



*Issue №21*

Part 1



*International periodic scientific journal*

ONLINE

*www.sworldjournal.com*

*D.A.Tsenov Academy of Economics - Svishtov (Bulgaria)*

Indexed in  
INDEXCOPERNICUS  
(ICV: 87.25)  
GOOGLESCHOLAR

# SWorld Journal

**Issue №21**  
**Part 1**  
**September 2023**

*Published by:*  
*SWorld & D.A. Tsenov Academy of Economics, Svishtov, Bulgaria*

**Editor:** Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*  
**Scientific Secretary:** Kuprienko Sergey, *PhD in Technical Sciences*

**Editorial board:** More than 250 doctors of science. Full list on page:  
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/about/editorialTeam>

**Expert-Peer Review Board of the journal:** Full list on page:  
<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "SWorldJournal" has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars. Today, the journal publishes authors from different countries.

Journal Established in 2018. Periodicity of publication: twice a year

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English.

The journal is registered in the INDEXCOPERNICUS, GoogleScholar.





УДК 681.54

**SYNTHESIS AND RESEARCH OF A MULTIDIMENSIONAL  
STRUCTURALLY OPTIMAL ASR BY A PYROLYSIS INSTALLATION  
СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОВИМІРНОЇ СТРУКТУРНО ОПТИМАЛЬНОЇ  
АСР ПІРОЛІЗНОЮ УСТАНОВКОЮ**

**Beglov K.V. / Беглов К.В.***c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-5277-2577

**Garbar M. G. / Гарбар М. Г.***PhD candidate / здобувач PhD***Kolomiychenko O. Y. / Коломійченко О. Є.***PhD candidate / здобувач PhD***Kosachenko V. K. / Косаченко В. К.***PhD candidate / здобувач PhD**Odesa Polytechnic National University Odesa, Shevchenko, 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, Шевченка, 1, 65044*

**Анотація.** Екологічні проблеми відіграють значну роль у сучасному суспільстві. Важливим напрямком є переробка різних видів відходів з отриманням вторинних енергоресурсів. Особливістю таких органічних відходів є те, що їхній склад є змінним. Відповідно, склад отриманого палива стає змінним і невідомим. Тому їх використання в енергогенеруючих установках ускладнюється. Для вирішення цієї проблеми актуальною є розробка ефективної системи керування процесом термічного розкладання органічних відходів. Стаття присвячена синтезу та дослідженню системи автоматичного керування побудованої на базі багатовимірного цифрового регулятора стану.

**Ключові слова:** піроліз, керування, багатовимірний регулятор, спостерігач стану, нелінійний об'єкт.

**Вступ.**

Екологічні проблеми відіграють значну роль у сучасному суспільстві. Як приклад, слід згадати виробництво електроенергії з відновлюваних джерел. Важливим напрямком є переробка різних видів відходів з отриманням вторинних енергетичних ресурсів.

Особливістю таких органічних відходів є те, що їхній склад є змінним. Відповідно, склад отриманого палива є змінним і невідомим. Тому їх використання в енергогенеруючих установках ускладнюється. Для вирішення цієї проблеми актуальною є розробка ефективного методу керування процесом термічного перетворення вторинних енергоресурсів.

**Мета.**

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування процесом термічного перетворення органічних речовин змінного складу з отриманням продуктового газу з максимальною теплотворною здатністю на основі методу газифікації в суперадіабатичному режимі.

**Матеріали та методи.**

Для розглянутої піролізної установки [1], як об'єкта керування, контрольованими параметрами є

- температура піролізу (продукт-газ)  $T_L$ ;



- витрата продукт-газу  $Q_2$ ;
- нижча теплота згоряння продуктового газу, яка визначається його складом,  $Q_{\text{нпг}}^p$ .

Керуючими впливами є

- витрата сировини  $G_1$ ;
- витрата повітря  $Q_1$ ;
- витрати рециркуляційного газу  $Q_3$ .

Зовнішніми збуреннями на об'єкт є

- задана витрата продукт-газу  $Q_2$ ;
- склад сировини (шихти), поданий у вигляді хімічної брутто-формули або нижчої теплоти згоряння  $Q_{\text{нш}}^p$ .

Процес піролізу повинен здійснюватися таким чином, щоб ентальпії сировини і синтез-газу були однаковими. Це досягається шляхом забезпечення ультраадіабатичного процесу піролізу. Оскільки рециркуляційний газ є частиною газу-продукту, що повертається назад в установку, їх теплотворна здатність однакова і залежить тільки від температури піролізу. Тому для всіх каналів регульована установка є інерційною з запізненням першого порядку. Довжина вхідного і вихідного трубопроводів та швидкість поширення фронту піролітичного розкладання визначають транспортну затримку.

Взаємозв'язок між вхідними та вихідними параметрами керованого апарату можна представити у вигляді передавальної функції (табл. 1). Коефіцієнти передавальної функції були визначені з розрахунку процесу піролізу з використанням моделі, описаної в роботах [1-5].

**Таблиця 1 - Взаємозв'язок між вхідними та вихідними параметрами керованого апарату**

|                                                                       | витрата<br>повітря $Q_1$ ,<br>моль/с                                    | витрата шихти<br>$G_1$ , моль/с                                      | витрата<br>рециркуляцій-<br>ного газу<br>$Q_3$ , моль/с | нижча<br>теплота<br>згоряння<br>шихти, $Q_{\text{нш}}^p$ |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| витрата<br>продукт-<br>газу $Q_2$ ,<br>моль/с                         | $W(s) = \frac{1}{T_1 s + 1}$                                            | $W(s) = \frac{1}{T_1 s + 1}$                                         | $W(s) = \frac{1.83}{T_1 s + 1}$                         | —                                                        |
| температур<br>а піролізу<br>$T_L$ , С                                 | $W(s) = \frac{600e^{-\tau s}}{T_2 s + 1}$                               | $W(s) = \frac{300e^{-\tau s}}{T_2 s + 1}$                            | $W(s) = \frac{300e^{-\tau s}}{T_2 s + 1}$               | $W(s) = \frac{200e^{-\tau s}}{T_2 s + 1}$                |
| нижча<br>теплота<br>згоряння<br>продукт-<br>газу $Q_{\text{нпг}}^p$ ; | $W(s) = \frac{k \left( \frac{Q_1}{G_1} \right) e^{-\tau s}}{T_1 s + 1}$ | $W(s) = \frac{k (Q_{\text{нш}}^p \cdot G_1) e^{-\tau s}}{T_1 s + 1}$ | —                                                       | $W(s) = \frac{1e^{-\tau s}}{T_1 s + 1}$                  |



Регульована установка за каналами "витрата повітря - склад продукту - газовий склад" та "витрата сировини - склад продукту - газовий склад" має нелінійні властивості. На основі результатів досліджень [6], [7] прийнято квадратичну залежність теплоти згоряння продукт-газу від співвідношення витрат сировини та повітря.

$$Q_H^p = Q_{H0}^p (1 - k(Q_1 - G_u V_0)^2)$$

де  $Q_H^p$  - нижча теплота згоряння продукт-газу;

$Q_{H0}^p$  - максимально можлива нижча теплота згоряння, яка залежить від складу шихти, на цьому етапі прийнято  $Q_{H0}^p = 1$ ;

$V_0$  - об'єм повітря необхідний для піролізу 1 моль первинної сировини. Залежить від складу сировини.

$k$  - коефіцієнт пропорційності. Визначається розрахунковим або експериментальним шляхом для конкретного складу сировини. На цьому етапі прийнято  $k = 0.2$ .

Постійні часу та значення затримки визначаються геометричними розмірами апарату і повинні уточнюватися індивідуально для кожної установки. На даному етапі дослідження відповідно до експериментальних даних, отриманих в [4, 5], прийняті наступні значення:  $T1=400$  с,  $T2=500$  с,  $\tau=10$  с.

Основною метою роботи піролізної установки з точки зору технологічного процесу є отримання необхідної витрати продуктового газу з максимальною теплотворною здатністю при змінному складі сировини. Для досягнення цієї мети піролізний агрегат повинен бути обладнаний автоматизованою системою управління. При виробництві продукт-газу після піролізної установки додатково встановлюється "мокрий газгольдер". Це додає буферну ємність для згладжування коливань витрати продукт-газу при різких змінах його споживання. Крім того, зміна рівня в газгольдері може слугувати ще одним регульованим параметром, що показує небаланс між спожитою і генерованою кількістю продукт-газу. Перевагою такої схеми є відсутність необхідності у вимірюванні витрати газу змінного складу.

Таким чином в об'єкті параметрами керування  $y(t)$  є:

- рівень рідини в газгольдері як сигнал небалансу між заданою і поточною витратами продукт-газу;
- температура піролізу (продукт-газу);
- склад продукт-газу.

Керуючими впливами  $u(t)$  є:

- витрата вихідної сировини (шихти);
- витрата повітря;
- витрата рециркуляції продукт-газу.

Зовнішніми збуреннями на об'єкт  $f(t)$  є:

- витрата продукт-газу, що подається споживачу;
- склад вихідної сировини (шихти).

Для синтезу цифрового багатовимірної структурно оптимального ПІ - регулятора модель об'єкта керування, яку наведено в таблиці 5 у вигляді передавальних функцій, було приведено до форми матриць в просторі станів у



дискретному часі.

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= Ax_i + Bu_i + Ff_i \\ y_i &= Cx_i + Du_i \end{aligned} \quad (1)$$

Введемо змінні  $du_i = u_i - u_{i-1}$ ,  $e_i = (z - y_i)$  ( $z$  – сигнал завдання), і функціонал енергії виду

$$J = 0.5 \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \{ e_i^T \cdot Q \cdot e_i + du_i^T \cdot R \cdot du_i \},$$

де  $Q, R$  – позитивно-визначені матриці, значення яких підбираються в процесі синтезу регулятора.

Позначивши  $dx_{i+1} = x_{i+1} - x_i$ , рівняння системи (1) можна переписати таким чином

$$\begin{cases} dx_{i+1} = A \cdot dx_i + B \cdot du_i, \\ dy_i = C \cdot dx_i, \end{cases}$$

а записавши  $e_{i+1} = e_i - C \cdot dx_{i+1}$  і ввівши вектор  $s_i = [e_i, dx_i]^T$ , отримаємо систему в стандартній формі запису, але вже для змінних  $s$  і  $du$ :

$$\begin{cases} ds_{i+1} = \bar{A} \cdot s_i + \bar{B} \cdot du_i, \\ e_i = \bar{C} \cdot s_i \end{cases}$$

і відповідно функціонал енергії

$$J = 0.5 \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \{ s_i^T \cdot Q \cdot s_i + du_i^T \cdot R \cdot du_i \},$$

$$\text{де } \bar{A} = \begin{bmatrix} 1 & -C \cdot A \\ 0 & A \end{bmatrix}, \bar{B} = \begin{bmatrix} -C \cdot B \\ B \end{bmatrix}, \bar{C} = [1 \quad 0], Q = \begin{bmatrix} Q & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Унаслідок розв'язання стандартної задачі конструювання [9] отримаємо регулятор стану вигляду  $du_i = -K \cdot ds_i$ , матрицю  $K$  в якому можна розділити на блоки  $K = [K_1, K_2]$ , а регулятор стану переписано у вигляді  $du_i = -K_1 \cdot e_i - K_2 \cdot dx_i$ , або  $u_i = -K_1 \cdot \sum_{j=0}^i e_j - K_2 \cdot x_i$ , що відповідає структурі ПІ-регулятора, який забезпечує астатичність системи.

Для зазначених у [10-12] значень параметрів піролізної установки було з'ясовано, що об'єкт не повністю керуємий за виходами, тому слід синтезувати спостерігач стану.

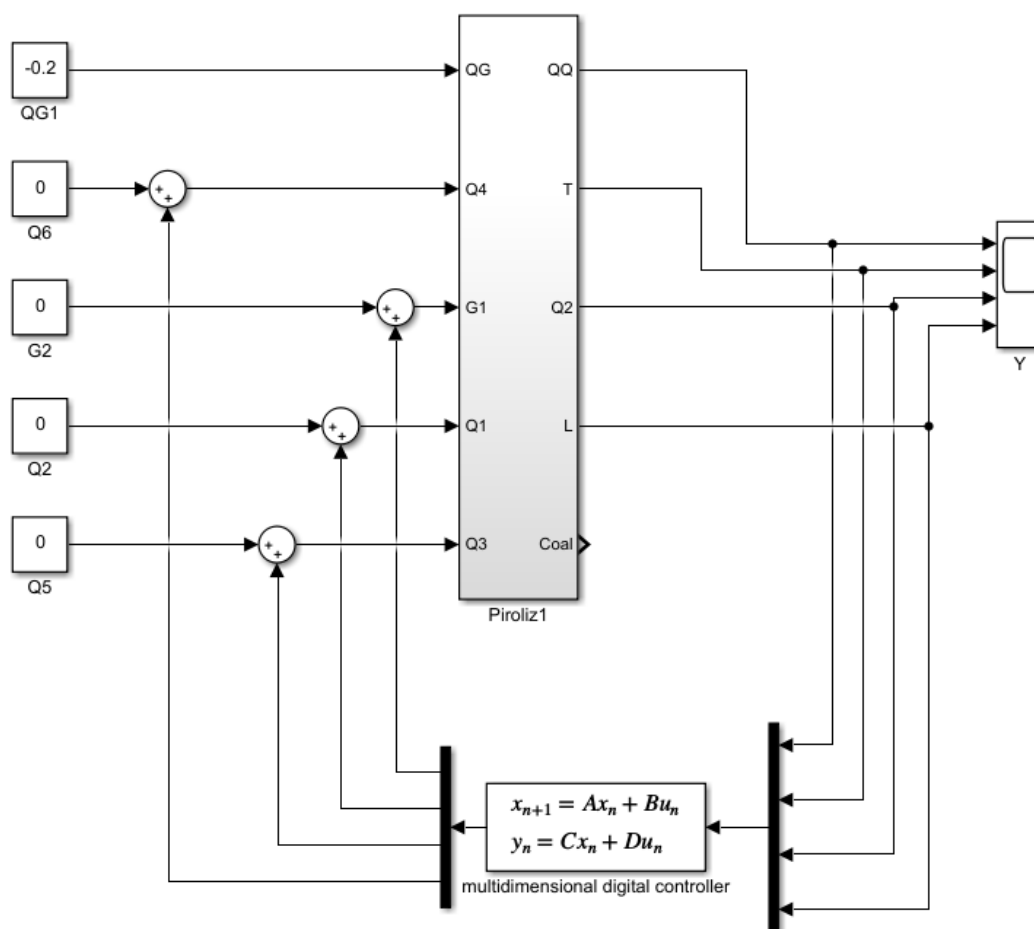
Оскільки рівняння в приростах не залежать від векторів завдань  $z$  та збурень  $f$ , то для відновлення відсутніх координат можна використовувати звичайний спостерігач стану  $d\bar{x}_{i+1} = A \cdot d\bar{x}_i + B \cdot du_i + L \cdot (dy_i - C \cdot d\bar{x}_i)$ , де  $L$  – матриця спостерігача стану системи.

