leq \frac{1}{V_{\max}} \left(2,64 \frac{\lambda}{T_L} - 2,31\sqrt{\lambda} \right). \quad (7)$$

Fig. 1 shows the range of the vessel reduced speed $e = \frac{V}{V_{\max}} \leq 1$, the resonant zone (shaded) and non-resonant zones Ω_1, Ω_2 for wave length $\lambda = 230 m$.

Define the control quality function as follows

$$Q = (e(n) \cos q(n) - e(n-1) \cos q(n-1))^2 + (e(n) \sin q(n) - e(n-1) \sin q(n-1))^2, \quad (8)$$

where $e(n) = \frac{V(n)}{V_{\max}}$ is the safe reduce speed in a storm

(p.4), $e(n-1) = \frac{V(n-1)}{V_{\max}}$ is the actual reduce speed in a storm (p.1), $q(n), q(n-1)$ is the safe wave angle and actual wave angle, respectively.

Thus, the safe speed and course calculation unit determines the optimal pair of parameters $\{e(n), q(n)\}$ by minimizing the control quality function (4), in the presence of constraints (1)–(3) and $e(n)_{\min} \leq e(n) \leq e(n)_{\max}^{st}$. Since the quality function (4) is smooth, to solve this optimization problem with linear and nonlinear constraints, we used the standard gradient optimization procedure `fmincon` of the MATLAB Optimization Toolbox library

`y=fmincon(@myfun,y0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,@mycon)`

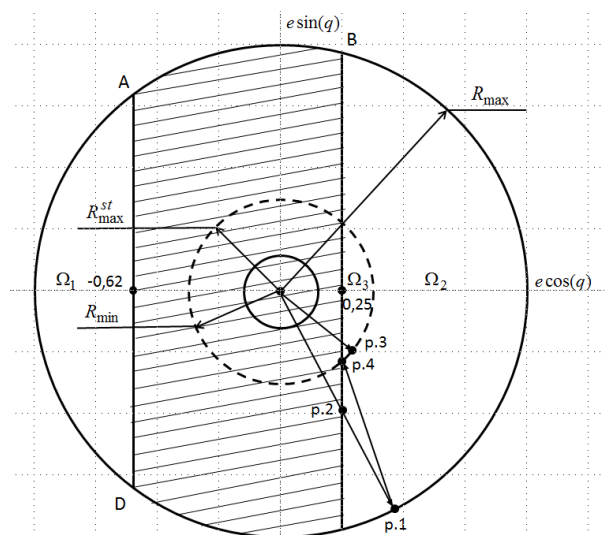


Figure. 2. The range of the vessel reduced speed, resonant (shaded) and non-resonant Ω_1, Ω_2 zones

The operability and efficiency of the method, algorithmic and software are tested at the Imitation Modeling Stand [49, 50].

Fig. 2 shows graphs of changes in roll angle, trim angle, speed and course of the vessel with automatic control of the vessel Ro-Ro passenger ferry 13 in a storm. Initial course of the vessel is $K(0) = 75^\circ$, initial speed is $V(0) = 18,5 kn.$, initial sea disturbance is 2 points. The vessel, moving the course $K(n) = 75^\circ$, accelerates to speed $V(n) = 19 kn.$, after which the simulator is set to sea disturbance 11 points. As can be seen from the graphs, during the storm the speed of the vessel begins to decrease to $V(n) = 7 kn.$ At the same time, the automatic storm system begins to change course from $K(n-1) = 75^\circ$ to safe b to exit the resonance zone. In Fig. 1 this corresponds to the movement from p. 1 to p. 4.

III. CONCLUSIONS

The scientific novelty of the obtained results is that for the first time theoretically substantiated design features of the original system of automatic control of the vessel in a storm, which consist in constant, with the onboard controller cycle, automatic measurement of vessel and wave motion parameters, automatic calculation outside resonant zones, taking into account resonant zone boundaries, minimum vessel speed and maximum vessel speed in a storm, automatic selection of safe optimal motion parameters from outside resonant zones according to the specified criterion of optimality, automatic maintenance of safe optimum parameters of movement in a storm, and provide fundamentally new technical characteristics: the ability to automatically control the vessel in a storm, reduce depletion of the vessel's crew when sailing in difficult conditions, increase the accuracy and reliability of the vessel control in a storm, which determine its advantages over known solutions.

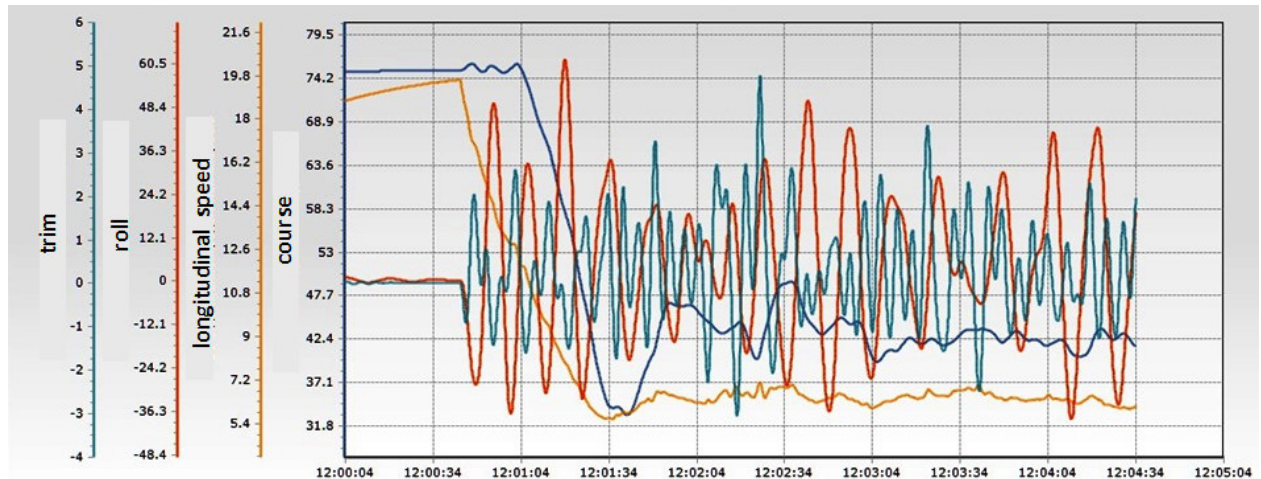


Figure 2. Automatic control of the vessel Ro-Ro passenger ferry 13 in a storm

The practical value of the obtained results is that the developed method and algorithms are implemented in the software of the vessel automatic storm system and investigated by mathematical modeling on the imitation modeling stand in a closed loop with vessel mathematical models for different types of vessel, sailing areas and meteorological conditions.

ACKNOWLEDGMENT

The work was carried out in the framework of the research “Development of software solutions for dynamic functions of dynamically positioning systems of marine vessels”, (state registration number 0119U100948), Department of Navigation and Electronic Navigation Systems of Kherson State Maritime Academy.

REFERENCES

- [1] Popovych, I., Blynova O., Nass Álvarez, Juan Luis, Nosov, P., Zinchenko S. (2021). A historical dimension of the research on social expectations of an individual. *Revista Notas Históricas y Geográficas*, Número 27 Julio-Diciembre. 190–217. <https://www.revistanotashistoricasygeograficas.cl/index.php/nhyg/article/view/365>
- [2] Guidance to the master for avoiding dangerous situations in following and quartering seas, IMO MSC/Circ.707. Ref. T1/2.04/ (1995).
- [3] Revised guidance to the master for avoiding dangerous situations in adverse weather and sea conditions, IMO MSC.1/Circ.1228 (2007).
- [4] Recommendation on intact stability for passenger and cargo ships under 100 meters in length, IMCO RESOLUTION A.167 (ES.IV) adopted on 28 November 1968.
- [5] Recommendation on a severe wind and rolling criterion (weather criterion) for the intact stability of passenger and cargo ships of 24 meters in length and over, IMO RESOLUTION A.562(14) adopted on 20 November 1985.
- [6] Takuzo, Okada. (2019). *Marine Weather Ship Handling in Rough Sea*. Japan P&I Club. P&I Loss Prevention Bulletin 45, 100 p.
- [7] Ships navigation in heavy weather and recommended action by master, Ship Business. *Ocean going cargo ships safety & operational matters* (2015). URL: <http://shipsbusiness.com/navigation-in-heavy-weather.html>.
- [8] Wankhede, “What to do when ship encounters rough weather?”, *Marine sight*, 2019. URL: <https://www.marineinsight.com/marine-safety/what-to-do-when-ship-encounters-rough-weather>.
- [9] How to a sail safety in a storm, North Sails, 2016. URL: <https://www.northsails.com/sailing/en/2016/09/how-to-sail-safely-through-a-storm>.
- [10] Zinchenko, S., Tovstokoryi, O., Ben, A., Nosov, P., Popovych, I., Nahrybelnyi, Ya. (2021). Automatic optimal control of a vessel with redundant structure of executive devices. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 77. P. 266–281, Springer, Cham. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-82014-5_18
- [11] Mamenko, P., Zinchenko, S., Kobets, V., Nosov, P., Popovych, I. (2021). Solution of the Problem of Optimizing Route with Using the Risk Criterion. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 77, 252–265, Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_17
- [12] Popovych, I., Halian I., Halian O., Nosov P., Zinchenko S., Panok V. (2021). Research on personality determinants of athletes' mental exhaustion during the ongoing COVID-19 pandemic. *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*, 21 (4), Art.224. 1769–1780. DOI: 10.7752/jpes.2021.04224
- [13] Nosov, P., Zinchenko, S., Ben, A., Prokopchuk, Yu., Mamenko, P., Popovych, I., Moiseienko, V., Kruglyj, D. (2021). Navigation safety control system development through navigator action prediction by data mining means // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*, 2, 9 (110). DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237>
- [14] Ihor Popovych, Olena Blynova, Pavlo Nosov, Serhii Zinchenko, Oksana Kononenko. Psychological factors of competitiveness of the women's youth handball team/ *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*, Vol.21(1), Art 30, pp. 227–235, January 2021. DOI: 10.7752/jpes.2021.01030.
- [15] Zinchenko, S., Moiseienko, V., Tovstokoryi, O., Nosov, P., Popovych, I. (2021). Automatic Beam Aiming of the Laser Optical Reference System at the Center of Reflector to Improve the Accuracy and Reliability of Dynamic Positioning. In: Hu, Z., Petoukhov, S., Dychka, I., He, M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education IV. ICCSEE 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 83. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-80472-5_1
- [16] Zinchenko, S., Tovstokoryi, O., Nosov, P., Popovych, I., Kobets, V., Abramov, G. (2020). Mathematical support of the vessel information and risk control systems // *CEUR Workshop Proceedings*, 2805, 335–354. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2805/paper25.pdf>

- [17] Popovych, I., Zavatskiy, V., Tsiuniak, O., Nosov, P., Zinchenko, S., Mateichuk, V., Zavatskiy, Yu., Blynova, O. Research on the Types of Pre-game Expectations in the Athletes of Sports Games. *Journal of Physical Education and Sport*, 20(1), 43–52. DOI:10.7752/jpes.2020.01006 <http://efsupit.ro/images/stories/ianuarie2020/Art%206.pdf>.
- [18] Nosov, P., Ben, A., Zinchenko, S., Popovych, I., Mateichuk, V., Nosova, H. (2020). Formal approaches to identify cadet fatigue factors by means of marine navigation simulators. *CEUR Workshop Proceedings*, 2732, 823–838. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2732/20200823.pdf>
- [19] Shen, H., Hashimoto, H., Matsuda, A. (2019). Automatic collision avoidance of multiple ships based on deep Q-learning, *Applied Ocean Research Journal* 86, pp. 268–288, doi: 10.1016/j.apor.2019.02.020.
- [20] Yishan, L., Zhiqiang, G., Jie, Y. (2018). Prediction of ship collision risk based on CART, *IET Intelligent Transport Systems* 12(10), p. 1345–1350. doi: 10.1049/iet-its.2018.5281.
- [21] Park, J. (2019). COLREGS-compliant path planning considering time-varying trajectory uncertainty of autonomous surface vehicle, *Electronics Letters* 55(4), pp. 222–224. doi: 10.1049/el.2018.6680.
- [22] Sharko, M., Sharko, A. (2016). Innovative aspects of management of development of enterprises of regional tourism. *Actual Probl. Econ.* 7(181), 206–213.
- [23] Tu, E., Zhang, G., Rachmawati, L. (2016). Exploiting AIS data for intelligent maritime navigation: a comprehensive survey, *IEEE Transactions on intelligent transportation system* 19(5), pp. 99. doi: 10.1109/TITS.2017.2724551.
- [24] Smeaton, G., Coenen, F. (1990). Developing an intelligent marine navigation system, *Computing & Control Engineering Journal* 1(2), pp. 95–103, doi: 10.1049/cce:19900024.
- [25] Huang, Y., Chen, L., Gelder, P. (2019). Generalized velocity obstacle algorithm for preventing ship collisions at sea”, *Ocean Engineering Journal* 173, pp. 142–156. doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.12.053.
- [26] Johansen, T., Cristoforo, A., Perez, T. (2016). Ship Collision Avoidance Using Scenario-Based Model Predictive Control, *IFAC*. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/34a3/c1a0b699774fadab417ca2f5ef422edb1f0b.pdf>.
- [27] Blaich, M., Kohler, S., Reuter, J. (2015). Probabilistic Collision Avoidance for Vessels, *IFAC – Papers OnLine* 48(16), pp. 69–74. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.10.260.
- [28] Sharko, M., Gusarina, N., Burenko, J. (2017). Modeling of management of the information potential of complex economic systems under conditions of risk. *Technol Audit Prod Reserves* 34:14–19. URL: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.98275>
- [29] Sharko, M., Lopushynskiy, I., Petrusenko, N., Zaitseva, O., Kliutsevskiy, V., Yarchenko, Y. (2020). Management of tourists’ enterprises adaptation strategies for identifying and predicting multidimensional non-stationary data flows in the face of uncertainties. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 135–151. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54215-3>
- [30] Shatto, Jr. (1988). Vessel wave heading control apparatus. Patent US No 4,769,773, Issued Sep. 6th., 1988.
- [31] Akmaykin, D., Khomenko, D. (2011). Use of ships radar for improvement of navigation in rough sea condition”, in: *Proceedings of the 2011 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON’2011)*, Krasnoyarsk, Sept. 15–16. doi: 10.1109/SIBCON.2011.6072616.
- [32] France, W., Levadou, M., Treakle, T., Paulling, J., Michel, R., Moore, C. (2003). An investigation of head-sea parametric rolling and its influence on container lashing systems, *Marine Technology* 40(1), pp. 1–19. doi: 10.5957/mtl.2003.40.1.1.
- [33] Korolyova, S., Marchuk, Yu. (2017). The concept of storm and its influence on the navigation, *Profmarket: Education. Language. Success*, Sevastopol State University, 27 March, pp. 195–196.
- [34] Demetriou, G., Ioannou, S., Hadjipieri, A., Panayidou, I., Papasavva, A., Savva, A. (2016). A flexible autonomous surface vessel, in: *Proceedings of the 24th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED’2016)*, 21–24 June. doi: 10.1109/MED.2016.7535980.
- [35] Junnan Li, Haibin Duan. (2015). Simplified brain storm optimization approach to control parameter optimization in F/A-18 automatic carrier landing system, *Aerospace Science and Technology* 42, pp. 187–195. doi: 10.1016/j.ast.2015.01.017.
- [36] Ershov, A., Solnov, S., Boyarinov, A., (2018). Diagram for determining dangerous zones when sailing in heavy weather, *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology* 2. doi: 10.24143/2073-1574-2018-2-22-27.
- [37] Eremenko, A., Zhukov, Y. (2016). Smart onboard seafaring safety assurance system, *Electrical and computer systems* 22(98), pp. 293–300.
- [38] Ershov, A., Buklis, P. (2018). Ways to increase speed and save fuel tanker n storm conditions, *Bulletin of the State Maritime and River Fleet University named after Admiral S.O. Makarov* 10 (6), pp. 1122–1131. doi: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1122-1131.
- [39] Pipchenko, O. (2011). On the Method of Ship’s Transoceanic Route Planning, *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 5(3).
- [40] Dubrovskiy, V. Complex comparison of seakeeping: method and example, *Mar Technol SNAME* 37(04), pp. 223–229. doi:10.5957/mtl.2000.37.4.223.
- [41] Zhukov, Yu., Gordeev, B., Zivenko, A., Nakonechny, A. (2015). Polymetric Sensing in Intelligent Systems. *Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation*. J. Duro. P. 211–234.
- [42] OCTOPUS-Onboard. Ship Motions Monitoring and Advisory System. Access Mode: URL: <http://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/automation-and-advisory/advisory>
- [43] Monostori, L., Vancza, J. Kumara, S. (2006) Agent-Based Systems for manufacturing, *Annals of the CIRP*, no. 55.
- [44] Colombo, A., Neubert, R., & Schoop, R. (2001). A solution to holonic control systems. *ETFA 2001. 8th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*. Proceedings (Cat. No.01TH8597), 2, vol. 2. 489–498
- [45] Tzafestas, S. (1997). *Modern Manufacturing Systems: An Information Technology Perspective*.
- [46] Tzafestas, S. (2010). *Supervisory and Distributed Control in Automation*.
- [47] Girtler, J. (2017). Determination of probabilities defining safety of a sea-going ship during performance of a transportation task in stormy weather conditions. *Journal of Polish CIMAC*, 12, 21–30.
- [48] Girtler, J. (1999). Complex formulation of the availability of sea transport means. *Polish Maritime Research*, 06, 21–26.
- [49] Navi-Trainer Professional 5000 (version 5.35). Instructor manual, Transas MIP LTD. (2014).
- [50] Navi-Trainer Professional 5000 (version 5.35). Navigation Bridge, Transas MIP LTD. (2014).

Some features of creating a computer vision system

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.22>

Petrivskiy Yaroslav

Further Mathematics Department
Rivne State Humanitarian University
Rivne, Ukraine
prorectorsgu@ukr.net

Oleksiy Bychkov

Program system and technologies Department
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
bos.knu@gmail.com

Petrivskiy Volodymyr

Program system and technologies Department
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
vovapetrivskiy@gmail.com

Oleksandr Pyzh

Program system and technologies Department
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
iryna.888@ukr.net

Abstract — In the paper some features of models and algorithms of computer vision are presented. An algorithm for training the neural network of object recognition is proposed and described. The peculiarity of the proposed approach is the parallel training of networks with the subsequent selection of the most accurate. The presented results of experiments confirm the effectiveness of the proposed approach.

Keywords — computer vision; objects identification; neural networks; differential equations systems; principal component analysis.

I. INTRODUCTION

According to the level of modern technological progress, more and more problems are solved using neural networks. One such task is the task of computer vision or computer identification, which is to identify people, objects, and phenomena of various natures using the camera of any device [1]. A key aspect of this task is the selection of the most accurate neural network training algorithm. Of particular interest is the identification of objects in real time.

In recent years, computer vision has become a key technology in many areas of science, technology, engineering, society as a whole. It is impossible to imagine the automation of industrial production without the use of computer vision technology for quality control and simplification with an increase in the accuracy and quality of technological processes.

It is quite informative to get acquainted with the history, development and current state of the issue of theoretical and applied aspects of computer vision technology, for example, in works where, together with a description of the mathematical apparatus, all other components of computer vision systems integral to the development and operation are shown quite fully. The theoretical aspects of processing visual data are considered using a large number of examples from practical problems [2–8]

Along with classical topics – description of scene images and pattern recognition, Bayesian classification, pattern matching, camera calibration and perception of three-dimensional scenes, the books deal with the issues

of image databases and systems of virtual and augmented reality, image search based on content, image segmentation, three-dimensional models, recognition of objects in images based on models. Examples of applications in industry, medicine, land use, multimedia and computer graphics are given.

Thus, the combination of mathematical apparatus in combination with computer technology and the development of appropriate software for solving problems of computer vision and computer identification is an urgent problem today.

II. MAIN PART

In the world and national practice of designing and developing computer vision systems, a three-level sequence of research has been selected. This architecture is based on a bionic approach to the human perception process [9–12].

Within the framework of this architecture, images go through three stages of transformations: low, medium and high. In this case, the following tasks are sequentially solved in the indicated order:

In general, the process of creating a recognition algorithm can be represented in the form of the following sequential operations: scanning followed by transformation of the original object; extraction of representative parameters of the object from the data stream; identification of the object according to the selected classification criteria.

- 1) input of information, i.e. obtaining an image of the working scene using sensors;
- 2) image preprocessing using noise suppression techniques;
- 3) segmentation, i.e. highlighting one or more scene objects of interest in the image;
- 4) description, i.e. determination of the characteristic parameters of each object necessary for its selection on the scene;
- 5) recognition, or identification, of an object, i.e. establishing it belonging to a certain class;

6) interpretation, i.e. identifying the belonging of an object to a group of recognizable ones or compiling the semantics of a scene.

The intensive development of the technical capabilities of computer technology (large memory, high-bandwidth communication channels, and multimedia computer systems) made it possible to develop, create and process arrays of large databases, including image databases.

Modern video systems make it possible to implement the initial stage of classification quite well.

The problem of detecting the desired characteristic features of objects in images and video of the scene of observation is an important applied problem and represents the relationship of two classification problems, namely, the segmentation of the object as a whole, and the recognition of the class to which the object belongs. At the moment, there are many approaches and developments, methods and technologies for solving segmentation and recognition problems. Segmentation is a problem that is addressed at the middle and upper levels of the three-tier architecture of the computer vision system. At the same time, recognition remains a priority task only at the top level of this architecture. Segmentation tools include methods of grouping, clustering, classifying and categorizing pixels, lines and regions (patterns). Most of them are based on the principle of the feature approach, when a predetermined set of features is measured and the structural elements are divided into groups. Segmentation at the upper level of the computer vision system is more aimed at measuring the relationship between previously identified structural and geometric elements, which are used along with features. At the top level of the computer vision system, solving the segmentation problem is more focused on recognition than just dividing into groups.

At the same time, the process of fixing its key characteristics in the data stream about the object of classification remains quite important. For this purpose, in our studies, we have proposed and successfully implemented an algorithm for the principal component analysis method (PCA) in the classical formulation of Pearson about the problem of approximating a finite set of data in the absence of a hypothesis of their statistical distribution. The statistical PCA method is determined by a linear transformation, which allows you to transform a stationary stochastic process, represented by the original vector, into a vector using a matrix at $K < N$ so that the resulting reduced size space preserves the most important information about the original data of the object. Maximum variance taking into account their deviations, namely, the first independent component determines the direction in which the maximum possible deviation is recorded, the second independent component determines (in the flow orthogonal subspace) the direction of the maximum variance, etc. Thus, the transformation by the PCA method allows replacing a large amount of information mutually correlated input data, a set of statistically independent components taking into account their significance. In communication (coding) theory, this method is known as the Karjunen-Leve transformation,

which allows compression with loss of information [13].

It is known that a neural network is a multidimensional function whose arguments belong to the space of the domain of definition, and the result to the space of the domain of values. Components - a set of neurons, perform the operation of summing signals coming from other neurons that have gone through the corresponding transformation. In the general case, dependencies are approximated that are functions of many arguments, where the sum of functions is performed, each of which is a function of only one argument. The Hecht-Nielsen theorem generalized the Kolmogorov-Arnold theorem that any continuous function of many variables $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ can always be represented as a sum of continuous functions of one variable and approximated using a two-layer neural network with lines complete connections with n neurons of the input layer, $(2n + 1)$ neurons of the hidden layer with previously known limited activation functions) and m neurons of the output layer with unknown activation functions [14]. Also, when creating a neural network, an important task is to find the optimal size of the network - such a number of hidden layers and neurons in the layers that will give a minimum of generalization error. In our case, two approaches were used: theoretical - the result of the Arnold-Kolmogorov and Hecht-Nielsen theorems, practical, where the dependences of learning and generalization errors on the size of the neural network were used, and the optimal value corresponds to a local minimum.

The required number of neurons in the hidden layers according to the theorems of Arnold-Kolmogorov and Hecht-Nielsen was determined by the formula [15]:

$$\frac{N_y Q}{1 + \log_2(Q)} \leq N_w \leq N_y K + N_y, \quad (1)$$

where N_y – dimension of the output signal y , Q – number of training examples, N_w – the required number of synaptic connections, $K = \left(\frac{Q}{N_x} + 1\right)(N_x + N_y + 1)$, N_x – dimension of the input signal x .

According to the Hecht-Nielsen theorem, sigmoidal transfer functions with adjustable parameters are used in neural networks for both the first (hidden) and second (output) layers.

Having estimated the required number of synaptic connections N_w using formula (1), the required number of neurons in the hidden layers was calculated, which is equal to:

$$N = \frac{N_w}{N_x + N_y}. \quad (2)$$

A fairly large number of applied software developments are known that implement the concept of a neural network algorithm, which allows a wide range of tasks.

The developed identification algorithm can be divided into two parts: the choice of model and the identification process. In turn, part of the model selection consists of pre-processing the data, training the models, selecting and saving the required model. Under pre-processing of data we understand preparation of a

set of photos of necessary subjects with the subsequent sorting on folders with the name of a subject. The next stage is the learning process that takes place in parallel. The use of parallel calculations speeds up the production of trained models by 67%. After receiving the trained models, the required model is selected and saved. The selection criterion is the accuracy of identification. The selection is made automatically by the software or by an expert or a group of experts. The saved model is loaded into the appropriate item identification software. A feature is the ability to use an already saved model without prior training. A prerequisite for using the software is a connected camera. The image read from the camera is transmitted to the identifier for further identification. The result is a corresponding message identifying the item with the percentage of compliance. A feature of the described software is network training on all known models in parallel. Schematically described above, the software algorithm can be presented in the following form (Fig. 1):

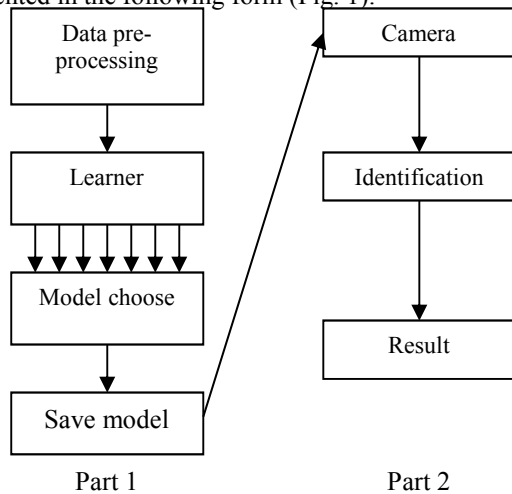


Figure 1. Objects identification algorithm

III.COMPUTER SIMULATION RESULTS

During the computer experiment, the identification of 2 objects was studied: a pen and glasses. The input data set consisted of 300 photographs of each object. The process of learning and choosing a model lasted 5 minutes 47 seconds. Of all the models, the classification tree and fine tree were the most accurate. The identification results are presented in the following figures (Fig. 2–4):

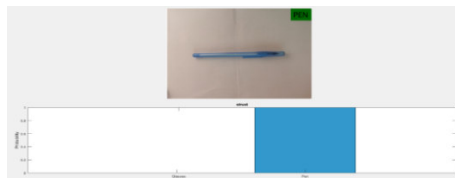


Figure 2. Computer simulation results

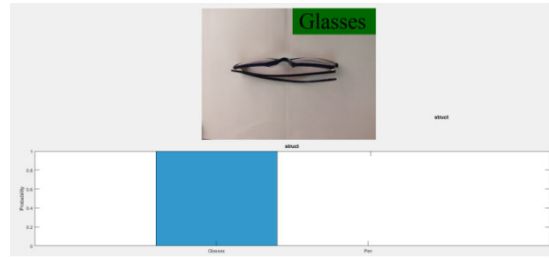


Figure 3. Computer simulation results

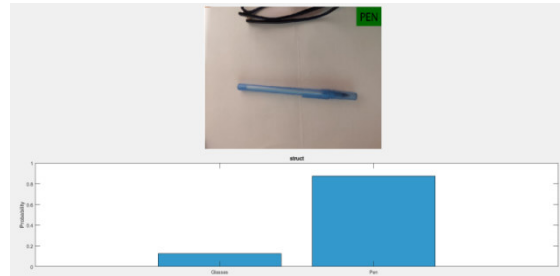


Figure 4. Computer simulation results

IV. CONCLUSION

Thus, we can conclude that the use of mathematical apparatus in combination with modern information technology can effectively solve the problem of object recognition. developed software with the proposed algorithm using parallel computing technologies accelerates the total training time of the network by 58%.

REFERENCES

- [1] A. Zeyegh and N. Bassam, "Neural Network Principles and Applications," Digital Systems, 2018.
- [2] L. Shapiro and D. Stockman, "Computer vision," Binom, 2013, 752 p.
- [3] R. Klette and A. Rosenfeld, "Digital Geometry," Morgan Kaufmann, San Francisco, 2004.
- [4] F. Huang, R. Klette and K Scheibe, "Panoramic Imaging," Wiley, West Sussex, 2008.
- [5] R. Klette, "Computer vision. Theory and algorithms," DMK Press, 2019, 506 p.
- [6] Y. Furman, "Introduction to contour analysis and its applications for image and signal processing," Fizmatlit, 2002.
- [7] D. Murrey and U. van Raiper, "Encyclopedia of graphic file formats," Kiev : BHV, 1997.
- [8] U. Pret, "Digital images processing," Moskva : Mir, 1982.
- [9] D. Foly and A. Dem, "Fundamentals of interactive machine graphics," Moskva : Mir, 1985.
- [10] A. Rossenfeld, "Image recognition and processing," Moskva : Mir, 1972.
- [11] L-J. Lorier, "Artificial intelligence systems," Moskva : Mir, 1991.
- [12] J. Lugger, "Artificial intelligence: strategies and methods for solving complex problems," 2002, 864 p.
- [13] D. Marr, "Information approach to the study of the representation and processing of visual images," Radio and connection, 1987, 400 p.
- [14] I. Jolliffe, "Principal Component Analysis," Springer Series in Statistics, 2008, 324 p.
- [15] "Arnold: Swimming Against the Tide," American Mathematical Society, 2014, p. 165.

Calculation of organic substrate decomposition in biofilm and bioreactor-filter taking into account its limitation and inhibition

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.23>

Vadim Poliakov

Leading Researcher of Department of Applied Hydrodynamics
Institute of Hydromechanics NASU
Kiev, Ukraine
vpoliakov.ihm@gmail.com

Abstract — The mathematical problem of the steady-state biofiltration of an organic substrate is formulated at two levels taking into account the limitation and inhibition of the rate of its decomposition. The exact and approximate solutions to the problem of substrate biooxidation in a representative biofilm were obtained and compared using test examples. Based on them an analysis of the technological process in the porous biofilter medium and the output characteristics was carried out.

Keywords — biofiltration; mathematical model; biofilm; inhibition; calculation; organic substrate; limitation.

I. Introduction

Currently, biological methods are widely used for wastewater treatment [1]. In this way, organic contaminants are removed first. These methods are successfully implemented on submerged bioreactor-filters under aerobic [2, 3] and anaerobic [4] conditions. Organic compounds are directly utilized in the biological phase, which is predominantly formed by a set of biofilms firmly attached to the elements of the solid phase (grains) [5]. Such filters are capable of effectively removing dissolved contaminants over a long period of time. In general, the time of stabilization of the biofiltration characteristics and the output of the filter to the operating mode is short in comparison with the filter run. Therefore, when calculating the technological process in biofilters, it is justified to rely on mathematical models of steady-state biofiltration [6, 7]. Due to the significant difference in the scale (micro and macro) of both physical and biological processes occurring in the layer of filtering material, such models are composed of two (or more) interconnected compartments

II. RESULTS AND DISCUSSION

The first compartment describes the action of a representative biofilm. Inside it, a dissolved organic matter is transferred only due to molecular and surface diffusion. It is important that the rate of biodegradation of organic substrate, as a rule, is significantly limited due to insufficient amount. Decomposition products, such as volatile fatty acids, often inhibit this process [8]. Then, taking the biofilm flat and taking into account the resistance of the surrounding liquid film,

the structural compartment can be represented in the following form

$$D_e \frac{d^2 s}{dx^2} = \frac{\mu_m \rho_B}{Y} \frac{K_i s}{s^2 + K_i s + K_s K_i} = \lambda K_i u(s); \quad (1)$$

$$x = 0, \quad \frac{ds}{dx} = 0; \quad x = l_f, \quad D_e \frac{ds}{dx} = k_L (S - s). \quad (2)$$

Here s is the concentration of the substrate, D_e is the effective diffusion coefficient, μ_m is the maximum specific growth rate of microbial biomass, ρ_B is the density of such biomass, Y is the economic coefficient, K_i is the inhibition coefficient, K_s is the half-saturation constant, l_f is the biofilm thickness, k_L is the transfer coefficient of the substrate in the liquid film, S is the concentration of the substrate in the liquid phase outside the liquid film.

Dimensionless variables and coefficients are introduced: $\bar{s} = s/S_0$, $\bar{S} = S/S_0$, $\bar{x} = x/R_g$, $\bar{l}_f = l_f/R_g$, $\bar{K}_{i,s} = K_{i,s}/S_0$, $\bar{k}_L = R_g k_L/D_e$, $\bar{\lambda} = \mu_m \rho_B R_g^2 / (Y D_e S_0)$, S_0 is the concentration of the substrate at the entrance to the filter, R_g is the radius of the grain. Then the exact solution to the problem (1), (2) is first expressed by the inverse function

$$\bar{x}(\bar{s}) = \bar{l}_f - \frac{1}{\sqrt{2 \bar{\lambda} \bar{K}_i}} \int_{\bar{s}}^{\bar{S}} \frac{d\zeta}{\sqrt{U(\zeta, \bar{s}_g)}}. \quad (3)$$

Here

$$U(\zeta, \bar{s}_g) = \frac{1}{2} \ln \frac{\zeta^2 + \bar{K}_i \zeta + \bar{K}_i \bar{K}_s}{\zeta^2 + \bar{K}_i \zeta + \bar{K}_i \bar{K}_s} - \frac{\bar{K}_i}{2\sqrt{\bar{K}_i^2 - 4\bar{K}_i \bar{K}_s}} \times \\ \times \ln \left(\frac{2\zeta + \bar{K}_i - \sqrt{\bar{K}_i^2 - 4\bar{K}_i \bar{K}_s}}{2\zeta + \bar{K}_i + \sqrt{\bar{K}_i^2 - 4\bar{K}_i \bar{K}_s}} \frac{2\bar{S}_g + \bar{K}_i + \sqrt{\bar{K}_i^2 - 4\bar{K}_i \bar{K}_s}}{2\bar{S}_g + \bar{K}_i - \sqrt{\bar{K}_i^2 - 4\bar{K}_i \bar{K}_s}} \right),$$

$\bar{s}_{g,f} = s_{g,f}/S_0$, $s_{g,f}$ are concentrations of the substrate on the inner and outer surfaces of the biofilm. Initially unknown values \bar{s}_g , \bar{s}_f should be determined

$$\text{by selection from the system of the equations} \\ \bar{k}_L^2 (\bar{S} - \bar{s}_f)^2 = 2 \bar{\lambda} \bar{K}_i U(\bar{s}_f, \bar{s}_g), \quad (4)$$

$$\int_{\bar{s}_g}^{\bar{s}_f} \frac{d\zeta}{\sqrt{U(\zeta, \bar{s}_g)}} = \sqrt{2\lambda K_i} \bar{l}_f. \quad (5)$$

However, this form of solving the internal problem is inconvenient for calculating the action of a separate biofilm and unacceptable for the subsequent analysis of the removal of the substrate within the filter medium. Therefore, it is necessary to find a simpler approximate solution, and to estimate its accuracy using equations (3)–(5).

As the biofilm thickness is small, the equality $\bar{s} = \bar{s}_f$ is assumed for the structural function of utilization. In fact, instead of the indicated function, its some constant (effective) value is taken, which makes it possible to simply solve equation (1) under conditions (2). Its double integration allows to obtain

$$\bar{s}(\bar{x}; \bar{l}_f, \bar{S}) = \bar{S} - \lambda \bar{K}_i u(\bar{s}_f) \left(\frac{\bar{l}_f}{k_L} + \frac{\bar{l}_f^2}{2} - \frac{\bar{x}^2}{2} \right). \quad (6)$$

The cubic equation for the desired relative concentration \bar{s}_f follows from (6) at $\bar{x} = \bar{l}_f$

$$\bar{s}_f^3 + (\bar{K}_i - \bar{S})\bar{s}_f^2 + \left(\bar{K}_i \bar{K}_s - \bar{K}_i \bar{S} + \frac{\lambda \bar{K}_i}{k_L} \bar{l}_f \right) \bar{s}_f - \bar{K}_i \bar{K}_s \bar{S} = 0$$

Its physically meaningful root is calculated using the Cardano formula

$$\bar{s}_f = \sqrt[3]{-\frac{\varphi_1}{2} + \sqrt{\frac{\varphi_1^2}{4} + \frac{\varphi_2^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{\varphi_1}{2} - \sqrt{\frac{\varphi_1^2}{4} + \frac{\varphi_2^3}{27}}} - \frac{K_i - S}{3},$$

$$\text{where } \varphi_1 = \bar{K}_i \bar{K}_s - K_i S + \frac{\lambda \bar{K}_i}{k_L} \bar{l}_f - \frac{\bar{K}_i - S}{3},$$

$$\varphi_2 = \frac{2}{27} (\bar{K}_i - S)^3 - \frac{1}{3} (\bar{K}_i - S) \left(\bar{K}_i \bar{K}_s - K_i S + \frac{\lambda \bar{K}_i}{k_L} \bar{l}_f \right) - \bar{K}_i \bar{K}_s S.$$

When \bar{s}_f is known, the second boundary (smallest) concentration is easily calculated

$$\bar{s}_g(\bar{l}_f; \bar{S}) = \bar{S} - \frac{\lambda \bar{K}_i}{2k_L} u(\bar{s}_f(\bar{l}_f, \bar{S})) (2 + k_L \bar{l}_f). \quad (7)$$

Thus, according to (2) the relative amount of the substrate entering a separate biofilm per unit of time \bar{i}_f is

$$\bar{i}_f(\bar{l}_f, \bar{S}) = k_L [\bar{S} - \bar{s}_f(\bar{l}_f, \bar{S})]. \quad (8)$$

Based on equation (8), an expression is derived for the generalized function of substrate utilization (in the operation volume) $I(l_f, S)$. If the porosity of the pure filter medium n_0 , then there are N_g grains of the solid phase in the unit volume of the medium

$$N_g = \frac{3(1 - n_0)}{4\pi R_g^3}. \quad (9)$$

Then the function mentioned above has the dimensional form

$$I(l_f, S) = N_g i_f(l_f, S). \quad (10)$$

It is included as a free term in the steady-state biofiltration equation, so that

$$V \frac{dS}{dz} + I(l_f(z), S(z)) = 0, \quad (11)$$

where V is the biofiltration rate. Thus, for applied calculations it is necessary to establish two functions – $\bar{l}_f(\bar{z})$, $\bar{S}(\bar{z})$. Therefore, the stationary equation of biomass balance is added to equation (11), which describes the (dynamic) balance between its increase and decrease due to detachment, decay, grazing, namely,

$$YI = k_d B, \quad (12)$$

where k_d is the coefficient of the rate of biomass loss, B is the concentration of biomass. Since the biofilm is considered flat due to $R_g \gg l_f$, it is true

$$B = \rho_B \Omega_B l_f, \quad (13)$$

where ρ_B is the biomass density, Ω_B is the specific surface area of the biological phase. Then the equation of mass transfer using macroscales V and L (height of the bed) is reduced to a dimensionless form

$$\frac{d\bar{S}}{d\bar{z}} + \chi_g \bar{k}_d \bar{l}_f = 0, \quad (14)$$

where $\chi_g = 3(1 - n_0)LD_e/(VR_g^2)$, $\bar{k}_d = k_d \rho_B R_g^2/(YD_e S_0)$. Similarly, the balance equation (12) will be

$$\bar{k}_L [\bar{S} - \bar{s}_f(\bar{l}_f, \bar{S})] = \bar{k}_d \bar{l}_f. \quad (15)$$

The system of equations (14), (15) is supplemented by the boundary condition

$$\bar{z} = 0, \quad \bar{S} = 1. \quad (16)$$

In the general case, the problem (14) - (16) has to be solved numerically using suitable software packages for mathematical analysis (Mathcad, Matlab). However, **when** a high initial concentration of the dissolved organic matter (wastewater) at the inlet section of the bed, the maximum possible amount of biomass is often contained within it above a certain time, characterized by the limiting value of the biofilm thickness l_{fm} . Then the linear distribution of the substrate concentration over the height follows from equation (14) under condition (15)

$$\bar{S}(\bar{z}) = 1 - \chi_g \bar{k}_d l_{fm} \bar{z}. \quad (17)$$

And if the entire bed is maximally saturated with biomass, then the output concentration \bar{S}_e is immediately calculated by formula (17) at $\bar{z} = 1$. At the same time, it is real that the ratio $l_f < l_{fm}$ takes place in the remote part of the bed. Then the concentration of the substrate S_m at the inner boundary ($z = z_m$) is determined by the selection from the equation

$$\bar{k}_d \bar{l}_{fm} + \bar{k}_L \bar{s}_f(\bar{l}_{fm}, \bar{S}_m) = \bar{k}_L \bar{S}_m, \quad (18)$$

and the position of this boundary is calculated by the formula

$$\bar{z}_m = \frac{1 - \bar{S}_m}{\chi_g \bar{k}_d}. \quad (19)$$

Subsequent calculations of \bar{S} , \bar{S}_e on the area $[\bar{z}_m, 1]$ should also be carried out by numerical methods, provided

$$\bar{z} = \bar{z}_m, \quad \bar{S} = \bar{S}_m. \quad (20)$$

III. RESULTS AND DISCUSSION

When conducting a quantitative analysis, a particular importance was attached to the substantiation of the approximate solution obtained above, since on its basis the technological process is modeled on the scale of the bed and, as a result, the content of organic contamination in the filtrate is predicted. The accuracy of this solution can be clearly assessed by comparing it on test examples with the exact solution. The results of exact and approximate calculations are presented in Figs. 1, 2. The relative boundary concentrations of the substrate \bar{S}_g , \bar{S}_f , as well as its inflow per unit time \bar{i}_f to the biofilm located at the entrance to the biofilter ($\bar{S} = 1$) were their subject. The values of the coefficients \bar{K}_s (0.5), \bar{k}_L (25) were also set. Attention was focused on the effect of the inhibition of substrate biodegradation which is less studied. Therefore, concentration \bar{S}_g and flux \bar{i}_f were found as functions of the relative coefficient \bar{K}_i , which varied by three orders of magnitude. The set of the curves in the figures are obtained by varying the coefficient $\bar{\lambda}$. Its large values correspond to aerobic biofiltration, while lower value (25) corresponds to anaerobic biofiltration. It is natural that the unevenness of the microbial mass distribution within the biofilm increases due to an increase in the consumption of the substrate. As a result, the errors in the calculation of microcharacteristics and, first of all, the key microcharacteristic for the subsequent analysis of biofiltration \bar{i}_f (Fig. 2), regardless of the method of averaging the structural function of substrate utilization $u(\bar{S})$, increase. In fact, one of the worst options for simplifying the specified function is implemented above. And nevertheless, even in this case, as follows from both figures, the accuracy of the new approximate solution turned out to be high, and the possible inaccuracies in this case are less than due to the imperfection of experimental methods and the unreliability of the initial information. It should also be noted that with a slow growth of microorganisms, which is characteristic of anaerobes, the calculated errors when using (6) - (8) will be minimal. Therefore, these formulas can serve as a reliable basis for subsequent calculations of biofiltration, taking into consideration its limitation and inhibition, and then for the theoretical substantiation of operating and design parameters.

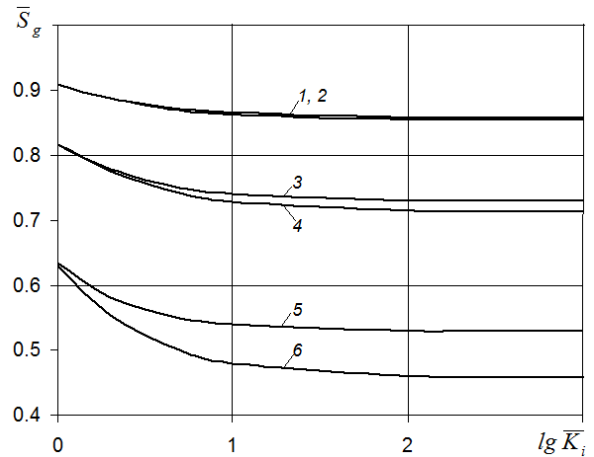


Figure. 1. Relationship $\bar{S}_g(\lg \bar{K}_i)$:

1, 3, 5 – exact calculation; 2, 4, 6 – approximation

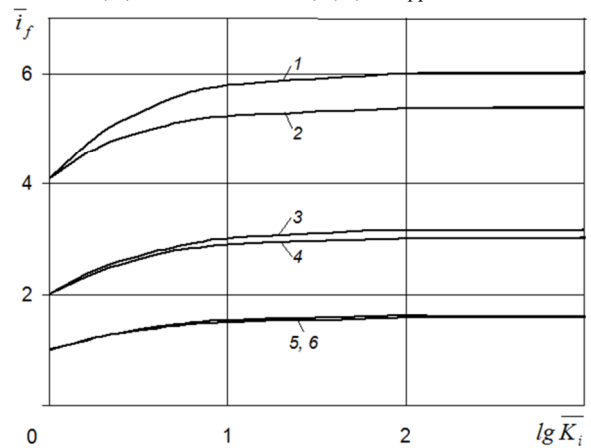


Figure. 2. Relationship $\bar{i}_f(\lg \bar{K}_i)$:

1, 3, 5 – approximation calculation; 2, 4, 6 – exact;
1, 2 – $\bar{\lambda} = 100$; 3, 4 – $\bar{\lambda} = 50$; 5, 6 – $\bar{\lambda} = 25$

REFERENCES

- [1] Синев О.П. Интенсификация биологической очистки сточных вод. К.: Техника, 1983. 109 с.
- [2] Олійник О. Я., Рибаченко С. О. Теоретичний аналіз процесів доочистки стічних вод. *Доповіді НАН України*. 2008. № 3. С. 60–63.
- [3] Поляков В. Л. Моделирование биофильтования воды с ограниченным содержанием органического субстрата. Аэробная биопленка. *Доповіді НАН України-2011*. № 5. С. 72–77.
- [4] Escudie R., Conte T., Steyer J. P., Delgenes J. P. Hydrodynamic and biokinetic models of an anaerobic fixed-bed reactor. *Process Biochemistry*. 2005. 40. P. 2311–2323.
- [5] Lazarova V., Monem I. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. Review paper. *Water Res.* 1995. 29, № 10. P. 2227–2245.
- [6] Поляков В. Л. Моделирование биофильтования воды с ограниченным содержанием органического субстрата. Биореактор-фильтр. *Доповіді НАН України*. 2011. № 7. С. 58–66.
- [7] Rittmann B. E. The significance of biofilms in porous media. *Water Resour. Res.* 1993. 29. P. 2195–2202.
- [8] Jih C.-G., Huang J.-S. Effect of biofilm thickness distribution on substrate inhibited kinetics. *Water Res.* 1994. 28, № 4. P. 967–973.

Mathematical modeling of suspension filtration on a rapid filter at an unregulated rate

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.24>

Vadim Poliakov

Leading Researcher of Department of Applied Hydrodynamics
 Institute of Hydromechanics NASU
 Kiev, Ukraine
 V.Polyakov.igm@gmail.com

Abstract — Mathematical modeling of detachable filtration in the split filter flow mode was carried out using exact and approximate analytical methods. An engineering technique has been developed to determine the duration of filter cycles, based on quality, economic and technical criteria. Determination of rational filter medium height was considered for two materials differed significantly by economic indexes.

Keywords — filtration; modeling; suspension; exact solution; height; split filter flow.

I. Introduction

Clarification of low-concentration aqueous suspensions is currently carried out, as a rule, on rapid filters [1] in two modes – with adjustable (constant) [2, 3] and unregulated (variable) speed. In recent decades, the second mode has been especially widely used in water purification practice [4, 5]. To increase the performance of the filters, they are equipped with special storage tanks, from which the initial suspension is fed to a layer of porous, well-absorbing material (filter medium). Typically, the suspension is fed to the filter at a constant discharge, which significantly exceeds the throughput of a clean and especially clogged medium. Therefore, the specified is discharge distributed between the tank and the filtration flow. With the progressive particles deposition in the medium layer, its hydraulic resistance increases, which accelerates the level rise in the tank. But on the other hand, the piezometric head at the inlet to the medium increases, which leads to increased suspension flow and increased output of the filter structure.

II. Results and Discussion

Mathematical modeling of the detachable filtration in the split filter flow mode was carried out using exact and approximate analytical methods. It is based on a complex mathematical model with non-linear effects and variable model coefficients. The assumed model consists of three interconnected compartments – clarification, liquid flow and hydraulic. The clarification compartment describes the transport of particles of the suspension in the medium using convective mechanism (diffusion mechanism makes an insignificant contribution) and the exchange between the solid (includes the medium elements and the already formed deposit) and liquid phases. The equations of the mass transfer and mass exchange kinetics

$$V(t) \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\partial S}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial t} = \alpha(V)C - \beta(V)S,$$

form the basis of the first compartment. Here C and S are the volumetric concentrations of the suspended and deposited suspension particles. The key role in interfacial mass transfer is played by The adhesion of suspended particles to the solid phase plays the key role in interfacial mass transfer. It is the process that directly ensures the removal of dispersed contamination from the aqueous suspension, and its features are reflected in the linear kinetic equation. It has been established experimentally and theoretically that both mass-exchange coefficients, namely, the coefficients of suspension particles adhesion rate α and also of detachment rate β depend significantly on the filtration rate V , and the relationships between them are often almost linear. Therefore, the following approximation dependencies are valid

$$\alpha(V) = \alpha_v V^l, \quad \beta = \beta_v V^q.$$

Here α_v, β_v, l, q are the empirical constants. Then, due to the variability V , the mass-exchange coefficients also change with time. Moreover, since the value $V(t)$ is initially unknown, the indicated coefficients turn out to be unknown functions of time. Thus, the solution of the second **compartment** and the corresponding mathematical problem as a whole are much more difficult. Due to the variability of V , the second **compartment** is closely related to the first **compartment**. It includes the equations of the laminar non-inertia motion (Darcy's law), as well as the equations characterizing the regular increase in the hydraulic resistance of the gradually clogged medium and the composition of the deposit

$$V(t) = -k(S_s) \frac{\partial h}{\partial z},$$

$$k(S_s) = k_0 f_k(S_s) = k_0 \left[1 - \left(\frac{S_s}{n_0} \right)^{m_1} \right]^{m_2},$$

$$S_s(S) = \gamma(S)S.$$

Here k, k_0 are the current and initial hydraulic conductivities; S_s is the volumetric concentration of the deposit; h is the piezometric head; n_0 is the

porosity of the pure medium; m_1, m_2, γ are the empirical coefficients. It is important that the deposit contains predominantly bound water. The filtration process is determined, firstly, by the permeability of the bed with the deposit, and secondly, by the suspension level in the tank. The dynamics of this level is described by the equation of balance of the suspension above the fixed bed

$$\omega \frac{dH}{dt} = Q_{in} - \omega V(t);$$

$$t = 0, \quad H = H^0; \quad z = L, \quad h = H_{out} + R\omega^2 V^2(t).$$

Here ω is the area of the filter medium surface; Q_{in} – расход подаваемой на фильтр суспензии; H_{out} is the piezometric head in the filtrate collector; R is the hydraulic resistance of the filter communications. It establishes an equality between the suspension that arrives at the filter (discharge Q_{in}), retards in the tank (level H) and filtered through the porous medium (rate V). At the same time, due to a change in the filtration rate, the pressure losses in the inlet and outlet communications of the filter are also reduced. The corresponding equations supplement the third compartment. We use, for instance, for diverting communications

$$h(L, t) = H_{out} + R\omega^2 V^2(t).$$

For a particular, but in fact often encountered in practice, case of a linear relationship between α and V , an exact solution was obtained for the correctly posed mathematical problem of filtration in the second mode. The importance of this solution is all the more obvious because, due to the limited changes V at rapid filters, possible nonlinear relationships α with V are suitable for linear approximation. The specified solution has an integral form, a set of formulas derived from it make it possible, using standard mathematical analysis software packages, to calculate easily the spatial and temporary changes in the concentrations of suspended and deposited particles of the suspension within the medium layer and at its boundaries, the distribution of head and its general losses in the bed and the transport system of the filter structure, to control the level rise in the tank. The solution of the clarification compartment in particular case of $l = q = 1$ is expressed by the dependencies in dimensionless form for \bar{C}, \bar{S}

$$\begin{aligned} \bar{S}(\bar{z}, \bar{t}) &= \bar{\alpha}_V e^{-\bar{\alpha}_V \bar{z}} \int_0^{\bar{t}} e^{-\bar{\beta}_V \zeta} I_0 \left(2\sqrt{\bar{\alpha}_V \bar{\beta}_V \bar{z} \zeta} \right) d\zeta, \\ \bar{C}(\bar{z}, \bar{t}) &= e^{-\bar{\alpha}_V \bar{z}} \left[e^{-\bar{\beta}_V \bar{t}} I_0 \left(2\sqrt{\bar{\alpha}_V \bar{\beta}_V \bar{z} \bar{t}} \right) + \right. \\ &\quad \left. + \bar{\beta}_V \int_0^{\bar{t}} e^{-\bar{\beta}_V \zeta} I_0 \left(2\sqrt{\bar{\alpha}_V \bar{\beta}_V \bar{z} \zeta} \right) d\zeta \right]. \end{aligned}$$

Here the symbol “ – “ means that the corresponding value is dimensionless one; I_0 is the Bessel zero-order function of the first kind and imaginary variable.

An engineering technique has been developed to

determine the duration of filter cycles (time until the next filter backwashing), based on three criteria – quality, economic and technical. The first criterion limits the filtration time due to an excessive decrease in the protective ability of the medium, the second criterion limits the filtration time due to a prohibitive decrease in filter performance, and the third criterion – due to overflow of the tank. Generally, the aim of the technological calculations was to determine the relative time parameters ($\bar{t}_p, \bar{t}_v, \bar{t}_H$) which characterize filter efficiency coming from current contamination of the filtrate (\bar{t}_p), the filter productivity (\bar{t}_v), the suspension supply in the tank (\bar{t}_H) and finally the duration of the filter run (\bar{t}_f) as functions of the mass-exchange coefficients. Dependencies designed to predict the development of the technological process as a whole and its components, to substantiate technological and design parameters were illustrated by many examples with typical initial data. It was shown that in some cases it was advisable to continue filtration even after filling the tank. The analysis of the sensitivity of the filtration characteristics with respect to the model coefficients was carried out, which will improve the planning of experimental studies.

Determination of rational filter medium height L was of special attention. Two usual cases with medium material were consequently considered, which differed significantly by economic indexes. In the first case the specified material from local production wastes is cheap and available in unlimited amount. Then the value L doesn't influence investments and can increase as high as the filter run becomes maximal. In the second case the material is of high price because of considerable expenses for transport, preparation and usually its amount is strictly limited. Then such material must be used economically. Subsequently, L was varied in technological analysis at constant filter medium volume.

Therefore, an effective tool has been developed for a comprehensive engineering calculation of rapid filters at an unregulated filtration rate, which allowed to predict temporal and space changes in the filtration characteristics for the reagent detachable filtration, rationally select the algorithm of the filter operation and its main constructive parameter. Then it is a reliable basis for making rational design and technological decisions.

REFERENCES

- [1] A. Tugay, V. Orlov. Water Supply Vodopostachannia), Kiev : Znannya, 2009.
- [2] V. Polyakov. Filtration of suspensions at the descending rate at linear kinetics of mass exchange. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 34 (2), 2012, pp. 65–78.
- [3] A. Tugay, O. Oliynuk, Ya. Tugay. Productivity of water intake well under clogging conditions (Produktyvnist vodozabirnykh sverdlovyn vumovakh kolmatazhu), Kiev : KHAMG, 2004.
- [4] Water Treatment Handbook, 7th Edition. 2 Volume Set. Lavoisier, 2007.
- [5] Alan C. Twort, Don D. Ratnayaka, Malcolm J. Brandt. Water Supply. Fifth Edition. IWA Publishing, 2006.

On the semi-scalar equivalence of polynomial matrices

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.25>

Volodymyr Prokip

IAPMM, 3b Naukova Str., L'viv, Ukraine, 79601

Abstract — Polynomial matrices $A(\lambda)$ and $B(\lambda)$ of size $n \times n$ over a field F are semi-scalar equivalent if there exist a nonsingular $n \times n$ matrix P over F and an invertible $n \times n$ matrix $Q(\lambda)$ over $F[\lambda]$ such that $A(\lambda) = PB(\lambda)Q(\lambda)$. The aim of the present report is to present a triangular form of some nonsingular polynomial matrices with respect to semi-scalar equivalence.

Keywords — Polynomial matrix; Equivalence of matrices; Smith normal form.

I. INTRODUCTION

Let F be a field. Denote by $M_{n,n}(F)$ the set of $n \times n$ matrices over F and by $M_{n,n}(F[\lambda])$ the set of $n \times n$ matrices over the polynomial ring $F[\lambda]$. In what follows, I_n is the identity $n \times n$ matrix and O_n is the zero $n \times n$ matrix. A polynomial $a(\lambda) = a_0\lambda^k + a_1\lambda^{k-1} + \dots + a_k \in F[\lambda]$ is said to be monic if the first non-zero term $a_0 = 1$.

Let $A(\lambda) \in M_{n,n}(F[\lambda])$ be a nonzero matrix and $\text{rank } A(\lambda) = r$. For the matrix $A(\lambda)$ there exist matrices $U(\lambda), V(\lambda) \in GL(n, F[\lambda])$ such that

$$U(\lambda)A(\lambda)V(\lambda) = S_A(\lambda) = \text{diag}(s_1(\lambda), s_2(\lambda), \dots, s_r(\lambda), 0, \dots, 0),$$

where $s_i(\lambda)$ are monic polynomials for all $i = 1, 2, \dots, r$ and $s_1(\lambda) | s_2(\lambda) | \dots | s_r(\lambda)$ (divides) are the invariant factors of $A(\lambda)$. The diagonal matrix $S_A(\lambda)$ is called the Smith normal form of $A(\lambda)$.

Matrices $A(\lambda), B(\lambda) \in M_{n,n}(F[\lambda])$ are said to be semi-scalar equivalent if there exist matrices $P \in GL(n, F)$ and $Q(\lambda) \in GL(n, F[\lambda])$ such that $A(\lambda) = PB(\lambda)Q(\lambda)$ (see [1], Chapter 4).

Let $A(\lambda) \in M_{n,n}(F[\lambda])$ be nonsingular matrix over an infinite field F . Then $A(\lambda)$ is semi-scalar equivalent to the lower triangular matrix [1]

$$S_i(\lambda) = \begin{bmatrix} s_1(\lambda) & 0 & \dots & \dots & 0 \\ s_{21}(\lambda) & s_2(\lambda) & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{n1}(\lambda) & s_{n2}(\lambda) & \dots & s_{n,n-1}(\lambda) & s_n(\lambda) \end{bmatrix}$$

With the following properties:

1. $s_i(\lambda)$, $i = 1, 2, \dots, n$; are the invariant factors of $A(\lambda)$;
2. $s_i(\lambda)$ divides $s_{ji}(\lambda)$ for all $1 \leq i < j \leq n$.

Let $F = \{0, 1\}$ be a field of two elements. It is easily verified that the polynomial matrix

$$A(\lambda) = \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ \lambda^2 + 1 & (\lambda^2 + 1)(\lambda^2 + \lambda + 1) \end{bmatrix}$$
 over the field

F is not semi-scalar equivalent to the lower triangular matrix $S_i(\lambda) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ * & \lambda(\lambda^2 + 1)(\lambda^2 + \lambda + 1) \end{bmatrix}$. Thus,

the triangular form $S_i(\lambda)$ for nonsingular matrices over a finite field not always exists.

It may be noted that for a singular matrix $A(\lambda)$ the matrix $S_i(\lambda)$ does not always exist.

Example. Let $F = \mathbb{R}$ be the field of real numbers. For 2×2 matrices

$$A(\lambda) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \lambda^3 - 3\lambda^2 - \lambda & (\lambda^2 - 1)(\lambda^2 - 2\lambda) \end{bmatrix}$$
 and

$$B(\lambda) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \lambda^3 - \lambda^2 - \lambda & (\lambda^2 - 1)(\lambda^2 - 2\lambda) \end{bmatrix}$$

with entries from $\mathbb{R}[\lambda]$ there exist matrices

$$Q(\lambda) = \begin{bmatrix} 2\lambda^3 - 6\lambda^2 - 2\lambda + 9 & 2\lambda^4 - 4\lambda^3 - 2\lambda^2 + 4\lambda \\ -2\lambda^2 + 4\lambda + 4 & -2\lambda^3 + 2\lambda^2 + 2\lambda + 1 \end{bmatrix}$$

$$\in GL(2, \mathbb{R}[\lambda]) \text{ and } P = \begin{bmatrix} 1 & 2 \setminus 9 \\ 0 & 1 \setminus 9 \end{bmatrix} \in GL(2, \mathbb{R})$$
 such

that $A(\lambda) = PB(\lambda)Q(\lambda)$

From this example it follows, that the triangular form $S_i(\lambda)$ is not uniquely determined for a nonsingular polynomial matrix $A(\lambda)$ with respect to semi-scalar equivalence.

Dias da Silva J.A and Laffey T.J. studied polynomial matrices up to PS-equivalence [2]. Matrices $A(\lambda), B(\lambda) \in M_{n,n}(F[\lambda])$ are PS-equivalent if $A(\lambda) = P(\lambda)B(\lambda)Q$ for some $P(\lambda) \in GL(n, F[\lambda])$ and $Q \in GL(n, F)$.

Let F be an infinite field. A nonsingular matrix $A(\lambda) \in M_{n,n}(F[\lambda])$ is PS-equivalent to the upper triangular matrix (see [2], Proposition 2)

$$S_u(\lambda) = \begin{bmatrix} s_1(\lambda) & s_{12}(\lambda) & s_{13}(\lambda) & \cdots & s_{1n}(\lambda) \\ 0 & s_2(\lambda) & s_{23}(\lambda) & \cdots & s_{2n}(\lambda) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & s_n(\lambda) \end{bmatrix}$$

with the following properties:

1. $s_i(\lambda), i = 1, 2, \dots, n$; are the invariant factors of $A(\lambda)$;
2. $s_i(\lambda)$ divides $s_{ij}(\lambda)$ for all $1 \leq i < j \leq n$;
3. if $i \neq j$ and $s_{ij}(\lambda) \neq 0$ then $s_{ij}(\lambda)$ is a monic polynomial and $\deg s_{ii}(\lambda) < \deg s_{ij}(\lambda) < \deg s_{jj}(\lambda)$.

The matrix $S_u(\lambda)$ is called a near canonical form of the matrix $A(\lambda)$ with respect to PS-equivalence. We note that conditions (1) and (2) for semi-scalar equivalence were proved in [1].

It is evident that matrices $A(\lambda), B(\lambda) \in M_{n,n}(F[\lambda])$ are PS-equivalent if and only if the transpose matrices $A^T(\lambda)$ and $B^T(\lambda)$ are semi-scalar equivalent. It is clear that semi-scalar equivalence and PS-equivalence represent an equivalence relation on $M_{n,n}(F[\lambda])$. On the basis of the semi-scalar equivalence of polynomial matrices in [1] algebraic methods for factorization of matrix polynomials were developed. We note that these equivalences were used in the study of the controllability of linear systems (see [3], [4]).

The semi-scalar equivalence and PS-equivalence of matrices over a field F contain the problem of similarity between two families of matrices ([1], [2], [5–7]). In most cases, these problems are involved with the classic unsolvable problem of a canonical form of a pair of matrices over a field with respect to simultaneous similarity. At present, such problems are called wild [5].

The semi-scalar equivalence of matrices includes the following two tasks: (1) the determination of a complete system of invariants and (2) the construction of a canonical form for a matrix with respect to semi-scalar equivalence. But these tasks have satisfactory solutions only in isolated cases. The canonical and normal forms with respect to semi-scalar equivalence for a matrix pencil $A(\lambda) = A_0\lambda + A_1 \in M_{n,n}(F[\lambda])$ over arbitrary field F , where A_0 is nonsingular, were

investigated in [8] and [9]. A canonical form with respect to semi-scalar equivalence for a polynomial matrix over a field is unknown in general case.

II. MAIN RESULTS

In this part we present main results of this report.

Theorem. Let $A(\lambda) \in M_{n,n}(F[\lambda])$ be nonsingular matrix with the Smith normal form

$$U(\lambda)A(\lambda)V(\lambda) = S_A(\lambda) = \text{diag}(1, s(\lambda), \dots, s(\lambda)),$$

where $s(\lambda)$ is a monic polynomial and $\deg s(\lambda) = n$.

The matrix $A(\lambda)$ is semi-scalar to the matrix

$$S_l(\lambda) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ \lambda & s(\lambda) & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \ddots & & \vdots \\ \lambda^{n-2} & 0 & \cdots & 0 & s(\lambda) & 0 \\ \lambda^{n-1} & 0 & \cdots & \cdots & 0 & s(\lambda) \end{bmatrix}$$

if and only if the matrix $A(\lambda)$ admits the representation $A(\lambda) = B(\lambda)W(\lambda)$, where $W(\lambda) \in GL(n, F[\lambda])$ and

$B(\lambda) = I_n \lambda^{n-1} + B_1 \lambda^{n-2} + \dots + B_{n-1} \in M_{n,n}(F[\lambda])$ is a monic polynomial matrix of degree $n-1$. The matrix $S_l(\lambda)$ is uniquely defined for the matrix $A(\lambda)$.

Let $B(\lambda) \in M_{n,n}(F[\lambda])$. The matrix $B(\lambda)$ we write in the form $B(\lambda) = B_0 \lambda^r + B_1 \lambda^{r-1} + \dots + B_r$, where $B_i \in M_{n,n}(F)$, $i = 1, 2, \dots, n$. It is well known that a matrix polynomial equation

$$X^r B_0 + X^{r-1} B_1 + \dots + X B_{r-1} + B_r = O_n$$

is solvable if and only if the matrix $B(\lambda)$ admits the representation $B(\lambda) = (I_n \lambda - D)C(\lambda)$, where $D \in M_{n,n}(F)$ [10]. The problem of solvability of matrix polynomial equations was investigated by many authors (see [1], [11–14] and references therein).

Following propositions gives a complete answer to the question of solvability of a matrix polynomial equation of second order over an infinite field (see also [14]).

Let $A(\lambda) = \sum_{i=0}^r A_i \lambda^{r-i} \in M_{2,2}(F[\lambda])$ be a nonsingular matrix. Further, let

$$S_l(\lambda) = \begin{bmatrix} s_1(\lambda) & 0 \\ s_{21}(\lambda) & s_2(\lambda) \end{bmatrix}$$

be a near canonical form of the matrix $A(\lambda)$ with respect to semi-scalar equivalence. By [9] and based on the above, we get the following statements.

Proposition 1. Let $s_1(\lambda) = (\lambda - \alpha_1)c_1(\lambda)$ and $s_2(\lambda) = (\lambda - \alpha_2)c_2(\lambda)$, where $\alpha_i \in F$. A matrix

polynomial equation
 $X^r A_0 + X^{r-1} A_1 + \dots + X A_{r-1} + A_r = O_2$ is solvable
 over a field F if and only if there exists $\beta \in F$ such
 that the matrix $D_\beta(\lambda) = \begin{bmatrix} \lambda - \alpha_1 & 0 \\ \beta & \lambda - \alpha_2 \end{bmatrix}$ is a left
 divisor of $S_l(\lambda)$, i. e. $S_l(\lambda) = D_\beta(\lambda)C(\lambda)$.

Proposition 2. Let $s_2(\lambda) = (\lambda^2 + \lambda\alpha_1 + \alpha_2)c_2(\lambda)$,
 where $\lambda^2 + \lambda\alpha_1 + \alpha_2 \in F[\lambda]$. A matrix polynomial
 equation $X^r A_0 + X^{r-1} A_1 + \dots + X A_{r-1} + A_r = O_2$ is
 solvable over a field F if and only if there exists
 $\delta_0, \delta_1 \in F$ and $\delta_0 \neq 0$ such that the matrix
 $D_\delta(\lambda) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \delta_0 \lambda + \delta_1 & \lambda^2 + \lambda\alpha_1 + \alpha_2 \end{bmatrix}$ is a left divisor
 of $S_l(\lambda)$, i. e. $S_l(\lambda) = D_\delta(\lambda)C(\lambda)$.

III. ACKNOWLEDGEMENTS

I am thanks to Drozd Yu.A. for support and long-term scientific cooperation. I am thank to Sergeichuk V.V. for useful discussions on the topic of this study. I would like to thank my friends also. Last, but certainly not least, I would like to thank referees for comments and suggestions.

REFERENCES

- [1] P. S. Kazimirs'kyi. Decomposition of Matrix Polynomials into factors. Naukova Dumka, Kyiv; 1981 (in Ukrainian).
- [2] J.A. Dias da Silva and T.J. Laffey. On simultaneous similarity of matrices and related questions. Linear Algebra and its applications, 291 (1999) 167–184. doi.org/10.1016/S0024-3795(98)10247-1.
- [3] M. Dodig. Controllability of series connections. Electron. J. Linear Algebra, 16 (2007) 135–156. doi.org/10.13001/1081-3810.1189.
- [4] M. Dodig. Eigenvalues of partially prescribed matrices. Electron. J. Linear Algebra, 17 (2008) 316–332. doi.org/10.13001/1081-3810.1266.
- [5] Yu.A. Drozd. Tame and wild matrix problems. Lecture Notes in Math. 832 (1980) 242–258. doi.org/10.1007/BFb0088467.
- [6] S. Friedland. Matrices: Algebra, Analysis and Applications. World Scientific; 2015.
- [7] V.V. Sergeichuk. Canonical matrices for linear matrix problems. Linear algebra and its applications, 317 (2000) 53–102. doi.org/10.1016/S0024-3795(00)00150-6.
- [8] V.M. Prokip. Canonical form with respect to semi-scalar equivalence for a matrix pencil with nonsingular first matrix. Ukrainian Mathematical Journal, 63(2012) 1314–1320. doi.org/10.1007/s11253-012-0580-x.
- [9] V.M. Prokip. On the normal form with respect to the semi-scalar equivalence of polynomial matrices over the field. J. Math. Sciences, 194 (2013) 149–155. DOI: [10.1007/S10958-013-1515-2](https://doi.org/10.1007/S10958-013-1515-2).
- [10] P. Lancaster and M. Tismenetsky. The theory of matrices. Second edition with applications. Academic Press, New York; 1985.
- [11] I. Gohberg, P. Lancaster, L. Rodman, Matrix Polynomials. Academic Press, New York, 1982.
- [12] V.M. Petrichkovich and V.M. Prokip. Factorization of polynomial matrices over arbitrary fields. Ukr. Math. J. 38 (1986), 409–412. doi.org/10.1007/BF01057299.
- [13] E. Pereira. On solvents of matrix polynomials. Applied numerical mathematics. 47:2 (2003): 197–208. doi.org/10.1016/S0168-9274(03)00058-8.
- [16] M. Slusky. Zeros of 2×2 Matrix Polynomials. Communications in Algebra, 38:11 (2010) 4212–4223. doi.10.1080/00927870903366843..

A proposal of algorithm for automated chromosomal abnormality detection

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.26>

Pysarchuk Oleksii
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
PlatinumPA2212@gmail.com

Mironov Yurii
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
yuriymironov96@gmail.com

Abstract—The article considers the problem of automatic chromosome abnormalities recognition, using images of chromosomes as an input. This paper’s scope includes overview of application domain and analysis of existing solutions. A high-level algorithm for chromosome abnormalities recognition automation is proposed, and a proof-of-concept application is built on top of the algorithm.

Keywords — computer vision; object recognition; decision support system.

I. INTRODUCTION

According to World Health Organization estimates, 295 000 newborns die within 28 days of birth every year, worldwide, due to congenital abnormalities. Also congenital abnormalities can cause long-term disability [1]. Approximately 20% of such abnormalities are caused by chromosomal and genetic conditions [2]. Modern reproductive medicine makes it possible to detect these abnormalities before and during pregnancy by means of cytogenetic diagnostics [3].

However, currently such diagnostics is conducted manually or partially automated, which leaves the diagnostics result prone to errors due to human factor. Moreover, such a sophisticated procedure takes significant time and effort to conduct. These problems may be solved by process automation on a larger scale. This article intends to briefly overview application domain, analyze existing solutions and propose a high-level algorithm for automatic detection of chromosome abnormalities.

II. RELATED WORK

The problem of chromosome abnormalities detection is known, but is not covered by an extensive amount of research papers. The current state of problem leaves room for further research. Some of the most prominent researches concerning the topic have been considered.

“Development and evaluation of automated systems for detection and classification of banded chromosomes: Current status and future perspectives” by Xingwei Wang and Bin Zheng has been a starting point for the current research. It reviews possible approaches to the problem of chromosome pathologies recognition [4]. This article is more of a theoretical research, it underlines the importance of artificial intelligence and neural networks in chromosome abnormalities recognition.

“Deep Learning for Medical Image Processing: Overview, Challenges and Future” by Muhammad Imran Razzak, Saeeda Naz and Ahmad Zaib considers possible approaches to the problem of medical images recognition and processing [5]. The main point of the paper is about healthcare is much different from majority of other application domains due to high risk, cost of error and complexity/diversity of data. However, according to authors, all these challenges might be faced by means of modern Machine Learning (ML) algorithms. Authors also state that Computer Vision (CV) is an crucial tool for medical data processing, since a large part of medical data is visual by its nature (e.g. microscope photos or X-Ray images).

Authors mention peculiarities of ML and deep learning that might make its usage more difficult in medical domain. The following challenges are listed:

- Input data standardization. Any medical sub-domain is powered by a variety of hardware and software, and they do not necessary have any convention about data format. This will complicate gathering a comprehensive dataset;
- Privacy issues. Medical data is sensitive, so gathering a dataset will be further perplexed due to the need to anonymize data;
- Dataset size issue. Specific medical data is sparse, therefore challenging to gather. Moreover, corner-cases, such as rare diseases, are even more sparse yet crucial for neural network efficiency;

Authors point out that the key to success of ML-powered systems is in cooperation among international healthcare organizations and providers of healthcare solutions, since this will help to develop uniform standards for future hardware and software.

All the issues about ML-powered solutions mentioned by the authors are present and relevant in domain of reproductive medicine. Therefore, usage of ML for implementing chromosome pathology detection is debatable.

“End-to-end chromosome karyotyping with data augmentation using GAN” by Yirui Wu, Yisheng Yue, Xiao Tan, Wei Wang and Tong Lu proposes a chromosome recognition method powered by Generative Adversarial Network (GAN) [6]. Authors review main challenges of chromosome recognition, such as arbitrary shapes and contour overlapping, and claim that traditional data recognition algorithms are

inefficient and hard to use for such tasks. They propose usage of deep learning neural networks. However, such an approach requires an arranged dataset of significant size. There are multiple reasons why gathering a dataset like this is a challenging task due to multiple reasons such as privacy and data heterogeneity.

Authors state that generating new data using GAN is a possible solution to these problems. The main idea is to utilize GAN in order to create new images used for learning. Chromosome photos are to be used as an input. These photos should be processed with multiple filters and then chromosomes should be extracted from image.

The proposed approach is promising, however it does not solve some challenges of chromosome pathologies recognition, such as adjacent chromosomes recognition. Moreover, generating new data based on some initial dataset will result in dataset lacking corner-cases, which is crucial for algorithm efficiency.

Having conducted related papers analysis, the following may be concluded:

- The problem of chromosome analysis and pathology detection is widely known and has no applicable solution yet;
- All considered papers suggest using ML-powered approach, yet mention flaws due to specific nature of reproductive medicine data;
- Gathering dataset is a challenging task due to privacy issues, data heterogeneity and risk of insufficient cases coverage;

These problems make it reasonable to look for alternative approaches to the solution of this problem. It is probable that an algorithm that does not rely on a dataset is viable. Therefore, the goal of this paper is to develop a basic algorithm and a proof-of-concept software that could solve the issue.

III. PROPOSED METHOD

A brief recap of application domain research is provided before the proposed algorithm for better understanding and bore context.

A. Application Domain Overview

During the conventional cytogenetic analysis, chromosomes and their abnormalities are detected manually by their shape, size and pattern. Metaphase plate photo serves as an input image for manual cytogenetic analysis (fig. 1. A) [7]. In order to categorize and visually arrange chromosomes, they are manually turned into karyograms (fig. 1. B).

The specialists that conduct this analysis are used to working with raw images captured by microscope and rarely need any reference. However, in order to pinpoint specific regions of chromosomes, international community of cytogenetics has developed a uniform system of chromosome mapping. This system makes use of schematic chromosome images called ideograms [8]. Each chromosome has a schematic representation [8], [9].

Chromosome abnormalities can be categorized as either numerical or structural. Numerical abnormalities are whole chromosomes that are either missing or extra to a normal pair. Structural abnormalities are parts of chromosomes that are missing, duplicated or moved from one chromosome to another [10].

B. Expected Input and Output of an Algorithm

The algorithm is expected to handle chromosome images. As mentioned above, two common ways to depict chromosomes are metaphase plate photo and karyogram. The production-ready version of algorithm should make use of metaphase plate photos, since the ability to process them is a crucial part of chromosome analysis automation. However, a proof-of-concept version makes use of karyograms for simpler recognition.

The expected output of an algorithm is a set of abnormalities and a supposed diagnosis concerning chromosomal diseases. Despite the abnormalities can be reliably associated with diagnosis, it is not the algorithm's responsibility to call final diagnosis. The results of cytogenetic analysis should be forwarded to a doctor that has to make final solution.

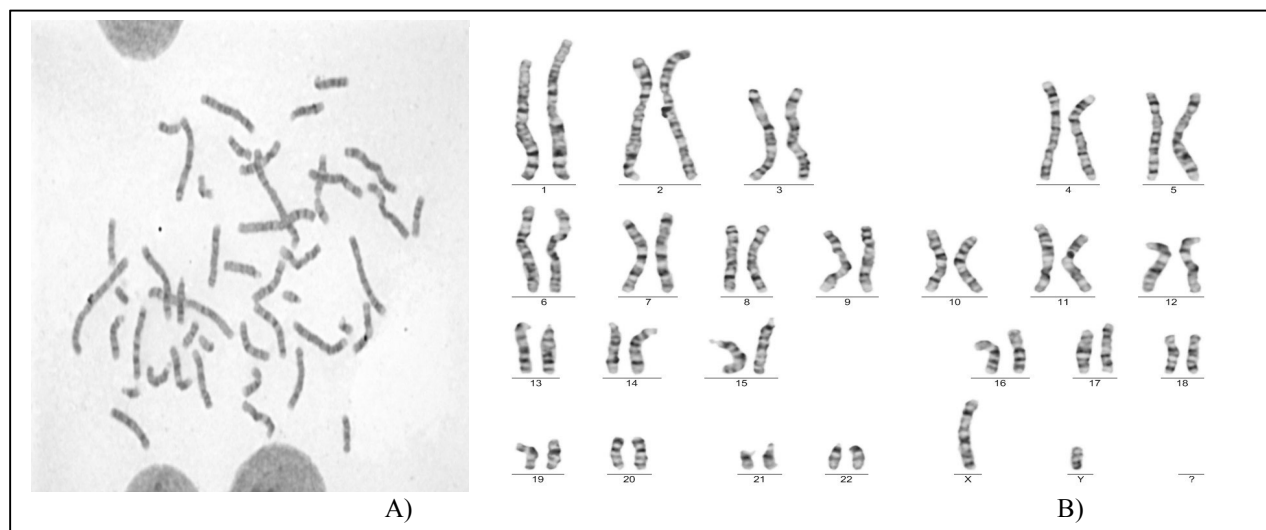


Figure 1. Chromosome images: A) Metaphase plate; B) Karyogram

C. Algorithm Overview

Figure 2 depicts the general algorithm flow. High-level algorithm will consist of the following steps:

- Image processing. Detection of both numerical and structural abnormalities depend on recognized chromosomes. The goal of this step is to get input image and extract chromosomes of it. This step also includes chromosome feature extraction and serialization of chromosome data into the custom format. Before attempting to get chromosome data from image, it has to be preprocessed, removing noises and obstacles;
- Mapping chromosomes to ideograms and detecting abnormalities. This step should be powered by custom data format designed for efficient difference detection on chromosome structure;
- Identifying pathologies. Having recognized chromosomes and detected differences between them and their respective ideograms, it is possible to identify pathologies. The goal of this step is to conduct decision-making process and map differences (e.g. three 21 chromosomes instead of two) and specific diseases (e.g. Down syndrome);

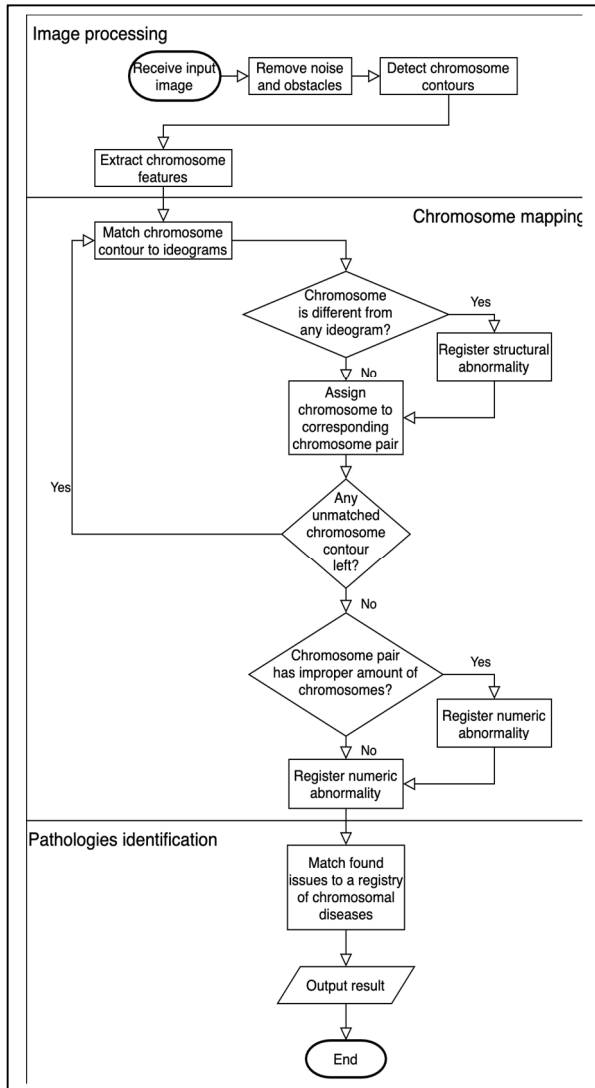


Figure 2. Proposed algorithm flowchart

This algorithm is just a basic framework designed to be broken down into separate steps that can be extended

and improved separately. Each of aforementioned steps also can be broken down into separate problems.

D. Prototype implementation

Having described an algorithm, it is possible to design a software prototype that implements this algorithm. Python programming language is selected because of its rich infrastructure and set of powerful libraries. OpenCV library is selected for tasks related to image processing. The business-logic core is designed as a library that can be used by a variety of interfaces, and a simple command-line interface has been implemented along with the prototype. The class diagram with application structure is shown on Figure 3.

The software will use karyograms as an input, will have simplified checks for chromosome types and therefore will be capable to detect only numeric pathologies. Due to the nature of karyogram image, it will be possible to assume a chromosome group by its position on image. Later this way of chromosome recognition will be replaced by a proper comparison with ideogram, but detecting chromosome type is out of scope of this article and is a subject for further research - the algorithm will not be complete without it.

Several object detection algorithms have been tested, including Blob Detection [11], Laplacian Edge Detection, Ridge Detection and Canny Edge Detection. The latter proved to be most effective with the image set used for this paper. However, by design they are interchangeable and can easily be replaced if other object detection algorithm will provide better results.

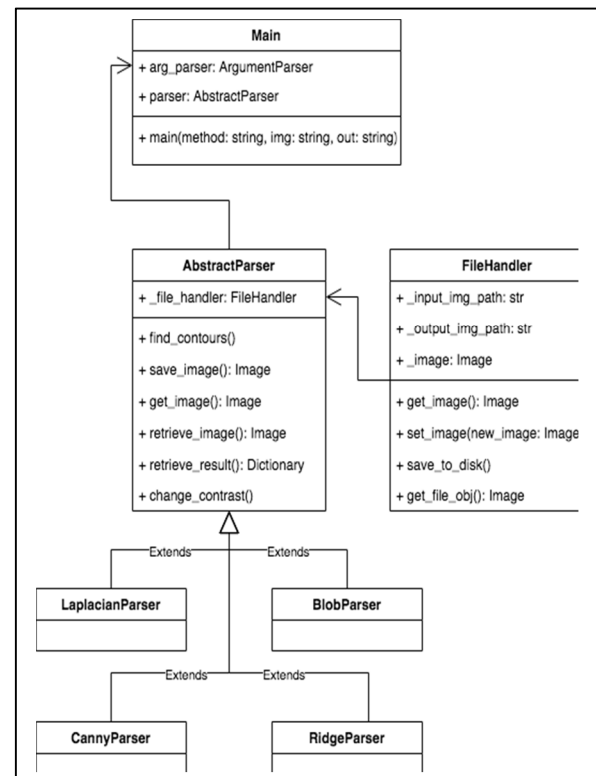


Figure 3. Prototype software class diagram

IV. EXPERIMENT RESULT

A testing dataset consists of 45 karyotype images, including 20 karyotypes with no detected pathologies and 25 karyotypes with 4 different numeric chromosome abnormalities. General detection precision within this dataset is 93.33% (Table 1). No false negative results have been obtained, however there have been 3 false positive results for karyotypes with no pathologies. Wrong results have been caused by insufficient calibration of contour detection settings.

TABLE I. TEST RUN RESULTS

Input Image Info	Number of Images	Test Run Comments	Success Rate
No known pathologies	20	False positives have been caused by insufficient contour detection settings calibration	85%
Edwards syndrome	4	-	100%
Down syndrome	14	-	100%
22 chromosome trisomy	3	-	100%
X chromosome trisomy	4	-	100%
Mean success rate			93.33%

V. CONCLUSION

Given paper considers the problem of chromosome abnormality recognition. Manual workflow of chromosomal diagnostics has been overviewed and related papers have been researched. It has been concluded that there are no comprehensive solutions to this problem yet, so an algorithm has been described.

The algorithm is based on extracting features out of chromosomes, matching them to ideograms and deriving diagnosis out of found abnormalities. This algorithm is not powered by neural networks and no dataset is needed for its learning. The way the algorithm is built allows to break the problem into separate parts and improve on them iteratively.

A prototype has been implemented to prove that the algorithm is viable. Currently prototype accepts limited amount of image types and detects only numeric pathologies, but its architecture allows to separately improve on its module, reflecting the flexibility of the algorithm. The prototype run on test dataset showed high success rate.

This paper described the basic framework of the algorithm, granting room for future improvements. The future work concerning the algorithm should be focused around several main areas:

- Raw image recognition. Currently the prototype only supports images that have been manually preprocessed (karyograms). In order to be an efficient decision support tool for cytogeneticist, it should be able to work with raw metaphase plate images, reducing time needed for manual analysis;
- Internal chromosome features processing . In order to detect structural abnormalities, the algorithm should be able to recognize internal chromosomal

features. This way it will be able to match them to ideograms and detect pathologies caused by changes inside single chromosome;

REFERENCES

- [1] World Health Organization, "Congenital anomalies," 1 December 2020. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/congenital-anomalies>
- [2] A. Mohammadzadeh, S. Akbaroghli, E. A.-Moghadam, N. Mahdieh, R. S. Badv, P. Jamali, et al, "Investigation of Chromosomal Abnormalities and Microdeletion/Microduplication(s) in Fifty Iranian Patients with Multiple Congenital Anomalies," Cell J., Autumn 2019. Vol. 21(3), pp. 337–349.
- [3] R. Mariluce, "Human molecular cytogenetics: from cells to nucleotides," Genetics and Molecular Biology. 2014. V. 37.
- [4] X. Wang, B. Zheng, M. Wood, S. Li, W. Chen, and H. Liu, "Development and evaluation of automated systems for detection and classification of banded chromosomes: current status and future perspectives," Journal of Physics D: Applied Physics, 2005. Vol. 38.
- [5] M. I. Razzak, S. Naz and A. Zaib, "Deep Learning for Medical Image Processing: Overview, Challenges and the Future," Deep Learning for Medical Image Processing: Overview, Challenges and the Future, N. Dey, A. Ashour, S Borra, Eds. Springer, 2018. vol. 26.
- [6] Y. Wu, Y. Yue, X. Tan, W. Wang and T. Lu, "End-To-End Chromosome Karyotyping with Data Augmentation Using GAN," 2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Athens, 2018, pp. 2456–2460.
- [7] C. O'Connor, "Karyotyping for Chromosomal Abnormalities," Nature Education, 2008.
- [8] C. O'Connor, "Chromosome Mapping: Idiograms," Nature Education, 2008.
- [9] National Center for Biotechnology Information (US), "Genes and Disease," 1998. Retrieved from. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK22266/>
- [10] Genetic Alliance, The New York-Mid-Atlantic Consortium for Genetic and Newborn Screening Services, "Understanding Genetics: A New York, Mid-Atlantic Guide for Patients and Health Professionals," Washington (DC), July 8 2009.
- [11] K. T. M. Han and B. Uyyanonvara, "A Survey of Blob Detection Algorithms for Biomedical Images," 2016 7th International Conference of Information and Communication Technology for Embedded Systems (IC-ICTES), 2016, pp. 57–60.

Sperner's theorem

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.27>

Oleksandr Rybak

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, Ukraine

Stepan Tarasenko

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, Ukraine

Abstract — In the course of this work the analysis of the proofs of the simple case of the Sperner Theorem was carried out, the approaches to the proof of the complicated case were proposed, the partial cases of multisets were considered, the theorem for these partial cases was proved, the generalized theorem was proved for some partial cases. C_n^k (the number of n - element multisets of k - element multiset), developed a small program to graphically show this fact, proved the bimonotonicity of this function. Also, in the course of this work, one of the possible applications of this theorem was considered, namely, the «Procedure for secret distribution», but the applied potential of the theorem does not end there.

Keywords — Sperner's theorem; multiset; procedure for secret distribution.

1. INTRODUCTION

Sperner's Theorem:

M_1, \dots, M_k – a number of n subsets of a set $S = \{1, \dots, n\}$, we know that $\forall i, j: M_i \not\subseteq M_j$, so the family of sets M_1, \dots, M_k called the anti-chain. Sperner has proven that $k \leq C_n^k$, where k is a number of sets in the anti-chain and n is a total number of elements in the set S .

The goal of this work was to prove the Sperner's theorem for the case when the set S could contain elements with a power, so the object S is a multiset.

Sperner's Theorem multiset case:

The set $S = \{1^{\alpha_1}, \dots, n^{\alpha_n}\}$ where $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ – are multiplicity of each element of the multiset and we are constructing the same anti-chain M_1, \dots, M_k but each set in the anti-chain could be a multiset. We are stating the same: $k \leq C_n^k$.

The way to proof the complicated (multiset) Sperner's theorem based on the Hall's marriage theorem.

Hall's Theorem

In an undirected graph, a matching is a set of disjoint edges. Given a bipartite graph with bipartition A, B , every matching is obviously of size at most $|A|$. Hall's Theorem gives a nice characterization of when such a matching exists.

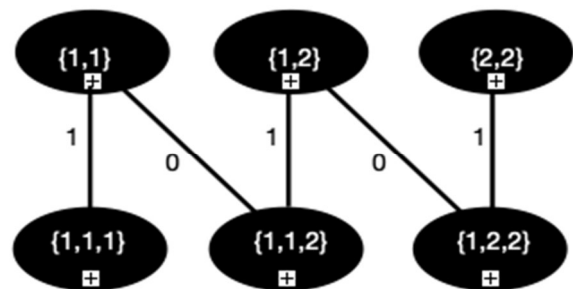
Theorem There is a matching of size A if and only if every set $S \subseteq A$ of vertices is connected to at least $|S|$ vertices in B .

2. SPERNER'S THEOREM PARTIAL CASES $M = \{a^n, b^m\}$ AND $M = \{a_n^2, \dots, a_0\}$

Let a graph be constructed in which all multisets of power x are in the upper lobe and power $x + 1$ are in the lower lobe. The edge is built when the upper multiset is included in the lower. Since in the case of ordinary sets $\overline{deg} = n - t$ and $deg = t$. Then in the case of multisets we will weigh the graph by placing the appropriate weights on the edges to obtain a similar result.