Схему САР піролізної установки наведено на рис.1

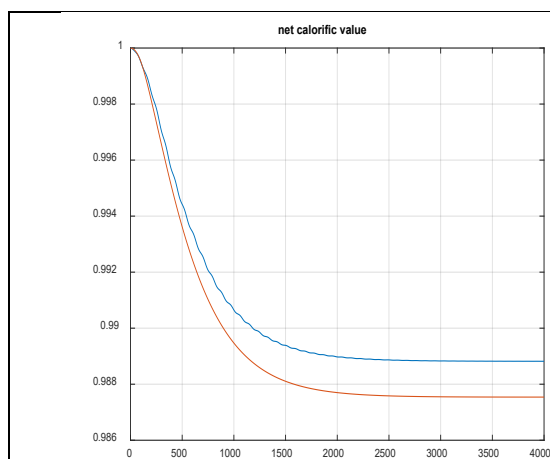
Процеси керування при подачі збурення складом сировини показані на рис. 2 – 7. На рисунках проведено порівняння процесів регулювання з САР запропонованою в [10-12]. Як і в наведеній роботі, збуренням була нижча температура згоряння сировини (композиції), відхилення якої стало зменшення на 20%. Перехідні процеси в початковій системі на рисунках позначені синім кольором, перехідні процеси в системі з багатовимірним цифровим регулятором



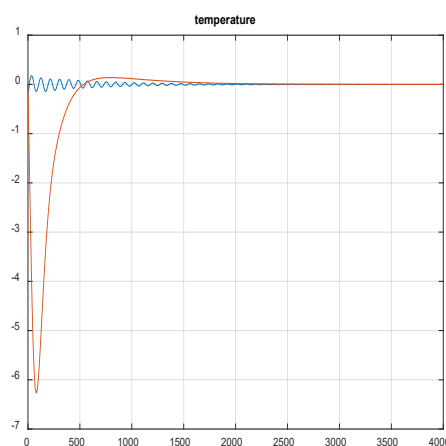
позначені червоним кольором.



**Рисунок 1** Схема САР піролізної установки з багатовимірним цифровим регулятором

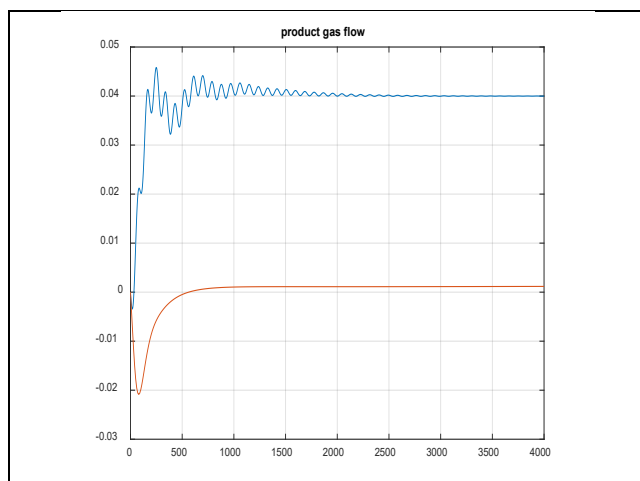


**Рисунок 2** – Зміна теплотворної здатності продукт-газу

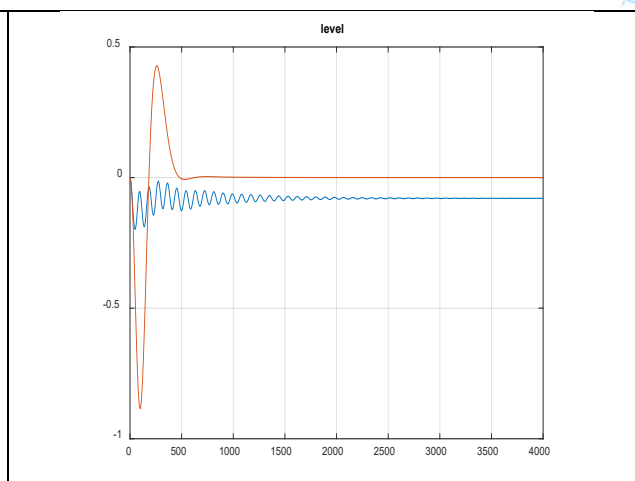


**Рисунок 3** – Зміна температури піролізу



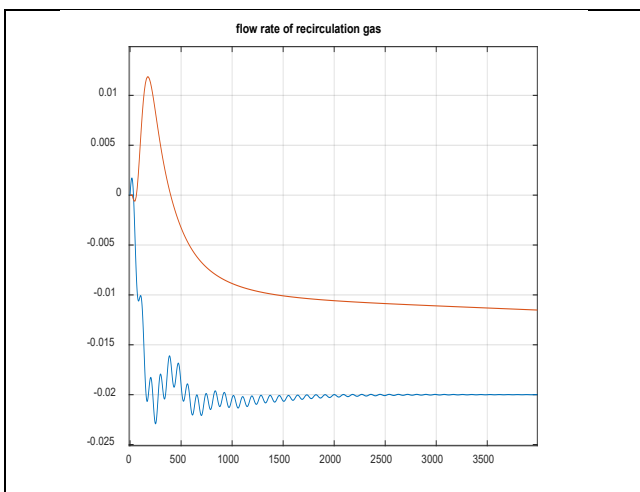


**Рисунок 4 – Зміна витрати продукт-газу**

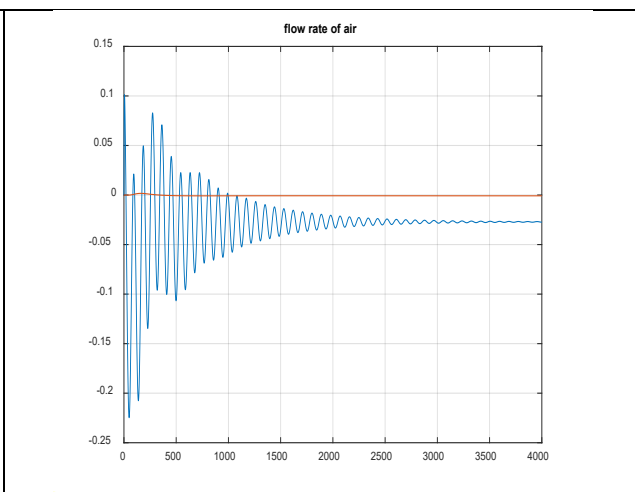


**Рисунок 5 – Зміна рівня у вологому газгольдері**

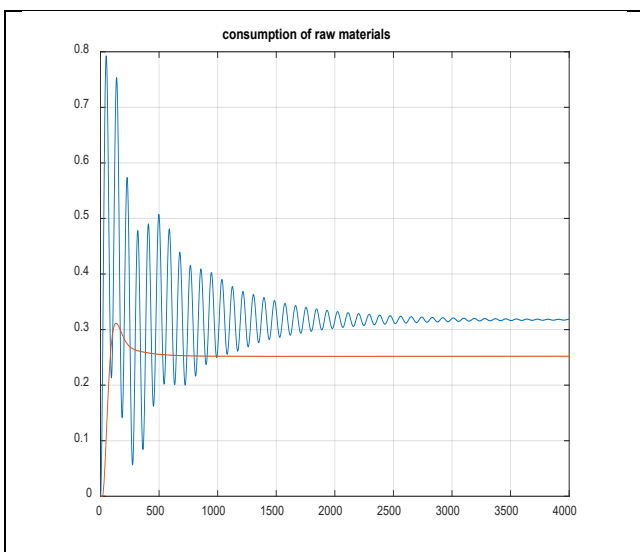
На рисунках 6 – 8 наведені відхилення керуючих впливів. За своїм значенням величина впливів не перевищує керуючих впливів початкової системи.



**Рисунок 6 – Зміна витрати рециркуляційного газу**



**Рисунок 7 – Зміна витрати повітря**



**Рисунок 8 – Зміна витрати сировини**



Як видно з рисунків, синтезована багатовимірною цифрова САР здатна справлятися з вхідними збуреннями аналогічно запропонованої раніше. При збуреннях складом сировини, шляхом зменшення теплоти згоряння на 20 %, теплоти згоряння продукт-газу зменшується на 1,2 %. Температура піролізу відхиляється від номінального значення на 6 °С, в початковій системі відхилення було не більше 0,5 °С. З іншого боку витрата продукт газу в запропонованій системі підтримується майже на постійному значенні. Зміна рівня у вологому газгольдері свідчить про небаланс між газом що споживається та газом що виробляється і на початку процесу цей небаланс доволі значний, але не критичний. Основною відмінністю перехідних процесів в запропонованій системі керування є відсутність коливань технологічних параметрів, які спостерігаються у початковій системі.

### Висновки.

1. Синтезовано автоматизовану систему керування піролізною установкою з багатовимірним цифровим регулятором, що дозволяє стабілізувати технологічний процес виробництва продуктового газу на заданих технологічних значеннях.

2. Запропонований регулятор стабілізує технологічні параметри процесу піролізу без статичних похибок, при цьому динамічні відхилення перевищують значення аналогічних показників в початковій системі, яка складається з чотирьох окремих регуляторів. Але в запропонованій системі керування відсутні коливальні процеси, які спостерігаються у початковій системі

### Література:

1. Brunetkin A. I. Model and method of controlled pyrolysis of organic substances of variable composition / A. I. Brunetkin, K. V. Beglov, M. Maksimov, E. O. Ulitskaya [Russian]// *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"* - 2021. - № 1. - С. 134-150. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/PUI\\_2021\\_1\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/PUI_2021_1_14).
2. Heat and mass-transfer modeling of an angled gas-jet LCVD system. Duty, C., Johnson, R. (et al.) // *Applied Physics A*, Springer, - 2003, -vol. 0, No 5, - P. 697-705
3. Wolfgang, Rodi, M. Mulas. *Engineering Turbulence Modelling and Experiments 6* / Rodi, Wolfgang, M. Mulas. - Elsevier, 2005. – 1012 p.
4. Gavrilenko, B.V. Matematicheskaya model' topki kipyashchego sloya shahtnogo avtonomnogo vozduhopodogrevatelya v nestacionarnykh usloviyakh / B.V. Gavrilenko, S.V. Neezhmakov // *Problemy ekspluatacii oborudovaniya shahtnykh ustanovok: sbornik nauchnykh trudov.* – 2005. – s. 297 – 304.
5. Gavrilenko, B.V. Sintez matematicheskoy modeli topki kipyashchego sloya shahtnogo vozduhopodogrevatelya pri nestacionarnykh usloviyakh dlya zadach avtomaticheskogo upravleniya / B.V. Gavrilenko, S.V. Neezhmakov // *Modeliuvannia ta informaciiini tehnologii: Zb. nauk. pr.* — K.: IPME im. G.Ie.Puhova NAN Ukrainy, 2010. — Vyp. 57. — S. 164-173.
6. Lysyuk, A.V. A model and method of combustion in a thermal power plant of a variable composition hydrocarbon gas / A.V. Lysyuk, A.V. Bondarenko, M.M. Maksimov, A.I. Brunetkin // *Automation of technological and business processes.* – Odessa, 2017. – Volume 9, Issue 2. – С. 21–27. DOI



<https://doi.org/10.15673/atbp.v9i2.558>

7. Method for calculating the combustion temperature of an arbitrary mixture of gaseous hydrocarbon fuel with an arbitrary excess of air / V.O. Davydov, A.V. Bondarenko // Praci Odesskogo politechnicheskogo universitetu. Odessa, 2013. - №3 (42) — С. 98 — 102 <http://pratsi.opu.ua/app/webroot/articles/1395062033.pdf>

8. Yuriy P. Kondratenko; Vsevolod M. Kuntsevich; Arkadii A. Chikrii; Vyacheslav F. Gubarev, "14 Automatic Control for the Slow Pyrolysis of Organic Materials with Variable Composition," in *Advanced Control Systems: Theory and Applications*, River Publishers, 2021, pp.397-434.

9. Стопакевич О.А. Теорія систем і системний аналіз: Навчальний посібник. - К.: ІСДО, 1996. - 200 с.

10. Брунеткін, О. І., Беглов, К. В., Максимов, М. М. і Улицька, О. О. Модель і метод керованого піролізу органічних речовин змінного складу, *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*, 2023, 66(1), с. 134–146. doi: 10.34229/1028-0979-2021-1-12.

11. Kozlov O. Fuzzy Automatic Control of the Pyrolysis Process for the Municipal Solid Waste of Variable Composition / Oleksiy Kozlov, Yuriy Kondratenko, Hanna Lysiuk, Viktoriia Kryvda, Oksana Maksymova // *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems*. – 2022. – Vol.16, N° 1 P. 83-94. DOI:10.14313/JAMRIS/1-2022/9

12. Hanna Lysiuk, Oksana Maksymova Model and Method of Solid Household Waste Sorting for Their Effective Thermal Disposal “Energy Engineering and Control Systems”, 2023 Volume 9, Number 1, 31-46. DOI: <https://doi.org/10.23939/jeecs2023.01.031>

**Abstract.** Environmental problems play a significant role in modern society. An important area is the processing of various types of waste to obtain secondary energy resources. The peculiarity of such organic waste is that its composition is variable. Accordingly, the composition of the resulting fuel becomes variable and unknown. Therefore, their use in power generating plants is complicated. To solve this problem, it is important to develop an efficient control system for the thermal decomposition of organic waste. The article is devoted to the synthesis and study of an automatic control system based on a multidimensional digital state controller.

**Key words:** pyrolysis, control, multidimensional controller, state observer, nonlinear object.

Статтю надіслано: 18.09.2023 р.

© Беглов К.В.



УДК 681.54

**MODEL AND METHOD OF CONTROLLING THE ACTIVE ZONE OF THE VVER-1000 REACTOR DURING CYCLIC TRANSIENT PROCESSES****МОДЕЛЬ І МЕТОД УПРАВЛІННЯ АКТИВНОЮ ЗОНОЮ РЕАКТОРА ВВЕР-1000 ПРИ ЦИКЛІЧНИХ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСАХ****Zubak V.V. / Зубак В.В.***PhD candidate / здобувач PhD**ORCID: 0000-0002-6981-645X***Belousov Valery Serhiyovych / Белоусов Валерій Сергійович***PhD candidate / здобувач PhD***Belousov Vladyslav Serhiyovych / Белоусов Владислав Сергійович***PhD candidate / здобувач PhD***Kipriyanov I. A. / Кіпріанов І. А.***PhD candidate / здобувач PhD**ORCID: 0009-0004-3128-5704**Odesa Polytechnic National University Odesa, Shevchenko, 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, Шевченка, 1, 65044*

**Анотація.** Робота присвячена підвищенню стабільності енергорозподілу у ядерному реакторі ВВЕР-1000, під час ксенонових перехідних процесів. Проведені розрахунки, ті що моделюють перехідні процеси. Розроблено метод керування оснований на оптимізації перехідного процесу шляхом підтримки заданого аксіального офсету. Базовий варіант забезпечує можливість керування аксіальним офсетом у широкому діапазоні змін станів реактора і цілком задовольняє проектним обмеженням ВВЕР. Модифікації дозволяють розширити діапазон станів, що регулюються чи мінімізувати водообмін. У рамках одногрупової «двокрапкової моделі» розроблене теоретичне обґрунтування методу. Модель забезпечує можливість кількісно прогнозувати керуючі впливи при проведенні маневрів. Досліджено аспекти, зв'язані із впливом алгоритму на економічність і безпеку технологічного процесу виробництва енергії на АЕС.