Consider a few examples:

Suppose, $M_1, \dots, M_k \subseteq \{1, 1, 1, 2, 2\}$ and $x = 2$, in the upper lobe of the graph are two-element subsets, in the lower three-element subsets, we are going to construct the graph as follows:

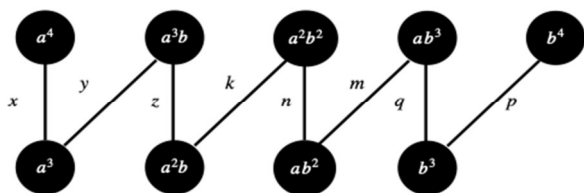


So we made it using the same rule: $\overline{deg} = n - t$ and $deg = t$, we are trying to generalize the solution of the non multiset case of Sperner's Theorem on the multiset case.

2.1. Case $M = \{a^n, b^m\}$

In this case we have element a that represented n times in the set M and element b that represented m times in the set M .

The way to proof the partial case was described above, so we are constructing the graph and trying to weight it. Let's start with the case $M = \{a^5, b^4\}$, so the n is 5 and m is 4:



We need to solve the linear equation system that contains eight equations, also we have eight variables, so it is easy to find a solution:

$$\begin{cases} x = 4, \\ x + y = 5, \\ y + z = 4, \\ z + k = 5, \\ k + n = 4, \\ n + m = 5, \\ m + q = 4, \\ p = 4. \end{cases} \quad \begin{cases} x = 4, \\ y = 1, \\ z = 3, \\ k = 2, \\ n = 2, \\ m = 4, \\ q = 1, \\ p = 4. \end{cases}$$

We have found a way to weight the graph for the set $M = \{a^5, b^4\}$, so it is easy to generalize

$$\begin{cases} x = y + z = k + n = m + q + p = s_1, \\ x + y = k + z = n + m = p + q = s_2. \end{cases}$$

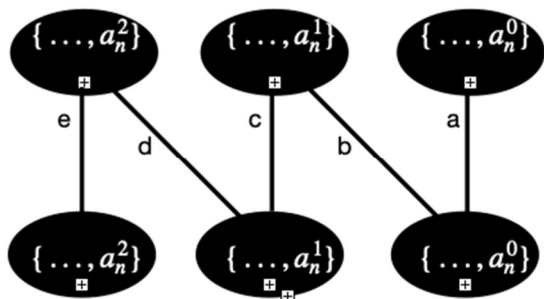
this solution $\forall M = \{a^n, b^m\}$. s_1, s_2 are sums that flows in up and down lobes.

$$5s_1 = 4s_2.$$

We can take s_1 any, other values will be proportional. We will make the same system in case of incomplete saturation of a graph.

2.2. Case $M = \{a_n^2, \dots, a_0\}$

In this case we have element a_n represented two times in the set M and the rest of elements of the set are represented one time.

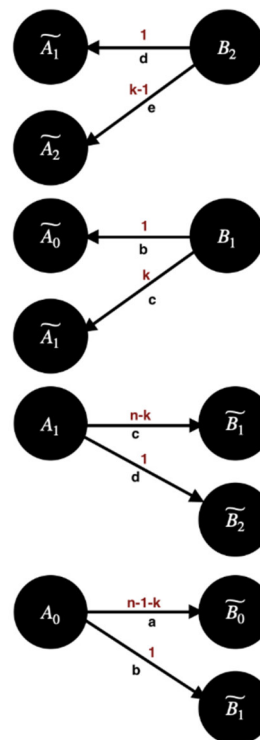


In order to proof the theorem for this case we need to weight the graph:

In the upper lobe of the graph $(k + 1)$ – element subsets, in the lower lobe k – element subsets a, b, c, d, e – the weights of the edges between the corresponding types of subsets.

Let $A_i - k$ subset of i -th type ($i=0, 1, 2$), where type – a_n the number contained in A_i . Find how many $(k + 1)$ – subsets of type 0, 1, 2 contain this A_i . (All calculations for this subparagraph are omitted only the results are shown).

We need to weight the following subsets, where each node not a simple set but a family of subsets:

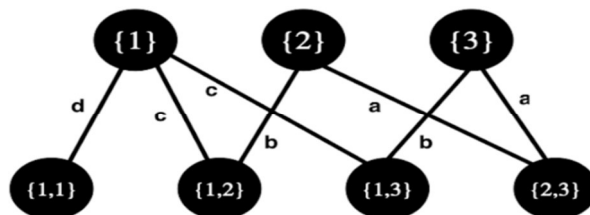


By solving the system of linear equations we have found an explicit way of weighting a graph. Let's try to use the formulas to weight the graph for the following case and consider a few examples:

Let $M = \{1,1,2,3\}$, weight the graph, describing the transition from single-element submultiples to double-element ones, in our case $n = 3$ (The power of the set M ,



while counting only unique elements) and we are going to weight the graph by transition from one element subsets to two element subsets so the $k = 1$:



We have found an explicit formulas to weight the graph, to simplify the formula let's designate:

$$m = n^2 - nk + k^2$$

Explicit formulas to calculate weights:

$$\begin{cases} m = n^2 - nk + k^2 = 7, \\ a = m + n - k = 9, \\ c = m - n + 1 = 3, \\ e = m + k = 8, \\ b = n^2 + nk + n = 15, \\ d = 2n^2 - nk + n = 18. \end{cases}$$

we have the following

$$\begin{cases} 18 = d = c + b = a + a, \\ 24 = d + c + c = a + b. \end{cases}$$

So the calculations formulas for the weights is are correct.

3. CONCLUSION

The proof of the Sperner's Theorem for the partial cases $M = \{a_n^2, \dots, a_0\}$ and $M = \{a^n, b^m\}$ could help to build mathematical objects that are based on multiset theory and be sure that for the following partial cases the Sperner's Theorem is working and the number of anti-chains are $k \leq C_n^k$. We have considered in the introduction that one of the interesting applications of this theorem is «Procedure for secret distribution». This is a cryptographic problem to distribute the secret between a number of people or other entities, this theorem could help to make this secret distribution if the the «secret» has multidimensional nature.

REFERENCES

- [1] Kapitonova Yu. V., Krivoy SL, Letichevsky A. A. Lectures on discrete mathematics. SPb. : BHV-Petersburg, 2004 . 624 p.
- [2] Lipsky V. Combinatorics for programmers. M., 1988. 200 p.
- [3] Doug Wiedemann A computation of the eighth Dedekind number. Order. 1991. T. 8. Вып. 1. С. 5–6.
- [4] Kleitman D., Markowsky G. On Dedekind's problem: the number of isotone Boolean functions. II. Transactions of the American Mathematical Society. 1975. T. 213. С. 373–390.

Modeling of filtration processes in periodic porous media

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.28>

Gennadiy Sandrakov

Faculty of Computer Science and Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
gsandrako@gmail.com

Andrii Hulianytskyi

Faculty of Computer Science and Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
andriyhul@gmail.com

Vladimir Semenov

Faculty of Computer Science and Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine

Abstract — Modeling of dynamic processes of diffusion and filtration of liquids in porous media are discussed. The media are formed by a large number of blocks with low permeability, and separated by a connected system of faults with high permeability. The modeling is based on solving initial boundary value problems for parabolic equations of diffusion and filtration in porous media. The structure of the media leads to the dependence of the equations on a small parameter. Assertions on the solvability and regularity of such problems and the corresponding homogenized convolution problems are considered. The statements are actual for the numerical solution of this problem with guaranteed accuracy that is necessary to model the considered processes.

Keywords — homogenized problems; convolutions equations; parabolic problems; Laplace transforms.

I. MODELING OF PROCESSES IN POROUS MEDIA

Modeling of dynamic processes of diffusion and filtration of liquids in porous media is actual when planning the use of underground resources, development of methods for preventing technogenic contamination of groundwater and the search for ways to purify such waters from contamination. Research of such processes engineering methods of observation are expensive and practically impossible, due to the need to install a large number of sensors on large territories and different depths to study the dynamics of fluid movement in a real porous environment. So the simulation is the only one the possibility of forecasting and optimization of methods for rational water extraction, purification and prevention of groundwater contamination.

In order to simulate diffusion and filtration processes in porous media, it is natural to first choose some model of such a medium. Porous media with a periodic structure are simulated most simply, since to describe such media it is sufficient to determine only the structure of the periodicity cell and then continue such a cell in a periodic manner with suitable periods. Porous periodic media formed by a large number of blocks with low permeability, and separated by a connected system

of faults with high permeability will consider. It is natural to call such porous media *weakly porous*.

The homogenized equations for such weakly porous media turned out to be convolution equations, which are usually called dynamic problems *with memory effects* according to [1]. Such homogenized equations for equations depending on one or more small parameters and periodic coefficients were investigated in [2, 3, 4]. Moreover, in these papers, homogenized initial boundary value problems in convolutions were obtained, the solutions of which approximate the solutions of the original initial boundary value problem for weakly porous media, and accuracy estimates of the approximations and statements on the solvability of the homogenized problems were proved. The results were obtained under the assumption that the initial data are regular enough and the initial conditions are homogeneous. Without proving the accuracy estimates, such problems in convolutions were first established in [5] for hydrodynamic problems in porous media. Further details on hydrodynamic problems and a suitable bibliography can be found in [6].

Another approach to simulate diffusion and filtration processes in porous media is presented, for example, in [7], where statements on the two-scale convergence of solutions to solutions of two-scale homogenized problems are proved. Such two-scale problems depend on two fast and slow variables and the type of such equations is not clear. Also, the accuracy of the approximations is not clear in this case. Much more general homogenized problems were obtained in [8, 9]. However, such homogenized problems are also two-scale and contain both fast and slow variables. Further details on this approach and bibliography can also be found in [7, 10]. In the problems considered here, such variables are separated and the homogenized equations in convolutions depend only on slow variables. The same approach is also used, for example, in contemporary articles on related topics [11, 12].

The results of [2, 3, 4] were obtained under the assumption that the initial data are regular enough and the initial conditions are homogeneous. The solvability of such homogenized problems in convolutions with irregular initial data will be discussed here without homogeneity conditions.

To investigate the solvability of the homogenized problems with memory, we will use the Laplace transform method developed in [13] to study parabolic problems of general type. This method is briefly described in the third section. The formulation of diffusion and filtration problems for weakly porous media will be presented in the next section. The results presented here are partially announced in [14].

II. PERIODIC POROUS MEDIA

In order to determine the periodic porous media, we will consider a partition of the entire space \mathbb{R}^3 into two open sets E_1^ε and E_0^ε separated by boundary ∂E_1^ε . Thus, $\mathbb{R}^3 = E_1^\varepsilon \cup E_0^\varepsilon \cup \partial E_1^\varepsilon$, where ε denotes some parameter. It is assumed that the sets are ε -periodic (with a period ε in each of the independent variables x_1, x_2, x_3) and E_1^ε is connected set with the locally Lipschitz boundary ∂E_1^ε . For $\varepsilon=1$, the sets E_1^1 and E_0^1 are completely determined by the sets $Y_1 = E_1^1 \cap Y$ and $Y_0 = E_0^1 \cap Y$ with the boundary ∂Y_1 , where $Y = (0,1)^3$ denotes a cell of periodicity. It is assumed that the sets Y_1 and Y_0 have positive Lebesgue measures in \mathbb{R}^3 .

Let us fix an open domain $\Omega \subset \mathbb{R}^3$. Then, for some sufficiently small parameter ε , the sets E_1^ε and E_0^ε naturally define periodic porous media by the equalities

$$\Omega_0^\varepsilon = E_0^\varepsilon \cap \Omega \quad \text{and} \quad \Omega_1^\varepsilon = E_1^\varepsilon \cap \Omega.$$

We will use the permeability tensor for these media given through the following definition

$$D^\varepsilon = \varepsilon^2 D_0 \quad \text{in} \quad \Omega_0^\varepsilon, \quad D^\varepsilon = D_1 \quad \text{in} \quad \Omega_1^\varepsilon, \quad (1)$$

where the constant matrices D_0 and D_1 are symmetric and elliptic. The components of these matrices characterize the permeability properties of the media under consideration. Using these definitions, we define a function $u = u(t, x)$ as a solution to the following initial boundary value problem

$$\begin{aligned} u_t' - \text{div} D^\varepsilon (\nabla u + g) &= f \quad \text{in} \quad \Omega \times (0, \infty), \quad (2) \\ u|_{t=0} &= u_0 \quad \text{in} \quad \Omega, \quad u = 0 \quad \text{on} \quad \partial \Omega \times (0, \infty), \end{aligned}$$

which depends on the small parameter ε according to (1) and $g \in L^2(0, \infty; L^2(\Omega)^3)$, $f \in L^2(0, \infty; H^{-1}(\Omega))$, and $u_0 \in L^2(\Omega)$ are given functions that simulate external influences. Here and below, function spaces are used, the definitions of which are given, for example, in [1].

Therefore, for small ε , the equation of problem (2) degenerates on the set that simulates the blocks with very low penetration. This dependence on a small parameter leads to the homogenized problem in

convolutions, the solutions of which approximate the solution of problem (2) for small ε in accordance with [2, 4]. For a precise formulation of such homogenized problems, additional definitions are needed.

Let the function $q = q(t, y)$ be a 1-periodic solution of the initial boundary value problem:

$$\begin{aligned} q_t' - \text{div}_y (D_0 \nabla_y q) &= 0 \quad \text{in} \quad Y_0 \times (0, \infty), \quad (3) \\ q|_{t=0} &= 1 \quad \text{in} \quad Y_0, \quad q = 0 \quad \text{on} \quad \partial Y_0 \times (0, \infty). \end{aligned}$$

It is known [1] that a suitable solution to this problem exists and the following function

$$r(t) = |Y_1|^{-1} \int_{Y_0} q_t'(t, y) dy, \quad (4)$$

is well defined as an element of the space $L^1(0, \infty)$ in accordance with [4]. Here $|Y_1|$ denotes the Lebesgue measure of the set Y_1 . Also, following [2, 4], one can determine the constant real matrix D , which characterizes the homogenized (averaged) permeability for the considered medium Ω_1^ε .

In such definitions and (4), the homogenized (averaged) problem for (2) is convolution problem for the function $v = v(t, x)$ of the following form

$$\begin{aligned} v_t' - r * (v_t') - \text{div} D (\nabla v + g) &= f - r * f \quad \text{in} \quad \Omega \times (0, \infty), \quad (5) \\ v|_{t=0} &= u_0 \quad \text{in} \quad \Omega, \quad v = 0 \quad \text{on} \quad \partial \Omega \times (0, \infty), \end{aligned}$$

where $*$ denotes the convolution operator by t , for example, we have

$$r * (v_t') = \int_0^t r(t-\tau) (v_t'(\tau, x)) d\tau.$$

For fixed ε , a unique solution to problem (2) exists, for example, according to [1]. For sufficiently smooth data and $u_0 = 0$, a unique solution to problem (5) exists in accordance with [4]. Moreover, the solution of problem (5) approximates the solution of problem (2) in the appropriate sense [2, 4] for small ε . More precisely, the following statement is fulfilled for the solutions.

Theorem 1. Assume that $g \in C_0^\infty([0, \infty] \times \Omega)^3$, $f \in C_0^\infty([0, \infty] \times \Omega)$, and $u_0 = 0$. Let T be fixed and $u = u(t, x)$ be a solution to (2) and $v = v(t, x)$ be a solution to (5). Then

$$\begin{aligned} \|u - v - q_\varepsilon * f + q_\varepsilon * (v_t')\|_{C^0([0, T]; L^2(\Omega))}^2 &\leq C\varepsilon, \\ \|u - v\|_{C^0([0, T]; L^2(\Omega_1^\varepsilon))} &\leq C\varepsilon, \end{aligned}$$

where $q_\varepsilon = q_\varepsilon(t, x/\varepsilon)$ and the constant C does not depend on the small parameter ε .

Thus, instead of solving problem (2), it is possible to solve problem (5) with a guaranteed accuracy. Naturally, the numerical solution of problem (2) for very small ε is much more complicated than the numerical solution of problem (5), since a very fine mesh is required, taking into account the shape of small blocks and faults for the media. The estimates of Theorem 1 are

also valid for irregular initial data, for example, through approximation by smooth data. But, the exact formulation is much more complicated.

In addition, according to the estimates of Theorem 1, the solution to the original problem (2) is strongly oscillating on blocks, which should also be displayed in the numerical solution of this problem. It is these oscillations that lead to the appearance of convolutions in the homogenized problem, which is also commonly called the *appearance of memory* in porous media.

Thus, the presence of weakly porous blocks in the domain Ω is modeled by the appearance of a memory in density (coefficient at the time derivative) in the homogenized medium. Here we will investigate the solvability and regularity for problem (5) with common initial data, since it is necessary for the numerical solution of this problem with guaranteed accuracy.

The main result on the solvability and regularity for the problem is the following statement.

Theorem 2. *For every $g \in L^2(0, \infty; L^2(\Omega)^3)$, $f \in L^2(0, \infty; H^{-1}(\Omega))$, and $u_0 \in L^2(\Omega)$ there exists the unique solution $v \in L^2(0, \infty; H_0^1(\Omega))$ to problem (5) and there is a positive constant C , such that*

$$\begin{aligned} & \|v\|_{L^2(0, \infty; H_0^1(\Omega))} + \|v'\|_{L^2(0, \infty; H^{-1}(\Omega))} \leq \\ & \leq C \|g\|_{L^2(0, \infty; L^2(\Omega)^3)} + C \|f\|_{L^2(0, \infty; H^{-1}(\Omega))} + C \|u_0\|_{L^2(\Omega)} \end{aligned}$$

and $v \in C^0([0, T]; L^2(\Omega))$ for fixed positive T .

III. LAPLACE TRANSFORM AND A PRIORI ESTIMATES

We define the space $L_\omega^2(0, \infty; L^2(\Omega))$ for a fixed real ω as the function set from the space $L_{loc}^2(0, \infty; L^2(\Omega))$, for which the quantity $\|u\|_{L_\omega^2(0, \infty; L^2(\Omega))} = \|e^{-\omega t} u\|_{L^2(0, \infty; L^2(\Omega))}$ is finite. The last equality defines a norm in the space $L_\omega^2(0, \infty; L^2(\Omega))$, with respect to which this space is complete in accordance with [13]. Let the space $E_\omega(L^2(\Omega))$ be the set of functions $W = W(\sigma)$ with values in $L^2(\Omega)$, continuous and holomorphic in the half-plane $\mathbb{C}_\omega = \{\sigma \in \mathbb{C} : \sigma = \sigma_1 + i\sigma_2, \sigma_1 > \omega\}$, for which the quantity

$$\|U\|_{E_\omega(L^2(\Omega))}^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \|U(\omega + i\sigma_2)\|_{L^2(\Omega)}^2 d\sigma_2$$

is finite. The equality defines the norm in $E_\omega(L^2(\Omega))$.

It is known [13] that the Laplace transform

$$\hat{w}(t) = \int_0^\infty e^{-\sigma t} w(t) dt = W(\sigma)$$

is a bijective bicontinuous map from $L_\omega^2(0, \infty; L^2(\Omega))$ into $E_\omega(L^2(\Omega))$ for a fixed real ω .

We will denote $V = \hat{v}$, $R = \hat{r}$, $Q = \hat{q}$, $G = \hat{g}$, and $F = \hat{f}$. Applying the Laplace transform to (5), we get

$$\sigma(1-R)V - \operatorname{div}D(\nabla V) = \mathbb{F} \text{ in } \Omega, \quad V|_{\partial\Omega} = 0, \quad (6)$$

where $\mathbb{F} = \operatorname{div}DG + F(1-R) + u_0(1-R)$, since the Laplace transform maps the convolution operator into pointwise multiplication.

For fixed $\sigma \in \mathbb{C}$, problem (6) is a boundary value problem for an elliptic equation with complex coefficients in the lower order terms. It is known [13], that the problem is solvable for all $\sigma \in \mathbb{C}$ except, perhaps, a discrete set in \mathbb{C} . Here, in order to explain the solvability of problem (5), it will be enough to separate from this set using a priori estimates with constants independent of $\sigma \in \mathbb{C}_0$.

In order to do this, we multiply equation (6) by \bar{V} and integrate over Ω . Then, we get

$$\sigma(1-R) \int_\Omega |V|^2 dx + \int_\Omega (D\nabla V, \nabla \bar{V}) dx = \int_\Omega \mathbb{F} \bar{V} dx.$$

Similarly, multiplying the equation conjugate to (6) by V and integrating over Ω , we have

$$\bar{\sigma}(1-\bar{R}) \int_\Omega |V|^2 dx + \int_\Omega (D\nabla \bar{V}, \nabla V) dx = \int_\Omega \bar{\mathbb{F}} V dx.$$

Consequently, using the summation and the ellipticity of the homogenized matrix D , we conclude that

$$(\sigma_1 + \operatorname{Re}(-\sigma R)) \|V\|_{L^2(\Omega)}^2 + \alpha \|V\|_{H_0^1(\Omega)}^2 \leq \operatorname{Re} \int_\Omega \mathbb{F} \bar{V} dx,$$

where α denotes the ellipticity constant of matrix D .

It is possible to check that the function $\operatorname{Re}(-\sigma R(\sigma))$ is non-negative and the function $R(\sigma)$ is bounded for $\sigma \in \mathbb{C}_0$. Thus, it follows from the last inequality that

$$\alpha \|V\|_{H_0^1(\Omega)}^2 \leq \operatorname{Re} \int_\Omega \mathbb{F} \bar{V} dx \leq \|\mathbb{F}\|_{H^{-1}(\Omega)} \|V\|_{H_0^1(\Omega)}.$$

Therefore, using the definition of \mathbb{F} from (6), we get for solution (6) the following a priori estimate

$$\|V\|_{H_0^1(\Omega)} \leq C \|g\|_{L^2(\Omega)^3} + C \|f\|_{H^{-1}(\Omega)} + C \|u_0\|_{H^{-1}(\Omega)} \quad (7)$$

with a constant C , which is independent of $\sigma \in \mathbb{C}_0$.

It follows from the obtained inequality that there exists the unique solution $V \in H_0^1(\Omega)$ to problem (6) for every $\sigma \in \mathbb{C}_0$. The solution has some additional properties. Namely, following [4], one can prove that the solution is continuous and holomorphic on \mathbb{C}_0 .

Indeed, let us check, for example, the continuity of this solution. To do this, fix $v \in \mathbb{C}_0$ and assume that $\sigma \rightarrow v$. For simplicity, we introduce the notation

$$S(\sigma) = \sigma(1-R(\sigma)).$$

Then problems (6) at points σ and v have the form

$$\begin{aligned} -\operatorname{div}D(\nabla V(\sigma)) + S(\sigma)V(\sigma) &= \mathbb{F}(\sigma), \quad V(\sigma)|_{\partial\Omega} = 0, \\ -\operatorname{div}D(\nabla V(v)) + S(v)V(v) &= \mathbb{F}(v), \quad V(v)|_{\partial\Omega} = 0. \end{aligned}$$

Using that $S(\mathfrak{v}) = S(\sigma) + (S(\mathfrak{v}) - S(\sigma))$ and subtraction, we get for $W(\sigma) = V(\sigma) - V(\mathfrak{v})$ the problem

$$- \operatorname{div} D(\nabla W(\sigma)) + S(\sigma)W(\sigma) = \mathbb{F}(\sigma) - \mathbb{F}(\mathfrak{v}) + (S(\mathfrak{v}) - S(\sigma))V(\mathfrak{v}), \quad W(\sigma)|_{\partial\Omega} = 0.$$

Thus, repeating the proof of (7), we conclude that

$$\|W\|_{H_0^1(\Omega)} \leq C \|\mathbb{F}(\sigma) - \mathbb{F}(\mathfrak{v})\|_{H^{-1}(\Omega)} + |S(\mathfrak{v}) - S(\sigma)| C \|V(\mathfrak{v})\|_{H^{-1}(\Omega)} \rightarrow 0$$

as $\sigma \rightarrow \mathfrak{v}$, since $\mathbb{F}(\sigma)$ and $S(\sigma)$ are continuous, which follows from the definitions and known properties of solutions to equation (3), for example, according to [1].

Therefore, using the bijective bicontinuous map from $E_0(H_0^1(\Omega))$ into $L_0^2(0, \infty; H_0^1(\Omega))$, we can derive the estimate of Theorem 2 from equality (7). Thus, using the well-known embedding theorem given, for example, in [1], we conclude for solution to problem (5) that the inclusion $v \in C^0([0, T]; L^2(\Omega))$ is valid.

IV. CONCLUSION

Thus, initial-boundary value problems for non-stationary equations of diffusion and filtration in weakly porous media were discussed. Assertions on the solvability and regularity of such problems and the corresponding homogenized convolution problems with memory have been submitted. These statements are presented for general initial data and inhomogeneous initial conditions and generalize classical results on the solvability of initial boundary value problems for the heat equation. The proofs use the methods of a priori estimates and the well-known Agranovich-Vishik method based on the Laplace transform and developed to study parabolic problems of general type. The statements are necessary for the numerical solution of this problem with guaranteed accuracy.

ACKNOWLEDGMENT

This work has been supported by Ministry of Education and Science of Ukraine: Grant of the Ministry of Education and Science of Ukraine for perspective development of a scientific direction "Mathematical sciences and natural sciences" at Taras Shevchenko National University of Kyiv.

REFERENCES

- [1] G. Duvaut, J.-L. Lions, "Les inequations en mecanique et en physique," Paris, Dunod, 1972.
- [2] G. V. Sandrakov, "The homogenization of nonstationary equations with contrast coefficients," *Doklady Mathematics*, 56:1, 1997, pp. 586–589.
- [3] G. V. Sandrakov, "The homogenization of nonstationary problems in the theory of strongly nonuniform elastic media," *Doklady Mathematics*, 57:1, 1998, 54–57.
- [4] G. V. Sandrakov, "Multiphase homogenized diffusion models for problems with several parameters," *Izvestiya Mathematics*, 71:6, 2007, pp. 1193–1252.
- [5] E. Sanchez-Palencia, "Non Homogeneous Media and Vibration Theory," *Lecture Notes in Physics* 127, New York, Springer-Verlag, 1980.
- [6] G. V. Sandrakov, "The influence of viscosity on oscillations in some linearized problems of hydrodynamics," *Izvestiya Mathematics*, 71:1, 2007, pp. 97–148.
- [7] W. Jager, R. Rannacher, J. Warnatz (Eds.), "Reactive Flows, Diffusion and Transport. From Experiments via Mathematical Modeling to Numerical Simulation and Optimization," Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag, 2007.
- [8] A. A. Amosov, A. A. Zlotnik, "On quasi-averaged equations of the one-dimensional motion of a viscous barotropic medium with rapidly oscillating data," *Computational Math. and Math. Physics* 36:2, 1996, pp. 203–220.
- [9] A. A. Amosov, A. A. Zlotnik, "Justification of two-scale averaging of equations of one-dimensional nonlinear thermoviscoelasticity with nonsmooth data," *Computational Math. and Math. Physics*, 41:11, 2001, pp. 1630–1650.
- [10] M. Gahn, W. Jäger, M. Neuss-Radu, "Correctors and error estimates for reaction-diffusion processes through thin heterogeneous layers in case of homogenized equations with interface diffusion," *J. Computational and Applied Mathematics*, 383, 2021, pp. 113–126.
- [11] J.I. Díaz, D. Gómez-Castro, A.V. Podolskii, T.A. Shaposhnikova, "On the asymptotic limit of the effectiveness of reaction-diffusion equations in periodically structured media," *J. Math. Analysis and Appl*, 455:2, 2017, pp. 1597–1613.
- [12] T.A. Shaposhnikova, M.N. Zubova, "Homogenization of variational inequality for the Laplace operator with nonlinear constraint on the flow in a domain perforated by arbitrary shaped sets. Critical case," *J. Mathematical Sciences*, 232:4, 2018, pp. 573–590.
- [13] M. S. Agranovich, M. I. Vishik, "Elliptic problems with a parameter and parabolic problems of general type," *Russian Math. Surveys*, 19:3, 1964, pp. 53–157.
- [14] G.V. Sandrakov, A.L. Hulianytskyi, "Solvability of homogenized problems with convolutions for weakly porous media," *J. Numerical and Applied Mathematics*, 134:2, 2020, pp. 59–70 (In Russian).

Optimal control of the blowing mode parameters during basic oxygen furnace steelmaking process

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.30>

Oleksandr Stepanets, Yurii Mariash

Department of Automation of heat-and-power engineering processes
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
mariahyuriy@gamil.com

Abstract — The oxygen converter is intended for production of steel from liquid cast iron and steel scrap at blowing by oxygen. Nowadays, Basic Oxygen Furnace process is the main method for steelmaking. The main disadvantage of the basic oxygen furnace is the limited ability to increase the part of scrap metal. The task of the proposed approach is to control of the blowing mode parameters to establish the optimal level of CO₂ that will ensure a minimum specific cost of steel in the presence of restrictions and boundary conditions of basic oxygen furnace steelmaking process. A model predictive control taking into account the constraints on the input signals and the quadratic functional is proposed. The design of Model Predictive Control is based on mathematical model of an object. This approach minimizes the cost function that characterizes the quality of the process. The result of the automatic control system modeling shows that the Model Predictive Control approach provides retention of carbon dioxide level when oxygen consumption is changing. The obtained quadratic functional is optimized to find the optimal control of blowing parameters.

Keywords — Model Predictive Control; Basic Oxygen Furnace; blowing parameters; Linear-Quadratic Functional; Optimal Control; state space model.

I. INTRODUCTION

Basic Oxygen Furnace (BOF) is intended for production of steel from liquid cast iron and steel scrap at blowing by oxygen. Today, the production of steel by BOF is the most popular in the world and become more widespread. According to statistics, the part of the BOF in the world is 71.6% as of the end of 2019 (70.8% as of 2018) [1]. In recent years relevant methods of reducing the cost of oxygen-converter steel are the using of the design capacity of the units, increasing the stability, optimization and automation of the process.

The main disadvantage of the BOF is the limited ability to increase the part of scrap metal in melting. For steel production, the unit is loaded with scrap metal with a share of up to 30% of the metal part, the rest is liquid cast iron, which is much more expensive. Nowadays there are several ways to increase the proportion of scrap in the charge: preheating of scrap metal outside the converter and afterburning of monoxide to carbon dioxide in the cavity of the converter [2]. The gases leaving the converter mainly consist of CO, so an

effective method is to burn CO to CO₂, as it does not require additional equipment, and to achieve the desired performance it is enough to control the parameters of the blowing mode, such as lance position and oxygen consumption.

II. AIM AND OBJECTIVES OF CONTROL

Given the focus of enterprises on profit maximization, the general criterion of quality is the unit cost of steel of a specific brand. The task of the proposed approach is to control the parameters of the blowing mode (Fig. 1) to establish the optimal level of CO₂, which will provide the minimum specific cost of steel in the presence of limitations and boundary conditions of the oxygen-converter smelting process.

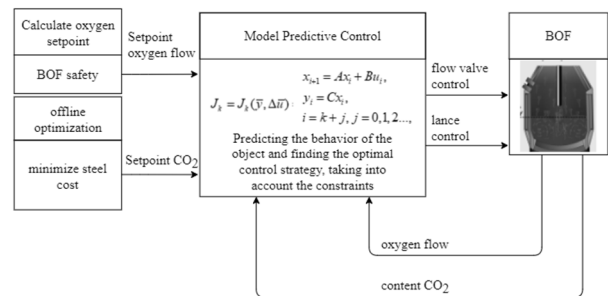


Figure 1. Block diagram of control systems with closed loop

Other embodiments (Fig. 2) of the classical systems for controlling the parameters of the purge mode during the main process of steel production in the oxygen furnace are open loop systems, i.e., do not take into account the current state of the system.

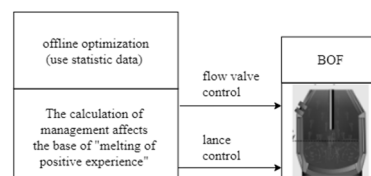


Figure 2. Block diagram of control systems with open loop

Control of CO₂ level in BOF gases requires the usage of modern control methods and relevant to model-predictive control. It is established that with a certain

chemical composition of cast iron the thermal mode of the process depends on the rate of decarburization, the degree of combustion of CO to CO₂ and the amount of iron oxides in the slag, which, in turn, depend on the distance of the lance to the quiet bath level [2].

III. CONTROLLER DESIGN AND SYSTEM MODELLING

The control problem is the non-stationary process of decarburization. The process of decarburization is described by a first order inertial model, the gain and time constant of which depends on the melting period and the duration of the purge. Control object (1) “lance position change – the level of CO₂” is described by the differential equation:

$$T_{v_c} T_{\gamma_{CO_2}} \frac{d^2 \gamma_{CO_2}}{dt^2} + (T_{v_c} + T_{\gamma_{CO_2}}) \frac{d \gamma_{CO_2}}{dt} + \gamma_{CO_2} = k_{\gamma_{CO_2}}^H H, \quad (1)$$

where γ_{CO_2} (%) – the level of CO₂; $H(m)$ – lance position; $T_{v_c}, T_{\gamma_{CO_2}}$ (s) – time constant; $k_{\gamma_{CO_2}}^H$ ($\frac{\%}{m}$) – gain.

Model-predictive control is based on mathematical methods of optimization using predictive models. The approach uses a mathematical model of the object, the initial conditions for which is its current state. With a given control, the forecast of the object's motion is performed at some finite period of time (forecast horizon). Control optimization is performed, the purpose of which is to approximate the control variables of the forecasting model to the corresponding setpoint on the forecast horizon. The optimal control is realized and measurement (or restoration on the measured variables) of an actual condition of object at the end of a step is carried out. Starting from the next step, the forecast and search for optimal control are repeated for the new object conditions [3]. Model-predictive control is reduced to the usual proportional feedback on the state of the object, which is not fundamentally different from the LQ-optimal controller. But the situation changes significantly, given the limitations on the control effect and the state of the object, which significantly limits the set of regulators in the problem of LQ-optimization. Obtaining an accurate optimal solution in real time is quite problematic, which significantly increases the validity of the MPC-strategy. The main advantage of the MPC approach, which determines its successful usage in the practice of design and operation of control systems, is the relative simplicity of the basic feedback scheme combined with high adaptive properties.

The design of MPC controller with constraints was performed using the Matlab MPC Designer package [4]. The design of the MPC controller (Fig. 3.) used the mathematical model of the oxygen converter process (Fig. 4).

The figure 5 show the transients of the control system, in the simulation of the task for oxygen consumption set 300m³ / min, the initial setpoint for CO₂ level – 10%, for 50 seconds of the blowing mode setpoint is set at 15%.

The obtained transients of the system of automatic control of the oxygen-converter process using MPC-strategy provide the requirements for the quality of the system.

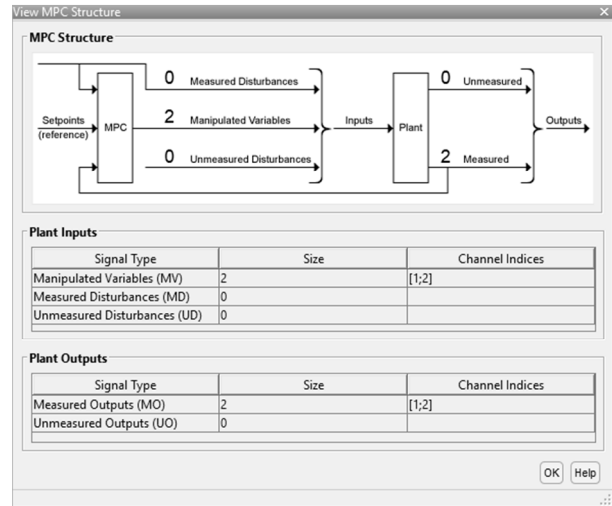


Figure 3. MPC controller structure

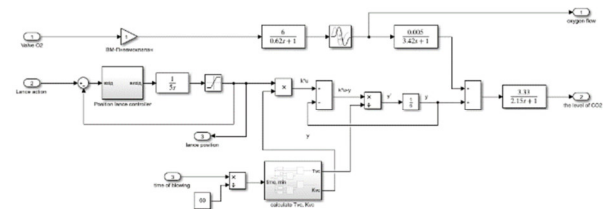


Figure 4. Model of the blowing mode parameters

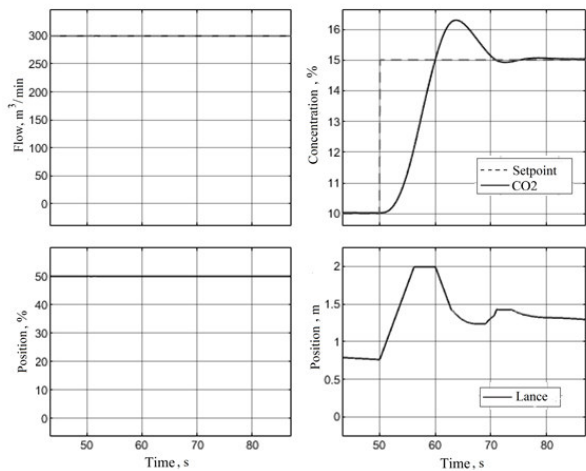


Figure 5. Transient processes of the automatic control system

IV. CONCLUSION

The problems of control CO₂ concentration in the convector cavity include non-stationarity, so the usage of classical control methods is difficult. The MPC approach minimizes the cost function that characterizes the quality of the process. The obtained functional is optimized to find the optimal control of the carbon oxidation level. As a result of application of the offered approach, in comparison with smelts of gross production, the following results are expected: increase in processing of scrap to 5%, resistance of lining to 3%, decrease in duration of a purge to 5%, increase in weight of the smelted suitable steel to 0.5%. In general, the proposed approach allows to reduce the specific cost of steel to 0.5%.

REFERENCES

- [1] Basson E., "Steel Statistical Yearbook 2020 concise version," Brussels, Belgium : World Steel Association, 2020.
- [2] O. Stepanets and Y. Mariiash, "Model predictive control application in the energy saving technology of basic oxygen furnace", *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, vol. 10, no. 2, 2020, pp. 70–74. DOI: 10.35784/iapgos.931.
- [3] Morato M. M., Normey-Rico J. E., Sename O, "Model predictive control design for linear parameter varying systems: A survey," *Annual Reviews in Control*, 2020, vol. 49, pp. 64–80. DOI: 10.1016/j.arcontrol.2020.04.016.
- [4] MathWorks, "Design Controller Using MPC Designer". URL: <https://www.mathworks.com/help/mpc/gs/introduction.html?ue>. (available 5.09. 2018).

Modelling soil organic carbon turnover with assimilation of satellite soil moisture data

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.31>

Olha Stepanchenko, Liubov Shostak, Olena Kozhushko, Viktor Moshynskiy, Petro Martyniuk¹

Department of Computer Sciences and Applied Mathematics
National University of Water and Environmental Engineering
Rivne, Ukraine
ol.d.kozhushko@nuwm.edu.ua

Abstract — The content of organic carbon is one of the essential factors that define soil quality. It is also notoriously challenging to model due to a multitude of biological and abiotic factors influencing the process. In this study, we investigate how decomposition of soil organic matter is affected by soil moisture and temperature. Soil organic carbon turnover is simulated by the CENTURY model. The accuracy of soil moisture data used is ensured by data assimilation approach, combining mathematical model and satellite retrievals. Numerical experiments demonstrate the influence of soil moisture regimes and climate on the quantity of soil humus stocks.

Keywords — soil organic carbon; carbon turnover; CENTURY model; mathematical modelling; soil moisture; data assimilation.

I. INTRODUCTION

Soil is one of the principal components for the existence of living organisms on the Earth. Intensive use of agricultural lands in recent decades has resulted in its exhaustion. To assure sustainable land use, an optimal set of indicators for production management has to be established.

A significant role in soil fertility is played by the soil organic matter. The content of organic matter depends on the soil's chemical composition, temperature, texture and moisture. Soil quality is defined largely by the organic carbon stock. Carbon plays a vital role in supporting soil ecological sustainability, since it absorbs pesticides and decomposes excess Nitrogen.

A number of approaches and indices has been developed to evaluate the soil carbon, taking into account land use practices. A few notable models for soil organic carbon (SOC) stock are CENTURY, RothC and PaSim [1].

PaSim is a model simulating the humus, nitrogen and water balance for grazing lands. It consists of five submodels that account for physical and biological properties of soil medium, vegetation type, livestock and microclimate.

RothC is used for evaluating SOC content in upper layers of the arable lands for arid climate territories. The model accounts for vegetation, soil type, temperature and moisture.

The organic remains are classified into plant and resistant to decomposition remains.

The CENTURY models describes the carbon, nitrogen, sulfur and phosphorus dynamics. It divides organic remains into root and surface litter, which, in their turn, are separated into structural and metabolic remains. The model can also estimate soil state under different land use and irrigation scenarios [2].

II. SOIL ORGANIC CARBON MODEL

A. Organic Matter Transformation

After analyzing the principal models for SOC evaluation, we chose CENTURY as the basis of our model. The model keeps track of the input plant organic material from aboveground and root remains, which are divided into structural and metabolic litter. All soil organic matter is separated into active, slow and passive pools depending on their decomposition time. Soil active pool consists of organic remains and microbes that are easily decomposable; slow organic matter is biologically and physically resistant to transformation, and passive matter is physically protected and less susceptible to chemical turnover.

Essential role in organic matter transformation is played by the microbial mass, lignin content, soil texture, moisture and

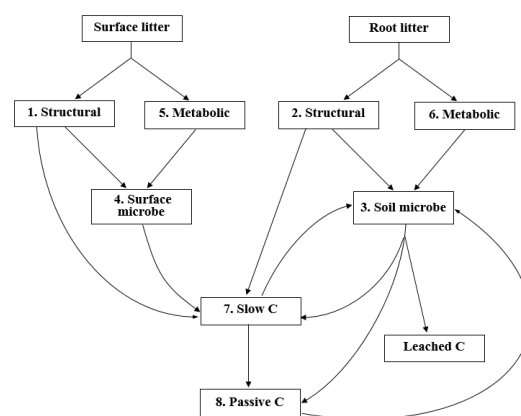


Figure 1. Structure of the CENTURY model

¹ The research is supported by EOS Data Analytics.

temperature. The model specifies the relations by which metabolic and structural litter are separated based on lignin to nitrogen ratio.

Thus, in CENTURY soil organic carbon is divided into eight SOC pools, as shown in Fig. 1. Decomposition of each carbon pool is calculated by the following set of equations:

$$\begin{aligned} \frac{dC_i}{dt} &= K_i L_c A C_i, & i = 1, 2, \\ \frac{dC_i}{dt} &= K_i A T_m C_i, & i = 3, \\ \frac{dC_i}{dt} &= K_i A C_i, & i = 4, 5, 6, 7, 8, \\ T_m &= (1 - 0.75T), & L_c = e^{-3L_s} \end{aligned} \quad (1)$$

where C_i is the quantity of organic carbon in the i -th pool (pools are numbered as in Fig. 1), K_i is maximum decomposition rate for the i -th pool, A is a combined abiotic impact of soil moisture and soil temperature on decomposition, T_m is effect of soil texture on active SOC turnover, where T is equal to the sum of silt and clay fraction, L_c is the impact of lignin content of structural material (L_s) on structural decomposition [3].

CENTURY considers that turnover of organic matter in above and belowground layers is tied to microbial biomass and microbial respiration. Each carbon transformation involves loss of fixed fraction of carbon due to respiration. For instance, organic carbon that leaves soil active pool is divided between microbial respiration, slow and passive pools and loss due to leaching.

B. Abiotic Stress

Soil moisture and temperature have significant effect on the carbon turnover cycle. It has been show by a number of studies that biological processes leading to carbon decomposition require certain temperature and moisture regimes. If either is not met, the decomposition processes are slowed down or even stopped completely. This effect is called abiotic stress.

We chose the expolinear relation for calculating temperature stress, following original CENTURY papers [3]:

$$\begin{aligned} A_t &= t_1^{0.2} \cdot t_2, \\ t_1 &= (45 - T_s) / (45 - 35), \quad t_2 = \exp\left(0.076\left(1 - t_1^{2.63}\right)\right), \end{aligned} \quad (2)$$

where T_s is soil temperature, and 45 and 35 are maximum and optimal temperatures for decomposition, respectively.

For water stress, we make use of an empirical function used in [4] (retrieved from their Github repository)

$$A_w = -1.1 \cdot S_{rel}^2 + 2.4 S_{rel} - 0.29, \quad (3)$$

where S_{rel} , in its own turn, is defined as absolute soil moisture θ linearly scaled between wilting point θ_{wp} and field capacity θ_{fc} :

$$S_{rel} = (\theta - \theta_{wp}) / (\theta_{fc} - \theta_{wp}). \quad (4)$$

Both stress function and relative moisture values are limited to the interval $[0, 1]$. The resulting abiotic stress function is then a product of temperature stress A_t and water stress A_w .

III. SOIL MOISTURE MODEL

The soil moisture data are generated by a separate model that is based on the Richards equation with Mualem–van Genuchten model for soil parameters. The model is one-dimensional and calculates moisture profile for the soil layer at a given point.

To improve the accuracy of model results and update it to the real world state, we add satellite moisture estimates to the model. Since neither the model nor the estimates can be considered absolutely truthful, various data assimilation algorithms can be used to combine them and thus improve estimates. We use Newtonian nudging assimilation for the moisture equation, which is one of the 4DDA methods family. Basically, Newtonian nudging is realized by adding a special nudging term to the governing equation, which can be view as an external force pulling the result closer towards observations. The implementation and validation of the model and assimilation are described in our previous work [5].

Moreover, the soil temperature is also modelled since it often differs from the air temperature. This submodel is governed by the heat transfer equation based on Fourier's law. We also take into account the interrelations between water and heat flow. The model overall consists of the following equations:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k(h) \frac{\partial h}{\partial x} - k(h) \right) - S(h, x, t) + \\ &+ G \cdot W(x, t) \varepsilon(x) (\theta_{obs} - \theta), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\left(-k(h) \frac{\partial h}{\partial x} + k(h) \right) \Big|_{x=0} = Q(t) - E_s(t), \quad t > 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0, \quad t > 0, \quad h(x, 0) = h_0(x), \quad x \in [0, l]. \quad (7)$$

$$c_T \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(h) \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \rho c_w u(h) \frac{\partial T(x, t)}{\partial t}, \quad (9)$$

$$T(x, t) \Big|_{x=0} = T_1(t), \quad t \geq 0, \quad (10)$$

$$T(x, t) \Big|_{x=l} = T_2(t), \quad t \geq 0, \quad (11)$$

$$T(x, 0) = T_0(x), \quad x \in [0, l]. \quad (12)$$

IV. EXPERIMENT SETTING AND DATA

In this paper, we aim to highlight the effect of soil moisture and temperature on the organic carbon cycle. For this purpose, we chose three agricultural sites within Ukraine with different climates and soils, located in Rivne (near Stepan'), Zakarpattia (Vynogradiv) and Kherson (Novopavlivka) regions.

Soil classes and parameters are derived from SoilGrids dataset [6]. The data used for sites are summarized in Table 1.

Soil carbon stock values, which are used as initial condition for the SOC model, are distributed between carbon pools according to the statistics presented in [7].