**Ключові слова:** ядерний енергетичний реактор, нейтронно-фізичний розрахунок, аксіальний офсет.

**Вступ.**

Задача забезпечення стійкості нейтронних полів виникає у зв'язку з тим, що поряд із швидкими негативними ефектами реактивності, які роблять стабілізуючий вплив, будь-яка зміна стану активної зони викликає відносно повільні ксенонові перехідні процеси, що мають характер позитивного, дестабілізуючого зворотного зв'язку. Багаторазові перерозподіли енерговиділення, що відбуваються в цей час, можуть приводити до зниження надійності паливних елементів у результаті циклічних навантажень, чи до виникнення кризи теплообміну на окремих ділянках твелів [1,2].

Підвищення ефективності використання ядерного палива при експлуатації ВВЕР, привела до росту глибини вигорання палива. Разом з цим знижується стійкість керування та ростуть вимоги до якості керування енерговиділенням. Забезпечення стабільних властивостей енергорозподілу є одною з головних умов до роботи ВВЕР-1000 у маневровому режимі [3].

Метод регулювання енергорозподілу є достатньо ефективним при пригніченні відносно невеликих коливань. У випадку розвинутих коливань, які





виникають у результаті керування реактором, ефективність штатного методу знижується. Хоча, принципово, стабільний стан досягається, але для цього потрібен час більше доби. На протязі цього часу теплова потужність паливних елементів коливається з великою амплітудою. Існуюча модель керування не дозволяє знаходити найкращий спосіб керування. Тому разом з ростом економічної ефективності роботи реакторів повинні розроблятися методи керування енерговиділенням [4,5].

### **Аналіз літератури.**

Аналіз літературних джерел показав, що сучасні енергетичні реактори не мають властивості стійкості розподілу потоку нейтронів і його функціоналів стосовно цих процесів [1-5]. Використання автоматичних систем регулювання дозволяє забезпечувати стабільність реактора у стаціонарному режимі роботи. В циклічних перехідних процесах використання таких регуляторів у ВВЕР не ефективно тому що вимагає розміщення великого числа органів регулювання у кожній з регульованих зон, що технічно не реалізовано на об'єкті керування [6].

Розглянуто методи теорії оптимальних процесів, що застосовувалися для створення алгоритмів керування різних типів реакторів. Відзначено високий ступінь абстрактності підходу, неможливість через не лінійність прямого використання рівнянь стану, звичайне використання необґрунтованих гіпотез, примітивних моделей і, як наслідок неможливість автоматизованого керування. Також відмічається, що існуючі методи керування, не можуть бути технічно реалізовані [2-4].

Проаналізовано методи регулювання активної зони реактору [7,8]. Зроблено висновок про необхідність дослідження методів регулювання енерговиділення ВВЕР. Аналіз властивості розподілу енерговиділення під час ксенонових перехідних процесів в реакторі проведено через характеристику розподілу – аксіальний офсет:

$$AO = \frac{Q_1 - Q_2}{Q},$$

де  $Q_1, Q_2$  - потужність нижньої і верхньої половин АКЗ,  $Q = Q_1 + Q_2$ .

Виявлено основні напрямки модернізації алгоритмів керування: використання фазових діаграм, метод цуга, метод просторової локалізації ксенонових процесів, керування шляхом підтримки рівноважного аксіального офсету, просторовий метод керування [2, 6-8].

### **Мета та задачі дослідження.**

Метою статті розробка метода забезпечення стабільних властивостей поля енерговиділення, пригнічення коливань під час протікання ксенонових перехідних процесів та моделі керування для підвищення ефективності експлуатації ядерного реактора. Для цього необхідно:

- Проаналізувати ксенонові процеси, що протікають у ВВЕР-1000, систематизувати методи керування ядерним реактором, вибрати метод керування енерговиділенням.
- Розробити метод підтримки стабільності енергорозподілу в ВВЕР–1000 при ксенонових перехідних процесах у різних енергетичних діапазонах.



- Провести модельний експеримент роботи реактора на ефективність вигорання палива.

Об'єкт дослідження: активна зона РУ з ВВЕР–1000, яка експлуатується в змінній частині графіка електричного навантаження.

Предмет дослідження: моделі і методи регулювання потужності реакторної установки ВВЕР–1000 в режимі змінного навантаження.

### **Основне дослідження.**

Стійкість просторового розподілу нейтронів по активній зоні і зв'язана з нею стабільність поля енерговиділення є першою умовою, необхідною для забезпечення працездатності і безпеки реакторів. З ростом енергонапруги, розмірів активних зон установок просторова стійкість нейтронних полів погіршується. Динамічні рівняння, що описують поведінку реактора в перехідному процесі, нелінійні і мають досить високу фазову розмірність (не менше семи – щільності потоків, температура, концентрації йоду, ксенону, прометію та ін.) [9]. Одержати рішення вдається лише, знижуючи розмірність задачі, використовуючи фізичні передумови.

У першу чергу відділяються швидкі перехідні процеси, що протікають за час порядку декількох секунд – хвилин, викликані потужнісним і температурним ефектами реактивності. Незалежно від швидких розглядаються перехідні процеси з масштабом часу більше години, зв'язані зі зміною ізотопного складу активної зони. Нукліди, що утворюються у процесі вигорання ядерного палива, мають різні перерізи поглинання нейтронів, що визначає ступінь їхнього впливу на наступні процеси в реакторі. Утворення сильно поглинаючих продуктів розподілу і їхній вплив на характеристики активної зони прийнято називати отруєнням реактора, на відміну від нагромадження інших продуктів розподілу, що називають шлакуванням. З усіх відомих нуклідів  $^{135}\text{Xe}$  має максимальний переріз поглинання теплових нейтронів.

Через те, що період напіврозпаду прометію, основного джерела самарію, більш ніж у 7 разів перевищує аналогічну величину для йоду, основного джерела ксенону, самарієвий і ксеноновий перехідні процеси теж сильно рознесені у часі. При умовах характерних для реакторів типу ВВЕР,  $\Phi = 5 \times 10^{13}$  нейтр./( $\text{см}^2\text{с}$ ), після пуску реактора для досягнення 0.99 рівноважної концентрації ксенону потрібно близько 0.5 доби, а для досягнення 0.99 рівноважної концентрації самарію потрібно близько 18 діб. Крім того, амплітуда ксенонового процесу у вододіагностичних реакторах у багато разів вище, ніж самарієвого. Самарієві процеси практично порівнянні по масштабу часу і швидкості впливу на реактивність із процесом вигорання ядерного палива і не роблять впливу на стабільність енергорозподілу реактора. Ці причини дозволяють розглядати ксенонові перехідні процеси окремо від самарієвих і незалежно від процесу вигорання палива [5-9].

Сформульовано основний принцип методу підтримки заданого аксіального офсету [6,10]. Як результат оптимального керування, обґрунтовано виникнення мінімальних змін офсету, під час маневрів і перехідних процесів при складному графіку теплового навантаження реактора.

При роботі реакторної установки у стаціонарному режимі, аж до моменту



часу  $t_1$ , аксіальний офсет є функцією параметрів стану активної зони (“стан 1”)

$${}^1AO = f(t_1, {}^1Q; {}^1T_{ex}; {}^1H_{10}; {}^1H_5; \dots),$$

де:  ${}^1Q$  - теплова потужність установки у “стані 1”;  ${}^1T_{ex}$  - відповідна температура теплоносія на вході в активну зону;  ${}^1H_{10}$  - положення групи №10 (робочої) органів регулювання;  ${}^1H_5$  – положення групи № 5.

У момент часу  $t_1$  реактор починає перехід у стаціонарний “стан 2”, який характеризується параметрами  ${}^2Q$ ,  ${}^2T_{ex}$ ,  ${}^2H_{10}$ ,  ${}^2H_5$ , ... з відповідним аксіальним офсетом

$${}^2AO = f(t_2, {}^2Q; {}^2T_{ex}; {}^2H_{10}; {}^2H_5; \dots),$$

де  $t_2$  – момент часу, у який буде досягнуто нового стаціонарного стану.

На підставі отриманих даних стверджується, що при виконанні рівності  ${}^1AO = {}^2AO$ , перехідний процес буде протікати з мінімальними коливаннями енергорозподілу. Тривалість перехідного процесу  $t_2 - t_1$  не має значення. Таким чином, задача зводиться до рівняння

$$f({}^1Q, {}^1T_{ex}, {}^1H_{10}, {}^1H_5, \dots) = f({}^2Q, {}^2T_{ex}, {}^2H_{10}, {}^2H_5, \dots) \quad (1)$$

щодо невідомих  ${}^2H_{10}$ ,  ${}^2H_5$ .

У разі потреби реалізувати складний графік зміни теплової потужності реакторної установки, з послідовними переходами між рівнями  ${}^1Q$ , ...,  ${}^nQ$ , виконання рівності

$$f({}^1Q, {}^1T_{ex}, {}^1H_{10}, {}^1H_5, \dots) = f({}^2Q, {}^2T_{ex}, {}^2H_{10}, {}^2H_5, \dots) = \dots = f({}^nQ, {}^nT_{ex}, {}^nH_{10}, {}^nH_5, \dots) \quad (2)$$

забезпечує мінімізацію коливань аксіального офсету, як під час роботи по цьому графіку, так і надалі. При цьому тривалість часу роботи реактора між переходами на різні рівні потужності не грає ніякої ролі, тобто відсутня необхідність очікування закінчення процесу перерозподілу  ${}^{135}\text{Xe}$  по всьому об’єму активної зони. Принцип, виражений рівняннями (1) і (2) характеризує суть методу підтримки заданого аксіального офсету [11,12].

Розрахунковим шляхом виконана перевірка твердження про мінімізацію коливань аксіального офсету у перехідних процесах, коли виконується рівність

$${}^1AO = {}^2AO = {}^3AO = \dots = {}^nAO.$$

Рівняння (1) і (2) розв’язувалися числовим методом підстановки з використанням програми БІПР-7А.

Відхилення аксіального офсету від заданого, при перехідному процесі, в абсолютних значеннях не перевищували 2%. Для порівняння, якщо при такому маневрі не робити керуючі впливи механічними органами, відхилення аксіального офсету від заданого, при перехідному процесі, в абсолютних значеннях перевищують 35% [8-12]. При розгляді режимів роботи реакторної установки використовувалися наступні додаткові умови:

- залежність положень груп органів регулювання від потужності при керуванні аксіальним офсетом визначається за попередньою умовою;
- концентрація інтегрального поглиначи визначається набором параметрів  $Q$ ,  $H_{10}$ ,  $H_5$ ;
- у стаціонарному режимі  $T_{ex}$  визначається потужністю  $Q$ ;
- витрата теплоносія через активну зону постійна.

Таким чином, для кожного моменту кампанії число незалежних параметрів



при рішенні рівняння (1) обмежувалося потужністю реактора  $Q$  і положенням груп органів регулювання  $H_{10}$ ,  $H_5$ .

Діапазон рівнів потужності, для яких існує дійсне рішення, визначається умовою (а). Вид залежності взаємного розташування органів регулювання також визначається умовою (а) і, відповідно до проведених розрахунків, якісно однаковий для будь-якого моменту з розглянутих кампаній енергоблоку. Таким чином, стає можливим заздалегідь визначати потрібне положення органів регулювання при перехідних процесах у залежності від рівня потужності реактора і тривалості експлуатації паливного завантаження [12,13].

Концепція моделі реактора стосовно до ВВЕР-1000 була відома ще на початку 90 р. [14-17] Однак рівень її розроблення дозволяв вивчати перехідні процеси якісно, визначаючи в основному типи поведінки реактора і наявність окремих рішень. Відмовившись від складання основної системи рівнянь з використанням методу відхилень поточного аксіального офсету від рівноважного, шляхом інтегральних перетворень вдалося в одноруповому наближенні одержати рівняння

$$\int_{V_1} dV \Phi \Sigma_a \approx \nu Q \frac{1+AO}{2} + R_1,$$

$$\int_{V_2} dV \Phi \Sigma_a \approx \nu Q \frac{1-AO}{2} + R_2,$$

де  $\int_{S_i} dS \nabla \Phi = \text{const} \equiv R_i$ ,  $V_i$ ,  $S_i$  - об'єми і поверхні верхньої і нижньої половин активної зони,  $\Sigma_a$  - гомогенізований макропереріз поглинання нейтронів,  $\nu$  - вихід нейтронів на акт розподілу.

Продемонстровано можливість створення такої моделі для більшого числа енергетичних груп. Побудована модель дозволила теоретично обґрунтувати метод підтримки заданого аксіального офсету. При цьому вона дала нову інтерпретацію окремим характеристикам методу, яку раніше неможливо було зробити. Модель забезпечила можливість кількісно прогнозувати регулюючі впливи. Для розвитку моделі на область складних перехідних процесів було зроблено два припущення, підтверджених шляхом розрахункового моделювання [15,16].

Якщо залежність аксіального офсету і  $Q$  від положень груп і потужності реактора у вихідному, необов'язково стаціонарному стані описується функціями  $AO(Q)$ ,  $AO(H_{10})$ ,  $AO(H_5)$ ,  $Q(H_{10})$ ,  $Q(H_5)$ , то перехід повинний бути здійснений таким чином, щоб виконувалися рівності

$$AO(^1Q) + AO(^1H_{10}) + AO(^1H_5) = AO(^2Q) + AO(^2H_{10}) + AO(^2H_5),$$

$$\frac{1}{2}Q(^1H_{10}) + \frac{1}{2}Q(^1H_5) - ^1Q = \frac{1}{2}Q(^2H_{10}) + \frac{1}{2}Q(^2H_5) - ^2Q,$$

$^1Q$ ,  $^2Q$  - початковий і кінцевий рівні потужності, між якими відбувається перехід. Таким чином, для моменту переходу, можна побудувати систему з двох рівнянь, що розв'язується за допомогою залежностей одержуваних розрахунковим шляхом.



Друга гіпотеза відноситься до розгляду випадків ряду послідовних переходів між різними рівнями потужності  ${}^1Q, \dots, {}^nQ$ . Кожен наступний перехід відбувається тоді, коли не закінчився перехідний процес, викликаний попередніми переходами. Враховуючи, що при роботі по методу підтримки заданого аксіального офсету, зміни аксіального офсету під час процесу і під час переходів малі, зміна концентрації ксенону в активній зоні відбувається досить рівномірно. Припустимо, що в цьому випадку послідовні переходи мають властивість адитивності, тобто реактивності, після кожного переходу внесені органами регулювання у будь-яку половину активної зони, складаються по рекурентному закону. А саме, реактивність  $\Delta\rho_k(t)$ , внесена в половину активної зони групою органів регулювання після здійснення чергового переходу  $k$  під час роботи на постійній потужності, дорівнює сумі реактивностей перша з яких  $\Delta\rho'(t-t_k)$  викликана зміною положення групи органів регулювання, яка компенсує перерозподіл  ${}^{135}\text{Xe}$  і розраховується по двокрапковій моделі для останнього переходу так, ніби він походив зі стаціонарного стану. Друга складова суми дорівнює різниці між реактивностями для поточного моменту часу  $\Delta\rho_{k-1}(t)$  і для часу  $t_k$  останнього переходу  $\Delta\rho_{k-1}(t_k)$ , обумовленими всіма переходами крім одного останнього:

$$\Delta\rho_k(t) = \Delta\rho'(t-t_k) + \Delta\rho_{k-1}(t) - \Delta\rho_{k-1}(t_k).$$

Тоді підсумкове положення органів регулювання у будь-який момент часу  $t$  може бути отримане з результатів розрахунку  $\Delta H_5({}^iQ; {}^{i+1}Q; t-t_i)$  по моделі кожного конкретного переходу з  ${}^iQ$  на  ${}^{i+1}Q$ :

$$H_5(t) = H_5(t_1) + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta H_5({}^iQ, {}^{i+1}Q, t-t_i),$$

де  $n-1$  повне число змін потужності, виконаних від початкового стаціонарного стану до моменту часу  $t$ . Такий підхід дає можливість вибирати графік руху органів регулювання, що забезпечує оптимальне керування, як повною інтегральною потужністю реактора, так і аксіальним розподілом поля енерговиділення під час ксенонових перехідних процесів.

При роботі в режимі щоденних маневрів використання рідинної системи регулювання для маневрів стає неприйнятним, оскільки її робота приводить до створення значної кількості рідких радіоактивних відходів. Тому розвиток моделі, насамперед, було спрямовано на керування з використанням тільки механічних органів.

Моделювання керування проводилося протягом 24 годин з початку розвантаження, потім припинено для визначення залишкових ефектів. Для демонстрації нестабільності обраного стану реактора, масштабу коливань, зміна аксіального офсету після подібного розвантаження з використанням тільки рідинного регулювання. На відміну від АО\*, коливання АО сходяться, область збурень збільшується, і в цьому сенсі асимптотична стійкість реактора підвищується [11-17].

Крім поточного значення аксіального офсету, при експлуатації контролюються потужності окремих ТВЗ і енергорозподіл по шарам ТВЗ. У ході всього перехідного процесу максимальна потужність ТВЗ ( $N_{\max}$ ) збільшувалася





на величину не більш 0.5 МВт, максимальне значення коефіцієнта нерівномірності по об'єму ( $K_v$ ) – не більше ніж на 0.1, відхилення аксіального офсету від заданого – не більше ніж на 4%. Жоден з цих параметрів не перевищив встановлених обмежень.

Розглянуто варіанти розвантаження реактора до різних рівнів потужності і підвищення навантаження з різних рівнів потужності до номінального з одночасною зміною положення груп органів регулювання по описаному методу, що забезпечує зменшення виникаючих коливань енергорозподілу, аналізувалась їх амплітуда.

Виявлено істотне зростання амплітуди коливань аксіального офсету при розвантаженнях нижче  $50\%Q_{ном}$ , у наслідку того, що алгоритм підтримки заданого аксіального офсету є наближеним рішенням задачі керування перехідним процесом і умови цього наближення вносять додаткові обмеження на ширину діапазону зміни потужності.

Порівнювалися значення ефективностей аварійного захисту для вихідних станів, у першому з яких всі органи регулювання знаходяться вгорі, крім робочої групи, що знаходиться на висоті 80% від низу активної зони, а у другому – усі органи регулювання знаходяться вгорі, крім груп №5 і №10, цілком занурених в активну зону. Розрахунок проводився для початку і кінця кожного із завантажень, ефективність аварійного захисту визначалася з врахуванням застрягання у крайньому верхньому положенні максимально ефективного органа регулювання, що визначався окремо для кожного стану.

Перехід до високих глибин вигорання, без удосконалення алгоритмів регулювання реактора, приводить до зниження показників надійності палива. Позитивний вплив, який здійснює на безпеку АЕС використання алгоритму підтримки заданого аксіального офсету, дозволяє одержувати додатковий економічний ефект. Цей ефект присутній при будь-якому режимі роботи реактора.

Вартість ТВЗ у процесі експлуатації змінюється від  $C_0$  - вартості свіжої ТВЗ, до 0 - вартості ТВЗ на момент вивантаження із активної зони. Відповідно глибина вигорання міняється від 0 до  $E_{виг}$ . Кількість теплової енергії отриманої з цієї ТВЗ дорівнює  $ME_{виг}$ . Якщо не розглядати вартість ПС СУЗ і СВП, що змінюється незалежно від вартості ТВЗ, то частина паливної складової собівартості одиниці енергії, виробленої за весь термін служби реактора, обумовлена тільки ТВЗ, дорівнює:

$$C_{ТВЗ} = \frac{\sum_{k=1}^N C_{0,k}}{\sum_{k=1}^N M_k E_{виг,k}} = \frac{\sum_{i=1}^T C_{0,i} P_i}{\sum_{i=1}^T M_i \sum_{j=1}^{P_i} E_{виг,i,j}} = \frac{\sum_{i=1}^T C_{0,i} p_i}{\sum_{i=1}^T M_i \langle E_{виг} \rangle_i p_i},$$

де:  $N$  – загальна кількість ТВЗ використаних за весь термін служби реактора,  $T$  – кількість типів ТВЗ які можуть використовуватись у даному реакторі,  $P_i$  – кількість ТВЗ типу  $i$  використаних у реакторі за весь термін служби,  $p_i = P_i/N$  – відносна кількість ТВЗ типу  $i$  використаних у реакторі за весь термін служби,  $C_{0,k}$  - початкова вартість  $k$ -й ТВЗ,  $C_{0,i}$  - вартість свіжої ТВЗ типу  $i$ .



Це означає, що будь-які напрямки модернізації активної зони, зв'язані з використанням нових типів ТВЗ, удосконаленням компонувань чи режимів експлуатації ТВЗ, тільки в тому випадку мають позитивний ефект, через економію ядерного палива, якщо вони приводять або до збільшення відносної частки  $p_i$  типів ТВЗ із меншими  $C_0/(M\langle E_{\text{виг}} \rangle)$ , або просто до збільшення  $\langle E_{\text{виг}} \rangle$ . Крім того, існує зв'язок між ефективністю паливовикористання і поводженням з відпрацьованим ядерним паливом, а саме: у наслідок збільшення  $\langle E_{\text{виг}} \rangle$ , зменшується кількість відпрацьованого палива на одиницю виробленої енергії.

Згідно отриманим даним збільшення глибини вигорання ТВЗ у циклі без зміни типу палива може досягати 7-8% стосовно проекту. А у випадку використання оптимізації тривалості завантажень за допомогою режиму часткового використання від'ємних ефектів реактивності це збільшення досягає 9%. Використання алгоритму підтримки заданого аксіального офсету забезпечує можливість безпечного збільшення глибини вигорання ядерного палива.

Керування енерговиділенням є однією із задач забезпечення безпеки та якості, а також економічною проблемою підвищення ефективності паливовикористання і використання встановленого рівня потужності, економічності роботи АЕС. Крім того, вона є одною із двох основних складових проблеми адаптації енергоблоків ВВЕР-1000 для роботи у маневровому режимі. При роботі у маневровому режимі ефект складається зі збільшення різниці між ринковою вартістю та собівартістю енергії, що виробляється АЕС (~20%), а також забезпечення можливості зниження паливної складової її собівартості на ~7-9%. У базовому режимі ефект складається з такого ж забезпечення можливості зниження паливної складової собівартості енергії на ~7-9%, підвищення надійності ядерного палива, що дає ще ~1-2% економії у паливній складовій, а також невеликого підвищення коефіцієнту використання встановленої потужності «того що збільшує» ефективний термін служби енергоблоку приблизно на 6 годин у рік.

### Висновки.

Досліджено ксенонові процеси, що протікають у ВВЕР-1000, проаналізовано системи і методи керування ядерним реактором, досвідним шляхом виявлений метод керування енерговиділенням заснований на підтримці заданого аксіального офсету. Проведено розрахунково-експериментальне дослідження методу в широкому діапазоні характеристик реактора.

Розроблено метод підтримки стабільності енергорозподілу ВВЕР-1000 у широкому енергетичному діапазоні, який враховує можливу необхідність розширення діапазону рівнів потужності, скорочення кількості радіоактивних відходів.

Розроблено модель, яка забезпечила можливість кількісно прогнозувати керуючі впливи. У випадку, якщо керування проводиться без використання рідинної системи, модель дозволяє заздалегідь вибирати графік руху механічних органів, якій забезпечує незначні коливання, як повної потужності реактора, так і аксіального розподілу поля енерговиділення.

Розроблено методи дослідження економіки паливних циклів, що можуть



бути поширені на режими не зв'язані безпосередньо з маневрами, мають самостійне практичне застосування. Ефект від впровадження методу підтримки заданого аксіального офсету залежить від режиму роботи реактора. У базовому режимі алгоритм забезпечує можливість заощаджувати до ~10% величини паливної складової собівартості енергії.

### Література:

1. Foshch, T., Portela, F., Machado, J. & Maksimov, M. "Regression Models of the Nuclear Power Unit VVER-1000 Using Data Mining Techniques". *Procedia Computer Science*. 2016; 100: 253–262. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192589450>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.151>.
2. Pelykh, S. N., Maksimov, M. V. & Ryabchikov, S. D. "The prediction problems of VVER fuel element cladding failure theory". *Nuclear Engineering and Design*. 2016; 302: 46–55. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=34971820000>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2016.04.005>.
3. Pelykh, S. N., Maksimov, M. V. & Parks, G. T. "A method for VVER-1000 fuel rearrangement optimization taking into account both fuel cladding durability and burnup". *Nuclear Engineering and Design*. 2013; 257: 53–60. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=34971820000>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2012.12.022>.
4. Foshch, T., Machado, J., Portela, F., Maksimov, M. & Maksimova, O. "Comparison of Two Control Programs of the VVER-1000 Nuclear Power Unit Using Regression Data Mining Models". *Nuclear and Radiation Safety*. 2017; 3 (75): 11–17. DOI: [https://doi.org/10.32918/nrs.2017.3\(75\).02](https://doi.org/10.32918/nrs.2017.3(75).02).
5. Pelykh, S. N., Maksimov, M. V. & Nikolsky, M. V. "A method for minimization of cladding failure parameter accumulation probability in VVER fuel elements". *Problems of Atomic Science and Technology*. 2014; 92 (4): 108–116. URL: [https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2014\\_4/article\\_2014\\_4\\_108.pdf](https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2014_4/article_2014_4_108.pdf).
6. Pelykh, S. N. & Maksimov, M. V. "Theory of VVER-1000 fuel rearrangement optimization taking into account both fuel cladding durability and burnup". *Problems of Atomic Science and Technology*. 2013; 44 (2) 84: 50–54. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/111678/08-Pelykh.pdf?sequence=1>.
7. Yan, X., Wang, P., Qing, J., Wu, S. & Zhao, F. "Robust power control design for a small pressurized water reactor using an H infinity mixed sensitivity method". *Nuclear Engineering and Technology*. 2020; 52 (7): 1443–1451. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57211839857>. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.net.2019.12.031>.
8. Pelykh, S. N. & Maksimov, M. V. "The method of fuel rearrangement control considering fuel element cladding damage and burnup". *Problems of Atomic Science and Technology*. 2013; 87 (5): 84–90. URL: [https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2013\\_5/article\\_2013\\_5\\_84a.pdf](https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2013_5/article_2013_5_84a.pdf).
9. Maksimov, M. V., Pelykh, S. N. & Gontar, R. L. "Principles of controlling fuel-element cladding lifetime in variable VVER-1000 loading regimes". *Atomic*



*Energy*. 2012; 112 (4): 241–249. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-012-9552-3>.

10. Maksymov, M., Alyokhina, S. & Brunetkin, O. “Thermal and reliability criteria for nuclear fuel safety”. *River Publishers (Verlag)*. 2021. 260 p. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7005088554>. e-ISBN: 9788770224000.

11. Zhou, H., Pelykh, S. N., Odrekhovska, I. O. & Maksymova, O. B. “Optimization of power control program switching for a WWER-1000 under transient operating conditions”. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2018; 1 (113): 218–221. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/137360/36-Zhou.pdf?sequence=1>.

12. Filimonov, P. E., Aver'yanova, S. P. & Filimonova, M. P. “Control of control-rod groups in the maneuvering regime of VVER-1000 operation” (in Russian). *Atomic Energy*. 1998; 84 (5): 383–387. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02414876>.

13. Ningbo, L. & Xueyao, S. “Research on the control of containment pressure of Gen II+ NPP under severe accident condition”. *Energy Procedia*. 2017; 117: 220–224. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57196222634>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.098>.

14. Maksimov, M. V., Tsiselskaya, T. A. & Kokol, E. A. “The Method of Control of Nuclear Power Plant with VVER-1000 Reactor in Maneuverable Mode”. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2015; 47 (6): 17–32. DOI: <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v47.i6.20>.

15. Jiang, Q., Liu, Y., Zeng, W. & Yu, T. “Study on switching control of PWR core power with a fuzzy multimodel”. *Annals of Nuclear Energy*. 2020; 145: 107611. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57211412665>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.107611>.

16. Plakhotnuk, A. A., Kokol, E. A. & Maksimov, M. V. “Simulation of changes in the structure of technical means of automation at the VVER-1000 while maneuvering” (in Russian). *Automation Technological and Business-Processes*. 2015; 7 (4): 64–71. DOI: <https://doi.org/10.15673/2312-3125.24/2015.56334>.

17. Aver'yanova, S. P., Vokhmyanina, N. S., Zlobin, D. A., Filimonov, P. E., Kuznetsov, V. I. & Lagovskii V. B. “Offset-cardinality phase diagram method of controlling reactor power”. *Atomic Energy*. 2017; 121: 155–160. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10512-017-0176-5>.