TABLE II. EXPERIMENT SITES AND DATA

Location, Region	Soil type	Organic carbon stock (kg/m ²)	Average moisture ^a	Field capacity	Wilting point
Stepan', Rivne	Sandy Loam	4.4	0.319	0.21	0.09
Vynogradiv, Zakarpattia	Clay Loam	5.1	0.209	0.33	0.16
Novopavlivka, Kherson	Clay	4.9	0.182	0.44	0.2

a. Average soil moisture based on the satellite estimates

The average moisture column in Table 1 demonstrates a variety of moisture regimes on the experimental sites. For the first site, moisture is mostly above field capacity, whereas for the third site the average moisture is below wilting point in case no irrigation is applied. Thus, the three sites represent different moisture conditions.

As carbon turnover processes are known to be slow, we intended to cover at least a few decades with modelling data. Weather data for temperature and moisture modelling are assumed as for the nearest weather station, provided by the LaMetSy service (<https://lametsy.pp.ua>). Satellite soil moisture estimates are taken from the Copernicus database [8]. The simulation is carried out for the period from 1990 to 2020, since the period before 1990 is lacking coverage with satellite imagery.

Litter incomes are assumed at 60 and 140 g/(m²·year) of aboveground and root litter, respectively. These average yearly values are then distributed on a sine curve for the growing season (March – September).

V. DISCUSSION OF RESULTS

The results of 30 years modelling of carbon turnover with described input data are presented in Fig. 2. The first plot shows the amount of carbon in slow SOC pool, which is the largest pool and is commonly associated with humus. As seen from the plot, results are quite similar for wetter sites in Zakarpattia and Rivne region, with slowly decreasing amount of humus in the soil. However, for the arid site in Kherson the quantity of humus is growing quite rapidly over the simulation period. It might be concluded then that higher moisture, while increasing overall turnover rate, results in higher leaching and respiration losses, and, therefore, decreased carbon stocks. Slower turnover in dryer soils, on the other hand, provides a more sustainable system. This assumption is also supported by the fact that soils in the south of Ukraine are much more fertile than in the other regions.

The second plot shows the amount of plant litter that has not been decomposed. It includes four SOC pools, both above and belowground, structural and metabolic. The visible waves are caused by the cropping cycle, since we assumed non-uniform vegetation cycle. As suggested above, plant litter on the two wetter sites is decomposed rather quickly after it enters the system due to fast turnover rate. On the other hand, plant

litter on Kherson site is accumulated during the growing season, and decomposes in larger amounts in winter.

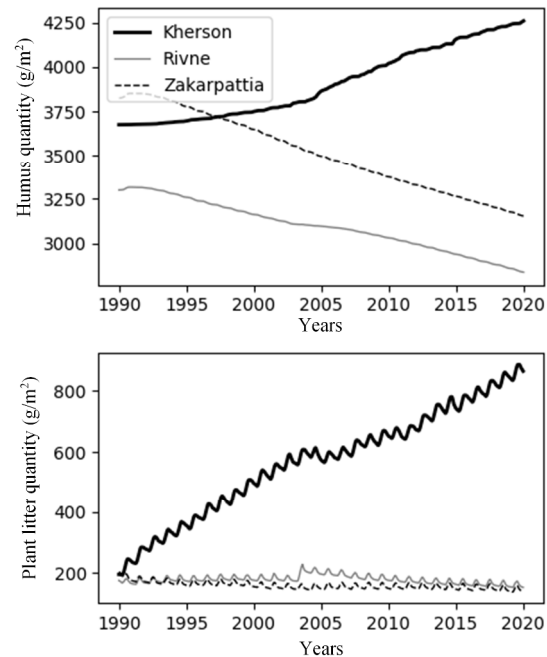


Figure 2. The modelled quantity of humus (top) and uncomposrd litter (bottom) after 30 years

REFERENCES

- [1] K. A. Byrne and G. Kiely, "Evaluation of Models (PaSim, RothC, CENTURY and DNDC) for Simulation of Grassland Carbon Cycling at Plot, Field and Regional Scale," STRIVE Report Series no. 20, 2008.
- [2] L. Shostak, M. Boiko, O. Stepanchenko, and O. Kozhushko, "Analysis of Soil Organic Matter Transformation Dynamics Models," *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 40–45.
- [3] W. J. Parton, D. S. Ojima, C. V. Cole, and D. S. Schimel, "A General Model for Soil Organic Matter Dynamics: Sensitivity to Litter Chemistry, Texture and Management," in *Quantitative Modeling of Soil Forming Processes*, R. Bryant and R. Arnold, Eds. Madison: Soil Science Society of America, 1994, pp. 147–167.
- [4] L. Zhu, Z. Deng, Y. Xie et al., "Factors controlling Carex brevicuspis leaf litter decomposition and its contribution to surface soil organic carbon pool at different water levels," *Biogeosciences*, 2021, vol. 18, pp. 1–11.
- [5] O. Kozhushko, M. Boiko, M. Kovbasa, P. Martyniuk, O. Stepanchenko, and M. Uvarov, "Evaluation of the soil moisture model with data assimilation by the triple collocation method," *Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International Scientific and Practical Conference*, 2020, vol. 4, pp. 35–38.
- [6] L. Poggio, L. de Sousa, N. Batjes et al., "SoilGrids 2.0 : Producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty," *SOIL*, 2021, vol. 7, pp. 217–240.
- [7] O. Bashir, T. Ali, Z. A. Baba et al., "Soil Organic Matter and Its Impact on Soil Properties and Nutrient Status," in *Microbiota and Biofertilizers*, G. H. Dar, R. A. Bhat, M. A. Mehmood, and Kh. R. Hakeem, Eds. Cham: Springer, 2021, vol. 2, pp. 129–160.
- [8] R. Kidd, "Product User Guide and Specification. Land Service: Soil Moisture ECV," ECMWF Copernicus Report, v.3.0. Reading: ECMWF, 2021.

The dependence of the deviation of the output stabilized current of the resonant power supply during frequency control in the systems of materials pulse processing

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.32>

Dmytro Vinnychenko

Department of Pulse Electrotechnical Systems
Institute of Pulse Processes and Technologies
of NAS of Ukraine
Mykolaiv, Ukraine
vdvvs@gmail.com

Natalia Nazarova

Department of Pulse Electrotechnical Systems
Institute of Pulse Processes and Technologies
of NAS of Ukraine
Mykolaiv, Ukraine
nazarovanataly2000@gmail.com

Iryna Vinnychenko

Department of Computerized Control Systems
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
i.l.vinnychenko@gmail.com

Abstract — The calculated dependences for determining the deviation of the output current of the resonant power supply of the materials pulsed processing system from a given stabilized value are obtained. The inversely proportional dependence of the output current on the frequency at the input of the series resonant circuit is obtained. These dependencies can be applied for the frequency control of the inverter's switches commutation which stabilizes the RMS value of the output current. At the close to short circuit modes, the deviation of the output current from the stabilized value does not exceed 2%, and therefore it can be ignored.

Keywords — stabilized RMS current; resonant power supply; frequency control.

I. INTRODUCTION

Power supplies with stabilized output current are most common for arc load [1]. In modern industrial power supplies, pulse-width current regulation with hard switching are quite popular. For soft switching, resonant inverters with switching in zero current and voltage are used [2-5]. The Q-factor of such resonant circuits is not big enough and causes the high voltage in the resonant circuit being the negative factor.

However, in the electro-discharge processing of dielectric and semiconducting environment, the power supplies that provide high voltages up to 50 kV are usually required. In such cases, the pulse current generators [6] with accumulative capacitors [7] are used, which form discharge pulses with long currentless pauses [8].

The production of metal-carbon composite nanomaterials by the electro-discharge method is known as well [9]. It should be noted that the use of the pulse

current generators, the discharge current cannot be stabilized. Traditionally, to control the generator of impulse currents, not the characteristics themselves (discharge current or voltage) are used, but their functionals, for example, the maximum value of the discharge current, the voltage at which the formation of the discharge channel ends, and others [10, 11].

Thus, many technical applications, in addition to stabilizing the output current, require the high voltage at the output of the power supply (step-up secondary power supply systems), such as the method of electric-discharge synthesis of carbon nanomaterials from carbon-containing gases [12], in which the closure of the gas discharge channel at the frequency of up to 20 kHz requires the high voltage up to 30 kV, or charging the capacitive storage of the pulse current generator with direct current [15], where up to 50 kV are needed. For these applications, the resonant power supply with the series resonant circuit may be optimal, since it provides an almost constant RMS current in the wide range of the load voltage variation [1].

The provision of the given stabilized current is usually carried out using parametric control, which does not react to the current state of the load characteristics [14]. However, for some technical applications, for example, the optimal mode of obtaining nanocarbon from gas [15], it is necessary to maintain the specified value of the stabilized current, depending on the real time load characteristics. Fixed sinusoidal current systems are widely used in industry [1], where it is known that the output alternating current is determined by the inductive resistance of the resonant circuit, which can be changed by controlling the frequency. But the task of controlling the value of the output current of the

inverter with the series resonant circuit is complicated by the need to maintain either the resonant mode or the mode of stabilization of the output current. However, the current is stabilized at the resonant frequency. When the source frequency deviates from the resonant frequency, the output current value deviates from the preset stabilized value. For technical applications, it is necessary to consider this deviation, therefore, the studying of the deviation of the resonant power supply output stabilized current caused by the frequency deviating from the resonant one is an urgent task.

Thus, **the research goal** is to determine the quantitative characteristics of the deviation of the resonant power supply for the materials pulsed processing output current from the given stabilized value with the frequency control of the inverter switches commutation, by which the given effective value of the output current is obtained.

II. DEPENDENCES OF THE OUTPUT CURRENT OF THE RESONANT POWER SUPPLY ON THE LOAD RESISTANCE AND THE FREQUENCY DEVIATION FROM THE RESONANT ONE

The resonant power supply consists of a connected voltage inverter, a series resonant LC circuit and an active load connected in parallel with the capacitor C (Fig. 1, a). To obtain the electrical load characteristics, it is sufficient to analyze the simplified scheme (Fig. 1, b).

The paper proposes to use the principle of frequency dependence of reactive resistance of inductive elements, or the control of the frequency-dependent parameters change of the flow-forming circuit on the basis of the resonant tank. The advantage of this approach is the implementation of the principle of the parametric current stabilization, which is the simplest and the most reliable in the construction of the power devices.

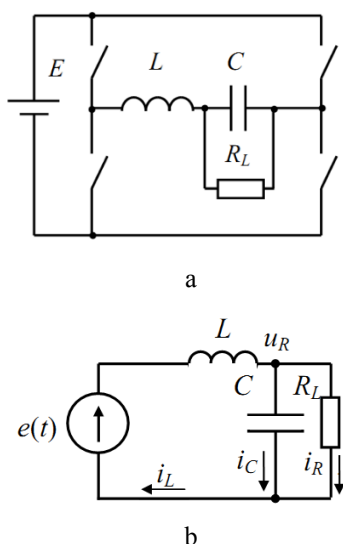


Figure 1. The resonant power supply

The total resistance of the circuit in fig. 1,b for the harmonic case:

$$\mathbf{Z}_{RLC} = j\omega_0 L + \frac{R}{1 + Rj\omega_0 C} = \frac{j\omega_0 L(1 + Rj\omega_0 C) + R}{1 + Rj\omega_0 C}, \quad (1)$$

where $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ is the resonant frequency.

The current of the inverter switches for the harmonic case is symbolically equal to $\mathbf{I}_L = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{Z}_{RLC}}$, where \mathbf{I}_L and \mathbf{E} are the current and sinusoidal voltage complexes $e(t)$.

The load R_L voltage is

$$\mathbf{U}_R = \mathbf{I}_L \cdot \frac{R}{1 + Rj\omega_0 C} = \frac{\mathbf{E} \cdot (1 + Rj\omega_0 C)}{j\omega_0 L(1 + Rj\omega_0 C) + R} \cdot \frac{R}{1 + Rj\omega_0 C},$$

$$\mathbf{U}_R = \frac{\mathbf{E} \cdot R}{j\omega_0 L(1 + Rj\omega_0 C) + R}. \quad (2)$$

The load current is

$$\mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{E}}{j\omega_0 L(1 + Rj\omega_0 C) + R}, \quad (3)$$

$$\mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{E}}{j\omega_0 L + R(j\omega_0 C j\omega_0 L + 1)}. \quad (4)$$

After algebraic transformations and considering the resonance condition

$$j\omega_0 L = \frac{1}{j\omega_0 C} \quad (5)$$

one can get the well-known dependence [Volkov], which determines the independence of the load current from the load resistance.

$$\mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{E}}{j\omega_0 L + Rj\omega_0 C(\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C})} = \frac{\mathbf{E}}{j\omega_0 L}. \quad (6)$$

We introduce the relative deviation of the frequency of the inverter from the resonant one

$$q = \frac{\omega_1}{\omega_0}. \quad (7)$$

Denote the harmonic number n . For n harmonics of frequency $q\omega_0$ from (4) taking into account (5) we obtain

$$\mathbf{I}_{Rn} = \frac{\mathbf{E}_n}{jnq\omega_0 L + R(j\omega_0 C j\omega_0 L \cdot (nq)^2 + 1)} =$$

$$= \frac{\mathbf{E}_n}{jnq\omega_0 L + R(1 - (nq)^2)}. \quad (8)$$

Enter the value of the reduced dimensionless load resistance $k = \frac{R}{nq\omega_0 L}$, and substitute it to (8)

$$\mathbf{I}_{Rn} = \frac{\mathbf{E}_n}{jq\omega_0 L \cdot n \cdot (1 + jk((nq)^2 - 1))}. \quad (9)$$

Summarize the obtained results in the case of the rectangular input voltage.

The shape of the output voltage of the full-bridge voltage inverter is rectangular with the amplitude U_m and the period $T=2\pi/\omega$, the Fourier series distribution is as follows:

$$e(t) = \frac{4 \cdot U_m}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\omega t)}{n}, n=1,3,5... \quad (10)$$

where n is the voltage harmonic number.

Whence the complex EMF for each harmonic can be represented as follows

$$E_n = \frac{4 \cdot U_m}{\pi} \cdot \frac{e^{j0}}{n}, \quad (11)$$

The modulus of the amplitude of the load current for n harmonics is obtained from (9) taking into account (11)

$$I_{mn} = \frac{E_n}{nq\omega_0 L \sqrt{1+k^2((nq)^2-1)^2}},$$

$$I_{mn} = \frac{4 \cdot U_m}{\pi n^2 q \omega_0 L \sqrt{1+k^2((nq)^2-1)^2}}. \quad (12)$$

The load current RMS value is determined by the amplitude of each harmonic as follows

$$I_R = \sqrt{\frac{I_{m1}^2}{2} + \frac{I_{m3}^2}{2} + \frac{I_{m5}^2}{2} + \dots + \frac{I_{mn}^2}{2}}. \quad (13)$$

Substituting (12) into (13) obtain

$$I_R = \frac{2\sqrt{2} \cdot U_m}{\pi q \omega_0 L} \cdot \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n^2 \sqrt{1+k^2((nq)^2-1)^2}} \right)^2}. \quad (14)$$

For the rectangular voltage of the inverter, the sum of the series (14) at $k=0$, $q=1$ is equal to

$$I_R = \frac{U_m}{4\sqrt{3}f_0 L}, \quad (15)$$

where $f_0 = \omega_0 / 2\pi$.

Using (14) allows to set the output current I_R , changing the switching frequency of the power switches of the inverter according to the law

$$q = \frac{2\sqrt{2} \cdot U_m}{\pi \omega_0 L I_R} \cdot \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n^2 \sqrt{1+k^2((nq)^2-1)^2}} \right)^2}. \quad (16)$$

For the harmonic case, the effective value of the load current is obtained from (9), using $n=1$, and instead of E_n we use the effective value of the sinusoidal EMF $e(t)$.

$$I_R = \frac{E}{q\omega_0 L \sqrt{1+k^2(q^2-1)^2}}. \quad (17)$$

Using (16) allows to set the output current I_R , changing the inverter switching according to the law

$$q = \frac{E}{I_R \omega_0 L \sqrt{1+k^2(q^2-1)^2}}. \quad (18)$$

III. MATHEMATICAL MODELING OF THE OUTPUT CURRENT AT THE CLOSE TO RESONANT FREQUENCY

The control of the output current by means of the switching frequency of the power switches (17) leads to the deviation from the resonant mode, which may disrupt the stabilization of the output current RMS value. Therefore, the mathematical modeling of the output current at the close to resonant frequency is performed.

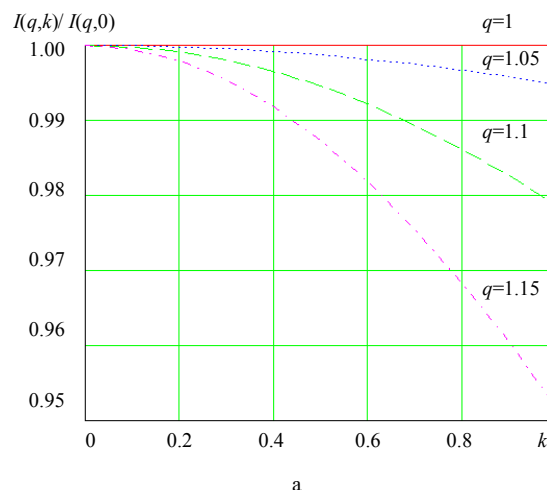
Set the value of the relative switching frequency of the power switches $q = \omega/\omega_0$ and by means of MathCad calculate the deviation of the output current for different q from its calculated value during the change of the load factor k .

First, the calculation is performed according to the formula for the first harmonic, which gives high accuracy in the resonant mode and is characterized by the simplified notation. The current value is calculated for each q and k :

$$I(q, k) = \sqrt{\frac{2\pi}{q\omega_0} \int_0^{q\omega_0} \left(\frac{U_m}{q\omega_0 L} \cdot \frac{\cos(q\omega_0 t)}{\sqrt{1+k^2(q^2-1)^2}} \right)^2 dt}. \quad (19)$$

Deviations of the relative output current at the given deviation of the relative frequency q from the resonant one, reduced to the short-circuit current $I(q, k)/I(q, 0)$, shown in Fig. 2. In fig. 2, a there are the results of the calculation for the first harmonic according to (19), and in Fig. 2, b there are the results of the calculation for 10 harmonics. For the convenience of the current analysis, they circuit currents reduced to their value at $k=0$ (which corresponds to the short-circuit mode of the load).

The results of the calculation in Fig. 2, b, shows the deviation of the relative output current at the given deviation of the relative frequency q from the resonant one and with the load k , given to the short-circuit current $I(q, k)/I(q, 0)$.



a

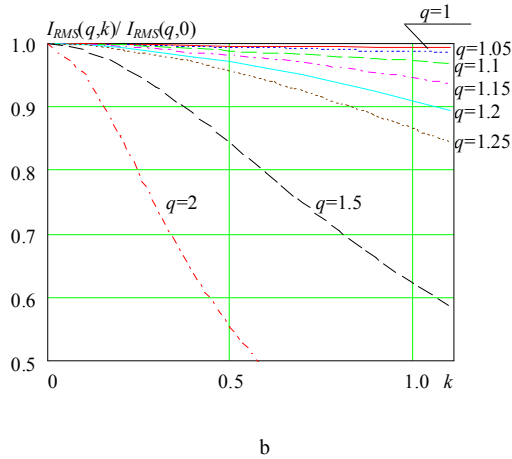


Figure 2. Deviations of the relative output current

Fig. 3, a shows the same dependences constructed by formula (17). Analysis of the simulation results showed that the use of (17) and (19) gives identical results and coincides with the experimentally obtained dependences. When $k=0,2$, the deviation of the current from its short-circuit value is less than 0.3%. The deviation of the load current from the short-circuit current can be calculated by (17) or (19).

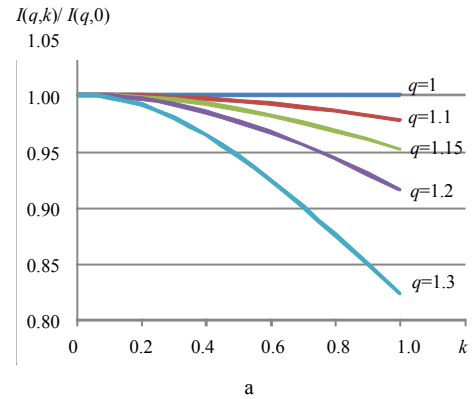
Fig. 3, b, shows the deviation of the relative output current at the given deviation of the relative frequency q from the resonant, given to the short-circuit current at $q=1: I(q,k)/I(1,0)$, calculated by (17). The obtained dependences show that the load current can be adjusted by changing the inverter switching frequency.

The calculation of the RMS current for the inverter rectangular voltage will be carried out according to the equation for the sum of ten harmonics, which gives high accuracy in all conditions

$$I(q,k) = \sqrt{\frac{2U_m}{\pi^2 L} \int_0^{2\pi} \sum_{n=1}^{10} \left(\frac{\cos(qn\omega_0 t)}{n^2 \sqrt{1+k^2(n^2q^2-1)^2}} \right)^2 dt} \quad (20)$$

The results of the calculation according to (14) are shown in Fig. 4, which shows the deviation of the relative output current at the given deviation of the relative frequency q from the resonant one and at the load resistance of k , given to the short-circuit current at $I(q,k)/I(q,0)$ (Fig. 4, a), and given to the short-circuit current at $q=1: I(q,k)/I(1,0)$ (Fig. 4, b).

Analysis of the simulation results showed that the use of (14) for the sum of ten harmonics coincides with the calculation according to (20), and allows to calculate the load current, which coincides with the experimentally obtained dependences.



$I(q,k)/I(0,0)$

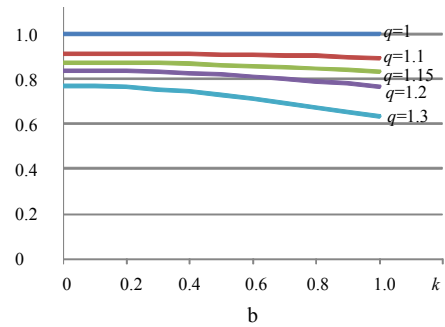
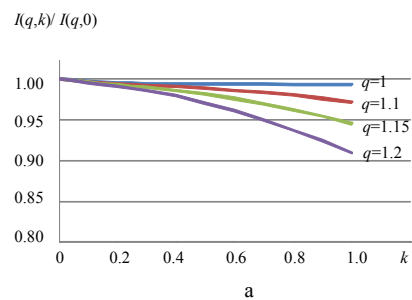


Figure 3. Deviation of the relative output current at the given deviation of the relative frequency

A comparison of the dependences in Fig. 3 and Fig. 4 shows that the deviation of the relative output load current at the rectangular voltage on the inverter is up to 1% greater than the deviation for the case when the resonant circuit is powered by the sinusoidal voltage source. This simplifies the real time calculations when controlling the load current, using the equation for the first harmonic (18), which requires less resource consumption of the computing system of the controller.



$I(q,k)/I(0,0)$

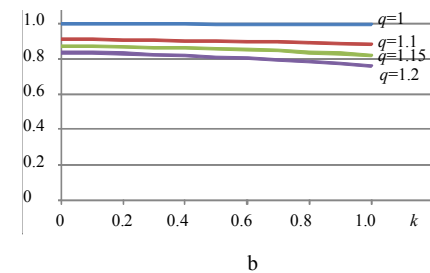


Figure 4. Deviation of the relative output current at the given deviation of the relative frequency q from the resonant one and at the load

The results of the calculations shown in Fig. 2–Fig. 4 are well coordinated with the experimentally obtained results shown in table. 1.

TABLE I. THE RESULTS OF THE CALCULATIONS

k	q		
	1	1,1	1,2
0	1	1	1
0,4	0,99	0,99	0,98
0,6	0,99	0,99	0,96
0,8	0,99	0,98	0,94
1	0,99	0,97	0,91

An important feature of the considered resonant power supply is the deviation of the output current due to the load from its stabilized value (6) at the non-zero value of the load resistance k . This deviation is greater the greater the deviation of the frequency from the resonant one is. But increasing the frequency allows to smoothly adjust the output load current. The control law of the output RMS current by changing the switching frequency of the inverter power switches (16), (18), allows for smooth regulation of the output current to ensure its optimal value. During the construction of the control system that provides the given current value, it is necessary to consider the deviation of the output current from its stabilized value. For example, in the process of the capacitors charging using such a power supply, the equivalent load resistance increases and may exceed $k=1$ [13]. In this case, the current deviation must be considered. The expected deviation of the current value during the use of the inverter with the resonant circuit input rectangular voltage can be calculated using the equation for the sinusoidal voltage with the frequency of the first harmonic (16) not for the rectangular one. For electro-discharge nanocarbon synthesis [15], which is characterized by values of $k \leq 0.2$, the current deviation does not exceed 2% with an increase in the frequency by more than 30%, this deviation can be completely ignored and one may use the simple equation (15) to calculate the current for the inverter rectangular voltage.

IV. CONCLUSION

Quantitative characteristics of the deviation of the resonant power supply output current the set stabilized value at frequency control of the inverter switches which allow to receive the stabilized RMS value of the output current, are determined. The output power supply current depends on the switching frequency of the inverter switches inversely, so one can control the output current by increasing the inverter switching frequency. The deviation of the output current from the expected stabilized value depends on the reduced dimensionless load resistance, and the deviation of the inverter switching frequency from the resonant one. For the technical applications in which $k \leq 0,2$, the current deviation does not exceed 2% when the frequency increases by more than 30%. This deviation can be completely ignored and allows to calculate the current value using the equation (15) for the inverter rectangular voltage. In the other cases, the output current and its deviation can be calculated using the equation for the first harmonic, because the result of the calculation with an accuracy of 1% coincides with the result for the sum of the number of harmonics, but requires less resource of the computing system. The results of the calculations

are well coordinated with the experimentally obtained results.

REFERENCES

- [1] Milyah A. N., “DC Systems Based on Inductive-Capacitive Converters,” Kyiv : Naukova Dumka, 1974 (in Rus.).
- [2] Goryashin N. N., “Analysis of the efficiency of using resonant modes in pulsed high-frequency voltage converters,” in SibGAU Bulletin, 2009, vol. 1–2, pp. 32–37 (in Rus.).
- [3] Eranosyan S. and Lantsov V., “Quasi-resonant power supplies: problems, a new look,” in Power Electronics, 2007, vol. 3, pp. 78–84 (in Rus.).
- [4] Pressman A., Billings K. and Morey T., “Switching Power Supply Design,” New York : McGraw-Hill, 2009, 841 p.
- [5] Pavlov G. V., Vinnichenko I. L. and Obrubov A. V., “Frequency converter with the reduced thd of the output voltage,” in Technical Electroynamics, 2016, vol. 5, pp. 14–16, doi: <https://doi.org/10.15407/techned2016.05.014>
- [6] Kuskova N. I., Dubovenko K. V., Petrichenko S. V., Tsolin P. L. and Chaban S. O. “Electrodischarge technology and equipment to produce new carbon nanomaterials,” Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2013. Vol. 49, no. 3, pp. 35–42.
- [7] Shcherba A. A., Suprunovska N. I., Ivaschenko D. S. and Beletsky O. A. “Processes of energy exchange between nonlinear and linear links of electric equivalent circuit of supercapacitors,” in Tekhnichna elektrodynamika, 2015, no. 5, pp. 3–11.
- [8] Shcherba A. A., Suprunovska N. I. and Ivaschenko D. S. “Modeling of nonlinear resistance of electro-spark load taking into account its changes during discharge current flowing in the load and et zero current in it,” Tekhnichna elektrodynamika, 2014, no. 5, pp. 23–25.
- [9] Malyushevskaya A. P., Zubenko A. A., Yushchishina A. N., Kuskova N. I. and Korzinova A. N. “Production of metal-carbon composite nanomaterials by the electrodischarge metodalso known,” in Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2013, vol. 49, no. 4, pp. 278–282.
- [10] Ovchinnikova, L. E. and Kozyrev, S. S. “Efficiency enhancement for discharge-pulse processing by adaptive control based on fuzzy models,” in Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2012, vol. 48, no. 4, pp. 332–338.
- [11] Kozyrev, S. S. “Control System of Discharge-Pulse Installation with Elements of Artificial Intelligence,” in Proc. IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2019, pp. 513–517.
- [12] Boguslavskii L., Nazarova N., Vinnichenko D., Rud A. and Urubkov I., “Electrodischarge method for synthesizing nanocarbon from gaseous raw hydrocarbons,” in Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2011, vol. 47, no. 4, pp. 352–358.
- [13] Dubovenko K. “Modeling of charging circuits of capacitive energy storage with an increased frequency link,” in Electrical Engineering and Electromechanics, 2006, no. 3, pp. 58–63.
- [14] Shcherba A., N. Suprunovska, M. Shcherba and S. Roziskulov, “Regulation of output dynamic characteristics of electric discharge installations with accumulative capacitors,” in Technical Electroynamics, 2021, no. 3, pp. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.03.003>.
- [15] Vinnychenko D. and Nzarova N., “Electrical system with frequency-parametric regulation of stabilized discharge current in carbon-containing gases,” in Technical Electroynamics, 2019, no. 1, pp. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.01.025>.

Exergy analysis of a reversible chiller

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.33>

Voloshchuk Volodymyr

Department of automation of thermal processes
National Technical University of Ukraine “Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine

Vl.Volodya@gmail.com

Nekrashevych Olena

Department of automation of thermal processes
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine

olena.nekrashevych@gmail.com

Gikalo Pavlo.

Department of automation of thermal processes
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine

p.gikalo@gmail.com

Abstract — The work presents the results of exergetic analysis of a reversible chiller providing both cooling and space heating in varying operational modes. The year values of avoidable parts of exergy destruction occurring in each system component are used for the analysis. The outcomes obtained showed that the both inside and outside heat exchangers have the highest priority for improvement revealing more than 718 kW-hr avoidable year exergy destruction within the system.

Keywords — reversible chiller; avoidable exergy destruction; irreversibilities.

I. INTRODUCTION

Today, a large offer of reversible units is proposed, with investment costs comparable to the nonreversible units. The air-cooled chiller is the most present technology on the European air-conditioning market, representing 85% of chillers sold in the commercial sector. The chiller can be reversed by means of a refrigerant change-over, which inverses the flow passage into the two exchangers: – in cooling mode, the air exchanger (outside heat exchanger) works as condenser, rejecting heat to outdoor air, while the water-exchanger (inside heat exchanger) works as evaporator, transferring cooling power to the distribution system; - in heating mode, the air exchanger works as evaporator, extracting heat from outdoor air, while the water exchanger works as condenser, transferring heating power to the distribution system. Reversible air-cooled units are installed in most of the case in combination with a backup boiler [1–3]. Typically, the air-cooled chillers have a limiting outdoor temperature (generally around -10°C), below which they cannot be operated. In addition, at very low outdoor temperature, the chiller COP degrades dramatically, and using the boiler could become preferable. The scope of the paper is to demonstrate the application of exergetic analysis for finding annual exergy destruction within an air-cooled reversible chiller providing both cooling and space heating in varying operational modes, which is typical for built environment and caused by fluctuating in outdoor conditions.

II. METHODOLOGY

Taking into account that the investigators need to focus only on the reduction in avoidable parts of exergy destruction occurring in each system component, this

work is based uniquely on these irreversibilities and proposes application of a new calculation method to compute them [4]. According to the novel method the avoidable exergy destruction rate ($\dot{E}_{D,k}^{AV,INT}$), being internally caused, can be computed as the difference between the total exergy destruction of the investigated component ($\dot{E}_{D,k}$), i.e. calculated under real operation conditions, and its exergy destruction ($\dot{E}_{D,k}^{MIN,k}$) evaluated under conditions at which its irreversibilities are reduced by improving its efficiency taking into account that the remaining components are operating under real conditions

$$\dot{E}_{D,k}^{AV,INT} = \dot{E}_{D,k} - \dot{E}_{D,k}^{MIN,k}. \quad (1)$$

The avoidable exergy destruction within the k-th component, being caused by the avoidable irreversibilities occurring within the r-th component (i.e. externally caused) ($\dot{E}_{D,k}^{AV,EXT,r}$), can be computed by subtracting the exergy destruction rate ($\dot{E}_{D,k}^{MIN,r}$) within the k-th component under conditions at which the r-th component is working with reduced irreversibilities and the remaining components are operated with their real conditions from the exergy destruction rate ($\dot{E}_{D,k}$) taking place within the k-th component under its real operation

$$\dot{E}_{D,k}^{AV,EXT,r} = \dot{E}_{D,k} - \dot{E}_{D,k}^{MIN,r}. \quad (2)$$

The importance of the components from the thermodynamic viewpoint and priorities for improving the k-th components are identified on the base of the sum of the internally caused avoidable exergy destruction ($\dot{E}_{D,k}^{AV,INT}$) and the externally caused avoidable exergy destruction within the remaining components ($\dot{E}_{D,r}^{AV,EXT,k}$)

$$\dot{E}_{D,k}^{AV,\Sigma,INT,EXT} = \dot{E}_{D,k}^{AV,INT} + \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq k}}^{n-1} \dot{E}_{D,r}^{AV,EXT,k}. \quad (3)$$

For exergetic assesment of the reversible air-to-water unit it is proposed to consider annual values of parameters.

The reversible unit is connected to a two-pipe water distribution system, in parallel with the backup boiler. In this case no simultaneous heating and cooling loads are expected. The switch between operating modes is

regulated by a central change-over located in the outdoor unit.

The system is cooling-driven. That means that the priority is given to cold generation. The boiler is used when the heating demand is too large to be covered by the chiller or when the reversible chiller cannot operate or has too bad performance due to low outdoor temperature. The system is designed for the following cooling design conditions: cooling capacity 10.5 kW; the water is cooled in evaporator (inside heat exchanger) from 12 to 7° C and the outside air is heated in condenser (outside heat exchanger) from 30 to 35° C; the pinch point temperature differences in the inside unit and in the outside unit was 5 K and 12 K, respectively; the calculated value of the real isentropic efficiency of the compressor was equal to 0.86. For evaluating the internally and externally caused avoidable exergy destruction the following parameter values were assumed: the pinch point temperature differences in the condenser (outside unit) and the evaporator (inside unit) were equal to 3 K and 1 K, respectively, whereas the unavoidable compressor efficiency was equal to 0.96.

A set of non-linear algebraic equations involving the heat and mass balances as well as the heat transfer equations were utilized. CoolProp was employed for providing the thermo-physical properties of the working fluids, while the simulation model of the heat pump was implemented in MathCad math environment. R134a was selected as the refrigerant. The ambient (outdoor air) temperature was chosen as the reference state for the exergy analysis.

Daily weather data of a typical meteorological year for the city of Kyiv located in the central part of Ukraine were used for the analyses. So, 24-hour time step τ_k was assumed for quasi-steady state modelling.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The year values of the internally caused and the externally caused avoidable exergy destruction $E_{D,k}^{AV,\Sigma,INT,EXT,year}$ in the components of the investigated reversible chiller are presented in Fig. 1. It could be observed that 594 kW-hr of avoidable exergy destruction in the compressor can be reduced by improving this component. Another part of avoidable exergy destruction in the compressor was caused by the irreversibilities that occur in the remaining components: outside unit (146 kW-hr) and inside unit (152 kW-hr). Also, 397 kW-hr of avoidable exergy destruction within the inside unit can be reduced by decreasing the irreversibilities within the inside unit. Another part of avoidable exergy destruction within the inside unit (47 kW-hr) could be avoided by improving the remaining components: compressor and outside unit. The outside unit was found to be responsible for 162 kW-hr of avoidable exergy destruction within the throttling valve. In addition, 222 kW-hr of avoidable exergy destruction within the throttling valve were caused by irreversibilities within the inside unit. Furthermore, -52 kW-hr of avoidable exergy destruction within the throttling valve depended on irreversibilities taking place in the compressor. According to the results presented in Fig. 1 the largest share of avoidable exergy destruction in the outside unit was internally caused (405 kW-hr). -31 kW-hr and -36 kW-hr of avoidable

exergy destruction within the outside unit could be reduced by improving the inside unit and the compressor, respectively.

The proposed approach for evaluation of avoidable exergy destruction (see the pie chart in Fig. 1) identified priorities for improving the overall system. The outcomes obtained showed that the inside unit has the highest priority for improvement – it revealed 739 kW-hr avoidable exergy destruction within the system. Also, the outside unit was the second component on which it was needed to focus, as it offers the potential to reduce 718 kW-hr of year exergy destruction. Thirdly, the compressor enhancement was found to lead to a potential decrease of 540 kW-hr of year exergy destruction.

It should be noted that in case of design and operation of a separate air-source heat pump for heating with similar parameters the biggest share of avoidable exergy destruction (about 65%) can be removed by improving outside block (evaporator). The inside block (condenser) accounts only about 20% of avoidable exergy destruction within such heat pump [5].

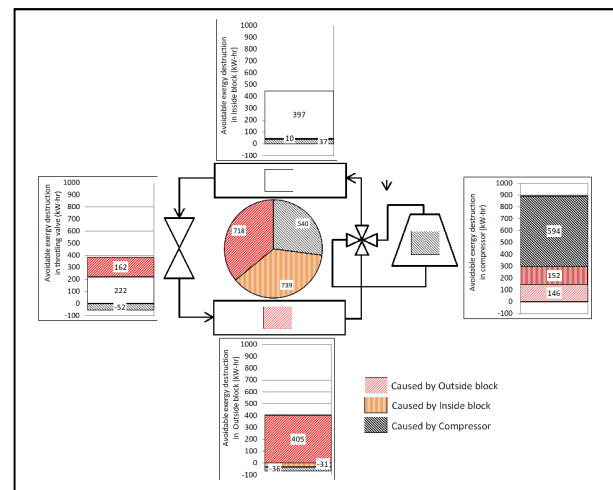


Figure 1. Year values of the internally caused and the externally caused avoidable exergy destruction $E_{D,k}^{AV,\Sigma,INT,EXT,year}$ in the components of the investigated reversible chiller

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Ministry of Education and Science of Ukraine, project number 0120U102168.

REFERENCES

- [1] Stabat P., Marchio D., Opportunities for reversible chillers in office buildings in Europe. BUILD SIMUL (2009) 2: 95–108.
- [2] Byrne P., Miriel J., Lenat Y., Design and simulation of a heat pump for simultaneous heating and cooling using HFC or CO2 as a working fluid. International journal of refrigeration 32 (2009), 1711–1723.
- [3] Byrne P., Miriel J., Lenat Y., Exergy analysis of heat pumps for simultaneous heating and cooling. Applied Thermal Engineering 49 (2018), 414–424.
- [4] Voloshchuk V. A. A new approach for estimation of avoidable exergy destruction: A case study of a heat pump unit [Text] / V. Voloshchuk, P. Gullo, Eu. Nikiforovich. Proceedings of the 34nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems ECOS2021, 27 June–2 July, Taormina, Italy. P. 1369–1377.
- [5] Voloshchuk V., Gullo P., Sereda V., Advanced exergy-based performance enhancement of heat pump space heating system. Energy 2020; 205: 117953.

Інформаційно-керуючі системи та технології оцінки ступеня підготовленості підприємств до інноваційної діяльності за допомогою ланцюгів Маркова

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.29>

Oleksandr Sharko

Kherson State Maritime Academy
Kherson, Ukraine
mvsharko@gmail.com

Marharyta Sharko

State Higher Educational Institution “Pryazovskyi
State Technical University”
Kherson, Ukraine
mvsharko@gmail.com

Natalia Petrushenko

Kherson National Technical University
Kherson, Ukraine
natalia.velikaya@gmail.com

Natalia Vasylenko

Kherson State Agrarian and Economic University
Kherson, Ukraine
neve80@ukr.net

Mikhailo Mosin

Ukrainian Armor LLC
Kyiv, Ukraine
mosin-ussz@ukr.net

Alexey Belousov

Institution of Higher Education “International
University of Business and Law”
Kherson, Ukraine
allanmih@gmail.com

I. ВСТУП

Анотація — Метою роботи є розробка інформаційних систем і технологій визначення ступеня готовності підприємств до інноваційної діяльності на основі організації і регулювання інноваційних процесів в розвинутому виробництві за допомогою ланцюгів Маркова. Наведені результати вивчення процесів оцінки ступеня готовності підприємств до інноваційної діяльності, що функціонують в умовах невизначеності економічних зв'язків і відносин. Розроблено концептуальну модель системи управління інноваційною діяльністю, спрямовану на вдосконалення механізмів діагностики та прийняття рішень на основі використання інструментальних засобів ланцюгів Маркова. Для її практичної реалізації створена імітаційна модель оцінки ступеня готовності підприємств до інноваційної діяльності у вигляді орієнтованого графа, в якому вершини представляють собою стани процесу, а ребра – переходи між ними. Відмітна особливість моделі полягає в тому, що в якості аргументу, від якого залежить процес оцінки ступеня готовності підприємств до інноваційної діяльності розглядається не час, а послідовність станів і номер кроку з ієрархією інтервалів дискретизації. Гнучкість такої моделі забезпечується адаптивністю до впливів зовнішнього середовища з можливістю її налаштування на кожну інформаційну ситуацію).

Ключові слова – інноваційна діяльність; ланцюги Маркова; підприємства; інформаційно-керуючі системи.

Одним з напрямків успішного функціонування підприємств в умовах динамічних змін зовнішнього середовища є їх готовність до інновацій. Здатність підприємств до здійснення інноваційної діяльності проявляється в можливості отримувати певні зміни в механізмі функціонування підприємства для досягнення кінцевого результату – випуску конкурентоспроможної продукції. Інноваційна діяльність підприємств є синтетичним властивістю, яке акумулює різномірні чинники екзогенної і ендогенної природи. Управління інноваційною діяльністю в умовах невизначеності впливу зовнішнього середовища в своїй основі базується на створенні системно пов'язаних методик дослідження поточного і прогнозованого стану виробництва за рахунок синтезування інформації, отриманої як за допомогою синергетичного підходу, так і математичних, в тому числі і імовірнісних методів.

В даний час інноваційна діяльність здійснюється не тільки в умовах ризику, а й в умовах невизначеності, яка характеризується глобалізацією економічних процесів, ускладненням взаємодій між ринковими суб'єктами і впливом зовнішнього середовища. Вибір домінування альтернатив управління інноваційною діяльністю і оцінка ступеня готовності підприємств до її реалізації стають прерогативою інтуїції.

Процес оцінки ступеня готовності підприємств до інноваційної діяльності несе в собі елементи

випадковості пов'язаної з тим, що навіть поточний стан виробництва в початковий момент часу визначається через вихідне розподіл ймовірностей.

Вибір першого кроку до зміни поточної ситуації пов'язаний з кількісною оцінкою і коригуванням одного з факторів виробничої діяльності, що призводить до зміщення точки відліку процесу встановлення ступеня готовності підприємства до інноваційних трансформацій. Після виконання операцій, пов'язаних з коригуванням подальшого фактора, точка відліку знову зміститися в бік скорочення процесу впровадження інноваційної діяльності тощо. Таким чином процес зміни положення точки відліку носить випадковий характер, що характеризується вільним вибором фактора з дискретними тимчасовими характеристиками тривалості першого і наступного кроків і рахунковою множиною станів. Такий процес буде Марківським, тому що наступні стани точки відліку процесу інноваційних перетворень не залежать від минулих станів.

Проблема кількісної оцінки спроможності підприємств до здійснення конкретних видів інноваційної діяльності та ступеня готовності підприємств до інноваційних перетворень завжди є актуальною.

II. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

В [1] модель Марківського випадкового процесу застосована для дослідження економічної ефективності роботи фірми. Оцінена точність визначення параметрів розвитку економічних систем. В [2] теорія ланцюгів Маркова використовується для визначення векторів станів попиту і пропозиції. Матриця інтенсивності визначається шляхом перетворення логарифмічної функції відповідних матриць переходу в поліноми. Розглянуті також питання моделювання економічної стійкості підприємств за допомогою ланцюгів Маркова, де під економічною стійкістю розуміють властивості підприємств за певний час досягати мети функціонування та розвитку. Розглянуті основні принципи гомогенної мережі Маркова з фіксованою кількістю станів і розривних періодом.

Дискретно-часові ланцюга Маркова використані в [3] для моделювання впливу пандемії COVID-19 на п'яти основних секторах економіки Кенії, які вносять значний вклад в зростання ВВП. Результати моделювання дають можливість глобальним інвесторам зрозуміти різні аспекти планування економічних стимулів, щоб зменшити вплив економічної рецесії.

Як впливає з наведеного огляду практичні застосування ланцюгів Маркова численні і різноманітні. Окремі фрагменти представленого досвіду використані при розробці методології справжніх досліджень.

III. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Головна ідея ланцюга Маркова полягає в тому, що існує тільки одне поточний стан і отже один перехід в одне подальший стан. Основна властивість

Марківських процесів полягає в тому, що в будь-який момент часу умовний розподіл майбутніх станів із заданими поточним і минулими станами залежить тільки від поточного стану, але не від минулих станів. Таким чином ланцюг Маркова, це послідовність випадкових подій з кінцевим числом переходів, що реалізується на практиці з дискретним часом і дискретним простором станів.

Початкове розподіл ймовірностей:

$$P(x_0=S)=q_0(S) \quad \forall S \in E \quad (1)$$

де \forall – квантор загальності,

S – дискретні стану,

q_0 – розподіл ймовірностей в момент часу $t = 0$.

Множина E являє собою кінцеве число можливих станів.

$$E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}. \quad (2)$$

Область значень випадкової величини $\{x_n\}$ є простором станів, а величина n – номером кроку. Ймовірності переходу з одного стану в інший представляється у вигляді квадратних матриць.

$$P_{ij}(n)=P(x_{n+1}=j|x_n=i) \quad (3)$$

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} s_1 & s_2 & \dots & s_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} s_1 \\ s_2 \\ \cdot \\ s_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (4)$$

Елементи, p_{ij} позначають ймовірність переходу зі стану s_i в наступне.

Матриця перехідних ймовірностей висловлює ймовірність того, що стан в момент часу $n + 1$ є наступним для інших станів.

$P(x_{n+1}=S_{n+1}|x_n=S_n)=P(S_n, S_{n+1}) \quad \forall (S_n, S_{n+1}) \in E * E$ (5)
Ланцюг Маркова буде однорідним, якщо матриця перехідних ймовірностей не буде залежати від номера кроку, тобто:

$$P_{ij}(n)=P_{ij}. \quad (6)$$

Для переходу з початкового стану в наступний необхідно визначити ймовірність цього переходу за n кроків.

Відповідно до рівняння Колмогорова-Чепмена матриця перехідних ймовірностей за n кроків в однорідного ланцюга Маркова є n -ю ступінь матриці перехідних ймовірностей за один крок.

$$P(x_n=S_n|x_0=S_0)=P^n. \quad (7)$$

Марківський ланцюг в будь-який момент часу можна характеризувати векторах рядком C_i матриці перехідних ймовірностей P .