**Abstract.** The work is devoted to increasing the stability of power distribution in the VVER-1000 nuclear reactor during xenon transients. The calculations modeling the transients were performed. A control method based on optimization of the transient process by maintaining a given axial offset was developed. The basic variant provides the ability to control the axial offset in a wide range of changes in reactor states and fully satisfies the design constraints of VVERs. Modifications make it possible to expand the range of controlled states or minimize water exchange. The theoretical justification of the method was developed within the framework of the single-group “two-dot model”. The model provides the ability to quantitatively predict control effects during maneuvers. Aspects related to the influence of the algorithm on the efficiency and safety of the technological process of energy production at NPPs are investigated.

**Key words:** nuclear power reactor, neutron-physical calculation, axial offset.





UDC 165.133

## EMISSIONS OF CARBON DIOXIDE WHEN BURNING DIFFERENT TYPES OF FUEL AND CONSTRUCTION OF NOMOGRAMS FOR CALCULATION OF NITROGEN OXIDES

Sheleshei T.V.

Ph.D., s. lect.

0000-0002-7242-4107

Bednarska I.S.

assist.

ORCID:0000-0002-5558-4467

Vlasenko O.V.

Ph.D., assist.

0000-0002-8975-0873

Syvachenko V.A.

student

Korchma V.O.

student

Matusevych K.B.

student

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Politechnichna, 6, 03056

**Abstract.** Carbon oxides as well as nitrogen oxides can have a negative impact on the environment and human health. They are one of the main factors of air pollution and can cause respiratory diseases and other health problems. Various methods can be used to reduce carbon oxide emissions from fuel combustion, such as using cleaner fuels, increasing combustion efficiency, and implementing emission control technologies. One of the most important methods of combating nitrogen oxides is the control of emissions of nitrogen oxides into the atmosphere. This can be achieved by installing effective exhaust gas treatment systems on vehicles, industrial plants home heating systems.

**Key words:** burning, natural gas, solid fuel, oil fuel, nitrogen oxides, emission index, carbon oxidation.

**Introduction.** The main sources of harmful emissions into the atmosphere also include thermal power plants and industrial and heating boiler houses. Energy carriers at these facilities are organic fuel, which is divided into solid, liquid, and gaseous. During the burning of various types of coal, fuel oil, and natural gas, a large number of pollutants enter the atmosphere, which have a negative impact on the environment and atmosphere.

Carbon oxides are one of the most common gases produced during fuel combustion in various power plants. Nitrogen oxides are among the most toxic and harmful emissions. Therefore, the study is devoted to the calculation of carbon dioxide emission indicators and nitrogen oxide emission indicators for different types of fuel and different brands.

**Main text.** The results of the research can be used to develop more effective methods of controlling gas emissions into the atmosphere and reducing their negative impact on the environment and human health.

Combustion is one of the main processes that occur in nature and is used by





humans to obtain energy. During discharge, substances usually combine with air oxygen, forming oxides. When hydrocarbons and carbon fuels are burned, hydrogen and carbon form water and carbon dioxide, respectively.

In the work, carbon oxide emission indicators were calculated for different types of fuel and different brands [2].

Carbon dioxide emission index  $k_{\text{CO}_2}$ , g/GJ, during combustion of organic fuel is determined by the formula

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C = 3,67 k_C \varepsilon_C, \quad (1)$$

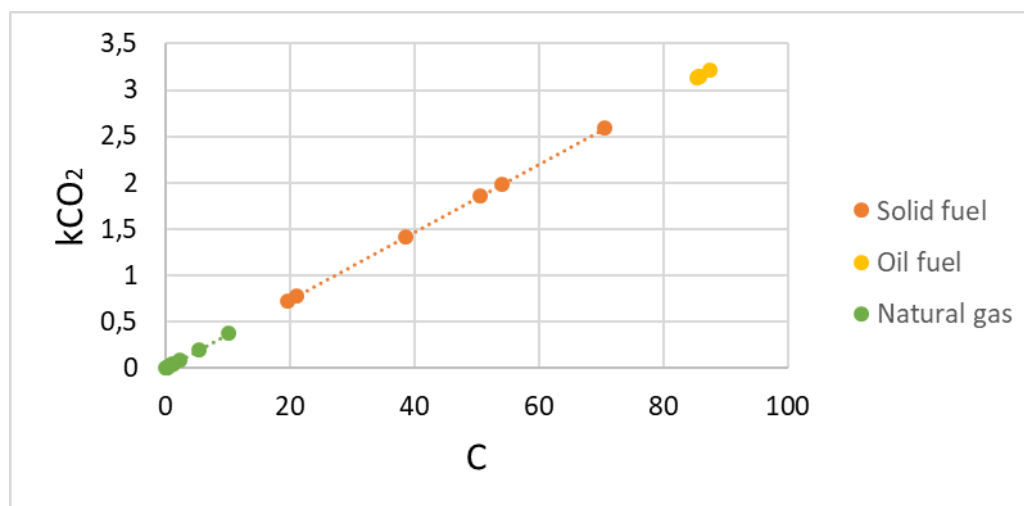
where  $C^r$  – mass content of carbon in fuel per working mass, %;

$Q_i^r$  – lower working heat of fuel combustion, MJ/kg;

$\varepsilon_C$  – degree of carbon oxidation of the fuel;

$k_C$  – fuel carbon emission index, g/GJ.

The results of the calculations are summarized below and presented in graphs in Figures 1-2.



Authoring

**Figure 1 - Dependence of carbon dioxide emission indicators when burning different types of fuel.**

The degree of carbon oxidation of the fuel  $\varepsilon_C$  in the power plant is calculated according to the formula

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{A^r}{C^r} \left( a_{\text{ВНН}} \frac{\Gamma_{\text{ВНН}}}{100 - \Gamma_{\text{ВНН}}} + (1 - a_{\text{ВНН}}) \frac{\Gamma_{\text{ИЛЛ}}}{100 - \Gamma_{\text{ИЛЛ}}} \right), \quad (2)$$

where  $A^r$  – mass content of ash in fuel per working mass, %;

$C^r$  – mass content of carbon in fuel per working mass, %;

$a_{\text{ВНН}}$  – the fraction of ash that is removed in the form of fly ash;

$\Gamma_{\text{ВНН}}$  – mass content of combustible substances in the removal of solid particles, %;

$\Gamma_{\text{ИЛЛ}}$  – mass content of combustible substances in slag, %.

The work also calculated nitrogen oxide emission indicators for different types of fuel and different brands.

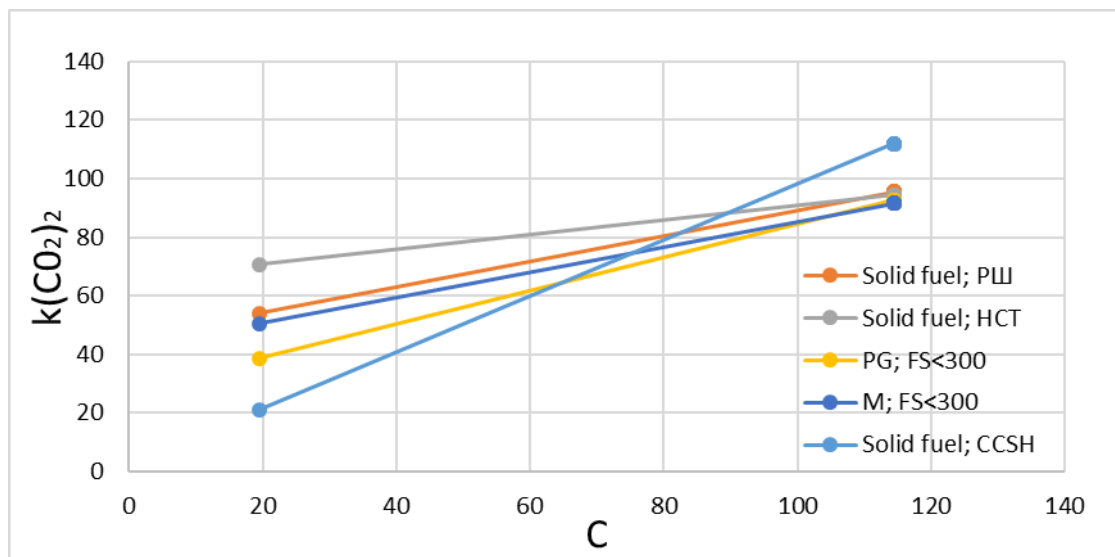
The indicator of the emission of nitrogen oxides  $k_{\text{NOx}}$ , g/GJ, taking into account



emission reduction measures, is calculated [4]:

$$k_{\text{NOx}} = (k_{\text{NOx}})_0 f_n (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \quad (3)$$

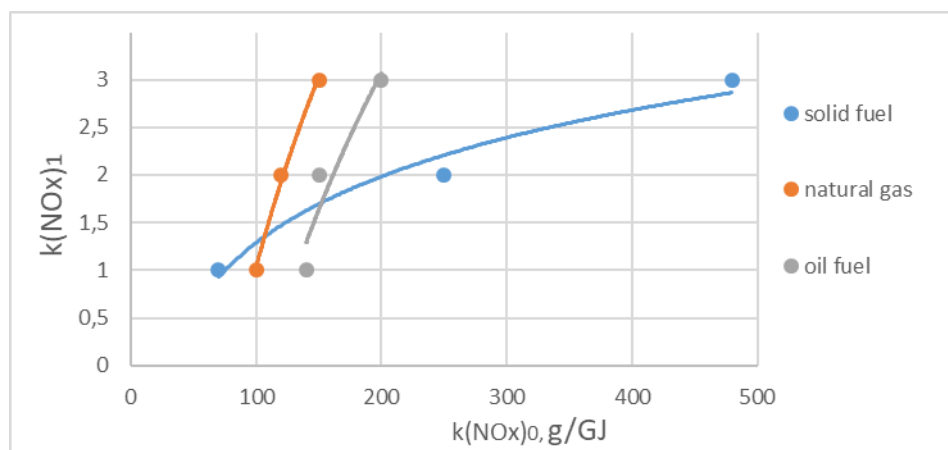
where  $(k_{\text{NOx}})_0$ —indicator of the emission of nitrogen oxides without taking into account emission reduction measures, g/GJ;  $f_n$  – degree of NOx emission reduction during low-load operation;  $\eta_I$  – effectiveness of primary (regime-technological) emission reduction measures;  $\eta_{II}$  – efficiency of secondary measures (nitrogen treatment plant);  $\beta$  – the coefficient of operation of the nitrogen treatment plant.



Authoring

**Figure 2 - The degree of dependence of the generalized emission indicators of carbon oxidation of the fuel  $\varepsilon_C$  in a power plant.**

The results of the calculations are summarized below and presented in graphs in Figures 3-7.



Authoring

**Figure 3 - Dependence of nitrogen oxide emission indicators when burning different types of fuel.**

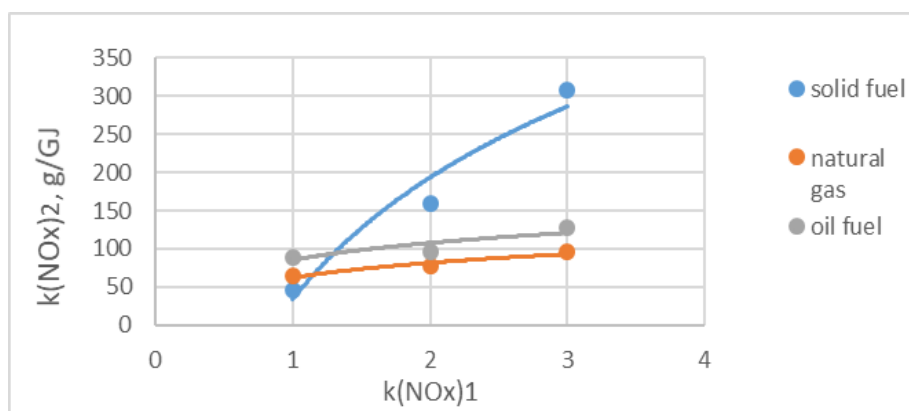
Figure 3 shows the results of calculating the nitrogen oxides emission index relative to the nitrogen oxides emission index without taking into account primary measures, i.e. the formula took the form:



$$k_{NOx} = (k_{NOx})_0, \quad (4)$$

It should be noted that  $k(NOx)1$  is a calculation step.

It can be seen from the graph that when fuel oil and natural gas are burned, the nitrogen oxide emission indicators are somewhat lower, so they are smaller and grow rapidly, in contrast to the indicator when burning solid fuel.



Authoring

**Figure 4 - Dependence of nitrogen oxide emission indicators taking into account the degree of reduction of NOx emission during operation at low load ( $f_n$ ).**

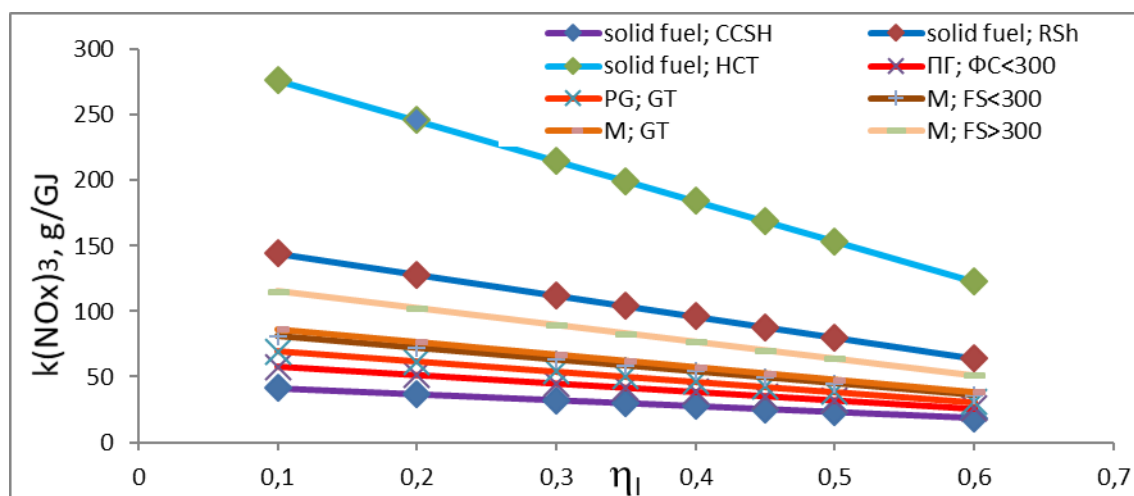
Now the formula looks like this:

$$k_{NOx} = k_{(NOx)2} = (k_{NOx})_0 f_n, \quad (5)$$

where, in turn:  $f_n = \left(\frac{Q_f}{Q_n}\right)^z$

$Q_f$  - the actual input thermal power of the combustion plant, MW ( $Q_f = 0,7 Q_n$ );  $Q_n$  - the nominal input thermal power of the combustion plant, MW;  $z$  - an empirical coefficient that depends on the type of combustion plant, its power. For solid fuel  $z = 1,15$ , and for fuel oil and natural gas –  $z = 1,25$ ).

From the graph, we can say that the indicators when burning natural gas and fuel oil are much lower and the difference between their maximum and minimum values is not large, so their graphs are more horizontal and straight.



Authoring

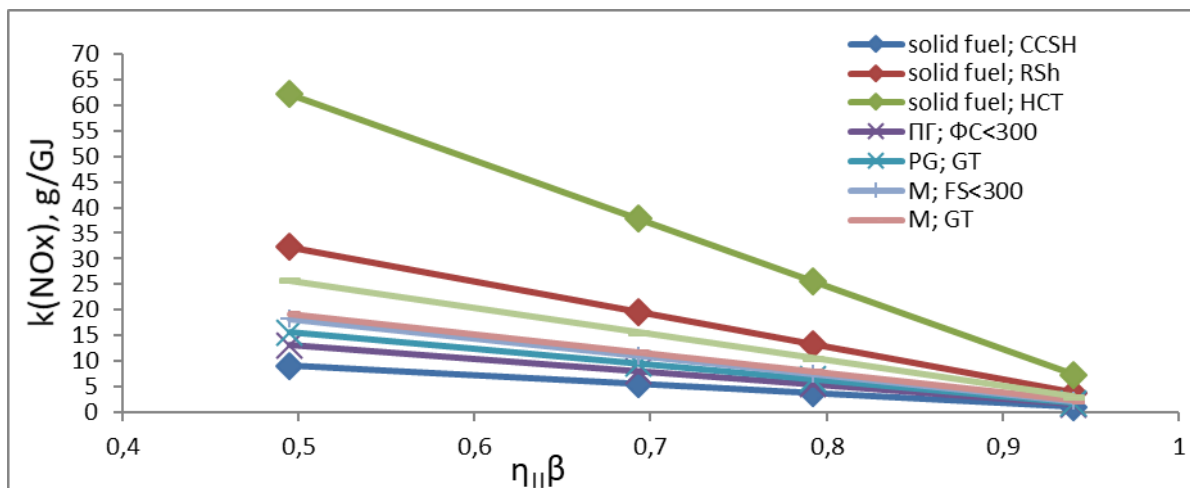
**Figure 5 - Dependence of generalized indicators of nitrogen oxide emissions, taking into account the efficiency and the coefficient of operation of the NOx nitrogen treatment plant with different combustion technologies ( $\eta_1$ ).**



Now the formula looks like this:

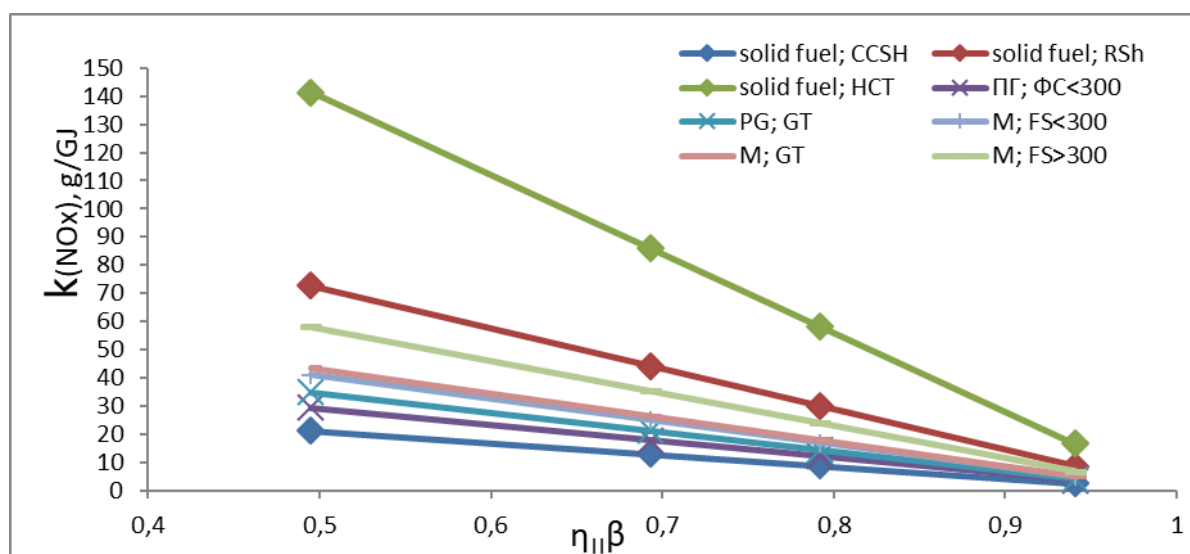
$$k_{\text{NO}_x} = (k_{\text{NO}_x})_3 = (k_{\text{NO}_x})_0 f_n(1 - \eta_I), \quad (6)$$

It can be seen from the graph that the most optimal option for all technologies and types of fuel is the value  $\eta_I = 0,3-0,45$ , which corresponds to such type of primary measures as step air supply and tertiary air supply [3].



Authoring

**Figure 6 - Dependence of the minimum values of nitrogen oxide emission indicators taking into account the effectiveness of secondary measures  $\eta_{II}$  and the operation coefficient of the  $\text{NO}_x$  nitrogen treatment plant at different combustion technologies ( $\eta_{II}\beta$ ).**



Authoring

**Figure 7 - Dependence of the maximum values of oxide emission indicators nitrogen, taking into account the effectiveness of secondary measures  $\eta_{II}$  and the coefficient of operation of the  $\text{NO}_x$  nitrogen treatment plant at different combustion technologies ( $\eta_{II}\beta$ ).**

Figures 6 and 7 show the results of the calculation of the generalized indicator of the emission of nitrogen oxides  $k_{\text{NO}_x}$  at the minimum and maximum values of the indicator  $(k_{\text{NO}_x})_3$  in relation to the effectiveness of secondary measures  $\eta_{II}$  and the coefficient of operation of the  $\text{NO}_x$  nitrogen purification plant. That is, the formula



took the form:

$$k_{\text{NOx}} = (k_{\text{NOx}})_0 f_H (1 - \eta_I) (1 - \eta_{II} \beta), \quad (7)$$

It can be seen from the graphs that the highest indicator of nitrogen oxide emissions remained when solid fuel was burned using the technology of flare combustion with a thermal power of a boiler < 300 MW with a horizontal cyclone furnace for hard coal. The lowest and average indicators also remained for the same combustion technologies and types of fuel.

The optimal value of  $\eta_{II}\beta$  for all types of fuel is 0,8, that is, it is possible to choose such a technology for cleaning flue gases from NOx as selective catalytic reduction (SCR).

**Summary and conclusions.** Were received that the most effective in reducing nitrogen oxide and carbon dioxide emissions is a three-stage supply of air and fuel. Calculations showed that the use of a combination of "low-toxicity burners, staged air supply and tertiary air supply" helps to reduce the content of nitrogen oxides in exhaust gases. It is also advisable to use selective catalytic reduction (SCR).

### References:

1. Gazizullin I., Lozovyi L., Ivakhno O., Williams V., Petrenko I., Zayka R. Reduction of emissions in thermal power generation of Ukraine due to compliance with the requirements of the European Energy Community: green book / summer. editor N. Tsysyk. Kyiv: Optima Publishing House, 2011. 48 p. 236 Volume 31 (70) Part 1 No. 2 2020 Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadskyi. Series: technical sciences
2. Verbytska I.Yu. Prospects of TPP operation in the conditions of modern environmental requirements. Coal Forum. Dnipro, April 12, 2018. 17 p.
3. Nechaeva T.P., Shulzhenko S.V., Sas D.P., Parasyuk M.V. Factors of environmental impact of electric power facilities on the environment. Problems of general energy. "Ecological aspects of energy and environmental protection" series. 2008. Issue 19. P.54–60.
4. GKD 34.02.305-2002. Emissions of pollutants into the atmosphere from power plants. Determination method. [Effective from 2002-07-01]. Kyiv, 2002.
5. Specific indicators of emissions of pollutants into the atmospheric air from the main productions of industry and agriculture. Kyiv: Ministry of Natural Resources of Ukraine, 2001.

Article sent: 19.09.2023

© Sheleshei T.V., Bednarska I.S., Vlasenko O.V., Sivachenko V.A.,  
Sivachenko V.A., Korchma V.O., Matusevych K.B.





УДК 528.563

**ANALYSIS OF EXISTING DESIGN SOLUTIONS FOR MEASURING VECTOR QUANTITIES****АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВЕКТОРНИХ ВЕЛИЧИН****Zayets S.S. / Заєць С.С.***as. / асистент.*

ORCID: 0000-0002-9954-1434

**Nazarenko N.M. / Назаренко Н.М.***k.t.s., as. / к.т.н., асистент.*

ORCID: 0000-0001-6533-7323

**Kyrychuk Yu.V. / Киричук Ю.В.***d.t.s., as.prof. / д.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8638-6060

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, 37, Prosp. Peremohy, 03056**Національний технічний університет України**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",**Київ, пр. Перемоги, 37, 03056*

**Анотація.** В роботі проведено аналіз існуючих конструктивних рішень для вимірювання векторних величин, наведені їх переваги та недоліки. Наведено схеми одно-, дво-, трьохкомпонентних вимірювачів векторних величин.

**Ключові слова:** вимірювання векторних величин, трьохкомпонентний, Багатокомпонентний, перетворювач механічних величин, акселерометр.

**Вступ.**

Необхідність визначення крім величини вектору також і його напрямку суттєво ускладнює задачу вимірювання. Ця вимога в основному визначає особливості роботи відповідних вимірювальних засобів, способи їх дослідження та методи градування. Такі спеціалізовані вимірювальні засоби з теоретичної точки зору утворюють особливий клас засобів вимірювання – векторні вимірювальні пристрої. Внутрішня єдність цих пристроїв обумовлена специфікою задачі вимірювання і проявляється у введенні таких загальних понять, які не зустрічаються в теорії вимірювання скалярних величин, як направлені властивості засобів вимірювання, його діаграма направленості та його вимірювальна вісь.

Направлені властивості засобів вимірювання характеризують функціональний зв'язок значень його вихідного сигналу з взаємною орієнтацією засобу вимірювання і його векторної вхідної величини. Геометричним зображенням направлених властивостей засобу вимірювання є діаграма направленості. Вона будується в полярній (площинний випадок) або сферичний (просторовий випадок) системі координат, ця діаграма являє собою залежність вихідного сигналу засобу вимірювання від орієнтації відносно корпусу цього засобу вхідної векторної величини незмінного модуля. Для ідеально спроектованого векторного вимірювального перетворювача діаграма направленості представляє собою коло або сферу, що проходить через початок



координат. При цьому діаметр цієї фігури, проведений через початок координат, є вимірювальною віссю даного засобу. Таким чином, вимірювальною віссю векторного перетворювача називається деякий заданий відносно його корпусу напрямок, проекцію вхідної векторної величини на якій і вимірює однокомпонентний вимірювальний перетворювач.

Внаслідок широкого застосування саме акселерометри – векторні вимірювальні перетворювачі механічного прискорення – є найбільш поширеним видом векторних вимірювальних пристроїв. Тому надалі аналіз цього класу вимірювальних пристроїв ілюструється на прикладі акселерометрів, що не впливає на узагальнення отриманих результатів

### **Основний текст.**

В роботах [1, 2] показана можливість до певної міри компенсувати нестачу літератури по цьому питанню. В ній проводяться дослідження шестикомпонентного компенсаційного перетворювача механічних величин, які включають в себе синтез електромеханічного зворотного зв'язку та моделювання динаміки активного векторного перетворювача, дослідження пружно-деформованого та термодформованого стану чутливого елементу векторного перетворювача, дослідження ефективності використання векторного перетворювача у системах інерційної навігації, а також розробку мікропроцесорних систем керування векторних перетворювачів.

Незважаючи на наявність деякого числа робіт, до цього часу подібні шестикординатні вимірювальні пристрої, як з використанням надпровідного підвісу, так і в звичайному виконанні ні в нашій державі, ні за кордоном поки що не освоєні. Це пояснюється недостатнім теоретичним дослідженням даного класу перетворювачів механічних величин, відсутністю систематизованих методик їхнього проектування, а також всебічної технічної проробки конструктивних схем.

Єдиної і загальноприйнятої класифікації акселерометрів в наш час не існує. Часто акселерометри поділяють за:

- конструктивною ознакою (характер переміщення, спосіб підвісу чутливого елементу, тип датчика переміщення тощо);
- за характером вихідного сигналу (неперервний чи дискретний);
- за зв'язком вихідного сигналу з вимірювальним пристроєм (прості інтегровані);
- за послідовністю перетворення корисного сигналу (акселерометри прямого перетворення і компенсаційні акселерометри) тощо.

При цьому акселерометри, об'єднані за якою - не будь однією ознакою, за іншими ознаками можуть відноситись до різних класів, мати різні структурні схеми та основні похибки, описуватись рівняннями різного виду [3].

Можна запропонувати наступне ранжування класифікаційних ознак акселерометрів динамічного типу:

1. Число вимірювальних компонент вектора прискорення. За цією ознакою акселерометри поділяються на одно-, двох-, трьохкомпонентні.

2. Вид вихідного сигналу: електричний – неелектричний, неперервний – дискретний.



3. Зв'язок вихідного сигналу  $U$  з вимірювальним прискоренням  $W$ .

$$U \sim W; U \sim \int \omega dt; U \sim \iint \omega dt^2.$$

4. Характер перетворювання корисного сигналу, який визначає основну похибку, за цією ознакою акселерометри поділяються на акселерометри прямого перетворення та компенсаційні.

5. Характер переміщення чутливого елемента: осьові та маятникові акселерометри. В перших переміщення чутливого елемента прямолінійне, в других – здійснюється по колу.

В прикладній акселерометрії домінуюче значення має інерційний метод вимірювання прискорення. В основі принципу дії акселерометра динамічного типу лежить послідовне перетворення сили інерції його чутливого елемента, яка виникає під час прискореного руху корпусу, у вихідний сигнал пристрою. Сила інерції чутливого елемента викликає його зміщення відносно корпусу акселерометра і перерозподіл сил реакції в підвісі цього елемента.