Якщо помножити вектор рядок, що описує розподіл ймовірностей на певному етапі впровадження інновацій, на матрицю перехідних ймовірностей отримаємо розподіл ймовірностей на наступному етапі впровадження.

IV. МЕТОДОЛОГІЯ

Відповідно до визначення ступеня готовності підприємств до інноваційної діяльності в умовах

невизначеності впливу зовнішнього середовища [4–6], яка характеризується елементами випадковості, призначення ланцюгів Маркова полягає в пошуку такого поєднання характеристик і параметрів інноваційної діяльності, яке б дозволяло забезпечити вдосконалення механізмів діагностики та прийняття рішень в візуалізованій формі на різних рівнях впровадження інновацій.

Готовність підприємств до інноваційної діяльності може бути представлена як внутрішня здатність виробництва до можливих трансформацій [7–8].

Якщо перехід системи з одного стану в інший відбувається в задалегідь фіксовані моменти часу при накопиченні відповідного обсягу інвестиційних ресурсів то маємо серійний Марківський процес дискретним часом. Якщо перехід можливий в будь-який випадковий момент часу маємо Марківський процес з безперервним часом.

V. РЕЗУЛЬТАТИ

При прийнятті рішень, що кардинально відрізняються або по впровадженні інновацій безпомилковою буде лише оцінка поточної ситуації виробничої діяльності. На результати впровадження інновацій впливає безліч факторів. Так ймовірність отримання переваги може бути 0,25 в той час як ймовірність ризику – 0,75. Ключові поняття ланцюга Маркова при впровадженні інновацій показані на рис. 1.

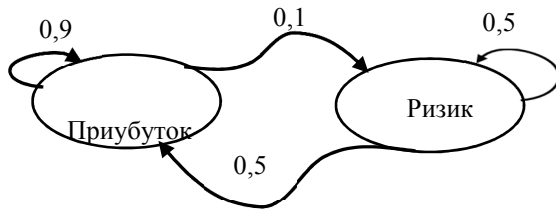


Рисунок 1. Ключові поняття ланцюга Маркова при впровадженні інновацій

У наведеній схемі ланцюг Маркова являє набір переходів, зі своїм розподілом ймовірностей, які відповідають Марківському процесу.

VI. ВИСНОВКИ

1. Для кількісної оцінки ступеня готовності підприємств до інноваційної діяльності необхідно використання оптимізаційних та імовірнісних методів, за допомогою ланцюгів Маркова. Ланцюги Маркова є потужним інструментом імовірнісного стохастичного моделювання аналітичних даних в кінцевому просторі станів і ефективним апаратом оцінки готовності підприємств до інноваційної діяльності, що дозволяє побачити різні варіанти рішень в візуалізованій формі.

2. Новизною технологій використання ланцюгів Маркова для оцінки ступеня готовності підприємств до інноваційної діяльності є ієрархія інтервалів дискретизації і заміна часу процесу на послідовність станів впровадження інноваційної діяльності, що дозволяє об'єднати результати прогнозування на

різних рівнях впровадження інновацій з однією спільною оцінкою ступеня готовності підприємств до інноваційної діяльності впровадження інновацій.

3. Використання ланцюгів Маркова допомагає розробляти маркетингові стратегії при впровадженні інновацій.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Sherstennikov Y. V., Application of the Markov process model to the study of the economic efficiency of the firm. Economic Herald of Donbass 2007. № 2. pp. 92–95.
- [2] Kuznichenko V. M., Lapshin V. I., Generalized Scarcity Exchange Model for Continuous Processes with External Control. Economics and Management 2017. № 5. pp. 5–12.
- [3] Ludwig, R., Pouymayou, B., Balermipas, P. et al. A hidden Markov model for lymphatic tumor progression in the head and neck. Sci Rep 11, 12261 (2021). URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91544-1>.
- [4] Sharko, M. V. & Sharko, A. V. Innovative aspects of management of development of enterprises of regional tourism. Actual problems of economy, (2016). 7(181), pp. 206–213. URL: <https://eco-science.net/downloads/>.
- [5] Sharko, M. V. & Doneva, N. M., Methodological approaches to transforming assessments of the tourist attractiveness of regions into strategic managerial decisions. Actual problems of economy, (2014). 8 (158), pp. 224–229. URL: <https://eco-science.net/downloads/>.
- [6] Sharko M., Shpak N., Gonchar O., Vorobyova K., Lepokhina O., Burenko J. (2020), Methodological Basis of Causal Forecasting of the Economic Systems Development Processes Under the Uncertainty [Advances in Intelligent Systems and Computing](#), pp. 423–437. doi:10.1007/978-3-030-54215-3.
- [7] Zhao Y. et al. Spatio-temporal Markov chain model for very-short-term wind power forecasting. The Journal of Engineering.

Модифікація моделі інфекційного захворювання для урахування дифузійних збурень в умовах логістичної динаміки

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.34>

Барановський Сергій

Кафедра комп'ютерних технологій та економічної кібернетики
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
svbaranovsky@gmail.com

Бомба Андрій

Кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
abomba@ukr.net

Прищеп Оксана

Кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
o.v.pryshchepa@nuwm.edu.ua

Анотація — математичну модель інфекційного захворювання модифіковано для урахування впливу дифузійних збурень та різного типу зосереджених впливів на динаміку інфекційного захворювання в умовах логістичного зростання популяції антигенів. Відповідна модельна сингулярно збурена задача із запізненням зводиться до послідовності задач без запізнення, розв'язки яких можна отримати у вигляді асимптотичних рядів як збурення розв'язків відповідних вироджених задач.

Ключові слова — модель інфекційного захворювання; динамічні системи; асимптотичні методи; сингулярно збурені задачі.

I. ВСТУП

Для дослідження процесів імунного захисту організму від хвороботворних мікроорганізмів широко використовуються математичні моделі, в основу яких покладено відому клонально-селекційну теорію Ф.Бернета взаємодії імунної системи з антигенами [1, 2]. Зокрема, у найпростішій (базовій) моделі Марчука Г.І. розвиток інфекційного захворювання визначається чотирма диференціальними рівняннями із запізненням, які описують зміну з часом концентрацій антигенів, плазматичних клітин, антитіл та міри ураження органу-мішені.

Як в базовій моделі, так і в більш деталізованих моделях Марчука-Петрова противірусної і проти-бактеріальної імунної відповіді [1, 2], не обумовлювався вплив на розвиток захворювання, зокрема, ефектів просторово-дифузійних перерозподілів діючих факторів спричинених їх нерівномірним розподілом. В роботах [3–4] представлено підхід для урахування малих просторово розподілених дифузійних перерозподілів на динаміку інфекційного захворювання, а в [5–7] відповідну модель

модифіковано для урахуванням дифузійних збурень та різного роду зосереджених впливів в умовах фармако- та імунотерапії.

Динаміка інфекційного захворювання у найпростішій моделі визначається популяцією антигенів, яка за рахунок розмноження може зростати необмежено. Єдиним передбаченим у моделі механізмом, що забезпечує стримування необмежене зростання кількості антигенів є їх нейтралізація в результаті взаємодії з антитілами. Природно вважати, що зростання популяції антигенів не може бути необмеженим, оскільки за будь-яких умов наявні в організмі ресурси для розмноження вірусних антигенів є обмеженими. Нижче пропонується модифікація базової моделі інфекційного захворювання для урахування дифузійних збурень в умовах обмеженого зростання популяції антигенів.

II. МОДИФІКАЦІЯ МОДЕЛІ ІНФЕКЦІЙНОГО ЗАХВОРЮВАННЯ ДЛЯ УРАХУВАННЯ ДИФУЗІЙНИХ ЗБУРЕНЬ ТА ЗОСЕРЕДЖЕНИХ ВПЛИВІВ В УМОВАХ ЛОГІСТИЧНОГО ЗРОСТАННЯ ПОПУЛЯЦІЇ АНТИГЕНІВ

Для забезпечення умов обмеженого зростання популяції антигенів замінимо у моделі інфекційного захворювання доданок, що описує зростання антигенів за рахунок розмноження відповідною логістичною залежністю і опишемо просторово-часову динаміку процесу з урахуванням дифузійних збурень та зосереджених впливів в області $G_Z = \{(x, t) : -\infty < x < +\infty, 0 < t < +\infty\}$ такою сингулярно-збуреною системою нелінійних диференціальних рівнянь (із запізненням τ):

$$\begin{aligned}
 V_t' &= \omega_V + \beta V \left(1 - \frac{V}{V^*} \right) - \gamma FV + \varepsilon D_V V_{xx}'' , \\
 C_t' &= \xi(m) \alpha F(t - \tau) \cdot V(t - \tau) - \mu_C (C - C^*) + \\
 &\quad + \varepsilon^2 D_C C_{xx}'' , \\
 F_t' &= \omega_F + \rho C - (\mu_f + \eta \gamma V) \cdot F + \varepsilon D_F F_{xx}'' , \\
 m_t' &= \sigma \cdot V - \mu_m m + \varepsilon^2 D_m m_{xx}'' ,
 \end{aligned} \tag{1}$$

за умов

$$\begin{aligned}
 C(x, 0) &= C^0(x), \quad m(x, 0) = m^0(x), \\
 V(x, \tilde{t}) &= V^0(x, \tilde{t}), \quad F(x, \tilde{t}) = F^0(x, \tilde{t}), \quad -\tau \leq \tilde{t} \leq 0,
 \end{aligned} \tag{2}$$

де $V(x, t)$, $C(x, t)$, $F(x, t)$, $m(x, t)$ – відповідно концентрації антигенів, плазматичних клітин, антитіл та значення відносної характеристики ураження органу мішені в точці x в момент часу t , β – темп розмноження антигенів; V^* – максимальне значення концентрації антигенів; γ – коефіцієнт, що враховують результат взаємодії антигенів з антитілами; μ_C – величина, обернена тривалості життя плазматичних клітин; α – коефіцієнт стимулювання імунної системи; C^* – рівень концентрації плазматичних клітин у здоровому організмі; ρ – швидкість виробництва власних антитіл однією плазматичною клітиною; μ_f – величина, обернена тривалості існування антитіл; η – витрати антитіл на нейтралізацію одного антигену; σ – темп ураження клітин органу-мішені; μ_m – швидкість відновлення органу-мішені; εD_V , εD_F , $\varepsilon^2 D_C$, $\varepsilon^2 D_m$ – коефіцієнти просторово дифузійного перерозподілу відповідно антигенів, антитіл, плазматичних та уражених клітин, ε – малий параметр, який характеризує малий вплив відповідних компонент у порівнянні з іншими (домінуючими) складовими процесу; $C^0(x)$, $m^0(x)$, $V^0(x, \tilde{t})$, $F^0(x, \tilde{t})$ – обмежені достатньо гладкі функції. Функція $\xi(m)$ забезпечує урахування зниження ефективності функціонування імунологічного органу при його ураженні. Якщо m^* – максимальне значення міри ураження органу-мішені, при якому ще можливе нормальна робота імунної системи, то на відрізку $0 \leq m \leq m^*$ значення $\xi(m)$ дорівнює одиниці, а при $m^* \leq m < 1$ продуктивність виробництва антитіл імунологічним органом знижується. Функції джерела $\omega_V(x, t)$, $\omega_F(x, t)$ описують, зокрема, зосереджені зміни концентрацій антигенів та антитіл [7]. Представимо їх у вигляді точково-імпульсних функцій джерела. Зокрема:

$$\omega_F(x, t) = \sum_{s=1}^{n_f} A_{F_s} e^{-\alpha_{F_s}(x-x_{F_s})^2} e^{-\beta_{F_s}(t-t_{F_s})^2}. \tag{3}$$

Використовуючи метод кроків [8], вихідну задачу (1)–(2) із запізненням зводимо спочатку до послідовності задач без запізнення [3–7]. А для знаходження розв'язків отриманих в результаті (сингулярно збурених) задач скористаємось асимптотичним методом [3–7; 9]. Причому перехід від «незбурених» задач до «збурених» здійснимо так, щоб базові форми закономірностей, які описують

процес інфекційного захворювання, залишилися початково прийнятними, і, не починаючи «спочатку», отримані базові «незбурені» розв'язки доповнювати різними поправками.

III. ВИСНОВКИ

На основі модифікації математичної моделі інфекційного захворювання представлено підхід для урахування впливу дифузійних збурень та зосереджених впливів на динаміку інфекційного захворювання в природних умовах логістичної обмеженості зростання популяції антигенів. Відповідна модельна сингулярно збурена задача із запізненням зводиться до послідовності задач без запізнення, розв'язки яких можна ефективно отримати у вигляді асимптотичних рядів як збурення розв'язків відповідних вироджених задач.

Перспективним є розвиток пропонованого підходу для урахування просторово розподілених дифузійних «перерозподілів», імунотерапії (фармакотерапії), зосереджених впливів в умовах обмеженості зростання популяції антигенів та інших діючих факторів імунного захисту при дослідженні процесів захворювань на основі більш загальних моделей, зокрема, моделей Марчука-Петрова проти-вірусної і протибактеріальної імунної відповіді [1].

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Марчук Г.И. Математические модели в иммунологии. Вычислительные методы и эксперименты. М. : Наука, 1991. 304 с.
- [2] Бернет Ф. М. Клеточная иммунология / пер. с англ. Ф. М. Бернет. М. : Мир, 1971. 542 с.
- [3] Bomba A. Y., Baranovsky S. V., Pasichnyk M. S., Pryshchepa O. V. Modeling small-scale spatially distributed influences on the development of infectious diseases. *Mathematical Modeling and Computing*. 2020. 7(2). P. 310–321.
- [4] Барановський С. В., Бомба А. Я. Узагальнення математичної моделі протівірусної імунної відповіді Марчука-Петрова з урахуванням впливу малих просторово розподілених дифузійних збурень. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Сер. Технічні науки*. Кам'янець-Подільський : КПНУ, 2020. Вип. 21. С. 5–24.
- [5] Bomba A., Baranovskii S., Pasichnyk M., Malash K. Modeling of Infectious Disease Dynamics under the Conditions of Spatial Perturbations and Taking into account Impulse Effects. *Informatics & Data-Driven Medicine (IDDM 2020): Proceedings of the 3rd International Conference (Växjö, Sweden, November 19–21, 2020)*. Växjö, Sweden, 2020. P. 119–128.
- [6] Бомба А. Я., Барановський С. В. Моделювання малих просторово розподілених впливів на динаміку інфекційного захворювання в умовах типу фармакотерапії. *Журнал обчислювальної та прикладної математики*. 2020. № 1 (133). С. 5–17.
- [7] Bomba A. Ya., Baranovskii S. V., Pryshchepa O. V. Modeling influence of small-scale diffusion perturbations on the development of infectious diseases under immunotherapy. *Modeling, Control and Information Technologies : proceedings of the International scientific and practical conference. (5–7 November 2020, Rivne, Ukraine)*. Rivne : National University of Water and Environmental Engineering, 2020. P. 15–18.
- [8] Эльсгольц Л. Э., Норкин С. Б. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. М. : Наука, 1971. 296 с.
- [9] Бомба А. Я., Барановський С. В., Присяжнюк І. М. Нелінійні сингулярно збурені задачі типу «конвекція-дифузія». Рівне : НУВГП, 2008. 254 с.

Ідентифікація параметрів структури ґрунтових криволінійних масивів числовими методами квазіконформних відображень

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.35>

Андрій Ярославович Бомба
Кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
a.ya.bomba@nuwm.edu.ua

Михайло Володимирович Бойчура
Науково-дослідна частина
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
m.v.boichura@nuwm.edu.ua

Ольга Романівна Мічута
Кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
o.r.michuta@nuwm.edu.ua

Анотація — Методику реконструкції зображень із застосуванням, зокрема, числових методів комплексного аналізу адаптовано на випадки ідентифікації параметрів структури ґрунтових криволінійних масивів. Основна ідея розробленого підходу полягає у розв'язанні відповідної модельної задачі числовими методами квазіконформних відображень для порівняно нескладної області і конформному відображенні результатів на складній конструкції досліджуване фізичне середовище. Суттєвою перевагою (у порівнянні з існуючими) такого підходу є можливість реконструкції зображення без накладання гіпотези щодо довільності форм ліній рівних потенціалів на великих відстанях від електродів. Більше того, забезпечується врахування розподілу густини струму на останніх (зокрема, «відкидається» традиційне припущення щодо «точковості» ділянок прикладання потенціалів)

Ключові слова — електрична томографія; квазіконформні відображення; ідентифікація; обернені задачі; числові методи.

I. ВСТУП

У галузі електричної томографії при реконструкції зображення фрагментів ґрунтових масивів, як правило, застосовують спрощення, згідно якого відповідна область вважається скінченною [1]. Досліджуване середовище, при цьому, обмежується лінією горизонту та деякою глибинною лінією, побудованою наближено, виходячи з пропущення щодо відсутності руху зарядів на віддалених ділянках. Ще одним поширеним спрощенням є припущення щодо «точковості» ділянок контакту електродів з поверхнею ґрунтового масиву. Все це, очевидно, негативно впливає на точність розв'язків.

Нами ж розроблено підхід, який дозволяє уникати наведених спрощень. Для цього, в першу чергу, реконструкцію зображення фрагменту

ґрунтового криволінійного масиву запропоновано здійснювати не у досліджуваному фізичному середовищі (рис. 1, а), а у значно простішій за конструкцією області (рис. 1, б), отриманій шляхом конформного відображення:

$$z = \frac{\tilde{z} + i\kappa}{\tilde{z} - i\kappa} \quad (z = x + iy, \quad \tilde{z} = \tilde{x} + i\tilde{y}, \quad \kappa = const). \quad (1)$$

Тут $x = \tilde{g}_1(\tilde{x}, \tilde{y}) = (\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2 - \kappa^2) / (\tilde{x}^2 + (\tilde{y} - \kappa)^2)$,
 $y = \tilde{g}_2(\tilde{x}, \tilde{y}) = 2\kappa\tilde{x} / (\tilde{x}^2 + (\tilde{y} - \kappa)^2)$. Врахування ж розподілів густин струму, які мають місце вздовж ділянок прикладання квазіпотенціалів, здійснюється за допомогою функцій течії. Інструментарієм для їх використання обрано числовий метод квазіконформних відображень (для побудови полів густин струму), який, окрім згаданого, володіє низкою інших переваг [2].

II. ЗАДАЧА РЕКОНСТРУКЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ

Задачу електричної томографії розв'язуємо в однозв'язній криволінійній області $\partial G_{\tilde{z}} = \{(x, y) : x = \tilde{g}_1(\tilde{x}(\tau), \tilde{y}(\tau)), y = \tilde{g}_2(\tilde{x}(\tau), \tilde{y}(\tau)), \tau \in R\}$ (рис. 1, б), отриманій шляхом конформного відображення (1), де $\tilde{x}(\tau)$, $\tilde{y}(\tau)$ – визначені неперервно диференційовані функції, які задають границю $\partial G_{\tilde{z}}$ (рис. 1, а). Дана задача при шуканих функціях $\varphi^{(p)} = \varphi^{(p)}(x, y)$ (потенціалів) та $\psi^{(p)} = \psi^{(p)}(x, y)$ (течій) для кожної (p -ї) із \tilde{p} ($1 \leq p \leq \tilde{p}$) інжекцій за умови ідентифікації коефіцієнта провідності $\sigma = \sigma(x, y)$ записується у вигляді [1]:

$$\sigma \varphi_x^{(p)} = \psi_y^{(p)}, \quad \sigma \varphi_y^{(p)} = -\psi_x^{(p)}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \varphi^{(p)}|_{A_p B_p} &= \varphi_*^{(p)}, \quad \varphi^{(p)}|_{C_p D_p} = \varphi^{*(p)} \quad (\varphi^{*(p)} - \varphi_*^{(p)} > 0), \\ \psi^{(p)}|_{A_p D_p} &= 0, \quad \psi^{(p)}|_{B_p N} = \psi^{(p)}|_{K C_p} = Q^{(p)}; \\ \varphi^{(p)}(M)|_{B_p N} &= \bar{\varphi}^{(p)}(M), \quad \varphi^{(p)}(M)|_{K C_p} = \bar{\varphi}^{(p)}(M), \\ \varphi^{(p)}(M)|_{A_p D_p} &= \underline{\varphi}^{(p)}(M), \quad \psi^{(p)}(M)|_{A_p B_p} = \psi_*^{(p)}(M), \\ \psi^{(p)}(M)|_{C_p D_p} &= \psi^{*(p)}(M), \end{aligned} \quad (3)$$

де K та N – точки, координати яких визначаються з певних апріорних міркувань [3]; $Q^{(p)}$ – потоки; A_p, B_p, C_p, D_p – вибрані точки на границі; M – біжуча точка відповідної кривої; $B_p C_p$ та $A_p D_p$ – непроникні граничні лінії течій; $A_p B_p$ та $C_p D_p$ – вибрані еквіпотенціальні лінії. Коефіцієнт провідності, наприклад, може шукатись у вигляді функції локальних сплесків однорідностей [1, 4].

Реконструкцію зображення в G_z здійснюємо за умови почергового ітераційного розв'язання задач на мінімізацію функціонала, наведеного в [4] (при шуканому σ) за даними

$$\begin{aligned} x^{(p)}(\varphi_*^{(p)}, \psi) &= \tilde{g}_1(\tilde{x}(\tau_1), \tilde{y}(\tau_1)), \\ y^{(p)}(\varphi_*^{(p)}, \psi) &= \tilde{g}_2(\tilde{x}(\tau_1), \tilde{y}(\tau_1)), \quad \psi \in [0, Q^{(p)}], \\ x^{(p)}(\varphi^{*(p)}, \psi) &= \tilde{g}_1(\tilde{x}(\tau_2), \tilde{y}(\tau_2)), \\ y^{(p)}(\varphi^{*(p)}, \psi) &= \tilde{g}_2(\tilde{x}(\tau_2), \tilde{y}(\tau_2)), \quad \psi \in [0, Q^{(p)}], \\ x^{(p)}(\varphi, 0) &= \tilde{g}_1(\tilde{x}(\tau_3), \tilde{y}(\tau_3)), \\ y^{(p)}(\varphi, 0) &= \tilde{g}_2(\tilde{x}(\tau_3), \tilde{y}(\tau_3)), \quad \varphi \in [\varphi_*^{(p)}, \varphi^{*(p)}], \\ x^{(p)}(\varphi, Q^{(p)}) &= \tilde{g}_1(\tilde{x}(\tau_4), \tilde{y}(\tau_4)), \\ y^{(p)}(\varphi, Q^{(p)}) &= \tilde{g}_2(\tilde{x}(\tau_4), \tilde{y}(\tau_4)), \\ \varphi &\in [\varphi_*^{(p)}, \varphi_N^{(p)}] \cup [\varphi_K^{(p)}, \varphi^{*(p)}] \end{aligned} \quad (5)$$

та на побудову полів густин струму (при невідомих комплексно спряжених функціях $x^{(p)} = x^{(p)}(\varphi, \psi)$, $y^{(p)} = y^{(p)}(\varphi, \psi)$) із застосуванням узагальнень рівнянь Лапласа та умов ортогональності, наведених в [2] і крайових умов:

$$\begin{aligned} x(\varphi_*^{(p)}, \psi) &= \tilde{g}_1(\tilde{x}(\tau_{AB}^{(p)}(\psi)), \tilde{y}(\tau_{AB}^{(p)}(\psi))), \\ y(\varphi_*^{(p)}, \psi) &= \tilde{g}_2(\tilde{x}(\tau_{AB}^{(p)}(\psi)), \tilde{y}(\tau_{AB}^{(p)}(\psi))), \\ x(\varphi^{*(p)}, \psi) &= \tilde{g}_1(\tilde{x}(\tau_{CD}^{(p)}(\psi)), \tilde{y}(\tau_{CD}^{(p)}(\psi))), \\ y(\varphi^{*(p)}, \psi) &= \tilde{g}_2(\tilde{x}(\tau_{CD}^{(p)}(\psi)), \tilde{y}(\tau_{CD}^{(p)}(\psi))), \\ x(\varphi, 0) &= \tilde{g}_1(\tilde{x}(\tau_{AD}^{(p)}(\varphi)), \tilde{y}(\tau_{AD}^{(p)}(\varphi))), \\ y(\varphi, 0) &= \tilde{g}_2(\tilde{x}(\tau_{AD}^{(p)}(\varphi)), \tilde{y}(\tau_{AD}^{(p)}(\varphi))), \\ x(\varphi, Q^{(p)}) &= \tilde{g}_1(\tilde{x}(\tau_{BC}^{(p)}(\varphi)), \tilde{y}(\tau_{BC}^{(p)}(\varphi))), \\ y(\varphi, Q^{(p)}) &= \tilde{g}_2(\tilde{x}(\tau_{BC}^{(p)}(\varphi)), \tilde{y}(\tau_{BC}^{(p)}(\varphi))), \\ \varphi &\in [\varphi_*^{(p)}, \varphi^{*(p)}], \quad \psi \in [0, Q^{(p)}], \end{aligned} \quad (6)$$

де $\tau = \tau_{AB}^{(p)}(\psi)$, $\tau = \tau_{CD}^{(p)}(\psi)$, $\tau = \tau_{AD}^{(p)}(\varphi)$, $\tau = \tau_{BC}^{(p)}(\varphi)$ – розрахункові залежності параметрів задання граничних вузлів від значень функцій потенціалу та течії на ділянках $A_p B_p$, $C_p D_p$, $A_p D_p$, $B_p C_p$,

відповідно; $\tau_1 = \tau_*^{(p)}(\psi)$, $\tau_2 = \tau^{*(p)}(\psi)$, $\tau_3 = \underline{\tau}^{(p)}(\varphi)$, $\tau_4 = \bar{\tau}^{(p)}(\varphi)$; $\tau = \tau_*^{(p)}(\psi)$, $\tau = \bar{\tau}^{(p)}(\varphi)$, $\tau = \underline{\tau}^{(p)}(\varphi)$ – функції, побудовані шляхом інтерполювання апріорно відомих даних про функції потенціалу та течії на ∂G_z [1]; $\varphi_N^{(p)}$ та $\varphi_K^{(p)}$ – квазіпотенціали у точках N та K на p -й інжекції.

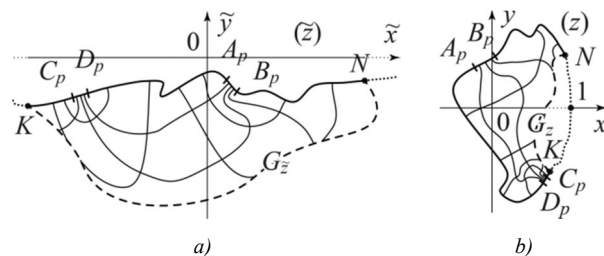


Рисунок 1. Схематичне зображення досліджуваної фізичної області G_z (а) та відповідного їй скінченного аналога G_z (б)

У загальному випадку, описана задача розв'язується наближено, із застосуванням різницьких схем. Відповідний алгоритм є аналогічним до [1, 4]. Отриманий у результаті розрахунків розподіл коефіцієнта провідності конформно відображається на область G_z .

III. ВИСНОВКИ

У роботі здійснено синтез алгоритмів [1] та [4] реконструкції зображень. Утворений відповідним чином підхід дозволяє досліджувати структуру приповерхневих шарів масштабного за розміром ґрунтового масиву в порівняно простій за конструкцією області. Здійснюється це, з одного боку, із застосуванням аналітичного конформного відображення за допомогою дробово-раціональної функції пів-площини на досить малу за розмірами фігуру, з іншого – шляхом почергового ітераційного застосування квазіконформних відображень прямокутників на криволінійну фігуру і мінімізації функціоналу.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] A. Bomba, M. Boichura and B. Sydorhuk, "Generalization of numerical quasiconformal mapping methods for geological problems," Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. Vol. 5 (4), pp. 45–54.
- [2] Бомба А. Я., Каштан С. С., Пригорницький Д. О., Ярошак С. В. Методи комплексного аналізу. Рівне : НУВГП, 2013. 430 с.
- [3] M. H. Loke, "Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys." [Online]. URL: <https://www.geotomosoft.com/coursenotes.zip>. [Accessed: September 10, 2021].
- [4] A. Bomba and M. Boichura, "Identification of burst parameters using numerical quasiconformal mapping methods". International Journal of Applied Mathematics, 2020. Vol. 33 (5), pp. 903–917.

Метод оцінювання невизначеності вимірювання електроенергії вузлом комерційного обліку

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.36>

К.С. Василець

Кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій
 Національний авіаційний університет
 проспект Любомира Гузара, 1, Київ, 03058
 9275195@stud.nau.edu.ua

Анотація — Запропоновано метод оцінювання невизначеності відхилення величини показів лічильника трансформаторного включення від лічильника прямого включення за умови незмінного рівня навантаження одного з трьох вимірювальних каналів, який відповідає одній з фаз трифазної системи, причому струм двох інших вимірювальних каналів дорівнює нулю. Невипадкова невизначеність оцінюється з використанням теорії нечітких множин.

Keywords — комерційний облік електроенергії; невизначеність вимірювання; нечіткий інтервал; вимірювальний трансформатор струму.

I. АКТУАЛЬНІСТЬ ПИТАННЯ

Для комерційного обліку електроенергії використовуються цифрові трифазні лічильники, струмові кола яких підключаються до електромережі за допомогою вимірювальних трансформаторів струму [1]. В реальних умовах експлуатації протягом тривалого часу вузол комерційного обліку функціонує при зниженому навантаженні, коли для заданого класу точності вимірювальних трансформаторів струму не унормована відносна похибка, а лічильник може знаходитися в режимі нечутливості. В такому режимі порушуються вимоги п. 1.5.17 Правил улаштування електроустановок щодо допустимих рівнів струму у вторинній обмотці вимірювального трансформатора струму. Як було встановлено в результаті експериментальних досліджень [2], в режимі зниженого навантаження невизначеність обліку електроенергії суттєво збільшується. Це спричиняє «недооблік» електричної енергії, що призводить до фінансових втрат енергопостачальної організації. Цим обумовлена актуальність досліджень.

Мета роботи – обґрунтувати метод оцінювання невизначеності вимірювання електроенергії вузлом комерційного обліку в режимі зниженого навантаження.

II. ОБґРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКА ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РЕЖИМІ ЗНИЖЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Необхідною умовою для оцінювання точності обліку електроенергії в режимі зниженого

навантаження є наявність дійсного значення спожитої протягом інтервалу Δt активної енергії, що є максимально точним, в умовах експерименту, наближенням до істинного значення спожитої активної енергії. Для вимірювання такого значення, одночасно з лічильником PI1 трансформаторного включення, що входить до складу вузла комерційного обліку, пропонується використовувати лічильник PI2 прямого підключення, струмові обмотки якого вмикаються послідовно до первинних обмоток вимірювальних трансформаторів струму вузла комерційного обліку, точність якого досліджується, рис. 1.

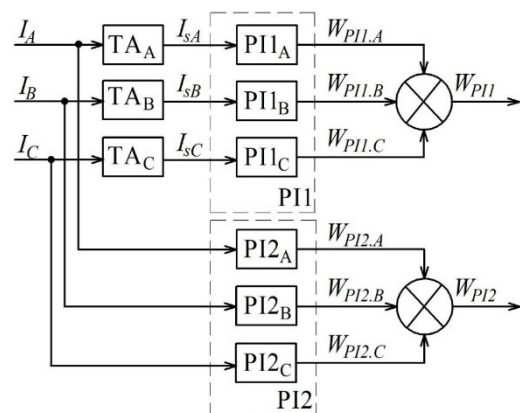


Рисунок 1. Структурна схема вимірювання споживання енергії в режимі зниженого навантаження за допомогою лічильників PI1 трансформаторного включення та PI2 прямого включення

Точність вимірювання електроенергії за ζ -м вимірювальним каналом, причому $\zeta = \{A, B, C\}$, вузла комерційного обліку в режимі зниженого навантаження може бути оцінена за відносним відхиленням δW_ζ виміряної за часовий інтервал $\Delta t = t_2 - t_1$ активної енергії між показами лічильника трансформаторного та лічильника прямого включення, що визначається в припущенні про нульовий струм двох інших каналів наступним чином:

$$\delta W_\zeta[\Delta t, I_\zeta] = W_{PI1,\zeta}[\Delta t, I_\zeta] / W_{PI2,\zeta}[\Delta t, I_\zeta] - 1, \quad (1)$$

де $W_{PI2,\zeta}[\Delta t, I_\zeta]$ – активна енергія, що облікована за ζ -м вимірювальним каналом лічильника прямого включення.

Відносне відхилення δW_ζ , а також величини $W_{P1,\zeta}$ та $W_{P2,\zeta}$ можуть розглядатися як функції тільки струму I_ζ фази ζ навантаження. Тоді маємо:

$$\delta W_\zeta(I_\zeta) = \frac{I_\zeta}{I_{s\zeta}(I_\zeta)} \cdot \frac{W_{P1,\zeta,mr}(t_2) - W_{P1,\zeta,mr}(t_1)}{W_{P2,\zeta,mr}(t_2) - W_{P2,\zeta,mr}(t_1)} - 1. \quad (2)$$

де $W_{P1,\zeta,mr}(t_{1(2)})$ – покази РПІ в моменти $t_{1(2)}$.

Функціонування вимірювальних каналів лічильників трансформаторного та прямого включення є взаємно незалежним. Похибки, що супроводжують вимірювання, можуть вважатися випадковими. Величини δW_ζ , що оцінюють точність вимірювання за ζ -м вимірювальним каналом вузла комерційного обліку, визначаються, відповідно до (2), як результат ділення вимірюваних величин. Це дає підстави визначати відносне відхилення показів лічильника трансформаторного включення від лічильника прямого включення за трьома фазами наступним чином:

$$\delta W(I_A, I_B, I_C) = \sqrt{\sum_{\zeta \in \{A,B,C\}} \delta W_\zeta^2(I_\zeta)}. \quad (3)$$

Обраний параметр відповідає базовим вимогам до функції цілі [3], оскільки: параметр є кількісним з неперервною областю визначення; наявні прилади (лічильники електроенергії), за показами яких можна опосередковано встановити значення δW ; параметр δW задовольняє вимогам однозначності в статистичному сенсі.

Оцінювання залежності δW від значень струмів фаз в режимі зниженого навантаження можливо здійснити відповідно до (3) за умови, що залежності $\delta W_\zeta(I_\zeta)$ для кожного з вимірювальних каналів вузла комерційного обліку є відомі. Остання умова може бути виконана, якщо, відповідно до (2), відомі характеристики вимірювальних трансформаторів струму $I_{s\zeta}(I_\zeta)$ в режимі зниженого навантаження, а також відомі оцінки залежностей активної енергії, що облікована за ζ -м вимірювальним каналом лічильниками трансформаторного та прямого включення, від струмів навантаження I_ζ .

III. МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ

Для оцінювання невизначеності результатів вимірювання приймається припущення щодо нормального характеру нечіткої множини, яка відповідає цим результатам. Тоді вважатиметься, що для функції приналежності $\mu(x)$ множини X результатів вимірювання існує таке значення $x \in X$, при якому $\mu(x)=1$.

Функція приналежності $\mu(x)$ розглядається як сукупність двох гілок $\mu_1(x)$ та $\mu_2(x)$, що розділені істинним значенням вимірюваної величини x_0 . Припустимо, що в результаті експериментальних досліджень отримано вибіркові значення $x_i, i = \overline{1, n}$. Відповідно до [4], вибіркові значення x_i мають бути відсортовані за збільшенням, в результаті чого

отримаємо вектор, для елементів якого виконується співвідношення $x_j^* < x_{j+1}^*$. В подальшому обчислюються довжини інтервалів $\Delta_j = x_{j+1}^* - x_j^*$, причому $j = \overline{1, (n-1)}$. Частоти попадання вимірюваних значень у кожний інтервал дорівнюють:

$$m_j = 1 - [\Delta_j - \max(\Delta_j)] / \min[\Delta_j]. \quad (4)$$

Значення x_ν^* вимірюваної величини, для якого $m_j = 1$, приймається як найближче до істинного значення. Таке значення поділяє вектор x^* на дві частини, які відповідають гілкам функції приналежності, рис. 2.

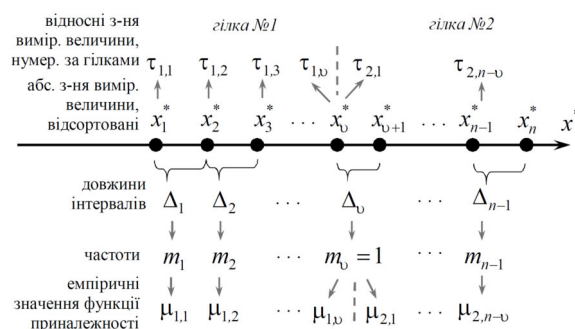


Рисунок. 2. Умовне зображення розподілу відсортованих за збільшенням вибіркових значень вимірюваної величини за двома гілками функції приналежності, а також позначення відповідних емпіричних значень функції приналежності

З використанням обчислених відповідно до (4) частот m_j для кожної з гілок обчислюються вибіркові значення функції приналежності [4]:

$$\mu_{1,j} = \frac{m_j - m_{\min 1}}{m_{\max 1} - m_{\min 1}}, \quad \mu_{2,j} = \frac{m_{j+\nu-1} - m_{\min 2}}{m_{\max 2} - m_{\min 2}}. \quad (5)$$

Для кожної гілки функції приналежності необхідно перейти від абсолютних значень вимірюваної величини x_j^* до відносних значень τ_j , які обчислюються наступним чином:

$$\tau_{1,j} = |x_j^* - x_\nu^*| / (x_{\max}^* - x_{\min}^*), \quad j = \overline{1, \nu}; \quad (6)$$

$$\tau_{2,j} = |x_{j+\nu-1}^* - x_\nu^*| / (x_{\max}^* - x_{\min}^*), \quad j = \overline{1, (n-\nu)}. \quad (7)$$

Отримані експериментальні точки, що належать двом гілкам функції приналежності, необхідно апроксимувати, для чого можна використати метод максимальної норми [4]. Апроксимуючі поліноми степені L (зазвичай $L < 4$) та нев'язки для гілок функції приналежності мають вигляд, рис. 3:

$$f_1(\tau_1) = 1 + \sum_{l=1}^L a_l \tau_1^l, \quad r_{1,j} = f_1(\tau_{1,j}) - \mu_{1,j}(\tau_{1,j}); \quad (8)$$

$$f_2(\tau_2) = 1 + \sum_{l=1}^L b_l \tau_2^l, \quad r_{2,j} = f_2(\tau_{2,j}) - \mu_{2,j}(\tau_{2,j}). \quad (9)$$

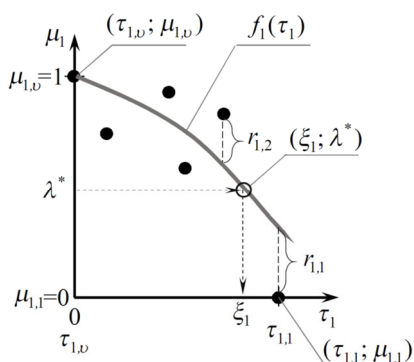


Рисунок 3. Поліноміальна апроксимація гілки №1 функції приналежності

В якості критерія апроксимації для гілок функції приналежності розглядається мінімум чебишевської норми нев'язки. З використанням апроксимуючих поліномів f_1 (8) та f_2 (9) для гілок функції приналежності для заданого рівня довіри λ^* необхідно знайти відносне значення піддіапазонів ξ_1 та ξ_2 , що в сумі становлять величину нечіткого інтервалу $U_{F_{\lambda^*}} = \xi_1 + \xi_2$, який характеризує невизначеність результатів вимірювання.

Значення ξ_1 може бути визначене як корінь функції $f_1(\xi_1) = \lambda^*$, рис. 3. Відповідно до (8) це відповідає знаходженню кореня виразу:

$$1 - \lambda^* + \sum_{l=1}^L a_l \xi_1^l = 0. \quad (10)$$

Значення ξ_2 обчислюється аналогічно. Ширина нечіткого інтервалу, що при рівні довіри λ^* включає істинне значення, в одиницях вимірюваної величини становить (рис. 4):

$$U_{F_{\lambda^*}} = (\xi_1 + \xi_2)(x_{\max} - x_{\min}), \quad (11)$$

а межі вказаного інтервалу становлять:

$$x_L = x_D - s_1, \quad x_R = x_D + s_2, \quad (12)$$

де $s_1 = \xi_1(x_{\max} - x_{\min})$, $s_2 = \xi_2(x_{\max} - x_{\min})$.

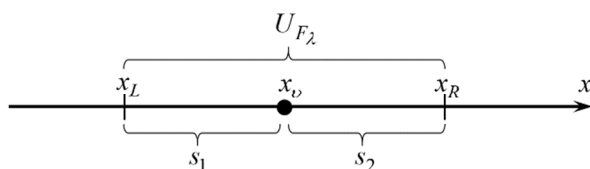


Рисунок 4. Нечіткий інтервал, що при рівні довіри λ^* включає істинне значення вимірюваної величини, в одиницях цієї величини

IV. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Експериментальне дослідження точності обліку електроенергії при зниженому навантаженні здійснювалося з використанням лічильників трансформаторного підключення NIK2307 ART

T.1600.M2.21 та прямого підключення NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21. Використовувалися вимірювальні трансформатори струму 600/5. Клас точності перелічених приладів 0,5 S. За допомогою описаного методу оцінено невизначеність відхилення від лічильника трансформаторного включення від лічильника прямого включення за вимірювальним каналом фази А. При цьому струм фази А I_A^* змінювався в діапазоні 0÷2%. Фази В та С не були навантажені. Межа чутливості за струмом встановлена на рівні 0,2%. Інтервал зміни струму навантаження I_A^* був розбитий на 6 проміжків шириною 0,3%, для кожного з яких обчислені межі нечітких інтервалів невизначеності δW_A , рис. 5.

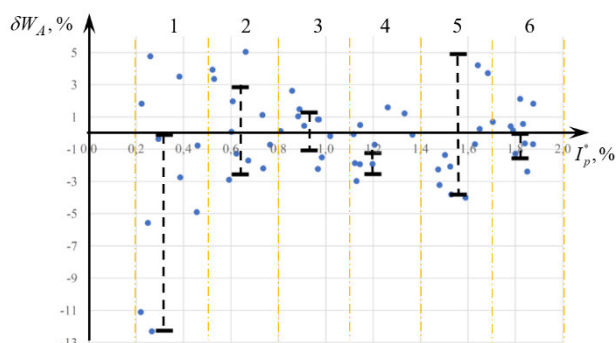


Рисунок 5. Емпіричні значення та нечіткі інтервали невизначеності δW_A вимірювання електроенергії вузлом комерційного обліку в режимі зниженого навантаження

V. ВИСНОВКИ ТА НАПРЯМОК ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Обґрунтований метод оцінювання невизначеності вимірювання електроенергії вузлом комерційного обліку за допомогою нечітких інтервалів може бути використаний під час оцінювання параметрів нечіткої функції, що описує залежність відносної похибки вимірювання від струмів фаз в режимі зниженого навантаження. Застосування методу дозволить підвищити точність розрахунків між постачальниками та споживачами електричної енергії.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Кодекс комерційного обліку електричної енергії, Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, постанова від 14.03.2018 № 311 (у редакції від 20.03.2020 № 716). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18#Text>.
- [2] В. В. Древецький, К. С. Василець, А. О. Ахромкін, С. В. Василець, та Р. С. Стасюк. Вимірювання та облік електричної енергії із застосуванням вимірювальних трансформаторів струму в умовах зниженого навантаження. Національний університет водного господарства та природокористування, ПрАТ «Рівнеобленерго», Рівне, 2020. № 4–778.
- [3] C. F. Jeff Wu, and M. S. Hamada, "Experiments: Planning, Analysis, and Optimization," 2nd ed., Wiley, 2009.
- [4] X. Xia, Z. Wang, and Y. Gao, "Estimation of non-statistical uncertainty using fuzzy-set theory," in Meas. Sci. Technol, 11 (2000), 2000. pp. 430–435. URL: <http://www.people.vcu.edu/~lparker/DBGGroup/References/Estimati.pdf>

Доцільність застосування критеріїв ексергетичного аналізу для оцінювання ефективності об'єктів теплоенергетики

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.37>

Волощук Володимир

Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського"
Київ, Україна
Vl.Volodya@gmail.com

Некрасевич Олена

Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського"
Київ, Україна
olena.nekrashevych@gmail.com

Гікало Павло

Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Київ, Україна
p.gikalo@gmail.com

Анотація — У роботі на прикладах представлено обґрунтування доцільності та переваги використання ексергетичних показників в якості ключових критеріїв енергетичної ефективності об'єктів теплоенергетики

Ключові слова — ексергія; необоротності; теплоенергетичні процеси.

I. ВСТУП

Існуюча методологія, яка базується на застосуванні першого закону термодинаміки і використовується для обґрунтування типів, структури, параметрів, режимів роботи об'єктів і систем теплоенергетики з метою підвищення їх ефективності (енергетичної, економічної та екологічної) не забезпечує вирішення викликів сьогодення і потребує подальшого удосконалення з урахуванням додаткових принципів [1–5].

Сучасні технологічні рішення в теплоенергетиці характеризуються суттєвим ускладненням структури та режимів роботи. Існуючі методи, які базуються тільки на законі збереження та перетворення енергії, не зовсім чітко ідентифікують місця, причини та значення втрат енергетичного потенціалу вхідного енергоносія.

Мета роботи – обґрунтувати доцільність та переваги використання ексергетичних показників в якості ключових критеріїв енергетичної ефективності об'єктів теплоенергетики.

II. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

З позицій енергетичного підходу ККД ефективності використання енергії палива у сучасному котлоагрегаті знаходиться на рівні

80...95%. Згідно такого підходу втрати енергії (а це 15...20%) складаються із: втрат теплоти із відхідними газами, від хімічної неповноти згорання, від механічної неповноти згорання, через обмурівку та втрат теплоти із фізичною теплоотою шлаків. При такому підході немає кількісної оцінки найбільш цінних втрат. Зрозуміло, що одна і та ж кількість втраченої енергії від хімічної неповноти згорання та через обмурівку не є рівноцінними. Адже догорання горючих газів (CO, H₂, CH₄, тощо) може забезпечити отримання продуктів згорання з набагато вищим енергетичним потенціалом ніж та ж сама кількість енергії, що виходить за межі установки через обмурівку котла.

В теперішній час у сфері теплозабезпечення будівель пропонується використання конденсаційних котлів як енергоефективного джерела теплоти для систем опалення, оскільки ККД таких котлів, визначених на основі енергетичного балансу по відношенню до вищої теплоти згорання, знаходиться на рівні 94...96%. Разом з тим, якщо прийняти до уваги, що такі котли забезпечують подачу теплової енергії до споживача з температурою 20°С (нормована температура повітря в більшості приміщеннях), то можна зрозуміти, що в даному випадку потенціал (придатність для використання) енергії первинного палива (природного газу) з температурою згорання 2000°С практично повністю втрачається в процесах її трансформації та підводу до споживача. Саме ця термодинамічна недосконалість і повинна бути врахована у характеристиках котлоагрегатів [5].

Розглянемо два типи теплонасосних систем. У першій установці використовується низькопотенційне джерело (вода) з температурою 15°С, яке охолоджується до температури 12°С

(тобто на 3 К). Друга система передбачає охолодження низькопотенційного джерела (також води) з температури 7°С до температури 4°С (тобто також на 3 К). У першому випадку температурний напір на холодному кінці випарника рівний 10 К, а у другому – 2 К. І перша і друга система нагрівають воду системи опалення від 30°С до 42°С. Тобто обидві установки забезпечують отримання продукту з однаковими параметрами. В обох випадках у тепловому насосі використовується одне і те ж робоче тіло – R134a. Характеристики як основного так і допоміжного обладнання теплонасосних систем в обох випадках також однакові. Можна зрозуміти, що в таких умовах роботи як коефіцієнти трансформації, так і витрати енергії на власні потреби у даних теплонасосних системах повинні бути однакові. Розрахунки показують, що в обох схемах коефіцієнт трансформації рівний 5,54.

Отже, аналіз запропонованих теплонасосних систем на основі суто енергетичного (або ентальпійного) підходу, із використанням таких характеристик як коефіцієнт трансформації та витрати енергії на власні потреби показав, що ці системи є абсолютно однакові. Тобто, формально можна пропонувати до впровадження як першу так і другу установку.

Разом з тим, інженер-фахівець вкаже, що перший тип теплонасосної системи використовує низькопотенційне джерело, що має вищу температуру, з нижчою ефективністю. У цій установці є можливість підвищення її ефективності за рахунок зниження температурного напору у випарнику. Якщо фахівець у своєму виборі використовує тільки параметри першого закону термодинаміки, то твердження, що перший варіант не вичерпав повністю свій потенціал із ефективного використання наявного ресурсу, базується суто на інженерній інтуїції та досвіді. Немає такого енергетичного параметра, який би формально дав підстави вибору саме першої системи із її подальшим удосконаленням. Якщо енергосистема складніша, то не завжди фахівець може мати достатній досвід та інтуїцію, щоб зробити правильний вибір. Тут виникає потреба в розробці та використанні інших формальних критеріїв вибору рішення.

Розглянемо результати реалізації ексергетичного підходу з оцінювання цих двох теплонасосних. Розрахунки показали, що ексергетичний ККД першого типу установки рівний 63,2%, а другого – 68,7%. Деструкція ексергії у першому випадку становить 1,17 кВт, а у другому – 0,92 кВт. Отже, результати ексергетичного аналізу забезпечують дослідника більш детальною та об'єктивною інформацією щодо доцільності використання цих двох запропонованих схем теплонасосної установки. Ексергетичні показники (ККД, деструкція ексергії) чітко вказують про те, що система типу 2 в заданих умовах створює продукт із вищою термодинамічною ефективністю. Для цієї установки ексергетичний ККД є на 5,2% (в абсолютних одиницях) більшим, а деструкція ексергії є на 0,25 кВт (або на 28%) меншою у порівнянні із системою типу 1. Саме

вищий температурний напір у випарнику установки типу 1 призводить до зростання деструкції у цьому елементі та зниження ексергетичного ККД системи.

Із наведеного прикладу можна зрозуміти, що коефіцієнт трансформації, який характеризує ефективність теплового насоса з позицій Першого закону термодинаміки, надає односторонню характеристику. Він враховує сумарний вплив температур низькопотенційного джерела і споживача енергії та термодинамічної досконалості його циклу на ефективність трансформації енергії. Коефіцієнт трансформації не може сам по собі оцінити роздільно необоротності того чи іншого реального процесу в установці. Більше того, в окремих випадках цей параметр може дезорієнтувати дослідника [1].

Частина деструкції ексергії на тепловій електростанції виправдано експлуатаційними, економічними, екологічними чи безпековими вимогами. Наприклад, якщо парогенератор працює при постійному тиску, навантаження парової турбіни регулюється шляхом зміни вихідного тиску дросельного вентиля на вході парової турбіни високого тиску. Для кожного навантаження регулюються витрата палива та тиск на виході насоса живильної води для підтримки постійного значення тиску на вході дросельного вентиля. Очевидно, що підвищене дроселювання пари при частковому навантаженні є несприятливе з термодинамічної точки зору. Однак цю інформацію не можна отримати з енергетичного балансу дросельного вентиля, оскільки величина ентальпії через адіабатичний клапан є постійною. Баланс ексергії показує, що при частковому навантаженні деструкція ексергії може бути значною. В даний час на типових парових електростанціях часто застосовують регулювання тиску в «ковзному режимі» або комбінацію регулювання тиску з «фіксованим тиском» та в «ковзному режимі» [6].

Як приклад, на рис. 1 розглянуто процес у паротурбінній установці (ПТУ), де для регулювання потужності турбіни використовується дроселювання пари перед турбіною.

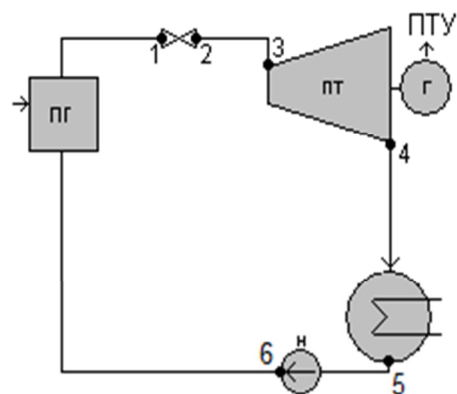


Рисунок 1. Принципова схема паротурбінної установки (ПТУ)

Параметри представленої на рис. 1 ПТУ: $p_1=20$ МПа; $T_1=500$ °С; $p_4=0,004$ МПа.

Якщо виникає потреба зменшити потужність турбіни, то це здійснюється шляхом дроселювання, тобто зниження тиску пари в точці 2. Наприклад, якщо зменшимо тиск в точці 2 до значення 17 та 15 МПа відповідно, отримаємо наступні результати, які наведені у табл. 1.

ТАБЛИЦЯ 1. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

Параметр	$p_2=20$ МПа	$p_2=17$ МПа	$p_2=15$ МПа
Підведена енергія до ПТУ, кДж/кг	3097,6	3097,6	3097,6
Відведена від ПТУ енергія у вигляді втрат в довкілля, кДж/кг	2007,0	2022,1	2034,0
Відведена від ПТУ енергія у вигляді корисної електричної енергії, кДж/кг	1090,6	1075,5	1063,6
ККД ПТУ, %	35,2	34,7	34,3
Деструкція ексергії в дросельному вентилі, кДж/кг	0,0	18,4	32,8
Деструкція ексергії в турбіні, кДж/кг	270,0	266,3	263,4
Втрати ексергії в конденсаторі, кДж/кг	59,5	60,0	60,3
Деструкція ексергії в живильному насосі, кДж/кг	2,2	2,2	2,2

Проаналізувавши результати розрахунків (при зниженні тиску пари p_2 до 15 МПа), маємо при однаковій кількості енергії, що підводиться до установки зниження ККД ПТУ на 0,9% та зниження потужності турбіни на 27 кДж/кг. В той же самий час відбулося збільшення втрат в конденсаторі, що підтверджується існуючим енергетичним підходом, та суттєве збільшення деструкції в дросельному вентилі на 32,8 кДж/кг, що є основною причиною зниження ККД ПТУ. Тобто, саме за допомогою ексергетичного аналізу вдалося ідентифікувати компонент системи, який є найбільш неефективним. А це зумовлює запропонувати більш оптимальні методи керування цією системою.

III. ВИСНОВКИ

З позиції енергетичного аналізу не вдається ідентифікувати та кількісно оцінити всі необоротності, що мають місце у процесах передачі та перетворення енергії в об'єктах теплоенергетики. Саме ексергетичний підхід дає можливість кількісно оцінити всі існуючі необоротності, що у свою чергу забезпечує об'єктивний аналіз ефективності технологічного процесу та визначення найбільш доцільних його характеристик та режимів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Гохштейн Д. П. Современные методы термодинамического анализа энергетических установок. М.: Энергия, 1969. 368 с.
- [2] Sciubba E. Wall G. A brief Commented History of Exergy From the Beginnings to 2004. *International Journal of Thermodynamics*. 2007. Vol. 10, No. 1. P. 1–26.
- [3] Tsatsaronis G. Comments on the Paper “A Brief Commented History of Exergy from the Beginnings to 2004” E. Sciubba and G. Wall *Int. J. of Thermodynamics*, 10 (2007), pp 1–26 and Authors’ Response. *International Journal of Thermodynamics*. 2007. Vol. 10, No. 4. P. 187–192.

- [4] Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. *Thermal Design and Optimization*. New York: Wiley, 1996. 542 p.
- [5] Hepbasli A. Low exergy (LowEx) heating and cooling systems for sustainable buildings and societies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16(1). P. 73–104.
- [6] G. Tsatsaronis and F. Czielsa, “Energetic and exergetic analysis of complex systems”. *Encyclopedia of life support systems (EOLSS)*, theme: exergy, energy systems analysis and optimization, 2009, pp. 121–146.

Математичне моделювання енергетичної ефективності постійних магнітів в циліндричних магнітних системах

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.38>

Володимир Гудь

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
 Національний університет водного господарства та природокористування
 Рівне, Україна

Анотація — Представлено математичну модель для визначення енергетичної ефективності постійних магнітів, які використовуються у магнітних системах. Доведено адекватність моделі на основі проведеного моделювання для двополюсної циліндричної магнітної системи.

Ключові слова — математична модель; магнітне поле; постійний магніт; енергетична ефективність; магнітна система.

I. ВСТУП

Магнітні системи на основі постійних магнітів широко використовуються для збудження магнітних полів сучасних електрогенераторів, двигунів та магнітних сепараторів [1]. При цьому, внаслідок обмеження максимально допустимої питомої енергії постійних магнітів, все більшої актуальності набуває актуальності питання ефективності використання їхньої енергії в тій чи іншій конструкції магнітної системи [2]. Відомо [3], що основною характеристикою магнітотвердого матеріалу є крива розмагнічування (рис. 1).

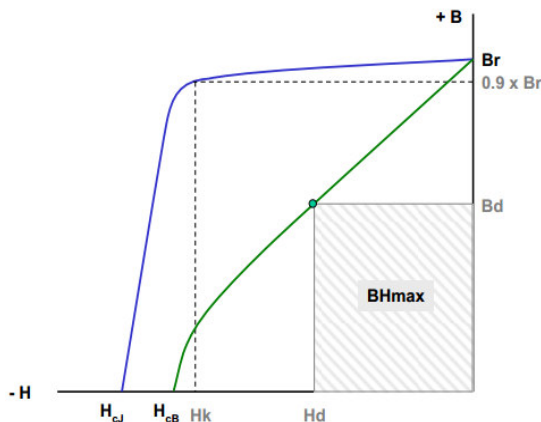


Рисунок 1. Крива розмагнічування постійного магніту

Показано [2], що енергія магнітного поля, яке створюється постійним магнітом залежить від положення робочої точки магнітотвердого матеріалу на кривій розмагнічування. Теоретично

встановлено [5], що максимальний енергетичний добуток $(BH)_{max}$ постійних магнітів Nd-Fe-B може досягати $(BH)_{max}=485$ кДж/м³. Тому, подальше покращення параметрів магнітних систем зі збудженням від постійних магнітів може бути досягнуто лише за рахунок підвищення ефективності використання маси магнітів.

Відповідно метою роботи є розробка математичної моделі для дослідження енергетичної ефективності магнітних систем зі збудженням від постійних магнітів.

II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Магнітне поле описували системою диференціальних рівнянь Максвелла для стаціонарного магнітного поля вигляду [2]:

$$\nabla \times \mathbf{H} = 0, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad (2)$$

де \mathbf{H} – вектор напруженості магнітного поля; \mathbf{B} – вектор магнітної індукції. Рівняння стану для постійних магнітів представляли:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu_r \mathbf{H} + \mu_0 \mathbf{M}_r, \quad (3)$$

де μ_r , \mathbf{M}_r – значення відносної магнітної проникності та вектор залишкової намагніченості постійного магніту, відповідно; $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна постійна.

Рівняння стану для навколишнього середовища представляли як:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \mathbf{H}, \quad (4)$$

де μ_r – значення відносної магнітної проникності для повітря $\mu_r = 1$.

Енергетичну ефективність обчислювали згідно методики [6].

III. ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджували двополюсну циліндричну магнітну систему на основі постійних магнітів Nd-Fe-B з енергетичним добутком $(BH)_{max}=485$ кДж/м³ радіусом 0,1 м. (рис. 2).

Величину залишкової індукції матеріалу обчислювали відповідно до співвідношення (5) $B_r = 1.56$ Тл.

Приймали, що постійні магніти намагнічені діаметрально. Вектор залишкової індукції для k -го полюсу задавали згідно рівняння:

$$\mathbf{M}_r = (-1)^k \frac{B_r}{\mu_0} \mathbf{e}_r, \quad (7)$$

де \mathbf{M}_r – вектор намагніченості k -го полюсу постійного магніту, \mathbf{e}_r – одиничний вектор-радіус, B_r – залишкова індукція магнітотвердого матеріалу постійного магніту.

Враховуючи те, що інтенсивність магнітного поля зменшується з віддаленням від поверхні магнітної системи, при розрахунку задавали нульове значення потоку магнітного поля через циліндричну поверхню на відстані рівній 10 радіусам магнітної системи від її центру [7].

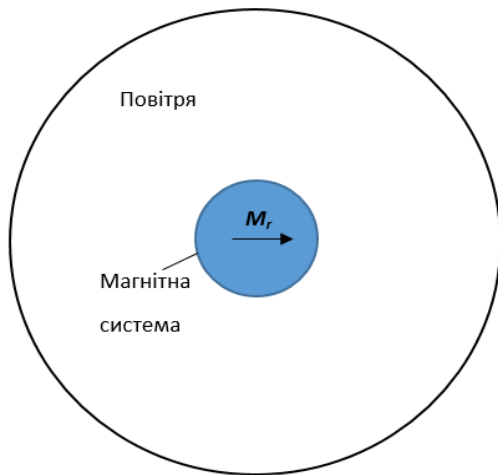


Рисунок 2. Розрахункова модель

Розв'язок системи рівнянь (1–6) з врахуванням прийнятих граничних умов проводили методом скінченних елементів.

IV. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В результаті математичного моделювання одержано розподіл магнітного поля для двополусної циліндричної магнітної системи (рис. 3) який задовільно узгоджується з відомими результатами аналітичних розрахунків [2].

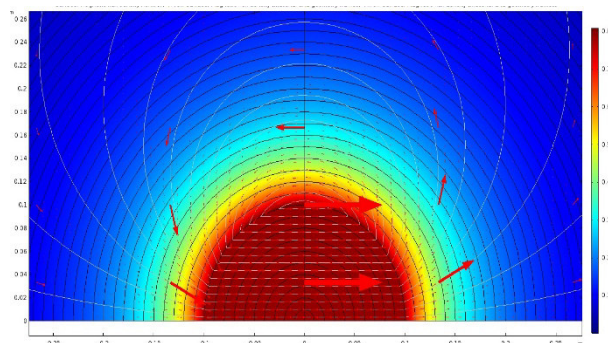


Рисунок 3. Розподіл індукції магнітного поля двополусної циліндричної магнітної системи

В результаті розрахунку енергетичної ефективності магнітної системи (рис. 4) встановлено, що в циліндричній магнітній системі спостерігається рівномірний розподіл ефективності використання маси магнітів, а величина відношення відношення густини енергії до енергетичного добутку магнітної системи вказує на повне використання маси магніту усім об'ємом магнітної системи.

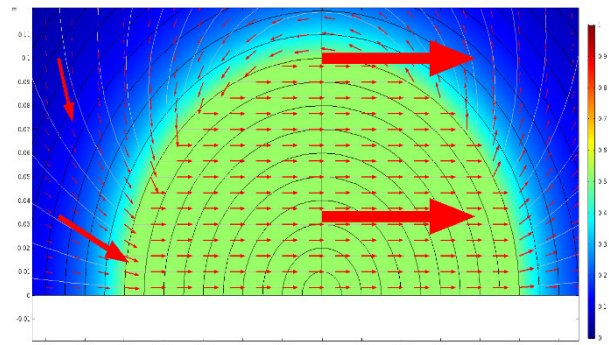


Рисунок 4. Розподіл відношення густини енергії до енергетичного добутку двополусної циліндричної магнітної системи

V. ВИСНОВКИ

Розроблено математичну модель визначення розподілу енергетичної ефективності постійних магнітів в магнітних системах. На основі проведеного моделювання показано, що в двополусній циліндричній магнітній системі з діаметральним намагніченням досягається максимальне використання енергії магнітотвердого матеріалу. Доведено, що використання розробленої моделі відкриває можливості для аналізу енергетичної ефективності постійних магнітів в магнітних системах, що дозволить покращити їхні техніко-економічні характеристики.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Загирняк М. В., Бранспиз Ю. А., Шведчикова И. А. Магнитные сепараторы. Проблемы проектирования. К. : Техніка, 2011. 224 с.
- [2] Постоянные магниты : справочник / под ред. Ю. М. Пятина М. : «Энергия». 1980. 488 с.
- [3] Вонсовский С. В. Магнетизм. М. : Наука. 1984. 208 с
- [4] Гудь В. М. Методи та прилади контролю якості постійних магнітів. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2015. Вип. 5. С. 32–37.
- [5] Laura H. Lewis, Felix Jimenez-Villacorta, Perspectives on Permanent Magnetic Materials for Energy Conversion and Power Generation. *Metalurgical and Materials Transactions A*, S2. Volume 44A, pp. 2–20.
- [6] Гудь В. М., Сімухов В. Д., Лазутчик А. С. Дослідження магнітних систем зі збудженням від постійних магнітів. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2020)* : тринадцята міжнародна науково-практична конференція 19–20 травня 2020 р., Київ, Україна : збірка тез. К. : НАУ, 2020. 302 с. С. 175–176.
- [7] Гудь В. М. Аналіз похибки визначення залишкової індукції циліндричних постійних магнітів з осьовим намагніченням методом дистанційної магнітометрії. *Методи та прилади контролю якості*. 2015. № 34. С. 78–82.

Параметрична оптимізація циклічних транспортних операцій маніпуляторів з активними і пасивними приводами

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.39>

Демидюк Мирослав

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України
Львів, Україна
m_demydyuk@ukr.net

Анотація – Розглядаємо маніпулятор, який під дією активних та пасивних (пружинно-демпферних) приводів виконує циклічну транспортну операцію. Сформульовано загальну постановку задачі пошуку програмних керувань маніпулятора та параметрів пасивних приводів, які за накладених (на рух і керування) обмежень мінімізують заданий функціонал. Запропоновано метод побудови наближеного розв'язку задачі, який ґрунтується на параметричній оптимізації. Узагальнені координати маніпулятора подаємо у вигляді суми кубічного полінома та скінченного ряду за системою заданих ортогональних функцій із невідомими коефіцієнтами, що зводить вихідну задачу оптимального керування до задачі нелінійного програмування.

Ключові слова – маніпулятор; пасивний привід; циклічний рух; математична модель; оптимальне керування; параметрична оптимізація.

I. ВСТУП

Одним із результативних способів у поліпшенні експлуатаційних характеристик маніпуляційних роботів, зокрема, зменшення витрат енергії на виконання робочих операцій, є побудова оптимальних режимів керування та пошук оптимальних параметрів конструкцій. Поряд із цим ефективним підходом також є також введення в конструкцію маніпуляційної системи відповідних пружинно-демпферних пристроїв (пасивних приводів), які на одних етапах руху системи можуть накопичувати енергію, а на других її вивільняти (повертати в систему). Це дає можливість знизити потужності активних приводів і зменшити витрати енергії на переміщення всієї системи. Особливо виправдовує себе такий підхід на циклічних транспортних операціях, коли маніпулятор переносить вантаж із початкового положення в кінцеве й повертається назад у початковий стан.

II. СУКУПНА ОПТИМІЗАЦІЯ ЦИКЛІЧНОГО РУХУ МАНІПУЛЯТОРА ТА ПАРАМЕТРІВ ПАСИВНИХ ПРИВОДІВ

Розглянемо маніпулятор, механічна модель якого являє собою систему твердих тіл з n ступенями вільності. Керування системою (для кожної ступені вільності) відбувається за допомогою активних приводів зі зовнішніми джерелами живлення (наприклад, електромеханічних приводів). Нехай також у конструкцію системи вмонтовано пасивні приводи

(пружинно-демпферні пристрої), які генерують додаткові (до активних керувань) зусилля.

За досить загальних припущень рівняння руху маніпулятора з активними та пасивними приводами можна записати у вигляді

$$\mathbf{A}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) = \mathbf{C}\mathbf{u}(t) + \mathbf{D}\mathbf{w}(t, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{c}), \quad (1)$$

де позначено: $\mathbf{q} = (q_1, \dots, q_n)$ – вектор узагальнених координат маніпулятора, $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_n)$ – вектор активних керувань, $\mathbf{w} = (w_1, \dots, w_m)$ – вектор зусиль, які генеруються пасивними приводами, \mathbf{c} – вектор параметрів пасивних приводів, \mathbf{A} , \mathbf{C} – матриці розмірностей $n \times n$, \mathbf{D} – матриця розмірності $n \times m$, \mathbf{B} – вектор розмірності n . Тут і надалі крапкою (зверху над величиною) позначено диференціювання за часом t . Вважаємо, що матриця \mathbf{C} є невідродженою ($\det \mathbf{C} \neq 0$), а її компоненти є сталими величинами. Сталими також є компоненти матриці \mathbf{D} , які разом із вектор-функцією \mathbf{w} визначаються структурою пасивних приводів. Зокрема, коли пасивні приводи являють собою пружинно-демпферні пристрої, \mathbf{w} може бути представлена у вигляді лінійної функції векторів $\mathbf{q}(t)$ і $\dot{\mathbf{q}}(t)$. Тоді компонентами вектора \mathbf{c} будуть коефіцієнти жорсткості пружин, параметри їх рівноважного положення та коефіцієнти в'язкості демпферів.

Нехай маніпулятор виконує циклічну транспортну операцію: протягом часу $t \in [0, T_1]$ переносить вантаж із заданого початкового положення в задане кінцеве й повертається (без вантажу) назад у початкове положення упродовж часу $t \in [T_1, T]$. Тривалості руху маніпулятора T_1 , T вважаємо заданими параметрами. Тривалість процесу розвантаження не враховуємо, вважаючи, що в кінцевому положенні пружно-деформований стан пружин пасивних приводів стопориться й ланки маніпулятора перебувають у стані спокою. Зазначимо, що операції з фіксованим часом виконання притаманні маніпуляторам, у яких початкове й кінцеве положення та тривалість робочого циклу строго регламентовані умовами технологічного процесу.

Задамо положення маніпулятора в початковий момент часу $t=0$, у момент розвантаження $t=T_1$ та в кінцевий момент $t=T$

$$\mathbf{q}(0) = \mathbf{q}(T) = \mathbf{q}_0, \mathbf{q}(T_1) = \mathbf{q}_1, \dot{\mathbf{q}}(0) = \dot{\mathbf{q}}(T_1) = \dot{\mathbf{q}}(T) = 0, \quad (2)$$

де $\mathbf{q}_0, \mathbf{q}_1$ – задані параметри транспортної операції маніпулятора. Тут приймаємо, що маніпулятор у моменти часу $t=0, T_1, T$ перебуває в стані спокою. Така вимога часто зумовлена особливістю виробництва, наприклад, коли маніпулятор переносить деталь з одного нерухомого робочого столу на інший.

За реальних умов на рух маніпуляційної системи $\mathbf{q}(t)$ та активні керування $\mathbf{u}(t)$ накладаються деякі обмеження. Задамо ці обмеження в такому вигляді:

$$q_i^{(\min)}(t) \leq q_i(t) \leq q_i^{(\max)}(t), \quad t \in [0, T], \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

$$u_i^{(\min)}(t) \leq u_i(t) \leq u_i^{(\max)}(t), \quad t \in [0, T], \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

де $q_i^{(\min)}, q_i^{(\max)}, u_i^{(\min)}, u_i^{(\max)}, i = \overline{1, n}$ – задані на проміжку $[0, T]$ неперервні функції, які визначаються робочою зоною маніпулятора та номінальними характеристиками активних приводів керування.

Надалі вважаємо, що існує множина функцій $\{\mathbf{q}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{w}(t, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{c})\}$, які на проміжку $t \in [0, T]$ задовольняють рівняння руху (1), умови транспортної операції (2) та обмеження (3), (4).

Керований рух маніпулятора залежить від активних керувань $\mathbf{u}(t)$ та від в'язко-пружних сил пасивних приводів $\mathbf{w}(t, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{c})$. Величина останніх на обох етапах (прямого та зворотного) руху системи залежить від одних і тих самих значень конструктивних параметрів \mathbf{c} , змінюючи які можна впливати на характеристики руху. Позначимо через Ω множину допустимих значень параметрів пасивних приводів, $\mathbf{c} \in \Omega$. Можлива постановка такої задачі.

Задача 1. Визначити такі параметри пасивних приводів $\mathbf{c}^* \in \Omega$ і такий рух маніпулятора $\mathbf{q}^*(t)$ та відповідні керування $\mathbf{u}^*(t)$, $t \in [0, T]$, які з огляду на рівняння руху (1) й обмеження (2)–(4) мінімізують заданий функціонал

$$\Phi = \int_0^T \Phi(\mathbf{q}(t), \dot{\mathbf{q}}(t), \mathbf{u}(t)) dx. \quad (5)$$

Тут функціонал (5) оцінює якість керування маніпулятором на всьому проміжку виконання циклічної операції. Конкретний вигляд функціонала залежить від технологічного призначення маніпуляційної системи, умов її використання, структури приводів керування. Зокрема, у теорії керування маніпуляційними роботами за такий функціонал переважно вибирають точність позиціонування робочого органу маніпулятора, час виконання операції (швидкодія), витрати енергії на переміщення, максимальну потужність активних приводів.

Сформульована задача є задачею оптимального керування (з параметрами), в якій крім керувань потрібно також визначити оптимальні параметри конструкції. З огляду на нелінійність рівнянь руху (1) та наявність нестационарних обмежень (3), (4) безпосереднє розв'язання цієї задачі класичними методами

теорії оптимального керування (наприклад, методом максимуму Понтрягіна) наражається на значні труднощі.

III. АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Як свідчать результати числового моделювання [1–3], ефективним у розв'язанні задачі 1 є метод параметричної оптимізації (в просторі узагальнених координат). Метод відноситься до прямих методів знаходження екстремалей функціоналів, у його основі лежить ідея методу Рітца для варіаційних задач рівнянь математичної фізики. Метод ґрунтується на параметричному представленні кожної узагальненої координати маніпулятора у вигляді суми кубічного полінома (за часом) та скінченного ряду за системою заданих ортогональних функцій із невідомими коефіцієнтами. Коефіцієнти полінома визначаємо з граничних умов транспортної операції, коефіцієнти ряду є шуканими параметрами. Далі, використовуючи методику обернених задач динаміки, із рівнянь руху маніпулятора отримуємо параметризоване сімейство керувань, що зводить цільовий функціонал до функції коефіцієнтів параметризації та параметрів пасивних приводів. Накладені на узагальнені координати та керування обмеження задовольняємо методом зовнішніх штрафних функцій.

Представимо узагальнені координати маніпулятора на кожній з проміжків руху $[0, T_1], [T_1, T]$ у вигляді лінійної комбінації заданих функцій

$$q_i(t) \equiv \begin{cases} q_i^{(1)}(t), & t \in [0, T_1] \\ q_i^{(2)}(t), & t \in [T_1, T] \end{cases}, \quad (6)$$

$$q_i^{(\tau)} = P_i^{(\tau)}(t) + G_i^{(\tau)}(t), \quad P_i^{(\tau)} = \sum_{k=0}^3 p_{ik}^{(\tau)} t^k,$$

$$G_i^{(\tau)} = \sum_{k=1}^{n_i} a_{ik}^{(\tau)} g_{ik}^{(\tau)}(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad \tau = 1, 2,$$

де $\{p_{ik}^{(\tau)}\}_{k=0}^3$ – коефіцієнти полінома, $\{a_{ik}^{(\tau)}\}_{k=1}^{n_i}$ – коефіцієнти ряду за системою заданих (базових) функцій $\{g_{ik}^{(\tau)}(t)\}_{k=1}^{n_i}$, n_i – кількість базових функцій для координати q_i . Функції $\{g_{ik}^{(\tau)}(t)\}_{k=1}^{n_i}$, $\tau = 1, 2$, $i = \overline{1, n}$, вважаємо двічі неперервно-диференційованими, $g_{ik}^{(\tau)} \in C^2[a_\tau, b_\tau]$, де $[a_1, b_1] = [0, T_1]$, $[a_2, b_2] = [T_1, T]$. Також для кожної узагальненої координати q_i функції множини $\{g_{ik}^{(\tau)}(t)\}_{k=1}^{n_i}$ вважаємо ортогональними

$$\left\langle g_{ij}^{(\tau)}, g_{il}^{(\tau)} \right\rangle = \int_{a_\tau}^{b_\tau} g_{ij}^{(\tau)}(t) g_{il}^{(\tau)}(t) dt = 0, \quad j, l = \overline{1, n_i}, \quad j \neq l.$$

Коефіцієнти $\{p_{ik}^{(\tau)}\}_{k=0}^3$ полінома $P_i^{(\tau)}(t)$ на кожному з проміжків $[a_\tau, b_\tau]$, $\tau = 1, 2$, знаходимо як розв'язок відповідної системи чотирьох лінійних алгебраїчних рівнянь, які отримуємо підставленням виразу (6) в умови операції (3). Для проміжка $[0, T_1]$ головний визначник цієї системи рівний $\Delta = T_1^4$, а

коефіцієнти $\{p_{ik}^{(1)}\}_{k=0}^3$ даються співвідношеннями:

$$p_{i0}^{(1)} = q_{0i} - G_{i0}^{(1)}, \quad p_{i1}^{(1)} = -\dot{G}_{i0}^{(1)},$$

$$p_{i2}^{(1)} = [3\Delta_i - 3(G_{i1}^{(1)} - G_{i0}^{(1)}) + T_1(2\dot{G}_{i0}^{(1)} + \dot{G}_{i1}^{(1)})]/T_1^2,$$

$$p_{i3}^{(1)} = [-2\Delta_i + 2(G_{i1}^{(1)} - G_{i0}^{(1)}) - T_1(\dot{G}_{i1}^{(1)} + \dot{G}_{i0}^{(1)})]/T_1^3,$$

де $\Delta_i = q_{1i} - q_{0i}$, $G_{i0}^{(1)} = G_i^{(1)}(0)$, $\dot{G}_{i0}^{(1)} = \dot{G}_i^{(1)}(0)$, $G_{i1}^{(1)} = G_i^{(1)}(T_1)$, $\dot{G}_{i1}^{(1)} = \dot{G}_i^{(1)}(T_1)$.

Для $t \in [T_1, T]$ головний визначник отриманої системи $\Delta = T_2^4$, $T_2 = T - T_1$, а коефіцієнти полінома $\{p_{ik}^{(2)}\}_{k=0}^3$ рівні:

$$p_{i0}^{(2)} = [T_1^2(3T - T_1)(q_{0i} - G_{i2}^{(2)}) + T^2(T - 3T_1)(q_{1i} - G_{i1}^{(2)}) + TT_1T_2(T\dot{G}_{i2}^{(2)} + T_1\dot{G}_{i1}^{(2)})]/T_2^3,$$

$$p_{i1}^{(2)} = [6TT_1(\Delta_i + G_{i2}^{(2)} - G_{i1}^{(2)}) - T\dot{G}_{i2}^{(2)}D_1 - T_1\dot{G}_{i1}^{(2)}D_2]/T_2^3,$$

$$p_{i2}^{(2)} = [-3(T + T_1)(\Delta_i + G_{i2}^{(2)} - G_{i1}^{(2)}) + \dot{G}_{i2}^{(2)}D_1 + \dot{G}_{i1}^{(2)}D_2]/T_2^3,$$

$$p_{i3}^{(2)} = [2(\Delta_i + G_{i2}^{(2)} - G_{i1}^{(2)}) - T_2(\dot{G}_{i2}^{(2)} + \dot{G}_{i1}^{(2)})]/T_2^3,$$

де позначено: $G_{i1}^{(2)} = G_i^{(2)}(T_1)$, $\dot{G}_{i1}^{(2)} = \dot{G}_i^{(2)}(T_1)$, $G_{i2}^{(2)} = G_i^{(2)}(T)$, $D_1 = T^2 - 2T_1^2 + TT_1$, $D_2 = 2T^2 - TT_1 - T_1^2$.

Узагальнені швидкості $\dot{\mathbf{q}}(t)$ і прискорення $\ddot{\mathbf{q}}(t)$ обчислюємо диференціюванням виразів (6) на відповідному проміжку часу $t \in [0, T_1]$, $t \in [T_1, T]$.

Обмеження (3), (4) задовольняємо методом зовнішніх штрафних функцій, представивши ці обмеження у відповідній інтегральній формі

$$Q_{qi} = \int_0^T \{ [q_i^{(\min)} - q_i]_+^2 + [q_i - q_i^{(\max)}]_+^2 \} dt,$$

$$Q_{ui} = \int_0^T \{ [u_i^{(\min)} - u_i]_+^2 + [u_i - u_i^{(\max)}]_+^2 \} dt, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де $[v]_+ = v$ при $v > 0$, $[v]_+ = 0$ при $v \leq 0$.

Далі, використовуючи підхід обернених задач динаміки, після підставлення $\mathbf{q}(t, \mathbf{z})$, $\dot{\mathbf{q}}(t, \mathbf{z})$, $\ddot{\mathbf{q}}(t, \mathbf{z})$,

де $\mathbf{z} = (a_{ik}^{(\tau)}; k = \overline{1, n_i}, \tau = 1, 2, i = \overline{1, n})$, у рівняння руху (1) отримуємо параметричне сімейство керувань

$$\mathbf{u}(t, \mathbf{z}, \mathbf{c}) \equiv \mathbf{C}^{-1}[\mathbf{A}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{B}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) - \mathbf{D}\mathbf{w}(t, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \mathbf{c})]. \quad (8)$$

Підставлення параметризованих $\mathbf{q}(t, \mathbf{z})$, $\dot{\mathbf{q}}(t, \mathbf{z})$, $\mathbf{u}(t, \mathbf{z}, \mathbf{c})$ у вираз для функціонала (5) та інтеграли (7) зводить вихідну задачу 1 до задачі нелінійного програмування

$$E(\mathbf{c}, \mathbf{z}) + \langle \lambda, \mathbf{Q}(\mathbf{c}, \mathbf{z}) \rangle \xrightarrow{\mathbf{c} \in \Omega, \mathbf{z}} \min. \quad (9)$$

Тут $E(\mathbf{c}, \mathbf{z})$ – функція багатьох змінних, до якої зводиться функціонал (5), λ – вектор заданих величин (штрафних коефіцієнтів), $\mathbf{Q}(\mathbf{c}, \mathbf{z})$ – вектор, компонентами якого є значення інтегральних виразів (7).

Для розв'язання задачі (9) використовуємо числові процедури мінімізації функцій багатьох змінних. При цьому, за початкове (стартове) значення параметрів оптимізації \mathbf{z} доцільно задавати коефіцієнти

Фур'є для функцій $\bar{q}_i(t) \equiv [q_i^{(\min)}(t) + q_i^{(\max)}(t)]/2$ за системою ортогональних функцій $\{g_{ik}^{(\tau)}(t)\}_{k=1}^{n_i}$:

$$\tilde{a}_{ik}^{(\tau)} = \frac{1}{d_{ik}^{(\tau)}} \int_{a_\tau}^{b_\tau} [\bar{q}_i(t) - P_i^{(\tau)}(t)] g_{ik}^{(\tau)}(t) dt,$$

$$d_{ik}^{(\tau)} = \int_{a_\tau}^{b_\tau} g_{ik}^{(\tau)}(t) g_{ik}^{(\tau)}(t) dt, \quad k = \overline{1, n_i}, \quad \tau = 1, 2.$$

Також, враховуючи співвідношення

$$q_i(t) - P_i^{(\tau)}(t) = \sum_{k=1}^{n_i} a_{ik}^{(\tau)} g_{ik}^{(\tau)}(t),$$

$$\int_0^{T_1} [q_i(t) - P_i^{(\tau)}(t)]^2 dt = \sum_{k=1}^{n_i} [a_{ik}^{(\tau)} d_{ik}^{(\tau)}]^2,$$

отримуємо обмеження на параметри оптимізації \mathbf{z}

$$H = \max \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^{n_i} [a_{ik}^{(\tau)} d_{ik}^{(\tau)}]^2 \leq H, \\ \int_{a_\tau}^{b_\tau} [q_i^{(\min)}(t) - P_i^{(\tau)}(t)]^2 dt, \\ \int_{a_\tau}^{b_\tau} [q_i^{(\max)}(t) - P_i^{(\tau)}(t)]^2 dt \end{array} \right\}.$$

Зауважимо, що за базові функції в параметризації можна вибрати, наприклад, систему тригонометричних функцій $\{1, \cos \frac{2\pi}{T} kt, \sin \frac{2\pi}{T} kt, k = \overline{1, K}\}$, системи ортогональних поліномів [1–3] тощо.

Запропонований метод параметричної оптимізації наближено розв'язує задачу 1. Однак для переважної більшості маніпуляційних систем, математичні моделі яких є суттєво нелінійними, застосування такого методу дає змогу в реальному часі отримати субоптимальні режим керування та параметри пасивних приводів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Демидюк М. В., Ширко М. І. Оптимізація режимів руху та параметрів дволанкового маніпулятора з активними й пасивними приводами. *Мат. методи та фізико-механічні поля*. 2007. Том 50. № 2. С. 183–190.
- [2] Демидюк М. В. Параметрична оптимізація чотириланкового замкнутого маніпулятора з активними й пасивними приводами. *Мат. методи та фізико-механічні поля*. 2009. Том 52. № 1. С. 193–202.
- [3] Демидюк М. В., Гошовська Н. В. Параметрична оптимізація руху дволанкового маніпулятора з використанням ортогональних поліномів. *Прикладні проблеми механіки і математики*. 2016. Вип. 14. С. 168–175.

Вейвлет аналіз температурних трендів днища скловарної печі

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.40>

Клепач М. І.

Кафедра автоматизації, електротехнічних та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та
природокористування
Рівне, Україна
m.i.klepach@nuwm.edu.ua

Клепач М. М.

Кафедра автоматизації, електротехнічних та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та
природокористування
Рівне, Україна
m.m.klepach@nuwm.edu.ua

Анотація — у статті розглянуто рішення науково-практичної задачі підвищення ефективності технологічних реакторів ванного типу для виробництва скла на підставі аналізу динаміки температурного режиму та оптимізації роботи систем повітряного охолодження вогнетривких огорожень реакторів.

Ключові слова — скловарна піч; автоматизований контроль температури днища; вейвлет аналіз; корозійні процеси.

I. ВСТУП

При довготривалій експлуатації скловарних печей та інтенсифікації тепло-технологічних процесів зростає і активність корозійних процесів. Внаслідок цього різко знижується стійкість вогнетривкої кладки плавильних реакторів у виробництвах скловиробів. У варильних басейнах скловарних печей особливо інтенсивно руйнується її нижня частина – днище скловарної печі.

Рішення науково-практичної задачі підвищення ефективності технологічних реакторів ванного типу для виробництва скла на підставі аналізу динаміки температурного режиму та оптимізації роботи систем повітряного охолодження вогнетривких огорожень реакторів є своєчасними і мають важливе значення для підвищення безпечності експлуатації плавильних реакторів промислових печей.

II. ОПИС АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ

З метою оперативного контролю та діагностики температурного режиму днища скловарної печі розроблено автоматизовану систему на основі сучасних програмно-технічних засобів. В системі передбачено автоматичне вимірювання температур у дванадцяти точках днища скловарної печі, візуалізацію інформації на панелі оператора в щиті управління, автоматичну сигналізацію виходу температур за допустимі межі, побудову трендів і архівування даних, передачу інформації у дорадчу систему аналізу технологічних показників для передбачення кризових явищ та управління системою повітряного обдуву печі.

В системі первинного збору та обробки інформації [1] з температурних перетворювачів ТХА використовується програмований логічний контролер System 100V німецької фірми VIPA.

Давачі температури розміщено в отворах футеровки днища. Кожна термопара оснащена перетворювачами сигналів термодатчиків в уніфікований сигнал 4...20 мА. В системі візуалізації і первинної обробки даних використовується сенсорна панель VIPA Touch Panel із встановленими операційною системою Windows CE Core та SCADA-системою Movicon італійської компанії Progea.

Інформація про значення температури в дванадцяти точках днища скловарної печі виводиться на екран сенсорної графічної панелі оператора, встановленої в щиті управління. В залежності від величини температури в кожній точці автоматично змінюється колір відображення значень температури. Інформація про розподіл температур днища печі передається також на верхній рівень управління.

III. АНАЛІЗ ДАНИХ

Для аналізу трендів зміни температури в різних точках використано вейвлет перетворення. Це перетворення знаходить все більш широке застосування в дослідженні і прогнозі часових рядів. Фактично часовим рядом є будь-яка функція (або сигнал), представлена в окремі моменти часу. Такими дискретними сигналами можуть бути послідовності відліків температури, тиску або інших технологічних параметрів в певні моменти часу. Метод фейвлет-аналізу дає двовимірну розгортку досліджуваного сигналу, де масштаб (частота) і зсув (час) вважаються незалежними змінними. У цьому методі для аналізу даних використовуються швидко спадаючі солітоноподобні функції. Це дозволяє проводити локалізований аналіз структури сигналів, що особливо важливо при вивченні процесів з мінливими в часі характеристиками. Безперервне вейвлет перетворення (CWT – continuous wavelet transform) від функції оригіналу виражається інтегралом

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

де $\psi(t)$ – вейлетоутворююча функція (материнський вейлет), a – параметр частотного масштабування; b – параметр часового зсуву. Таким чином, вейлет перетворення можна розглядати як прототип інтегрального перетворення Фур'є по системі базисних функцій – вейлетів

$$\psi(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right).$$

Спектр $W(a,b)$ одновимірного сигналу являє собою поверхню в тривимірному просторі. Способи візуалізації цієї інформації можуть бути різними. Замість зображення поверхонь часто представляють їх проекції на площину ab , що дозволяють простежити зміну інтенсивності амплітуд вейлет-перетворення на різних масштабах і у часі. Картина ліній, що з'єднують локальні екстремуми (окремо мінімуми і максимуми) поверхні модуля $|W(a,b)|$ називають скейлотонами. Вони чітко виявляють структуру аналізованого процесу. Слід зауважити, що $W(0,b)$ характеризує часову залежність при (при $a=0$), тоді як $W(a,0)$ можна трактувати як частотну залежність при $b=0$.

Розподіл густини енергії задається співвідношенням

$$P_W = |W(a,b)|^2,$$

а залежність

$$E_W = \int_{-\infty}^{\infty} |W(a,b)|^2 db,$$

називають енергограмою.

Положення максимумів на E_W можна інтерпретувати як середній період елементарних подій, що вносять основний внесок в енергію аналізованого процесу.

При дослідженні часових рядів корисно їх подання перетворення у вигляді сукупності послідовних наближень грубої (апроксимуючої) $A_m(t)$ і уточненої (деталізуючої) $D_m(t)$ складових, яка реалізується в алгоритмах дискретного вейлет перетворення

$$S(t) = A_m(t) + \sum_{j=1}^m D_j(t).$$

Пакет Wavelet Toolbox системи MATLAB має засоби для побудови вейлет-спектрів сигналів з покращеною візуалізацією. Спектрограми представляють значення вейлет-коефіцієнтів у площині змінних масштаб-час; при цьому внизу спектрограми розташовані малі значення масштабу (малі номери коефіцієнтів), що представляють детальну картину сигналу, а вгорі – великі значення, що дають загрублену картину. Значення коефіцієнтів визначають колір в спектрограмі

Результат обробки даних температурного режиму з використанням сімейства вейлетів Хаара наведено на рис. 1.

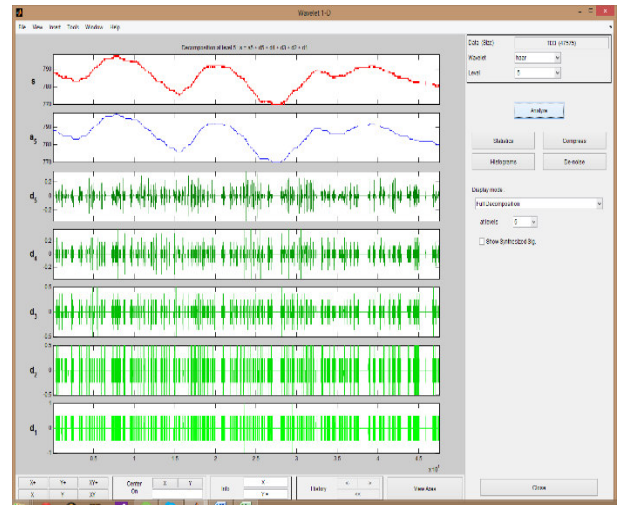


Рисунок 1. Вейлет перетворення Хаара 5 порядку температурного режиму днища печі

Аналіз результатів підтверджує стабільність температурного режиму печі за даний період часу, так як ознак кризових явищ у вигляді логоперіодичних коливань коефіцієнтів розкладу не спостерігається.

Міжремонтний період експлуатації скловарних печей визначається великою кількістю факторів до яких відносяться технологічні параметри варіння скла та режими і способи обдування огороження басейнів скловарних печей. При підвищенні інтенсивності обдуву підвищується охолоджувальний ефект за рахунок зростання коефіцієнтів теплопередачі, однак зростають експлуатаційні затрати і порушуються технологічні режими [2]. Контроль температур в різних точках днища печі дає цінну інформацію про інтенсивність корозійних процесів та оптимальність швидкості і тривалості обдуву.

Застосування вейлет-аналізу до даних спостереження за змінами температури на протяжні тривалого періоду дозволило виявити тенденцію до підвищення середнього значення температур днища і приймалося до уваги при ухваленні рішення про виведення скловарної печі на реконструкцію.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Клепач М. І., Полохович О. О. Автоматизована система контролю температурного режиму днища скловарної печі *Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси* : тези сьомої міжнародної науково-практичної конференції. Київ НАУ 2014. С. 82–83.
- [2] Semenov B. A., Ozerov N. A. Minimization of Specific Air Flows in Jet-Cooling Systems for Melting Tank Refractory Barriers in Glass Furnaces. *Glass and Ceramics*. 2016. Вып. № 9. Vol. 72. №№ 9. С. 370–375.