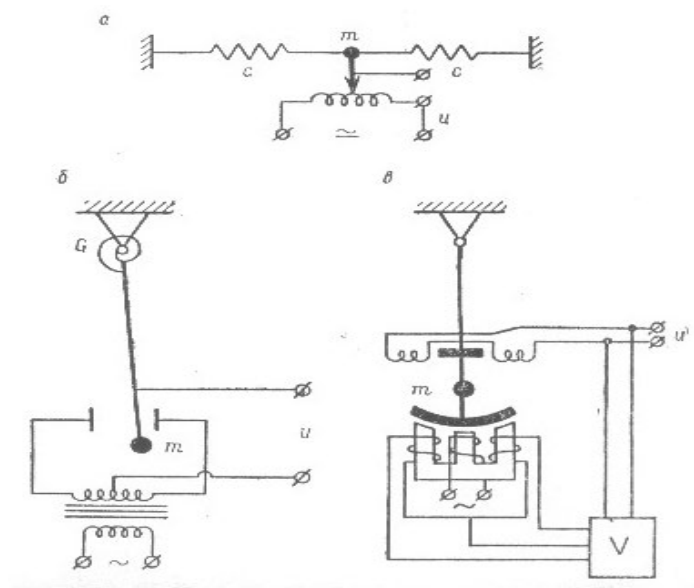
У найпростішому випадку акселерометр являє собою деяку масу, що називається чутливим елементом (ЧЕ) акселерометра, переміщення якої відносно корпусу акселерометра обмежене направляючими і силами реакції пружного підвісу ЧЕ. Про значення вимірювального прискорення судять по величині сил реакції підвісу ЧЕ, яка визначається, наприклад, по деформації підвісу або по переміщенню ЧЕ відносно корпусу акселерометра. В реальних конструкціях підвіс чутливого елемента може бути здійснений силами різної фізичної природи: підвіс на пружних механічних пружинах, мембранах і струнах, аеродинамічний або гідравлічний підвіс, підвіс в електричних та магнітних силових полях тощо. Відносне переміщення ЧЕ може реєструватися різними датчиками переміщення: ємкісними, індукційними, реостатними, фотоелектричними тощо. Саме ж переміщення може бути прямолінійним або здійснюватись по дузі кола. В більшості конструкцій сила інерції ЧЕ безпосередньо перетворюється в електричний вихідний сигнал, минаючи проміжне перетворення в зміщення ЧЕ відносно корпусу приладу. Таке безпосереднє перетворення механічної сили в електричний сигнал здійснюється на основі тензометрів, п'єзоелектричного ефекту, явищ магнітострикції тощо.

Всі такі пристрої, в яких перетворення корисного сигналу проходить послідовно від входу до виходу приладу, називаються пристроями прямого перетворення. Якщо ж в пристрої здійснюється від'ємний зворотній зв'язок по корисному сигналу, який охоплює одне або декілька проміжних перетворень, то такий пристрій називається акселерометром компенсаційного типу. В охопленому глибоким від'ємним зв'язком колі перетворень похибка визначається майже виключно похибкою зворотного перетворювача, який здійснює цей зв'язок. Компенсаційні акселерометри мають значно кращі характеристики порівняно з акселерометрами прямого перетворення. Найбільш розповсюдженим видом вихідного сигналу акселерометрів є величина або частота електричної напруги.

Велика увага приділяється розробці акселерометрів з частотним виходом. Це пов'язано з тим, що частота відноситься до числа найбільш точно



вимірювальних величин, і дискретний вихід таких пристроїв дозволяє легко вводити дані в бортові управляючі цифрові машини. На рис. 1 представлені схеми акселерометрів з різними ЧЕ.

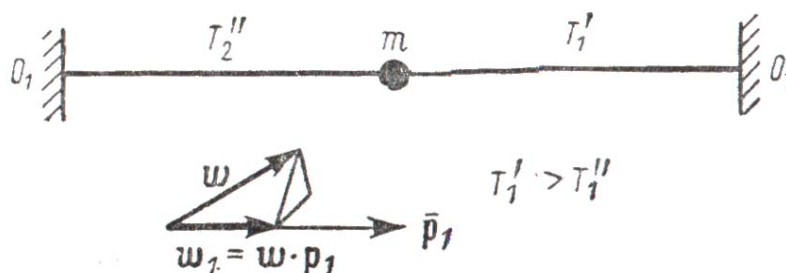


**Рисунок 1 - Схеми акселерометрів:**

- а* – осьового з реостатним перетворювачем переміщення ЧЕ;  
*б* – маятникового з ємкісним перетворювачем переміщення ЧЕ;  
*в* – маятникового компенсаційного з трансформаторним перетворювачем переміщення ЧЕ

Джерело: [3]

Однокомпонентними векторними вимірювальними перетворювачами називаються пристрої для вимірювання проекції векторної фізичної величини на деякий відомий відносно корпусу цього пристрою напрямок – його вимірювальну вісь. Прикладом однокомпонентного векторного перетворювача є одноосний струнний акселерометр (рис. 2) [3].



**Рисунок 2 - Схема однокомпонентного струнного акселерометра**

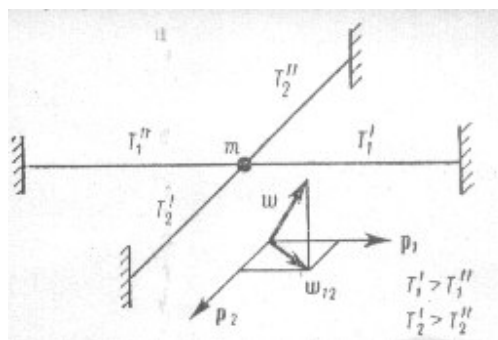
Джерело: [3]

Принцип його дії полягає в тому, що натяг струни  $O_1O_1$  визначає власну частоту його коливань. При дії прискорення  $\omega = a$  виникаюча сила інерції маси  $m$  змінює натяг  $T_1'$  і  $T_1''$ , внаслідок цього частоти коливань струн  $1'$  і  $1''$  розходяться і різниця цих частот не дорівнює нулю. Це значить, що вимірювальною віссю є пряма  $O_1O_1$ . Під дією перпендикулярної до прямої  $O_1O_1$



складової вимірювального прискорення натяги струн змінюються однаково і різниця частот залишається рівною нулю.

Двохкомпонентний векторний перетворювач дозволяє одночасно вимірювати проекції вхідного вектора на два відомих відносно його корпусу напрямки – дві його вимірювальні вісі. Прикладом такого приладу є двохосний струнний акселерометр (рис. 3) [4].



**Рисунок 3 - Схема двохкомпонентного струнного акселерометра**

Джерело: [4]

Такий акселерометр можна розглядати, як конструктивне поєднання в одному приладі двох одноосних струнних акселерометрів, кожен з яких незалежно працює по вище наведеній схемі. Вимірювальними осями такого двохкомпонентного перетворювача є пари струн 1-1 і 2-2. Їх напрямлення у просторі характеризують одиничні вектори вимірювальних осей  $p_1$  і  $p_2$ . Знаходження вхідного вектора таким двохкомпонентним перетворювачем здійснюється з точністю до складових, перпендикулярних до площини, утвореною векторами  $p_1$  і  $p_2$ . Тому кожній парі значень вихідних сигналів  $u_1$  і  $u_2$  відповідає деяка множина векторів (рис. 3.).

За допомогою трьохкомпонентного векторного перетворювача, можна знайти одночасно три ортогональні проекції вхідного вектора  $a$  на три напрямки відносно свого корпусу – орти вимірювальних осей  $p_1, p_2, p_3$  [3].

*Багатокомпонентні перетворювачі механічних величин.* Аналіз технічної літератури і проведений патентний пошук показали, що є багато різних конструктивних варіантів приладів для вимірювання параметрів лінійного прискорення по одній чи по трьох координатах. Для вимірювання однієї компоненти шуканої просторової величини на сьогодні розроблена велика кількість різноманітних перетворювачів, які використовують фактично всі відомі фізичні явища [1, 4, 5]. З метою отримання інформації про напрямок вимірюваної величини, а не лише про її проекцію на певну вісь, як правило зараз сумісно використовують кілька однокомпонентних перетворювачів. Тому часто там, де потрібно вимірювати 6-ть координат (трьох лінійних і трьох кутових прискорень), використовують одноканальні інерційні прилади, в даному випадку – акселерометри [5]. Однак використання однокомпонентних приладів не вирішує поставлену проблему. Такий принцип побудови вимірювальних систем має недоліки:

– громіздкі алгоритми обробки інформації;





- виникнення додаткових похибок вимірювання внаслідок неідентичності метрологічних характеристик окремих перетворювачів;
- на точність вимірювання впливає деформація корпусу, у якому розміщені перетворювачі під дією зміни температури, зовнішніх збурень, тощо.

### Висновки.

Незважаючи на наявність деякого числа робіт, до цього часу подібні шестикоординатні вимірювальні пристрої, як з використанням надпровідного підвісу, так і в звичайному виконанні ні в нашій державі, ні за кордоном поки що не освоєні. Це пояснюється недостатнім теоретичним дослідженням даного класу перетворювачів механічних величин, відсутністю систематизованих методик їхнього проектування, а також всебічної технічної проробки конструктивних схем.

### Література:

1. А.С. Багатокомпонентний силовимірювач. / Заявка 4012829, ФРН, МКІ G01 L 1/04 Оп. 24.10.91.
2. А.С. Багатокомпонентний тензорний динамометр. / Заявка Японії 36432, МКІ G01 L 5/16 Оп. 11.01.91.
3. Гераїмчук М.Д., Іванов Ю. Є. Дослідження багатокомпонентних перетворювачів механічних величин. – К., „Віпол” 1996. – 108с.
4. Безвесільна, О. М. Вимірювання прискорень / О. М. Безвесільна. – К.: Либідь, 2001. – 261 с.
5. Безвесільна, О. М., Тимчик, Г. С., Подчашинський, Ю.О. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин. Підручник. Житомир: ЖДТУ, 2011; 976 с.

**Abstract.** The work analyzes the existing constructive solutions for measuring vector quantities, their advantages and disadvantages are given. Schemes of one-, two-, and three-component meters of vector quantities are given.

**Key words:** measurement of vector quantities, three-component, multi-component, converter of mechanical quantities, accelerometer.

Стаття відправлена: 20.09.2023 г.

© Заєць С.С., © Назаренко Н.М., © Киричук Ю.В.



УДК 637.146

**INFLUENCE OF PLANT COMPONENTS ON IMPROVING THE QUALITY OF LOW-FAT CREAM****ВПЛИВ РОСЛИННИХ КОМПОНЕНТІВ НА ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ НИЗЬКОЖИРНОЇ СМЕТАНИ****Ryzhkova T.M. /Рижкова Т.М.,***d.t. s., prof /д.т.н. професор*

ORCID: 0000-0003-3358-7496

**Heida I. M./ Гейда І.М.***senior teacher/старший викладач*

ORCID: 0000-0001-9580-0999

*State University of Biotechnology, Kharkiv, str. Alchevsky 44, 61002**Державний біотехнологічний університет,**м. Харків вул. Алчевських 44, 61002*

**Анотація.** Метою статті було викласти результати досліджень, отриманих при розробці технології низькожирної сметани 10 – вої жирності під умовною назвою «Лікарська», із використанням сироваткових відварів порошків: коріння лопуха, трави алтею та коріння ехінацеї.

Встановлено, що відчуття «вершковості» простежується в усіх дослідних (Д1, Д2 та Д3) зразках продукту під впливом раціональних доз відварів трав у кількості 0,01-0,15 мас.%, %. А відвар із листя трави алтею-, внесене до партії сметани Д2 - володіє молокозсідальною активністю. Використання порошку коріння ехінацеї, надало дослідному зразку сметани - Д3 приємного квіткового аромату.

**Ключові слова:** низькожирна сметана, сироваткові відвари трав, аромат, молокозсідальна здібність.

**Вступ.**

Актуальність теми. Відомо, що у теперішній час реально існує проблема незбалансованого харчування за жиром тваринного походження, особливо, у дітей. Серед широкого асортименту кисломолочних продуктів провідне місце у раціоні харчування, як населення світу займає сметана [1]. Утім із збільшенням вмісту жиру, зменшується вміст таких важливих для людського організму людини речовин, як білків, вуглеводів та мінеральних речовин [2]. Така залежність зменшує харчову і біологічну цінність кисломолочних продуктів, у тому числі, сметани, що негативно відбивається здоров'ї споживачів молочної продукції.

**Мета роботи:** розробити наукові основи технології низькокалорійної лікарської сметани.

**Аналітичний огляд літератури.**

Відомо, що споживання таких кисломолочних продуктів, як молока з низьким вмістом жиру, кисломолочних продуктів, у тому числі, низькокалорійної сметани, пов'язане із меншим ризиком захворюваності метаболічним синдромом серед Середземноморського населення похилого віку [3]. Простежується тенденція до зниження споживання жирних молочних продуктів із повним вмістом жиру та із збільшенням споживання молочних продуктів з низьким вмістом жиру [4].



У наборі 58 зразків польських лікарських рослинних матеріалів: зразків трави, квітів та кори, були визначені концентрації загального азоту та фосфору як у вищевказаних зразках у сухому вигляді, так і у їх водних екстрактах. Встановлено, що зразки лікарських рослинних матеріалів вони можуть доставляти людям значні кількості азоту (N) та фосфору (P) [5]. Були проведені дослідження з визначення наявності антиоксидантних та антибактеріальних властивостей у відварі чебреця та у його та водно-спиртовому екстракті. Загалом, всі зразки препаратів були ефективними бактерій проти шкідливих грампозитивних бактерій [6]. На консистенцію та смак сметани впливають такі чинники, як склад молока – сировини, особливо масова частка жиру в ній. Чим більша масова частка СЗМЗ (сухий знежирений молочний залишок) у молочній сировині та вища масова частка жиру у продукті, тим стабільніша та однорідна емульсія жиру в сметані, вища вологоутримувальна здібність, тим швидше відбувається наростання кислотності, процес сквашування закінчується раніше [7]. Тому у сметані, виробленій із молока 4,0 % - вої жирності, тобто із сировини з підвищеним вмістом жиру, консистенція була кращою, порівняно з аналогічним показником у сметані із молока із меншою жирністю - 3,75% [8]. Для збільшення в'язкості низькожирних (низькокалорійних) кисломолочних молочних продуктів, з метою запобігання відділення із них сироватки в процесі зберігання, більшість товаровиробників використовують різні згущувачі та стабілізатори. Проте, це призводить до погіршення їх органолептичних показників. Зокрема, до зменшення вираженості в них «вершкового» смаку та запаху. [9]. Існує технологія сметани, що передбачає використання екстрактів листя *Moringa oleifera* (MOLE) або олії із *Moringa oleifera* (MOO). Але, стримуючим фактором їх використання є нерегульоване підвищення кислотності у дослідних партій продукту під час їх виготовлення та зберігання. [10]. Відомо також, що в ролі поліпшувачів харчової і біологічної цінності низькокалорійної сметани є листя алтея лікарського, коріння лопуха та ехінацеї [11].

### **Результати та аналіз наукових досліджень.**

Сметану 10 % жирності виготовляли у напів-промислових умовах кафедри технології переробки та якості продукції тваринництва Державного біотехнологічного університету. Для виробництва сметани використовували коров'яче молоко від корів, що утримуються в умовах «Навчально - дослідного комбінату ДБТУ». Вершки, що були направлені на виготовлення контрольної (К) та трьох дослідних партій (Д1, Д2 та Д3) були однакового фізико-хімічного складу та відповідали вимогам чинної нормативно - технічної документації. Коріння і траву подрібнювали на млині МПР-1 з наступним просіюванням на ситах, керуючись вимогами Державної фармакопеї України (пункт 2.9.12. Ситовий аналіз) [12]. Відвари трави алтеї, коріння лопуха та ехінацеї готували кип'ятінням наважки рослинного інгредієнта протягом 5 - 7 хв., охолоджували, відстоювали відвари та фільтрували. Жирність вершків регулювали із таким розрахунком, щоб після додавання закваски у кількості 5% на знежиреному молоці, жирність сметани встановила 10 %. До підготовлених (нормалізованих, пастеризованих та охолоджених до  $(30 \pm 2)$  °C вершків вносили закваску та розділяли на 4 частини.