Керування високовольтним імпульсним розрядом в екзотермічному середовищі

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.41>

Сергій Козирев

Кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки Національного університету
кораблебудування
Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України
Миколаїв, 54000, Україна

Анотація— Проведено дослідження високовольтного імпульсного розряду в екзотермічному середовищі як об'єкта керування. Запропоновано правила знаходження початкових умов алгоритму керування. Проведено кореляційний аналіз взаємозв'язку електродинамічних і гідродинамічних характеристик і визначено інформаційні координати. Розроблено алгоритм керування високовольтним імпульсним розрядом в екзотермічному середовищі

Ключові слова — алгоритм керування; інформаційні координати; високовольтний імпульсний розряд; екзотермічне середовище.

I. ВСТУП

У технологіях розрядно-імпульсного руйнування природних і штучних негабаритів, розпушування міцних донних ґрунтів широко використовують високовольтний імпульсний електричний розряд в хімічно активних конденсованих середовищах, здатних до екзотермічних перетворень в режимі вибухового горіння під дією високих температур і тисків, створюваних в каналі розряду електро-розрядною плазмою. Енергія, що вивільняється при екзотермічних перетвореннях хімічно активного середовища, підсумовується з електричною енергією розряду, накопиченою на обкладинках конденсаторних батарей генератора імпульсних струмів (ГІС). В результаті такого підсумовування енергія руйнування зростає в кілька разів без збільшення накопиченої енергії в батареї конденсаторів [1–3].

Важливою перевагою розрядно-імпульсних технологій, що використовують високовольтний розряд в екзотермічному середовищі для руйнування негабаритів, є керуваність, на відміну від технологій, які використовують вибухові речовини. Тому розробка систем керування режимом високовольтного імпульсного розряду в хімічно активних конденсованих середовищах є актуальним завданням, розв'язання якого потребує вивчення високовольтного імпульсного розряду в екзотермічному середовищі як об'єкта керування, визначення інформаційних координат та початкових умов, розробки алгоритму керування, що забезпечує енергетичну ефективність екзотермічного перетворення енергії в каналі розряду.

II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Проведені раніше дослідження показали, що використання високовольтного імпульсного розряду в екзотермічному середовищі дозволяє розширити сферу застосування технологій імпульсної обробки матеріалів. Обумовлено це тим, що при ідентичних характеристиках генераторів імпульсних струмів, які застосовуються в розрядно-імпульсних технологіях, при використанні розряду в хімічно активних конденсованих середовищах, здатних до екзотермічних перетворень, зростають амплітуда і тривалість генерованого імпульсу тиску. В роботі [4] аналізуються профілі тиску, отримані з урахуванням випромінювання, викликаного реакцією екзотермічних добавок.

Важливим при технологічному використанні розряду в екзотермічному середовищі є забезпечення енергетичної ефективності. В роботах [5, 6] досліджується одноімпульсний режим введення енергії в канал розряду, при якому реакція горіння екзотермічної суміші припиняється протягом декількох десятків мікросекунд, що призводить до неповного згорання використовуваних екзотермічних сумішей та втрати потенційної хімічної енергії. Це обумовлює не достатню ефективність одноімпульсного введення енергії через короткочасність імпульсу тиску, що генерується високовольтним розрядом.

Аналіз результатів по дослідженню введення електричної енергії в канал іскрового розряду в конденсованих середовищах [7–10] показав, що на базі багатоконтурних генераторів імпульсних струмів можна формувати імпульси тиску з декількома послідовними пульсаціями, число яких дорівнює числу пульсацій електричної потужності. Кожен імпульс забезпечує збільшення амплітуди і тривалості імпульсу тиску. Проаналізовані літературні джерела аргументовано показують переваги багатоімпульсного введення енергії в канал розряду.

Проведений аналіз літературних джерел показує, що залишається відкритим питання керування подачею послідовних розрядних імпульсів для забезпечення ефективності екзотермічних перетворень при кожній реалізації високовольтного

багатоімпульсного розряду в екзотермічному середовищі.

III. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є аналіз високовольтного багатоімпульсного розряду в конденсованих екзотермічних середовищах як об'єкта керування, визначення інформаційних координат та початкових умов, розробка алгоритму керування, що забезпечує енергетичну ефективність екзотермічного перетворення енергії в каналі розряду.

Для досягнення поставленої мети були виконані такі завдання:

- дослідити вплив режимів керованого введення електричної енергії в канал розряду на ефективність екзотермічного перетворення енергії з метою визначення початкових умов алгоритму керування ;

- дослідити взаємозв'язок електродинамічних і гідродинамічних характеристик розряду з керованим введенням електричної енергії з метою визначення інформаційних координат;

- розробити алгоритм керування режимом високовольтного імпульсного розряду в конденсованих екзотермічних середовищах, що дозволяє забезпечувати задані технологічні режими і максимальну ефективність екзотермічного перетворення енергії при кожній реалізації розряду.

IV. ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Метою керування процесом високовольтного імпульсного розряду в конденсованих екзотермічних середовищах є підвищення ефективності екзотермічного перетворення енергії при кожній реалізації, що визначає ефективність технологічної дії на об'єкти обробки. Ефективність екзотермічного перетворення енергії визначається повнотою згорання маси екзотермічної суміші. При повному згоранні величина хімічної енергії, що вивільняється, має бути близькою до потенційної енергії екзотермічної суміші. Проте при некерованому одноімпульсному введенні енергії в канал розряду в реакцію вступає біля 20% загальної кількості екзотермічної суміші, введеної в розрядний проміжок. Головною причиною цього є припинення самопідтримної екзотермічної реакції, із-за різкого зниження тиску в каналі розряду від сотень МПа до менш ніж $P_{\min}=23$ МПа – мінімального рівня тиску, необхідного для протікання самопідтримної екзотермічної реакції.

З метою підвищення ефективності вивільнення хімічної енергії потрібна підтримка рівня тиску в каналі розряду вищим за мінімальний більш тривалий час. Пропонується метод підвищення ефективності екзотермічних перетворень при кожній реалізації розряду, що ґрунтується на послідовному порційному введенні електричної енергії в канал розряду по заданому алгоритму, з поточним непрямым контролем рівня тиску в каналі розряду з метою не допущення згасання самопідтримної екзотермічної реакції. Реалізація цього методу вимагає розробки відповідного алгоритму керування

процесом введення електричної енергії в канал розряду.

При керованому двоімпульсному введенні електричної енергії в канал розряду необхідно визначити початковий розподіл електричної енергії, між першим і другим імпульсами, що забезпечує максимальну питому енергетичну ефективність екзотермічного перетворення μ . Повна енергія W_p , необхідна для здійснення заданих технологічних операцій, складається з електричної енергії $W_\tau=W_1+W_2$ і теплової енергії ΔW_x , що вивільняється при окисненні екзотермічної суміші. Були проведені дослідження впливу співвідношення енергій другого і першого імпульсів на ефективність виділення потенційної хімічної енергії екзотермічної суміші і отримана залежність $\mu=f(W_2/W_1)$, яка має максимум і дозволяє визначити оптимальне співвідношення W_2/W_1 (Рис. 1).

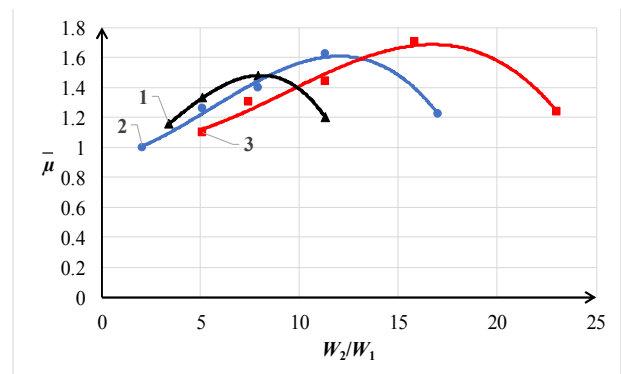


Рисунок 1. Залежність питомої енергетичної ефективності μ від співвідношення енергій W_2/W_1 при різних значеннях повної електроенергії W_τ : 1 – 400 Дж, 2 – 550 Дж, 3 – 750 Дж

В якості початкових умов задається напруга U_1, U_2 на конденсаторах генератора імпульсних струмів (ГІС), що визначається із співвідношень:

$$W_\tau = \frac{W_i - \Delta W_x}{\eta_i}; \quad W_\tau = W_1 + W_2; \quad W_{1,2} = \frac{C_{1,2} U_{1,2}^2}{2}. \quad (1)$$

Наступним етапом є розробка алгоритму подання сигналу на включення другого розрядного контуру для збільшення часу протікання екзотермічної реакції в самопідтримному режимі. Включення другого розрядного контуру повинне відбуватися в момент, коли тиск в каналі розряду досягає гранично допустимого мінімального значення для даного екзотермічного складу. Заздалегідь час подання другого імпульсу встановити неможливо із-за стохастичності процесів в каналі розряду. Важливим є використання достовірної інформаційної координати для непрямої оцінки тиску в каналі розряду $P(t)$. Тиск в каналі розряду має значний статистичний розкид і є операційно не визначуваним, і тому не може бути використаним в якості інформаційної координати в системі керування. У зв'язку з цим були проведені дослідження з метою визначення інформаційних координат, що можуть бути непрямою оцінкою тиску в каналі розряду. До таких величин відносяться напруга пробую $U(t)$, розрядний струм $I(t)$, електрична потужність $N(t)$. Електродинамічні і гідродинамічні процеси в каналі розряду носять

стохастичний характер. Існує ряд досліджень, які показують, що ці характеристики підкоряються нормальному закону розподілу [11, 12]. З метою встановлення зв'язку між електродинамічними $U(t)$, $I(t)$, $N(t)$ і гідродинамічними $P(t)$ характеристиками проведено їх кореляційний аналіз. Оскільки досліджувані величини розподілені нормально, то для проведення кореляційного аналізу застосовувався лінійний коефіцієнт кореляції Пірсона r , який використовується для оцінки лінійного зв'язку, і коефіцієнт детермінації $R=r^2$, який характеризує щільність зв'язку. Найбільш щільний інформаційний зв'язок ($R=0,9368$) спостерігається між $P(t)$ і $N(t)$. Таким чином, в якості інформаційної координати, що побічно визначає тиск в каналі розряду, може бути використане операційно визначуване значення електричної потужності $N(t)=U(t) \cdot I(t)$. Поточне значення $P(t)$, що відповідає вимірюваному значенню $N(t)=U(t) \cdot I(t)$, може оперативно визначатися за виразами, що описують процеси в каналі розряду:

$$\frac{1}{\gamma-1} \cdot \frac{d(P \cdot \pi \cdot a^2)}{dt} + P \cdot \frac{d(\pi \cdot a^2)}{dt} = \frac{N}{l}, \quad (8)$$

$$P = \frac{\rho}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{d^2(\pi \cdot a^2)}{dt^2} \cdot \ln\left(\frac{l}{a}\right) - \frac{\rho}{8 \cdot \pi \cdot (\pi \cdot a^2)} \cdot \left(\frac{d(\pi \cdot a^2)}{dt}\right)^2, \quad (9)$$

де P – тиск в каналі розряду, a – радіус каналу розряду, l – довжина розрядного проміжку, γ – ефективний показник адіабати, ρ – густина середовища.

Використання $N(t)=U(t) \cdot I(t)$ в якості інформаційної координати дасть змогу з достатньою мірою точності мати оцінку тиску в каналі розряду $P(t)$ для своєчасної подачі керуючого сигналу на включення другого розрядного контуру ГІС.

Система автоматичного керування програмними засобами реалізує алгоритм керування двоконтурним генератором імпульсних струмів (ГІС), забезпечуючи подання управляючого сигналу, на включення другого розрядного контуру в момент досягнення тиском в каналі розряду $P(t)$ мінімального допустимого значення (Рис. 2)

Завдання в систему керування поступає з бази даних, в якій зберігаються результати заздалегідь проведених експериментальних досліджень і розрахунків, що визначають необхідні енергії першого і другого розрядних імпульсів W_1 , W_2 , що забезпечують максимальну ефективність виділення хімічної енергії. Величина граничного значення тиску в каналі розряду P_{\min} , необхідна для підтримки протікання екзотермічної реакції в самопідтримному режимі, визначається складом і масою екзотермічної суміші, вибраної виходячи із заданого технологічного режиму. Величини зарядної напруги U_1 , U_2 на першому і другому емнісних накопичувачах енергії відповідають необхідним значенням енергії розрядних імпульсів W_1 і W_2 . Визначені величини (U_1 , U_2 і P_{\min}) програмними засобами задаються як початкові умови алгоритму

керування.

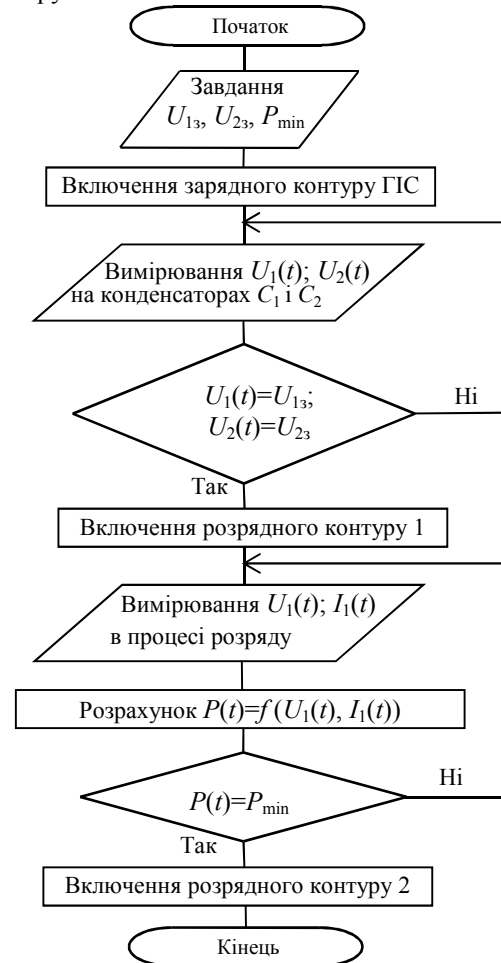


Рисунок 2. Алгоритм керування

Після цього надходить сигнал на включення зарядного блоку генератора імпульсних струмів для заряду емнісних накопичувачів енергії (C_1 , C_2). В процесі заряду вимірюються поточні значення напруг $U_1(t)$, $U_2(t)$ на емнісних накопичувачах датчиками напруги. Інформаційні сигнали з датчиків надходять в систему автоматичного керування, де поточні значення напруг $U_1(t)$, $U_2(t)$ порівнюються з заданими значеннями U_{13} , U_{23} . У момент, коли напруги на конденсаторах досягають заданих значень з системи автоматичного керування надходить сигнал на включення першого розрядного контуру і на електроди надходить перший розрядний імпульс. Починається процес високовольтного електрохімічного вибуху екзотермічної суміші в реакційній камері. В процесі реалізації першого розрядного імпульсу вимірюється напруга $U_1(t)$ датчиком напруги і розрядний струм $I_1(t)$ датчиком струму, що індуктивно пов'язаний з першим розрядним контуром. Значення напруги $U_1(t)$ і розрядного струму $I_1(t)$ передаються в систему керування. В системі керування програмними засобами розраховується поточне значення тиску в каналі розряду першого високовольтного розрядного імпульсу $P(t)$. Може також використовуватися попередньо сформована база даних для визначення тиску за електричними характеристиками. Поточне

значення тиску в каналі розряду $P(t)$ порівнюється із заданим граничним мінімальним значенням P_{\min} , необхідним для підтримання протікання екзотермічної реакції в самопідтримному режимі. При досягненні поточним значення тиску граничного значення $P(t)=P_{\min}$ з системи автоматичного керування подається сигнал на включення другого розрядного контуру. На електроди надходить другий розрядний імпульс, який підвищує тиск в реакційній камері і забезпечує подальше протікання екзотермічної реакції в самопідтримному режимі до повного згорання екзотермічної суміші.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень високовольтного імпульсного розряду в екзотермічному середовищі як об'єкта керування отримана залежність питомої енергетичної ефективності виділення потенційної хімічної енергії екзотермічної суміші від розподілу повної електричної енергії між послідовними розрядними імпульсами. Це дозволяє, за запропонованими авторами правилами, визначати початкові умови алгоритму керування режимом розряду, що забезпечують максимальну ефективність екзотермічних перетворень.

Дослідження електродинамічних і гідродинамічних характеристик високовольтного розряду в екзотермічному середовищі і їх статистичний аналіз показали істотну стохастичність процесів при екзотермічних перетвореннях в режимі вибухового горіння.

Проведено кореляційний аналіз взаємозв'язку поточного тиску в каналі розряду і електричних параметрів розряду, що характеризують режим введення електричної енергії. За його результатами в якості інформаційних координат, що побічно визначають тиск в каналі розряду, запропоновано використовувати операційно визначувані електричні характеристики розряду $U(t)$, $I(t)$, $N(t)$.

Розроблено алгоритм керування високовольтним багатоімпульсним розрядом в екзотермічному середовищі, який дозволяє уникнути згасання екзотермічної реакції при випадковому, із-за стохастичності процесу, зниженні тиску до гранично допустимого мінімального значення. Використання запропонованого алгоритму керування забезпечить збільшення часу протікання екзотермічної реакції в самопідтримному режимі до повного згорання екзотермічної суміші при кожній реалізації розряду. За рахунок цього зменшаться непродуктивні втрати хімічної і електричної енергії при кожній реалізації розряду і збільшиться кількість виділеної сумарної енергії для виконання технологічних операцій, без збільшення витрат електроенергії.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Ризун А. Р., Голень Ю. В., Денисюк Т. Д., Кононов В. Ю. и др. Электроразряд – источник энергии экологически чистых технологий разрушения. *Электронная обработка материалов*. 2012. Т. 48. № 5. С. 109–111.
- [2] Rizun A. R., Golen' Yu. V., Denisjuk T. D. Seismically safe distances for bottom ground loosening by high-voltage

electrochemical explosion. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2008. Vol. 44, Issue 3, P. 240–242.

- [3] Коростовенко В. В., Коростовенко Л. П., Стрекалова Т. А., Стрекалова В. А. Особенности физических процессов при разрядноимпульсных методах в комбинированных технологиях переработки минерального сырья. *Международный журнал экспериментального образования*. 2013, № 10–1, С. 129–132.
- [4] Крутиков В. С., Ризун А. Р., Голень Ю. В. Метод оценки полей давлений при высоковольтном электрохимическом взрыве в закрытых объемах. *Электронная обработка материалов*. 2014. Т. 50. № 5. С. 84–87.
- [5] Rizun A. R., Posdeev V. A., Golen' Yu. V. One-shot electrode systems for high-voltage electrochemical destruction of natural and artificial lumps. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2010. Vol. 46. No. 3. P. 263–265.
- [6] Rizun A. R., Golen' Yu. V., Denisjuk T. D. Initiation of electrical discharge by exothermal compositions at destruction of firm soils. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2007. Vol. 43. Issue 2. P. 116–118.
- [7] Vovchenko A. I., Shomko V. V., Barbashova G. A., Kamenskaya L. A. Investigation of hydrodynamic processes at multi-pulse power input into the channel of an electric discharge in liquid. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2014. Vol. 50. № 1. P. 72–77.
- [8] Barbashova G. A., Shomko V. V. Cyclicity effect of the electrical energy input in a channel of the underwater spark discharge. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2007. Vol. 43. № 2. P. 110–115.
- [9] Barbashova G. A. Restoration of the Characteristics of the Cavity Formed upon Explosion of a Microconductor According to the Specified Two Pulse Temperature Dependence of the Pressure at a Point in a Liquid. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2010. Vol. 46. № 1. P. 53–56.
- [10] Тертилов Р. В. Оптимизация разрядноимпульсных технологий на базе применения двухконтурных генераторов импульсных токов. *Техническая электродинамика*. 2011. № 3. С. 67–72.
- [11] Sergey Kozyrev “Control System of Discharge-Pulse Installation with Elements of Artificial Intelligence”. 2019. *IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON 2019*. Proceedings 8879816, P. 513–517.
- [12] Sergey Kozyrev, Natalia Nazarova, Dmitriy Vinnichenko “Adaptive Filter of Input Information Signal for Discharge Pulse Installation Control System”. 2018. *IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems. IEPS 2018*. Proceedings 8559558, P. 343–346.

Безпечне збереження конфіденційної інформації на серверах

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.42>

Очко Олександр

кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
ochko_ak20@nuwm.edu.ua

Аврука Ірина

кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
a.s.avruka@nuwm.edu.ua

Abstract — Виконано реалізацію і розробку алгоритму для забезпечення безпечного збереження конфіденційної інформації на серверах.

Keywords — кібербезпека; шифрування даних; хмарні рішення.

I. ВСТУП

Хмарні рішення є дуже популярними для збереження та обробки даних. Проте таким рішенням важко довірити збереження своїх паролів та логінів для входу на сторонні сайти або іншу особисту інформацію.

Коли дані передаються на сервер, то вони передаються між сервером та клієнтом у зашифрованому вигляді (за наявності захищеного з'єднання), проте сервер бачить отримані дані у відкритому вигляді і сам вирішує як ними розпоряджатися.

Хмарні рішення – це добре, але ніхто не може гарантувати, що важливі дані не будуть «злиті» в публічний доступ через атаки на хостинг компанію або обліковий запис. Немає гарантій, що адміністрація або працівники, які мають доступ до серверу, не читають інформацію і не можуть її прочитати.

Збереження конфіденційної інформації на локальному комп'ютері у відкритому вигляді – це також небезпечно, бо може бути встановлене вірусне програмне забезпечення або до комп'ютера мають доступ треті особи. Також можлива повна втрата інформації через фізичну поломку.

Тому одним із рішень для збереження даних може бути забезпечення повного шифрування як на сервері так і комп'ютері користувача. Для реалізації цього необхідно розробити програмне забезпечення по заданому алгоритму та встановити його на сервер або хостинг. Приклад коду програмного забезпечення написаний на мові програмування PHP[1] із застосуванням фреймворку Laravel [2].

II. СПОСОБИ ЗАХИСТУ ДАНИХ

A. На сервері

Щоб ускладнити доступ до конфіденційних даних їх потрібно зашифрувати. Проте, щоб при першому вдалому підібраному паролі не було отримано доступ до всієї інформації, необхідно використовувати різні паролі для шифрування файлів, в яких знаходиться важлива інформація, а їхня довжина повинна бути не менша 10 символів. Також необхідно прибрати можливу ідентифікацію зашифрованих файлів по користувачу, тобто ніхто не повинен знати, кому вони належать. Назви файлів повинні бути згенеровані випадковим чином і не містити будь-якої інформації, щоб могла на щось вказувати. В ідеальних умовах навіть адміністрація сервера не може знати, якому користувачу належать які файли.

B. На комп'ютері користувача

Щоб уникнути несанкціонованого доступу до інформації на стороні сервера і в разі втрати доступу до комп'ютера або отримання до нього доступу третьою особою, буде застосоване шифрування інформації[3] (додатково до захищеного протоколу передачі даних HTTPS[4]), яка передається на сервер. Також це дає нам впевненість в тому, що програмне забезпечення на сервері не може читати інформацію, яку ми передаємо і коли він цю інформацію поверне, то вона не буде у відкритому вигляді.

III. АЛГОРИТМ РОБОТИ

Перед початком роботи необхідно зрозуміти, що повинно бути в результаті. Важливим критерієм в першу чергу є безпека, а далі зручність використання. Щодо зручності, то користувач повинен отримати ідентифікатор (який є звичайним рядком) для доступу до особистих даних та їхнього перепису. Ввести дані та вказати пароль.

A. Особливості роботи алгоритму

Даний алгоритм розроблений таким чином, щоб сервер не міг отримати доступ до даних, які зберігаються у файлі, без запиту користувача, а

користувач, маючи ідентифікатор, не міг отримати доступ до даних без сервера та пароля.

В. Що являє собою ідентифікатор користувача

Ідентифікатор користувача – це закодований рядок в base64 [5], який містить зашифровану інформацію [6], а саме:

- Назва файлу
- Пароль шифрування файлу

Ключ шифрування ідентифікатора користувача знаходиться у базі даних на сервері. Структура бази даних [5] виглядає наступним чином:

ID	Hash	Info
int	string	string

ID – ідентифікатор рядка в базі даних.

Hash – це може бути результат перетворення ідентифікатора користувача алгоритмом хешування sha256 або sha512.

Info – містить інформацію щодо розшифрування ідентифікатора користувача.

Причина використання хешу – це те, що неможливо зрозуміти, з яких даних був отриманий даний хеш. Таким чином на сервері відсутня інформація щодо розшифрування файлів із даними користувачів.

С. Що являє собою файл із даними користувача?

Файл має випадково згенеровану назву. Його вміст вперше був зашифрований користувачем особистим паролем до того як інформація попала на сервер, а на сервері повторно зашифрована унікальним паролем, який знаходиться у зашифрованому ідентифікаторі користувача, який повертається користувачу після успішного збереження даних на сервері.

Д. Чи можливо підібрати ідентифікатор користувача?

Довжина ідентифікатора залежить від технічної реалізації, у нашій реалізації програма генерує ідентифікатор із 376 символів, проте 2 символи вкінці завжди однакові. На даний момент не існує технологій, які могли б швидко вгадати подібну комбінацію.

Е. Що буде, якщо втратити ідентифікатор користувача?

Втрата ідентифікатора – це втрата даних, до яких можна було доступитися за цим ідентифікатором. По-перше, якщо програмним забезпеченням користується декілька людей, то стає неможливим знайти необхідний зашифрований файл. По-друге, якщо і розшифрувати файл, то це займе значну частину часу, можливо вічність(залежить від алгоритму і довжини пароля, у нашому випадку 128 символів).

Ф. Що буде, якщо до ідентифікатора мають доступ треті лиця

Знання ідентифікатора користувача ще не означає доступ до даних. Так, сервер поверне дані, але вони і надалі у зашифрованому вигляді. Проте, якщо користувач встановив ненадійний пароль, то розшифрування цих даних може вдатися. Якщо було виявлено, що ідентифікатор може хтось знати, то потрібно виконати перезапис даних по даному ідентифікатору і запис конфіденційних даних в новий ідентифікатор.

IV. ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВИСНОВКИ

Основна ідея алгоритму полягає в реалізації взаємозалежних відносин між користувачем і сервером, таким чином, щоб інформація, яка знаходиться у користувача, а саме ідентифікатор, не могла бути прочитана і так само дані користувача, які зберігаються на сервері, не могли бути прочитані. Проте, коли поєднуються дані обох сторін, тоді, і тільки тоді, можна було отримати дані, які відправляв користувач на сервер, тобто дані, які знаходяться у зашифрованому файлі. Наданий алгоритм можна застосовувати для збереження важливих даних і отримувати до них доступ з будь-якого місця, де є підключення до інтернету. Якщо доопрацювати фронтальну частину сайту[8], то вміст даних, які зберігає користувач, може не обмежуватися кількома рядками – це можуть бути повноцінні файли, фото, бази даних.

ЛІТЕРАТУРА

[1] URL: <https://www.php.net/> PHP: Hypertext Preprocessor

[2] URL: <https://laravel.com/> Laravel – The PHP Framework For Web Artisans

[3] URL: https://github.com/ssashkaa01/security_cloud/blob/master/resources/views/main.blade.php#L93) Приклад реалізації коду для шифрування даних на стороні користувача у веб браузері

[4] URL: <https://developers.google.com/search/docs/advanced/security/https> How To Secure Your Site with HTTPS | Google Search Central

[5] URL: https://github.com/ssashkaa01/security_cloud/blob/master/app/Http/Controllers/SecurityCloudController.php#L84 Приклад коду, де декодується ідентифікатор користувача

[6] URL: https://github.com/ssashkaa01/security_cloud/blob/master/app/Http/Controllers/SecurityCloudController.php#L73 Приклад коду, де шифрується ідентифікатор користувача

[7] URL: https://github.com/ssashkaa01/security_cloud/blob/master/database/migrations/2021_08_31_113058_create_security_cloud_table.php) Приклад міграції бази даних на PHP фреймворку Laravel

[8] URL: https://github.com/ssashkaa01/security_cloud/blob/master/resources/views/main.blade.php) Приклад коду, де описано фронтальну частину сайту.

Застосування комп'ютерного зору для автоматичного вимірювання швидкості рідин з тонкодисперсними домішками

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.43>

Дмитро Реут

кафедра автоматизації, електротехнічних і комп'ютерно-інтегрованих технологій
 Національний університет водного господарства та природокористування
 Рівне, Україна
 d.t.reut@nuwm.edu.ua

Володимир Древецький

кафедра автоматизації, електротехнічних і комп'ютерно-інтегрованих технологій
 Національний університет водного господарства та природокористування
 Рівне, Україна
 v.v.drevetskyi@nuwm.edu.ua

Світлана Матус

кафедра автоматизації, електротехнічних і комп'ютерно-інтегрованих технологій
 Національний університет водного господарства та природокористування
 Рівне, Україна
 s.k.matus@nuwm.edu.ua

Abstract — Розглянуто проблему автоматичного вимірювання швидкості прозорих рідин з тонкодисперсними домішками. Розроблено інформаційно-вимірювальну систему, що здійснює неперервне вимірювання швидкості руху мікроорганізмів та інших тонкодисперсних домішок, а з ними і рідини, за допомогою комп'ютерного зору.

Keywords — комп'ютерний зір; автоматичне вимірювання; швидкість рідин; тонкодисперсні домішки; мікроскоп.

I. ВСТУП

Потреба вимірювання малих швидкостей та мікровитрат рідин виникає в аналітичній та лабораторній техніці, технологічних процесах дозування малих кількостей речовини, мікробіологічних дослідженнях [1].

Для вимірювання мікровитрат та малих швидкостей рідин може застосовуватись мітковий метод, який передбачає додаткове внесення домішки-мітки в рідину або створення теплових міток у потоці рідини локальним нагрівом у окремих точках з наступним вимірюванням часу проходження міткою контрольної відстані. Недоліком такого методу є необхідність поповнення запасу речовини, що служить джерелом міток. Використання теплових міток може бути утруднено при вимірюванні витрат рідин, що містять живі клітини або інші компоненти, чутливі до температурного режиму, оскільки може призвести до спотворення результатів мікробіологічних вимірювань і досліджень.

При вимірюванні швидкості або витрати рідин, що містять мікроорганізми розмірами 5...100 мкм,

часто водночас стоїть задача їх розпізнавання й визначення кількості.

Отже, існує потреба в способі вимірювання швидкості, який не передбачає додаткового нагріву рідини, що впливає на розвиток мікроорганізмів у ній, та введенні інших речовин, які можуть впливати на фізичні та хімічні показники якості аналізованої води.

II. СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ

Для здійснення пропонованого способу вимірювання швидкості було використано систему підрахунку та розпізнавання мікропланктону (fig. 1) [2].

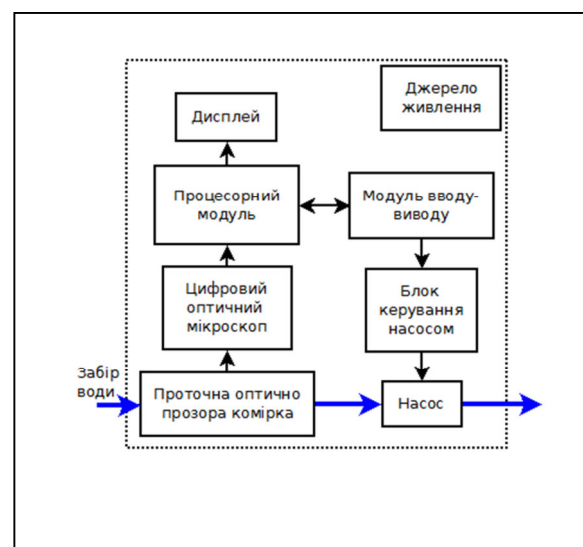


Рисунок 1. Структурна схема вимірювальної системи

Вона складається з оптично прозорої проточної комірки, через яку низькопродуктивним перистальтичним насосом прокачується аналізована вода; цифровий оптичний мікроскоп формує відеопотік і зображенням мікроскопічних частинок у воді, яка рухається в полі зору мікроскопа, та надсилає його процесорному модулю; процесорний модуль виконує програму розпізнавання об'єктів і підрахунку кількості та виводить результат на дисплей. Процесорний модуль через модуль вводу-виводу та блок керування насосом формує задане середнє значення напруги на приводі насоса, від якої залежить швидкість обертання насоса та його продуктивність.

Швидкість протікання води в полі зору мікроскопа через оптично прозору проточну комірку визначає відстань, яку пройде об'єкт у воді за час витримки кадру, й відповідно чіткість отриманого відеокадру. Падіння чіткості зображення, що використовується для розпізнавання за допомогою комп'ютерного зору, має значні негативні наслідки: збільшення похибки визначення геометричних параметрів, розпізнавання одного об'єкта як декількох менших тощо.

Суть роботи системи вимірювання швидкості наступна: прирости координат відстежуваних об'єктів за проміжок часу, що пройшов між сусідніми кадрами, усереднюються та групуються за діапазонами значень і при обчисленні швидкості використовується переміщення найчисленнішої групи. Оскільки нерухомі організми мікропланктону рухаються зі швидкістю течії, а організми зоопланктону можуть рухатись в будь-якому напрямку із відмінною від течії швидкістю, то швидкість руху води визначається як швидкість руху найбільшої групи, адже саме руху за течією властиві рівні вектори швидкості мікроорганізмів. Ймовірність же того, що всі організми мікрозоопланктону рухатимуться з однією швидкістю й в одному напрямку в кількості, більшій, ніж кількість фітопланктону в кадрі, є надзвичайно малою.

В якості давача швидкості води використовується той самий мікроскоп, що і для аналізу, це дозволяє вимірювати швидкість з малим порогом чутливості та високою роздільною здатністю (близько 0,5 мкм/с у використаному в системі мікроскопі) вимірювати швидкість за наступним алгоритмом:

- 1) отримання кадру з мікроскопу;
- 2) перетворення кольорового зображення в одноканальне (відтінки сірого);
- 3) перетворення зображення з відтінків сірого в бінарне (чорно-біле) застосуванням порогового фільтра;
- 4) виділення замкнених контурів;
- 4) визначення координат центрів контурів;
- 5) пошук нових, оновлення координат існуючих та видалення зниклих контурів порівнянням з координатами об'єктів на попередньому кадрі;

- 6) визначення переміщення об'єктів за час між сусідніми кадрами;
- 7) обчислення сумарного за m кадрів переміщення;
- 8) градація переміщень за кількістю об'єктів з таким переміщенням (fig. 2);

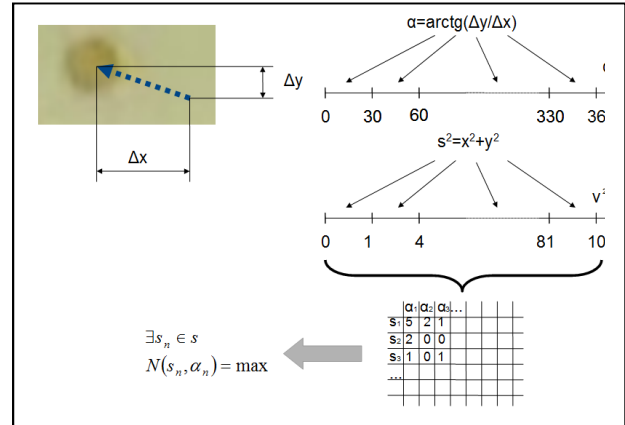


Рисунок 2. Визначення переміщення потоку води

9) вибір значення переміщення s_n з найбільшою кількістю об'єктів та обчислення відповідної йому швидкості при поточній частоті кадрів f (25 c^{-1} у використаному в системі мікроскопі) за формулою

$$v = \frac{s_n f}{m} \quad (1)$$

Верхня межа вимірювання швидкості визначається чіткістю відеокadrів з об'єктами в рідині, яка в свою чергу залежить від часу витримки кадру. При надмірній витримці кадру об'єкти на відео мають розмиті межі, що спричиняє зменшення точності визначення координат об'єктів і їх переміщення.

III. ВИСНОВКИ

Запропонований спосіб вимірювання швидкості рідини не потребує додаткового апаратного забезпечення для вимірювання швидкості, якщо мікроскоп і відеокамера вже використовуються з метою розпізнавання та класифікації. За наявності в потоці мікроорганізмів, що рухаються самостійно відносно потоку, запропонований спосіб дозволяє точніше, ніж мітковий, визначати швидкість потоку за швидкістю найчисельнішої групи об'єктів. Запропонована система може використовуватись для вимірювання малих швидкостей прозорих рідин з тонкодисперсними домішками розміром 5...100 мкм.

ЛІТЕРАТУРА

[1] ISO 2975-6:1977. Measurement of water flow in closed conduits — Tracer methods — Part 6: Transit time method using non-radioactive tracers

[2] Реут Д. Т., Древецький В. В. Використання нейронних мереж при вимірюванні концентрації організмів мікропланктону у неперервному потоці води. *Вісник Інженерної академії України*. 2019. № 4. С. 96–99.

Розроблення інформаційної системи для спектрофотометричного аналізу

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.44>

Андрій Сафоник
 Національний університет водного господарства та природокористування
 Навчально-науковий інститут автоматичної, кібернетики та обчислювальної техніки
 Рівне, Україна
a.p.safonyk@nuwm.edu.ua

Іванна Грицюк
 Національний університет водного господарства та природокористування
 Навчально-науковий інститут автоматичної, кібернетики та обчислювальної техніки
 Рівне, Україна
i.m.hrytsiuk@nuwm.edu.ua

Анотація — Проаналізовано основні види архітектури нейронних мереж та обрано оптимальну архітектуру для процесу визначення іонів заліза спектрофотометричним методом, розроблено схему нейронної мережі, проаналізовано точність навчання та обрано аналізатор даних нейронної мережі. Для тестування роботи та отримання даних досліджень було розроблено веб-інтерфейс з використанням JavaScript фреймворк Vue.js.

Ключові слова — нейронна мережа; інформаційна система; коагулянт; веб-інтерфейс.

I. ВСТУП

Забруднення води – одна із основних проблем людства, яка з кожним роком стає все більш актуальною та значущою по всьому світу. На даний час очисні споруди, які проводять очищення стічних вод застарілі, використовують реагенти та не виконують свої функції на достатньому рівні, а отже розробка та дослідження нових механізмів та методів очистки є актуальною задачею сьогодення.

Дослідження методів очистки є складним, затратним та тривалим в часі. Одним з лабораторних методів дослідження є спектрофотометричний метод, що дає змогу за допомогою дослідження колірності речовини отримати показники з економією ресурсів використаних на дослідження [1–3].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Відомо, що у воді зі зміною концентрації заліза змінюється інтенсивність забарвлення отриманого

розчину. Тому, було вирішено доповнити до раніше нами розробленої установки визначення концентрації заліза за зміною колірності автоматизованою інформаційною системою, що в реальному часі буде забезпечувати безперервне отримання даних в реальному масштабі часу. Для цього потрібно: обрати підходящу архітектуру нейронної мережі для даної системи, спроектувати структуру функціонування нейронної мережі, провести аналіз отриманих даних та точності навчання нейронної мережі, створити веб-ресурс для використання розробленої нейронної мережі автоматизованої системи електрокоагуляційної очистки вод.

III. ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

Нами було розроблено нейронну мережу, що складається з вхідних і вихідних та прихованих шарів між ними (Рис. 1). Для вхідного шару використано 5 нейронів з функцією активізації – гіперболічний тангенс. Приховані шари складаються з 10 нейронів кожний з функціями активації SeLU та ReLU відповідно. Вихідний шар має 1 нейрон з експоненційною функцією активізації.

Для формування начального набору нейронної мережі було проведено дослідження різних зразків коагулянту, де отримали значення концентрації заліза в коагулянті та параметри RGB для кожного з зразків відповідно (Табл. 1).

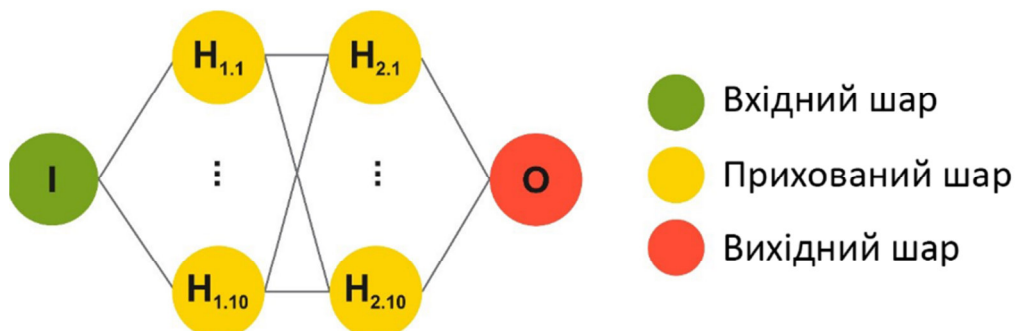


Рисунок 1. Схема розробленої нейронної мережі

ТАБЛИЦЯ 1. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ

№	Час (хв)	Концентрація (мг / дм ³)	R	G	B
1	6	0.8	204	207	200
2	12	1.1	214	215	193
3	18	3.7	211	194	75
4	24	4.5	220	173	54
5	30	6.3	210	155	49
6	36	6.9	215	147	41
7	42	9.1	193	116	38
8	48	9.6	189	111	33
9	54	11.8	188	100	27
10	60	12.6	178	74	11

Значення параметрів RGB були конвертовані в параметри HSL, а для отримання концентрації речовини було обрано параметр hue.

Для переведення параметрів RGB в HSL використано наступне співвідношення:

$$H = \begin{cases} \text{undefined} & \text{if } MAX = MIN \\ 60^\circ \times \frac{G-B}{MAX-MIN} + 0^\circ, & \text{if } MAX = R \text{ and } G \geq B \\ 60^\circ \times \frac{G-B}{MAX-MIN} + 360^\circ, & \text{if } MAX = R \text{ and } G < B \\ 60^\circ \times \frac{B-R}{MAX-MIN} + 120^\circ, & \text{if } MAX = G \\ 60^\circ \times \frac{R-G}{MAX-MIN} + 240^\circ, & \text{if } MAX = B \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \frac{MAX-MIN}{1-|1-(MAX+MIN)|} \quad (2)$$

$$L = \frac{1}{2}(MAX + MIN), \quad (3)$$

де R, G, B – колір в колірній RGB моделі;

MAX і MIN – мінімум і максимум параметру R, G, B.

H – тон;

S – насиченість;

L – яскравість.

На основі отриманих експериментальних значень було згенеровано 3600 точок параметру hue та концентрації заліза (Табл. 2). З отриманої вибірки точок було відібрано 3240 і 360 точок для навчання та тестування відповідно.

ТАБЛИЦЯ 2. ПРИКЛАД ВХІДНИХ ТА ВИХІДНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

№	Hue	Концентрація
1	0.2110	0.4009
2	0.1969	0.7229
3	0.1073	4.8701
4	0.0649	9.5388

В бібліотеці TensorFlow було досліджено 8 оптимізаторів для навчання нейронної мережі. Провівши дослідження даних оптимізаторів було встановлено, що оптимізатор SGD в тестовому датасеті показав найнижчу похибку, а саме 6,91%, його і було обрано.

IV. АЛГОРИТМ РОБОТИ

Була розроблена інформаційна система для спектрофотометричного аналізу, яка в реальному режимі часу, знімає покази з об'єкта вимірювань, проводить розрахунок, з використанням нейронної

мережі, і отримані результати виводить на веб-додаток (Рис. 2), серверна ж частина розробленої системи функціонує на мікрокомп'ютері Raspberry Pi 4.

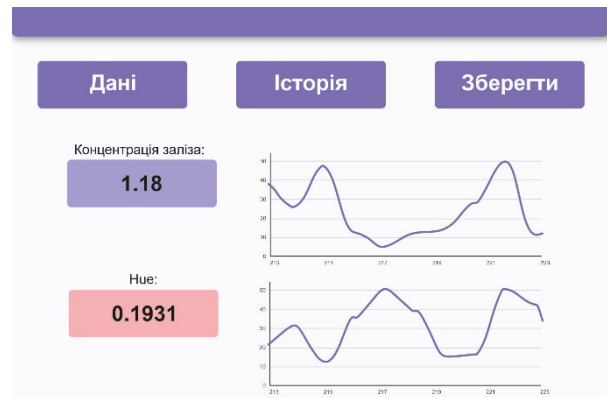


Рисунок 2. Інтерфейс програми

Даний інтерфейс розроблений за допомогою JavaScript фреймворк Vue.js та дає змогу розпочати вимірювання, відобразити історію та значення вимірювань.

Для комунікації з сервером використано 2 бібліотеки: axios та socket.io.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано основні види архітектури нейронних мереж та обрано оптимальну архітектуру для процесу визначення іонів заліза спектрофотометричним методом, розроблено схему нейронної мережі, проаналізовано точність навчання та обрано аналізатор даних нейронної мережі. Для тестування роботи та отримання даних досліджень було розроблено веб-інтерфейс з використанням JavaScript фреймворк Vue.js. Використавши експериментальні дані колірності речовини, розроблено математичне співвідношення переведу значень RGB в HSL для визначення концентрації заліза за допомогою параметра hue. Розроблено веб-інтерфейс, що дав змогу в реальному часі працювати з отриманими даними та проводити розрахунки.

ЛІТЕРАТУРА

[1] A. Safonyk, M. Mishchanchuk and V. Lytvynenko, "Intelligent information system for the determination of iron in coagulants based on a neural network" IntelITSIS'2021, 2021.

[2] A. Safonyk and ets, "Dynamic Optimization of the Technological Water Treatment Process Automatic Control System" ACIT, 2021.

[3] A. Safonyk, I. Targoniy and I. Hrytsiuk, "Development and research of the electromagnetic installation for purification of process water from ferromagnetic impurities as an object of automation," Elektron. model. 2020, 42(4), pp. 87–102.

Квантовий генетичний алгоритм та його реалізація на квантовому комп'ютері

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.45>

Ткачук Валерій

факультет математики та інформатики, кафедра інформаційних технологій
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
м. Івано-Франківськ, Україна
e-mail: tkachukv0@gmail.com

Анотація — Запропоновано новий квантовий генетичний алгоритм (QGA) із можливістю його практичної реалізації на квантовому комп'ютері. Заборона квантового клонування не дозволяє реалізувати традиційний еволюційний процес, тому використовується гібридна класично-квантова архітектура для QGA. Всі генетичні оператори реалізуються засобами квантового комп'ютера, а допоміжні обчислення, такі як розрахунок функції пристосованості та пошуку найкращої особини популяції, реалізовано на класичному комп'ютері. Для генерації наступних поколінь популяції застосовується томографія квантових станів – відновлення амплітуд квантового стану кубіта за результатами вимірювання його квантового ансамблю.

Ключові слова — квантовий комп'ютер; кубіт; еволюційний алгоритм; квантова томографія; оператор квантового гейту.

I. ВСТУП

Еволюційні алгоритми належать до класу евристичних методів оптимізації, в основу роботи яких покладено принципи еволюції природних біологічних систем. Вони працюють із сукупністю потенційних розв'язків, еволюціонуючи їх за допомогою операторів відбору, схрещування та мутації [1]. У їх класичній реалізації мінімальною одиницею інформації є біт, який може приймати тільки два значення: 0 та 1.

Квантові генетичні алгоритми ґрунтуються на принципах квантових обчислень у поєднанні із ідеями класичних генетичних алгоритмів [2–3]. Мінімальною одиницею інформації в квантових обчисленнях є кубіт $|q\rangle$, що перебуває в стані суперпозиції двох базових станів ($|0\rangle$ та $|1\rangle$):

$$|q\rangle = \alpha_0 |0\rangle + \alpha_1 |1\rangle. \quad (1)$$

Тут α_0 та α_1 визначають амплітуду імовірності перебування кубіта у відповідному стані. Завдяки цьому забезпечується потенційні переваги паралелізму обчислень та одночасної оцінки всіх можливих станів кубіта. Імовірнісний механізм квантового вимірювання забезпечує ефективний глобальний пошук, що в поєднанні із традиційними еволюційні технологій дає швидку збіжність навіть при невеликих розмірах популяції.

Розробка та дослідження цього класу алгоритмів, як правило, орієнтована на ефективне вирішення

задач оптимізації без реальної можливості реалізації на квантовому комп'ютері. Їх виконання, в тому числі і використовувани підходи та квантові оператори розробляються під реалізацію чисто засобами класичних обчислювальних систем.

Актуальність такого алгоритму зростає на фоні успіхів у розробці як доступних ефективних квантових симуляторів так і робочих варіантів квантових комп'ютерів.

На сьогодні з використанням хмарних технологій загальнодоступними є як 5-ти кубітні квантові комп'ютери компанії IBM (*ibmq_santiago*, *ibmq_manila*, *ibmq_bogota*, *ibmq_quiti*, *ibmq_belem*), так і ряд квантових онлайн-симуляторів (*ibmq_qasm_simulator* (32 кубіти), *simulator_mps* (100 кубітів)) [5]. Для доступу до них розроблено проект із відкритим кодом Qiskit, написаний на Python та включає в себе набір інструментів для написання програм на рівні квантових схем.

Таким чином появилася можливість програмування квантового комп'ютера для практичної реалізації квантових генетичних алгоритмів. При цьому для їх реалізації на квантовому комп'ютері необхідно адаптувати як структура алгоритму в цілому, так і практичну реалізацію більшості базових квантових операторів. В першу чергу це зумовлено неможливістю клонування невідомих квантових станів кубітів для організації еволюції популяції в часі [6].

II. КЛАСИЧНО-КВАНТОВИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Пропонується гібридна класично-квантова архітектура для квантового генетичного алгоритму: ключові еволюційні оператори, такі як створення, еволюція та мутація повністю реалізовано з використанням квантового комп'ютера.

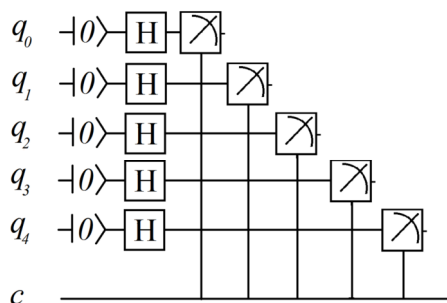
Інші, допоміжні обчислення, такі як оцінка функції придатності чи пошук найкращої особини, проводяться на класичному комп'ютері. Важливо, що один кубіт у суперпозиції квантових станів з використанням квантової томографії визначає одну особину популяції, а квантовий регістр в цілому реалізує цілу квантову популяцію.

Загальна схема роботи алгоритму може бути представлена наступним чином:

1.	$t \leftarrow 0$
2.	ініціалізація $Q(t)$
3.	томографія $Q(t)$ та перехід до $P(t)$
4.	оцінка пристосованості $P(t)$ та пошук найкращої особини популяції
5.	while (умова завершення еволюції)
6.	$t \leftarrow t + 1$
7.	побудова наступного покоління $Q(t)$
8.	томографія $Q(t)$ та перехід до $P(t)$
9.	оцінка пристосованості $P(t)$ та пошук найкращої особини популяції
10.	end while

тут $Q(t)$ – квантовий реєстр популяції розв’язків на момент часу t ; $P(t)$ – класичний реєстр представлення популяції, отриманий в результаті томографії квантових станів.

Для ініціалізації початкової популяції $Q(0)$ можна скористатися генератором випадкових чисел, реалізованого з використанням квантового комп’ютера [7]. Початковий кут θ_i для кожної особини популяції розраховується відповідно до наступного квантового протоколу (для 5-кубітного квантового комп’ютера):



Оскільки в результаті квантового вимірювання руйнується суперпозиція квантових станів, а вихідний стан кубіта не може бути відновлений, то для побудови наступного покоління

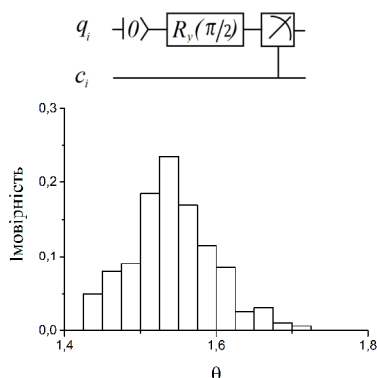


Рисунок 1. Результат томографії стану кубіта при розмірі ансамблю 500 кубітів

використовується томографія квантових станів [7]. Процедура полягає у відновленні амплітуд квантового стану за результатами його багатократного вимірювання.

Для ілюстрації розглянемо результат томографії стану кубіта, підготовленого відповідно до наступного квантового протоколу:

Результат томографії квантового стану на квантовому комп’ютері *ibmq-manila* представлено на рис. 1.

Точність відновлення квантового стану залежить від розміру квантового ансамблю та може бути оцінена за даними табл. 1.

В реалізації еволюційного процесу імовірнісний характер квантової томографії можна розглядати як результат дії оператора квантової мутації, що відповідає за механізм локального пошуку алгоритму. Аналіз даних табл. 1 вказує на те, що прийнятні по точності результати можуть бути отримані при розмірі квантового ансамблю 300–500 кубітів. При цьому оптимальне значення кута $\Delta\theta$ для забезпечення ефективного локального пошуку за рахунок томографії в операторі квантового гейту $R_y(\theta_i \pm \Delta\theta)$ повинно складати величину порядку $2 \cdot \Delta\theta_{avr}$.

ТАБЛИЦЯ 1. Точність відновлення стану кубіта в залежності від розміру ансамблю

Розмір квантового ансамблю	Середнє значення відновленого кута θ_{avr}	Середньоквадратичне відхилення для відновленого кута $\Delta\theta_{avr}$
50	1.549	0.156
100	1.526	0.108
200	1.562	0.101
500	1.553	0.057
1000	1.570	0.031

На імовірнісну природу процесу квантових вимірювань також накладаються помилки, що виникають в процесі роботи квантового комп’ютера, які також можна розглядати як процес мутації вихідного стану.

Як видно із даних табл. 2, всі доступні квантові комп’ютери в результаті квантової томографії дають результати, що дещо гірші від результатів, отриманих за допомогою квантових симуляторів, де такі помилки відсутні.

ТАБЛИЦЯ 2. РЕЗУЛЬТАТИ ВІДНОВЛЕННЯ КВАНТОВОГО СТАНУ НА РІЗНИХ КВАНТОВИХ КОМП’ЮТЕРАХ ПРИ РОЗМІРІ КВАНТОВОГО АНСАМБЛЮ 500 КУБІТІВ

Квантовий комп’ютер	Середнє значення відновленого кута θ_{avr}	Середньоквадратичне відхилення для відновленого кута $\Delta\theta_{avr}$
<i>ibmq belem</i>	1.549	0.043
<i>ibmq manila</i>	1.553	0.057
<i>ibmq lima</i>	1.553	0.050
Онлайн-симулятор <i>ibmq qasm simulator</i>	1.569	0.044
Локальний симулятор <i>QasmSimulator</i>	1.570	0.046

Побудова кожної особини в наступному поколінні та її вимірювання реалізовано на квантовому комп’ютері відповідно до наступного протоколу:

Кут θ_i в операторі квантового гейту $R_y(\theta_i)$ визначається результатами квантової томографії попереднього покоління та значенням кута θ_{opt} для найкращої особини популяції відповідно до наступного алгоритму:

$$\theta_i = \begin{cases} \theta_i + \Delta\theta, & \text{при } \theta_i < \theta_{opt} \\ \theta_i - \Delta\theta, & \text{при } \theta_i > \theta_{opt} \end{cases} \quad (2)$$

Величина приросту кута $\Delta\theta$ є параметром роботи алгоритму. Для ефективного глобального пошуку, як показали проведені числові експерименти, його значення повинно, як мінімум, перевищувати $2 \cdot \Delta\theta_{avr}$, отримане в результаті квантової томографії. Для визначення його оптимального значення необхідно провести додаткові дослідження.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ

Для перевірки ефективності роботи запропонованого алгоритму з використанням квантового комп'ютера при розмірі популяції 5 кубітів (бо доступними на сьогоднішній день є тільки 5-кубітні квантові комп'ютери) розглянуто задачу функціональної оптимізації ряду стандартних тестових функцій. Так, наприклад, для функції:

$$f(x) = \sin(x) + \sin\left(\frac{10}{3}x\right), \quad x \in [-2.5, 7]$$

із глобальним максимумом $f(2.296) = 1.728$ динаміку еволюції найкращої особини квантової популяції представлено на рис. 2

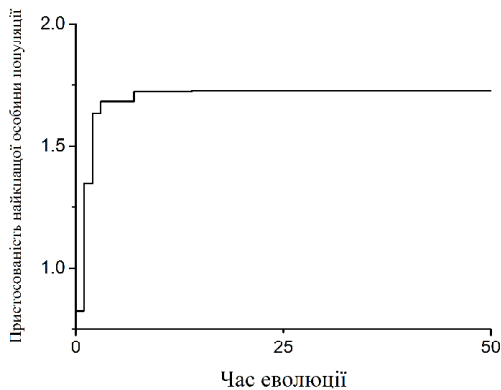


Рисунок 2. Еволюція в часі найкращої особини квантової популяції

Статистичні результати моделювань показують, що не залежно від згенерованої випадковим чином початкової популяції вона завжди, на протязі не більше 20 циклів еволюції, зі стопроцентною імовірністю, попадає в глобальний максимум.

IV. ВИСНОВКИ

В роботі представлено реалізацію квантового генетичного алгоритму з використанням комп'ютера IBM Q та програмного забезпечення з відкритим кодом Qiskit, що забезпечує інтерфейс до квантового комп'ютера. Числові експерименти із п'ятикубітними комп'ютерами показали, що квантові помилки в ході обчислення не впливають на ефективність роботи алгоритму, який ілюструє швидку збіжність до оптимуму.

Ефективність запропонованого підходу була оцінена як при виконанні алгоритму на реальному квантовому процесорі, так і з використанням ряду квантових симуляторів. Зважаючи на те, що доступними є тільки 5-кубітні квантові комп'ютери, тестування проведено на наборі одномірних тестових функцій. В обох випадках запропонований алгоритм проілюстрував свою ефективність та

швидку збіжність. Оцінку часової ефективності алгоритму провести проблематично, оскільки генерація кожного нового покоління та його еволюція вимагає очікування в черзі для доступу до квантового процесора.

Перспективним бачиться можливість реалізації квантового клонування без використання томографії для організації еволюційного процесу в часі.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] J. H. Holland *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence* / Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 1975.
- [2] A. Narayanan, M. Moore. Quantum-inspired genetic algorithms. *Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC'96)*, Nagoya, Japan. 1996. PP. 61–66.
- [3] G. Zhang, "Quantum-inspired evolutionary algorithms: a survey and empirical study", *Journal of Heuristics*, 2011. Vol. 2011, no. 17, pp. 303–351, DOI: 10.1007/s10732-010-9136-0.
- [4] V. Tkachuk, "Quantum Genetic Algorithm Based on Qutrits and Its Application", *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2018. DOI:10.1155/2018/8614073.
- [5] IBM Quantum Experience Dashboard. URL: <https://quantum-computing.ibm.com/>.
- [6] W. Wootters, W. H. Zurek, A Single Quantum Cannot be Cloned / *Nature* P. Campbell Nature Publishing Group, 1982. Vol. 299. P. 802–803. ISSN 0028-0836; 1476-4687. doi:10.1038/299802A0.
- [7] X. Ma, X. Yuan, Z. Cao, B. Qi, & Z. Zhang, Quantum random number generation. *Quantum Inf* 2, 16021. URL: <https://doi.org/10.1038/npjqi.2016.21> (2016).
- [8] D'Ariano, G. Mauro; Paris, Matteo G. A.; Sacchi, Massimiliano F. (2003-02-04). "Quantum Tomography". arXiv:quant-ph/0302028

Комп'ютерна візуалізація гідродинамічного поля в області з криволінійними межами

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.46>

Тетяна Цветкова

Кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики
 Національний університет водного господарства та природокористування
 Рівне, Україна
 t.p.tsvetkova@nuwm.edu.ua

Анотація — Для покращення водно-сольового режиму ґрунтів використовують гідромеліоративні заходи. Зокрема, застосовують систематичний дренаж горизонтального типу, який забезпечує відведення сольових розчинів та надмірної вологи або нагнітання води. В результаті чого дослідження гідродинамічних процесів відбувається в областях складної геометричної форми, що значно ускладнює розв'язування задач в таких областях. З цією метою розглянуто побудову чисельного конформного відображення області насичено-ненасиченого ґрунту з урахуванням роботи горизонтальної дренажної системи.

Ключові слова — конформне відображення; гідродинамічна сітка; область повного та неповного насичення; дрени глибокого та мілкого закладання.

I. ВСТУП

Прогнозування та попередження небезпечних гідродинамічних процесів, таких як підтоплення територій, забруднення та засолення ґрунтових вод є важливими задачами підземної гідродинаміки. Дослідження даних процесів в областях з криволінійними, вільними межами та фазовими переходами значно ускладнює встановлення гідродинамічної області та розв'язування задач в таких областях. В зв'язку з цим, на практиці в основному використовуються чисельні методи їх розв'язання. Зокрема, побудову різницевих сіток в областях з криволінійними межами здійснюють за допомогою чисельних конформних відображень.

В даній роботі розглянуто побудову гідродинамічної сітки процесу солеперенесення до дрен глибокого та мілкого закладання в області насичено-ненасиченого ґрунтового середовища.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглядається процес солеперенесення при плоско-вертикальній фільтрації та вологоперенесенні до системи горизонтальних дрен глибокого та мілкого закладання з сильно фільтруючим елементом в областях повного G_1 та неповного G_2 насичення (рис. 1) [3].

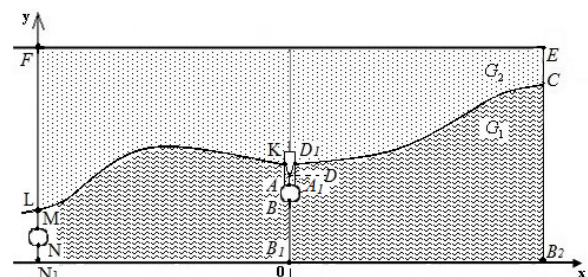


Рисунок 1. Солеперенесення до системи горизонтальних дрен з фільтруючим елементом у насичено-ненасиченому ґрунтовому масиві

Необхідно розв'язати задачу побудови чисельного конформного відображення області дослідження N_1FEB_2 на параметричний прямокутник для можливості проведення подальших досліджень протікання гідродинамічних процесів в даній області.

III. РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ

Основна складність даної задачі полягає в тому, що процес фільтрації відбувається в області, яка розглядається сумісно для областей повного та неповного насичення. При тому, що область повного насичення є двозв'язною областю з 4-ма відміченими точками на зовнішньому контурі. Тому для вирішення поставленої задачі необхідно застосовувати чисельні методи конформних відображень. В результаті чого побудувати конформну різницеву сітку фільтраційного потоку, потоку вологи з візуалізацією їх на комп'ютері, що дасть можливість в подальшому встановити поле напорів рідини та вологи у відповідних областях, швидкостей фільтрації та концентрації сольового розчину, здійснити прогнозування протікання процесу солеперенесення під дією роботи дренажної системи та руху рівня ґрунтових вод [3, 4].

Загальна область G складається з двох підобластей G_1 та G_2 (рис. 1), кожна з яких обмежена двома екіпотенціальними лініями і двома лініями току, тобто, являють собою чотирикутні області. При цьому нижня межа області G_2 є частиною верхньої межі області G_1 . Тоді розглянута певна область при конформному відображенні перейде в параметричний прямокутник $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$. Підобласті

відображаються в частини прямокутника відповідно до індексів. Оскільки всередині області G_1 наявна порожнина (дрена), то вона відображається у відповідний розріз в область Ω_1 параметричного прямокутника Ω . Цей параметричний прямокутник співпадає в даному випадку з областю комплексного потенціалу ξ, η . Верхня область неповного насичення аналогічна нижній, проте не містить порожнини.

Необхідно побудувати конформне відображення двозв'язної області. У випадку розв'язування гідродинамічних задач в даній області необхідно зробити запис вихідної математичної моделі у змінних ξ, η області параметричного прямокутника [1, 2, 4].

Розглянемо побудову конформного відображення області G на параметричний прямокутник Ω , яке реалізується функцією $\zeta(z) = \xi(x, y) + i\eta(x, y)$, в оберненій постановці. Тобто, необхідно знайти обернене конформне відображення параметричного прямокутника Ω на криволінійний чотирикутник G , яке задається функціями $x = x(\xi, \eta), y = y(\xi, \eta)$. (1)

Відомо, що обернене відображення представляється аналітичною функцією $z = z(\zeta)$ і також є конформним, тобто функції $x = x(\xi, \eta), y = y(\xi, \eta)$ також зв'язані умовами Коші-Рімана аналогічно $\frac{\partial x}{\partial \xi} = \frac{\partial y}{\partial \eta}, \frac{\partial x}{\partial \eta} = -\frac{\partial y}{\partial \xi}, (x, y) \in G_z$.

На ділянках границі $\Gamma = \bigcup_{i=1}^4 \Gamma_z^i$ спряжені гармонічні функції $x = x(\xi, \eta), y = y(\xi, \eta)$ зв'язані рівняннями $g_i(x, y) = 0, i = \overline{1, 4}$, що їх задають.

Тоді задача побудови оберненого конформного відображення полягає в наступному: знайти пару спряжених гармонічних функцій (1), зв'язаних умовами Коші-Рімана

$$\frac{\partial x}{\partial \xi} = \frac{\partial y}{\partial \eta}, \frac{\partial x}{\partial \eta} = -\frac{\partial y}{\partial \xi}, (\xi, \eta) \in G_z, \quad (2)$$

і задовольняють рівнянням границі

$$g_i(x(\xi, \eta), y(\xi, \eta)) = 0, i = \overline{1, 4}, (\xi, \eta) \in \Gamma_z^i. \quad (3)$$

До граничних умов (3) додаються рівняння «зв'язку» межових точок з приміжовими в одному з виглядів: умови (2) та умови ортогональності ліній сітки, які використовують та не використовують рівняння самої межі Ω .

Алгоритм конструктивної побудови різницевої сітки за допомогою даної математичної моделі ґрунтується на апроксимації системи рівнянь (2). Рівняння, необхідні для визначення всіх вузлів різницевої сітки отримано з рівнянь «зв'язку», які можна одержати двома способами: 1) шляхом апроксимації умов Коші-Рімана в околі границі області; 2) в результаті апроксимації умов ортогональності.

Для уточнення координат «плаваючих» вузлів аналітично заданих кривих використано умову ортогональності та умову «плавання» по контуру. У випадку задання контурів достатньо густими масивами точок доцільно було апроксимувати межу кубічним сплайном. Для перевірки отриманої

різницевої сітки на «конформність» використано критерії конформності на множині всіх вузлів сітки, крім фіксованих у вершинах прямокутника, та на множині внутрішніх вузлів.

IV. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ

Програмну реалізацію задачі побудови чисельного конформного відображення складеної області виконано у програмному середовищі Microsoft Visual Studio 2017 на мові C#.

Оскільки постановку задачі (рис. 1) розроблено за прикладом реальної дренажно-модульної системи, було максимально дотримано реальних розмірів такої системи: відстань між дренами може варіюватись від 10 до 20 метрів, дрена мілкого закладання розміщується не глибше 1м від поверхні ґрунту, радіус дрен – 0.15 м.

В результаті програмної реалізації розробленого алгоритму отримано конформну різницеву сітку в початковий момент часу $t=0$ (рис. 2):

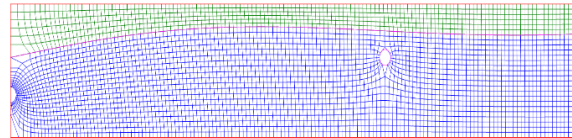


Рисунок 2. Згенерована конформна різницева сітка

Отримана конформна різницева сітка, яка є гідродинамічною та ортогональною, встановлює відповідність між вузловими точками у фізичній області з криволінійними внутрішніми межами з вузловими точками прямокутної сітки в області комплексного потенціалу, що дає можливість проведення досліджень протікання гідродинамічних процесів в даній області [3].

ВИСНОВКИ

Розглянуто побудову конформної різницевої сітки області насичено-ненасиченого ґрунту при наявній горизонтальній дренажній системі. В результаті застосування розробленого алгоритму отримано спільну гідродинамічну сітку фільтраційного потоку та потоку вологи для проведення досліджень процесу солеперенесення при плоско-вертикальній фільтрації та вологоперенесенні до системи горизонтальних дрен глибокого та мілкого закладання.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Власюк А. П., Михальчук В. Г. Автоматическое построение конформных и квазиконформных отображений двух- и трехсвязных областей. (Препр. № 2). Киев, 1991. 56 с.
- [2] Власюк А. П., Михальчук В. Г. Автоматическое построение конформных и квазиконформных отображений четырехугольных областей с помощью разностных сеток с «плавающими» узлами (Препр. 89.79). Киев, 1989. 55 с.
- [3] Vlasjuk A. P., Tsvietkova T. P. Mathematical modelling of salt transfer to system of horizontal drains with filtering element in zones of complete and incomplete saturation. XXXI International conference «Problems of decision making under uncertainty». Lankaran-Baku, Azerbaijan Republic (July 3-8, 2018). 2018. Pp. 133–134.
- [4] Vlasjuk A. P., Tsvetkova T. P. Mathematical Simulation of the Transport of Salt in the Case of Filtration and Moisture Transfer in Saturated-Unsaturated Soils in a Moistening Regime. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. Springer US, New York. Vol. 88. Issue 5. 2015. Pp. 1062–1073.

Пристосування словникових методів компресії до прогресуючого ієрархічного стиснення зображень без втрат

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.47>

Шпортко Олександр Володимирович
Кафедра інформаційних систем та обчислювальних методів

ПВНЗ «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука»
м. Рівне, Україна
ITShportko@ukr.net

Бомба Андрій Ярославович
Кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики

Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
abomba@ukr.net

Шпортко Леся Василівна

Циклова комісія інформатики та комп'ютерної техніки
ДВНЗ «Рівненський фаховий коледж економіки та бізнесу»
м. Рівне, Україна
LChportko@gmail.com

Abstract — Обґрунтована доцільність та наведений спосіб обходу пікселів для реалізації прогресуючого ієрархічного стиснення зображень без втрат. Запропонована модифікація алгоритму словникової компресії LZ77 для підвищення ефективності такого стиснення за допомогою додаткового пошуку співпадаючих послідовностей по найближчих опрацьованих раніше пікселях

Keywords — прогресуюче стиснення зображень; стиснення без втрат; словникові методи компресії; модифікації алгоритму LZ77.

I. ВСТУП

У сучасному світі зображення є невід'ємною складовою мультимедійної інформації, яка найчастіше створюється, накопичується і зберігається на цифрових носіях та передається каналами зв'язку [1]. Компресія відповідних файлів дає змогу пропорційно підвищити швидкість обміну інформацією по мережі та зменшити обсяги використання дискового простору. Всі графічні формати за принципом стиснення зображень поділяють на два основні класи: з втратами та без втрат. І якщо для переважної більшості алгоритмів компресії зображень з втратами можна забезпечити потрібний коефіцієнт стиснення (відношення розмірів стиснутого до нестиснутого файлів зображення, надалі – КС) за рахунок погіршення якості, то рівень стиснення зображень без втрат залежить, власне, лише від перепадів кольорів їх пікселів та самого алгоритму стиснення, не регулюється програмно і становить в середньому тільки 30–70%. На сьогодні дизайнери та розробники Web-сайтів найчастіше зберігають фотореалістичні зображення у форматі JPEG, а дискретно-тонові і ті, де втрати неприпустимі, – у

форматі PNG. Опрацювання яскравостей пікселів зображень у популярних графічних форматах, які виконують стиснення без втрат (у тому числі, і у форматі PNG [2, с. 249–317]), найчастіше здійснюється послідовно по рядках зверху вниз, а у кожному рядку – посліпль зліва направо. Як наслідок, вивести стиснуте зображення у цих форматах можливо лише після декодування всіх пікселів, а декомпресія знімків чи малюнків з мільйонами пікселів при такому способі обходу може тривати декілька секунд незалежно від розміру області чи роздільної здатності пристрою виводу.

Поряд з цим, для прискорення виводу великих зображень у форматах компресії з втратами вже розроблені графічні формати, які застосовують прогресуюче (поступальне) ієрархічне опрацювання пікселів [3, с. 176] (наприклад, вейвлети [4]). В процесі застосування цього способу опрацювання зображення пікселі обходять пошарово, збільшуючи щоразу роздільну здатність (прогресуюча складова). При цьому в процесі послідовної обробки даних чергового шару використовують дані попередніх шарів (ієрархічна складова). Зображення з пікселів чергового шару фактично є зменшеною у декілька разів (найчастіше – у чотири) копією зображення з пікселів наступного шару, а останній шар співпадає з вхідним зображенням. Тому під час прогресуючого ієрархічного декодування деталі зображення проявляються поступово. Зупинити таке декодування можливо вже після декомпресії шару з кількістю пікселів, не меншою від області виводу по кожній з осей, не очікуючи відтворення всіх пікселів зображення. З іншого боку загальновідомо, що словникові алгоритми дають змогу зменшити

КС дискретно-тонових зображень в декілька разів [3]. Отже, **приспосовання словникових алгоритмів до прогресуючого ієрархічного стиснення зображень без втрат**, що є метою цього дослідження, **є на сьогодні актуальним завданням**.

II. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ.

ПРИНЦИПИ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ КОНТЕКСТНО-ЗАЛЕЖНИМ АЛГОРИТМОМ LZ77

Як відомо, стиснення зображень без втрат у графічних форматах найчастіше відбувається в три етапи: на першому яскравості компонентів пікселів перетворюються за допомогою предикторів [5], які не стискають зображення, але збільшують нерівномірність розподілу яскравостей і тому підвищують ефективність третього етапу; на другому контекстно-залежне кодування зменшує надлишковості між подібними чи однаковими фрагментами; на третьому контекстно-незалежне кодування усуває надлишковості між переважаючими значеннями яскравостей компонентів. Контекстно-залежне кодування може зменшувати КС в декілька разів за рахунок однакових фрагментів, але такі фрагменти рідко трапляються у фотореалістичних зображеннях, тому єдиним універсальним етапом стиснення зображень без втрат є контекстно-незалежне кодування. За нашими підрахунками, застосування контекстно-незалежного алгоритму (наприклад, кодування Хаффмана чи арифметичного кодування [2, 3, 5]) після використання предикторів без контекстно-залежного алгоритму в середньому забезпечує КС на рівні лише 45 %. Тому у цій статті розглянемо механізм дії популярного контекстно-залежного словникового алгоритму LZ77 [6] та модифікуємо його для прогресуючого ієрархічного стиснення зображень без втрат.

Серед контекстно-залежних алгоритмів у форматах графічних файлів найчастіше використовується словниковий алгоритм LZ77, оскільки він забезпечує найшвидше декодування [7, с. 82]. Описуючи словникові алгоритми, фіксовану кількість попередніх закодованих неподільних елементів (літералів) вхідного потоку називають *словником*, а наступних незакодованих – *буфером*. Алгоритм LZ77 (в контексті формату словникової компресії DEFLATE [8]) базується на заміні у вихідному потоці послідовності чергових літералів буфера посиланням на аналогічну послідовність літералів словника у вигляді пари чисел *<довжина, зміщення від закінчення словника>*. У випадку відсутності аналогічної послідовності літералів у словнику, довшої двох літералів, перший літерал буфера переноситься у вихідний потік без змін. Після цього закодовані літерали переносяться з початку буфера в кінець словника і кодування продовжується аналогічно аж до закінчення літералів вхідного потоку. Співпадаюча послідовність може виходити за межі словника в область буфера, але має розпочинатися в словнику. Максимальні розміри словника та буфера встановлюються конкретними реалізаціями алгоритму. Сукупність словника з закодованими

символами та буфера з незакодованими ще називають *ковзним вікном*, оскільки вони весь час синхронно переміщуються по елементах потоку.

Під час декодування кодів алгоритму LZ77 окремі літерали копіюються у вихідний потік без змін. Пари ж *<довжина; зміщення>* декодуються шляхом послідовного копіювання з кінця вихідного потоку за вказаним зміщенням в кінець вихідного потоку необхідної кількості літералів.

Згідно алгоритму LZ77, співпадаючі послідовності максимальної довжини шукають у словнику з кінця справа наліво, оскільки однакові фрагменти даних найчастіше зустрічаються недалеко. Як наслідок – менші зміщення у вихідному потоці трапляються частіше від більших, і тому кодуються у форматі словникової компресії DEFLATE [8] меншою кількістю бітів.

В зображеннях однакові фрагменти чи фрагменти однакової структури також найчастіше трапляються недалеко, оскільки саме суміжні пікселі мають між собою найбільшу кореляцію [9, с. 675]. Але під час послідовного обходу менші зміщення мають однакові фрагменти, розміщені по горизонталі. Зміщення ж однакових фрагментів по вертикалі з кожним рядком збільшуються на кількість яскравостей пікселів в рядку. Якби пікселі зображень обходилися послідовно по стовпцях, то однакові фрагменти по вертикалі кодувалися б значно меншими зміщеннями, але тоді більші зміщення мали б однакові фрагменти по рядках. Тобто результати кодування зображення алгоритмом LZ77 можуть зазнати суттєвих змін після його повороту на 90°. У цій же статті ми покажемо, як підвищити ефективність застосування алгоритму словникової компресії LZ77 в процесі прогресуючого стиснення зображень без втрат за рахунок кодування зміщень до найближчих опрацьованих раніше пікселів як по горизонталі, так і по вертикалі меншими значеннями, ніж до решти пікселів.

III. ПОСЛІДОВНІСТЬ ОБХОДУ ПІКСЕЛІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРЕСУЮЧОГО ІЄРАРХІЧНОГО СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ БЕЗ ВТРАТ З ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМУ LZ77

Поступальне ієрархічне стиснення зображень дає змогу, з одного боку, прискорити декодування, а з іншого – врахувати в процесі стиснення значення попередніх опрацьованих елементів з чотирьох, а не лише з двох різних боків. Саме тому для досягнення мети дослідження нами розроблено дієву схему обходу пікселів та відповідні предиктори [5]. Зокрема, для прогресуючого ієрархічного обходу ми пропонуємо схему, за якою на першому шарі пікселі зображення опрацьовуються послідовно, починаючи з першого, по рядках зверху вниз, а у кожному рядку – підряд зліва направо з кроком $h_1 = 2^k$, де k визначається з умови $k = \left\lfloor \log_2 \left(\frac{\max(\min(\text{height}; \text{width}); 16) - 1}{15} \right) \right\rfloor$, height – кількість рядків, width – кількість стовпців

На других проходах чотири найближчих суміжних пікселі віддалені по горизонталі та вертикалі (див. рис. 2, б). Це пікселі з попередніх шарів (див. рис. 1, в), вони розміщені ближче до чергового пікселя, ніж на першому проході, і тому від них починається більше однакових послідовностей. П'яте та шосте зміщення для другого проходу віддалені діагонально і кодують пікселі того самого проходу з попереднього рядка, але в словнику вони мають більші зміщення. Симетричні пікселі з наступного рядка не кодуються, оскільки відносно чергового пікселя вони ще не опрацьовані. Отже, пошук однакових послідовностей починаючи з найближчих опрацьованих раніше пікселів дає змогу або зменшити їх зміщення відносно словника або ж віднаходить такі послідовності, які взагалі розкидані по різних шарах в словнику. Найістотніше пошук однакових послідовностей з найближчих опрацьованих раніше пікселів зменшує КС на останньому шарі, оскільки такі пікселі містяться в зображенні поряд з пікселями буфера.

Отже, додатковий пошук однакових послідовностей починаючи з найближчих опрацьованих раніше пікселів збільшує ймовірність знаходження таких послідовностей та використовує менші зміщення, ніж під час пошуку по словнику, і тому зменшує КС алгоритму LZ77 зокрема і зображень загалом.

V. ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. В нових версіях графічних форматів та нових форматах компресії зображень без втрат доцільно реалізувати прогресуюче ієрархічне стиснення, оскільки це дозволяє суттєво прискорити декодування, коли розміри області виводу менші від розмірів зображення.
2. Зменшення розмірів стиснутих прогресуючим ієрархічним способом зображень досягається в основному на останніх шарах, оскільки пікселі, які при цьому використовуються як словниковим алгоритмом, так і предикторами [5], мають з прогнозованим пікселем в середньому найвищий рівень кореляції відносно попередніх шарів.
3. Підвищити ефективність застосування класичного алгоритму LZ77 в процесі прогресуючого ієрархічного стиснення зображень без втрат можливо за рахунок додаткового пошуку однакових послідовностей

починаючи з найближчих опрацьованих раніше пікселів.

4. Словникові алгоритми суттєво зменшують КС насамперед штучних дискретно-тонових зображень [10], оскільки такі зображення містять багато однакових послідовностей яскравостей компонентів пікселів. Наприклад, як показали наші дослідження, по набору АСТ таке зменшення КС в середньому перевищило 1 bpp.

Надалі, з метою додаткового зменшення розмірів файлів стиснутих зображень без втрат і прискорення декодування в процесі прогресуючого ієрархічного стиснення, нами планується дослідити ефективність застосування різницевої кольірних моделей [11] до окремих фрагментів зображень.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stein, "Introduction to Algorithms," Third Edition, vol. 1, Kiyv : Dialektika, 2020, 648 p., (In Ru).
- [2] Дж. Миано, Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии : учеб. пособ. М. : Триумф, 2003, 336 с., (Серия: Практика программирования).
- [3] Д. Сэлмон. Сжатие данных, изображений и звука. М. : Техносфера, 2006, 368 с. (Серия: Мир программирования: цифровая обработка сигналов).
- [4] С. Уэлстид. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии : учеб. пособ. М. : Триумф, 2003, 320 с., ил.
- [5] A. Shportko and V. Postolatii, "Development of Predictors to Increase the Efficiency of Progressive Hierarchic Context-Independent Compression of Images Without Losses," in Proceedings of the 5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS 2021), April 22–23, 2021, Kharkiv, Ukraine, vol. 1, ceur-ws.org, pp. 1026–1038, URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2870/paper77.pdf>.
- [6] J. Ziv and A. Lempel, "A universal algorithm for sequential data compression" in IEEE Transactions on Information Theory, May 1977, vol. 23(3), pp. 337–343.
- [7] Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.
- [8] P. Deutsch, "DEFLATE Compressed Data Format Specification version 1.3," RFC 1951, 1996, Alladin enterprises, May 1996, 15 p.
- [9] Э. Прэрт. Цифровая обработка изображений / пер. с англ. М. : Мир, 1982, кн. 2, 480 с., ил.
- [10] "MinPNG 1.0 – утиліта для мінімізації розміру файлів зображень у форматі PNG (True Color)," URL: <http://apserver.org.ua/peregl.php?d=view&tid=131>, (дата звертання: 26.09.2021).
- [11] О. В. Шпортко. Використання різницевої кольорових моделей для стиснення RGB-зображень без втрат. Відбір і обробка інформації, 2009. № 31 (107). С. 90–97.

Розробка системи керування напруженістю магнітного поля для процесу знезалізнення технологічних вод

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.48>

Сафоник Андрій

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
a.p.safonyk@nuwm.edu.ua

Таргоній Іван

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет водного господарства та природокористування
Рівне, Україна
targoniy93@ukr.net

Розв'язано модельну задачу процесу магнітного очищення домішок, яка враховує вплив розмірів реактора, швидкості руху потоку рідини, діаметру гранул фільтруючого матеріалу, напруженості магнітного поля на ефективність очищення технологічних вод. Розроблено комп'ютерну модель процесу очищення технологічних вод з керуванням по статичній характеристиці об'єкта автоматизації. Проведено аналіз ефективності роботи системи при динамічно змінній вхідній концентрації забруднення.

Ключові слова — магнітне осадження; комп'ютерне моделювання; автоматизація процесу фільтрування; напруженість магнітного поля.

I. ВСТУП

Технологічні води - будь-які води та атмосферні опади, що відводяться у водойми з територій промислових підприємств і населених місць через систему каналізації або самопливом, властивості яких виявилися погіршеними в результаті діяльності людини [1]. Основною метою очищення технологічних вод є водопостачання. Система водопостачання (населеного місця або промислового підприємства) повинна забезпечувати отримання води з природних джерел, її очищення, якщо це викликається вимогами споживачів, і подачу до місць споживання.

Для видалення феромагнітних домішок з технологічних водних систем запропоновано використовувати метод магнітного осадження домішок в намагніченому зернистому фільтруючому матеріалі. Перевагами даного методу є можливість очищення водного середовища з температурою до 500 °С, швидкістю фільтрування до 1000 м/год, можливість очищати хімічно агресивні середовища [2-4].

Одним із найменш затратних методів дослідження, що дозволяє здійснити перевірку його відповідності необхідним технічним вимогам є комп'ютерне моделювання [5, 6]. При використанні магнітних фільтрів у системах очистки води виникає необхідність у забезпеченні заданої концентрації феромагнітних домішок у рідкому середовищі. Крім

того для ефективного використання ресурсів та забезпеченні виконання основної функції фільтра – очистки, необхідно дослідити вплив концентрації забруднення у рідині, що надходить в систему на критичний час роботи фільтра, та перепад тиску, що створюється при цьому, а також провести моделювання процесу магнітного осадження домішок при очищенні як багатоконцентрованих, так і малоконцентрованих водних систем із змінним забрудненням на вході.

II. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для опису процесів вилучення феромагнітних домішок з технологічних вод та їх захоплення у фільтрі опишемо наступною модельною задачею[5]:

$$C_0(x, t) = \begin{cases} C_* \left(t - \frac{\sigma_0 x}{v} \right) \cdot e^{-\frac{\beta_0 H^{0.75}}{v^2 d^2} x}, & t \geq \frac{\sigma_0 x}{v}, \\ 0, & t < \frac{\sigma_0 x}{v}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\rho_0(x, t) = \frac{\beta_0 H^{0.75}}{v^2 d^2} \int_0^t C_0(x, \tilde{t}) d\tilde{t} \quad (2)$$

де $C_0(x, t)$ – концентрація домішок в рідкому середовищі, що фільтрується; $\rho_0(x, t)$ – концентрація домішок, осаджених у зернистому фільтруючому матеріалі; β_0 – коефіцієнт, що характеризує масові обсяги осадження домішкових частинок за одиницю часу, H – напруженість магнітного поля, v – швидкість фільтрування, d – діаметр гранул фільтруючого матеріалу, C_* – концентрація домішкових частинок на вході фільтра, σ_0 – пористість фільтруючого матеріалу.

Для оцінки ефективності роботи магнітного фільтра з використанням регулятора визначено статичну характеристику об'єкта автоматизації. Для цього у розробленій комп'ютерній моделі шляхом зміни вхідної концентрації забруднення визначено напруженість магнітного поля, яка забезпечує

допустиму концентрацію забруднення в очищеній воді. З дослідних даних визначено залежність зміни напруженості магнітного поля від вхідної концентрації залізовмісних домішок, що є регулятором в розробленій системі.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

На рис. 1 приведено комп'ютерну модель магнітного фільтра з врахуванням співвідношень (1-2), яка показує динаміку зміни концентрації забруднення у рідині на виході фільтра з часом при використанні регулятора та при сталій напруженості магнітного поля.

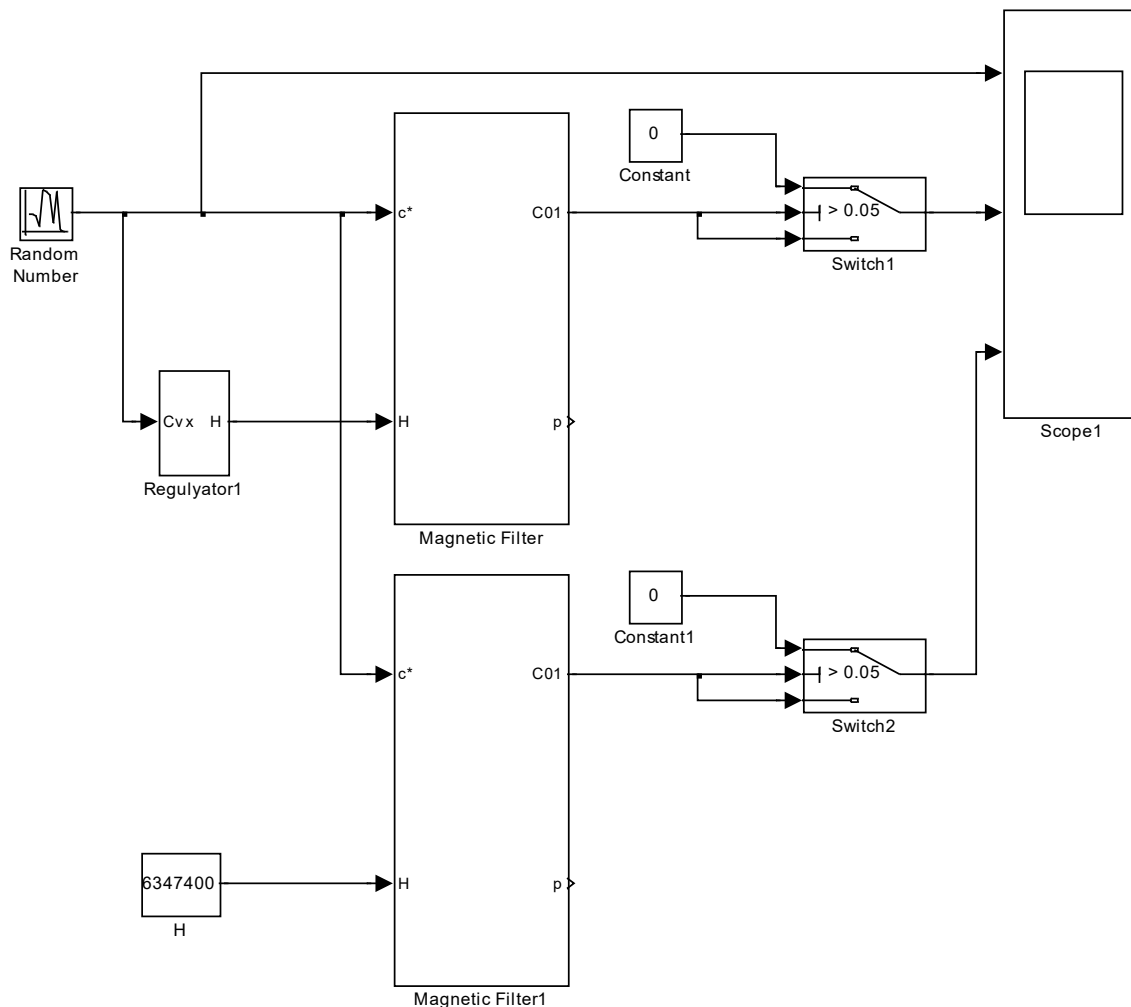


Рисунок 1. Комп'ютерна модель роботи системи магнітного очищення

ВИСНОВКИ

Розроблено комп'ютерну модель магнітного фільтра з керуванням по статичній характеристиці об'єкта автоматизації. Показано, що керування по статичній характеристиці об'єкта при динамічно змінній вхідній концентрації забруднення збільшує час захисної дії фільтра та створює передумови для аналізу ефективності використання різного роду регуляторів.

- [1] Гаращенко В.І. Магніто-сорбційні властивості гранульованих фільтруючих насадок / В.І. Гаращенко, І.Г. Скрипник, О.П. Лук'ячук, О.В. Гаращенко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування – 2008. – №3. – С.184–191.
- [2] Бомба А.Я. Математичне моделювання процесу магнітного очищення рідин від багатокомпонентного забруднення / Бомба А.Я., Сафоник А.П. // Вісник Харківського національного університету серія «Математичне

моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління». – 2012. – №1037. – Вип. 20 – С. 18–27.

- [3] Бомба А.Я. Нелінійне математичне моделювання процесу магнітного осадження домішок / А.Я. Бомба, В.І. Гаращенко, А.П. Сафоник, О.В. Гаращенко // Вісник ТНТУ ім. І. Пулюя. – 2009. – №3. – С.118–123.
- [4] Бомба А.Я. Математичне моделювання процесу магнітного очищення рідин від багатокомпонентного забруднення / Бомба А.Я., Сафоник А.П. // Проблеми машиностроення. – Т. 15 – 2012. – №5-6. – С. 49–55.
- [5] Сафоник А. П., Таргоній І. М. Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу магнітного очищення води. Біоніка інтелекту: науково-технічний журнал. 2014. №2(83). С. 117-122.
- [6] Сафоник А. П., Таргоній І. М. Комп'ютерне моделювання процесу магнітного очищення рідин з ідентифікацією масообмінного коефіцієнта. Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки: праці III-ї Міжнародної науково-практичної конференції. Україна. Чернівці. 2014. С. 70-72.



Наукове видання

V Міжнародна науково-практична конференція

***«Моделювання, керування та
інформаційні технології»***

Матеріали конференції

Розміщуються статті в авторській редакції

Технічний редактор

*Галина Сімчук
Андрій Сафоник*

Комп'ютерна верстка

Олена Присяжнюк

*Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*