До дослідних партій сметани (Д1, Д2 та Д3), відповідно вносили рослинні відвари порошків коріння лопуха, трави алтею та коріння ехінацеї у кількості 0,01, 0,015 та 0,025 мас., %. Контрольна слугувала партія сметани (К), що виготовлялася без використання відвару. Потім вище вказані партії вершків для сметани у кількості по 2 л кожна поміщали у термостат, відрегульований на підтримку заданої температури, та витримували до утворення щільного згустку. Проводили дослідження фізико-хімічних показників (таблиця1).

**Таблиця 1 - Фізико-хімічні показники контрольної та трьох дослідних партій сметани**

| Показники                 | Результати досліджень партій сметани |                                 |                 |                       |
|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|
|                           | К                                    | Сироваткові відвари порошків із |                 |                       |
|                           |                                      | Д.1 корінням лопуха             | Д.2 трави алтею | Д.3 корінням ехінацеї |
| Доза мас., %              | -                                    | 0,01                            | 0,015           | 0,025                 |
| М. ч. жиру %              | 10,0                                 | 11,0                            | 11,5            | 11,7                  |
| Титрована кислотність, °Т | 85                                   | 90                              | 95              | 98                    |
| Титрована кислотність, °Т | 90,0                                 | 93                              | 98              | 100                   |

Із даних таблиці 1 видно, що порошок рослинних інгредієнтів сприяв як підвищенню титрованої кислотності від 3 до 10 °Т, так і масової частки жиру від 1,0 до 1,5 та 1,7% жиру. Слід відмітити, що у зразку сметани Д2, збагаченого порошком із листя алтеї, згусток утворився на 3 години раніше, ніж в контролі та на 2 - 2,5 години раніше, порівняно з часом утворення згустку в дослідних партіях сметани Д1 та Д3. Це пояснюється наявністю у його складі природного згущувача – інуліну. Дегустаційна оцінка зразків сметани показала, що дослідні зразки сметани (Д.1, Д.2 та Д3) із введення до їх складу відварів із порошку інгредієнтів рослинного походження, мають кращі органолептичні показники, у тому числі, консистенції, порівняно з контролем. Вони мали щільний згусток та відчуттям «вершковості», що характеризує кисломолочні продукти з високим вмістом жиру. При збільшеній дозі використання порошку алтею кількості 0,025 мас., % було отримано неякісний занадто щільний, так званий, «сирний» згусток. Це свідчить про те, що оптимальною дозою використання порошку трави алтею є доза у кількості 0,01 - 0,015 мас., %.

Простежувався помітний вплив порошку коріння ехінацеї на утворення приємного квіткового аромату в дослідних зразках сметани (Д3), що підсилювався зі збільшенням його дози. Утім введення збільшеної до 0,025 мас., %, дози усіх видів відварів до складу дослідних зразків сметани сприяло погіршенню їх консистенції. Тобто, раціональними дозами використання лікарських рослин при виробництві низькокалорійної сметани є 0,010-0,015 мас., % порошку у вигляді сироваткових відварів. Досліджували фізико-хімічні показники контрольної та дослідних партій сметани (таблиця1).



## Висновки.

1. Були визначені раціональні дози їх використання, в кількості 0,010 - 0,015 мас., %, що дають відчуття «вершковості».
2. Під впливом раціональної дози порошку трави алтеї у кількості 0,015 мас. %, відбулося скорочення часу технологічного процесу виробництва дослідного зразку сметани Д2 на 2-3 год, порівняно з дослідними зразками сметани Д1, Д3 та контролем.
3. Встановлено вплив порошку коріння ехінацеї, введеного до складу дослідного зразку сметани Д3, у раціональній дозі 0,010 - 0,015 мас., % на утворення у продукті приємного квіткового аромату.

## Література

1. Технологія молочних продуктів: Підруч. / Г.Є. Поліщук, О.В. Грек, Т.А. Скорченко та ін. - К.: НУХТ, 2013. - 502 с.
2. Хімічний склад і фізичні характеристики молочних продуктів. Довідник / О.М. Скарбовійчук, О.В. Кочубей-Литвиненко, О.А. Чернюшок, В.Г. Федоров. — К.: НУХТ, 2012. - 311 с.
3. Oxford academic, JN the journal of nutrition. Consumption of Yogurt, Low-Fat Milk, and Other Low-Fat Dairy Products Is Associated with Lower Risk of Metabolic Syndrome Incidence in an Elderly Mediterranean Population.
4. Dairy Fats and Cardiovascular Disease: Do We Really Need to Be Concerned? Lordan R, Tsoupras A, Mitra B, Zabetakis // Send to Foods. 2018 Mar 1;7(3). pii: E29. doi: 10.3390/foods7030029.
5. Pawel Konieczynski & Marek Wesolowski. Bioavailable inorganic forms of nitrogen and phosphorus in extracts of herbs, flowers and bark of medicinal plants. Pages 109-115, Published online: 13 Jan 2015. <https://doi.org/10.3184/095422907X236353>
6. Natália Martins, Celestino Santos-Buelga<sup>c</sup>, Sónia Silva, Mariana Henriques, Isabel C.F.R. Ferreira. Decoction, infusion and hydroalcoholic extract of cultivated thyme: Antioxidant and antibacterial activities, and phenolic characterisation // Food Chemistry, Volume 167, 15 January 2015, Pages 131-137.
7. Зобкова З.С. Качество сметаны / Зобкова З.С., ТП. Фурсова // Молочная промышленность. - 2005 - №3 - С. 38 - 43.
8. Rheological properties of Colombian-Caribbean-coast sour cream from goat milk / Diego F. Tirado, Armando Vertel-Gallego, José Lora-Sánchez, Luis Alberto Gallo-García
9. Stabilizers: Indispensable Substances in Dairy Products of High Rheology / Madiha Teshoem, Farzana Siddique, Asif Ahmad, Uma Farooq // Critical reviews in food science and nutrition 54(7):869-79 February 2014 with 1,408 Reads DOI: 10.1080/10408398.2011.614702 · Source: PubMed
10. Study of Keeping probiotic properties of sour cream butter at storage. Lubov Musiy, Orysia Tsisaryk, Iryna Slyvka, Olha Mykhaulytska, Bogdan Guttyj // Eureka: Life sciences. Home No 2 (2017).
11. Попов А.П. Лекарственные растения в народной медицине — К.: Здоровье, 1967. — 315 с





12. Державна Фармакопея України/Державне підприємство» Науковий-експертний фармакопейний центр». -1-е вид.- Харків: PIPEГ, 2001.-556 с.

### References

1. Tekhnolohiia molochnykh produktiv: Pidruch. / H.Ie. Polishchuk, O.V. Hrek, T.A. Skorchenko tain. - K.: NUKhT, 2013. - 502 s.
2. Khimichniy sklad i fizychni kharakterystyky molochnykh produktiv. Dovidnyk / O.M. Skarboviichuk, O.V. Kochubei-Lytvynenko, O.A. Cherniushok, V.H. Fedorov. - K.: NUKhT, 2012. - 311 s.
3. Oxford academic, JN the journal of nutrition. Consumption of Yogurt, Low-Fat Milk, and Other Low-Fat Dairy Products Is Associated with Lower Risk of Metabolic Syndrome Incidence in an Elderly Mediterranean Population.
4. Dairy Fats and Cardiovascular Disease: Do We Really Need to Be Concerned? Lordan R, Tsoupras A, Mitra B. Zabetakis //Send to Foods. 2018 Mar 1;7(3). pii: E29. doi: 10.3390/foods7030029.
5. Pawel Konieczynski & Marek Wesolowski. Bioavailable inorganic forms of nitrogen and phosphorus in extracts of herbs, flowers and bark of medicinal plants. Pages 109-115, Published online: 13 Jan 2015. <https://doi.org/10.3184/095422907X236353>
6. Natália Martins, Celestino Santos-Buelgac, Sónia Silva, Mariana Henriques, Isabel C.F.R.Ferreira . Decoction, infusion and hydroalcoholic extract of cultivated thyme: Antioxidant and antibacterial activities, and phenolic characterisation// Food Chemistry, Volume 167, 15 January 2015, Pages 131-137.
7. Zobkova Z.S. Kachestvo smetany /Zobkova Z.S., TP. Fursova //Molochnaia promyshlennost. - 2005 - №3 - S. 38 - 43.
8. Rheological properties of Colombian-Caribbean-coast sour cream from goat milk/Diego F. Tirado, Armando Vertel-Gallego, José Lora-Sánchez, Luis Alberto Gallo-García
9. Stabilizers: Indispensable Substances in Dairy Products of High Rheolo/  
Madiha Teshoem, Farzana Siddique, Asif Ahmad, Uma Farooq// Critical reviews in food science and nutrition 54(7):869-79 February 2014 with 1,408 Reads.  
DOI: 10.1080/10408398.2011.614702 · Source: PubMed
10. Study of Keeping probiotic properties OF sour cream butter at storage. Lubov Musiy, Orysia Tsiaryk, Iryna Slyvka, Olha Mykhaylytska, Bogdan Gutyj // Eureka: Life sciences. Home > No 2 (2017).
11. Popov A.P. Lekarstvennye rasteniyia v narodnoi medytseyne - K.: Zdorove, 1967. – 315 s .
12. Derzhavna Farmakopeia Ukrainy/Derzhavne pidpriemstvo» Naukovyi-ekspertnyi farmakopeinyi tsentr». -1-е vyd.- Kharkiv: RIREH, 2001.-556 s.

**Abstract.** The purpose of the article was to present the results of research obtained during the development of the technology low-fat sour cream of 10% fat from cow's milk, enriched with whey decoctions of powders from the herbs althea, burdock root, and echinacea.

When developing the technology of low-calorie sour cream under the conventional name "Likarska" with the inclusion of ingredients of plant origin, rational doses of use were determined, which are from 0.010 to 0.015 wt.%. However, when using the maximum doses of the above-mentioned ingredients, in the amount of 0.025 wt.%, the structure of all test samples of sour cream is noticeably disturbed. An increased dose of a decoction of the powder of this herb leads to the formation of a defect - a "cheesy" clot. Under the influence of a rational dose of althea herb powder in the amount of 0.015 wt. %, there is a reduction in the time of the technological process of manufacturing the experimental sample of sour cream D2 by 2-3 hours, compared to the experimental samples of sour cream D1, D3 and the control. In addition, the high milk-absorbing capacity of althea powder makes it possible to reduce the amount of leaven that will be used to form a clot in sour cream. The feeling of "creaminess" characteristic of fermented milk products with a high fat content can be traced under the influence of experimentally determined rational doses of powders of plant



origin - in the amount of 0.01-0.15 wt.%. A noticeable effect of whey decoction of Echinacea root powder introduced into the test sample of sour cream D3 in a rational dose of 0.010-0.015 wt.% on the formation of its improved market characteristics, in particular, the manifestation of a pleasant floral aroma in it, was established. Therefore, the developed technology of low-calorie sour cream with the use of ingredients of plant origin allows to expand its assortment, increase its quality and classify it as a product for medical and preventive purposes.

**Key words:** low-fat sour cream, whey decoctions of herbs, aroma, milk-absorbing capacity.



УДК 681.5:621.311.23(043.3/.5)

**AUTOMATED CONTROL OF A COGENERATION UNIT USING  
UNCERTIFIED GASEOUS FUELS****АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЮ УСТАНОВКОЮ З  
ВИКОРИСТАННЯМ НЕСЕРТИФІКОВАНИХ ВИДІВ ГАЗОПОДІБНОГО ПАЛИВА****Tarakhtiy O.S. / Таракhtій О.С.***c.t.s. / к.т.н.*

ORCID: 0000-0002-4266-3481

**Zhukovskyi V. R. / Жуковський В. Р.***PhD candidate / здобувач PhD*

ORCID: 0009-0002-5479-5278

**Ivaneiev A. M. / Іванєєв А. М.***PhD candidate / здобувач PhD*

ORCID: 0009-0001-7618-3769

**Yavorskyi O. V. / Яворський О. В.***PhD candidate / здобувач PhD*

ORCID: 0000-0002-1101-1085

**Shuvalov D. R. / Шувалов Д. Р.***PhD candidate / здобувач PhD*

ORCID: 0009-0009-4647-5830

*Odesa Polytechnic National University Odesa, Shevchenko, 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, Шевченка, 1, 65044*

**Анотація.** В даній статті було проведено аналіз існуючих САУ когенераційними енергетичними установками, досліджені властивості когенераційної установки при наявності внутрішніх і зовнішніх збурень з точки зору впливу їх на показники електричної і теплової потужності установки, а також на частоту обертання електрогенератора і на основі отриманих результатів розроблена САУ когенераційною енергетичною установкою. Після чого необхідно провести порівняльний аналіз розробленої САУ при використанні сигналу по похідній від температури газів перед турбіною і без нього і оцінити показники роботи когенераційної енергетичної установки при зміні якості палива, а також дослідити енергетичні характеристики когенераційної установки при перерозподілі потоків первинного і вторинного повітря в ГТУ.

На основі раніше отриманої математичної моделі динаміки було побудовано систему автоматичного керування КЕУ, яку було доповнено сигналом за похідною від температури газів на виході з камери згорання. Така корекція системи керування дала змогу поліпшити якість усіх перехідних процесів. Найсуттєвіше поліпшення спостерігається при зміні нижчої теплоти згорання палива і температури навколишнього середовища. Перший динамічний закид, відповідно, зменшився на 20,4 % і 21,1 %, а ступінь загасання коливань зріс відповідно на 15,7 % і 15,8 %. Ця обставина дасть змогу знизити термічну напругу на елементи проточної частини газової турбіни та продовжити термін їхньої служби.

Визначено, що теоретично можлива експлуатація КЕУ при використанні палив з теплотворною здатністю в діапазоні від 11941 до 78322 кДж/кг. Однак для палив, теплотворна здатність яких нижча за 30981 кДж/кг, експлуатація КЕУ буде здійснюватися на максимальних значеннях витрати палива. Вперше запропоновано в якості регулюючого впливу, для регулювання температури газів на вході газової турбіни, використовувати перерозподіл потоків первинного і вторинного повітря в камері згорання.

**Ключові слова:** когенераційна енергетична установка, газотурбінна установка, математична модель, що враховує зміну якості палива, динамічні характеристики, система автоматичного управління, несертифіковані види палива.



## Вступ.

Ще більш підвищити ефективність роботи когенераційних енергетичних установок дозволяє використання в них у якості палива несертифікованих видів палива: горючих газів штучного походження і газів, що є побічним продуктом технологічних виробництв. Це дозволяє значно знизити витрати на паливо, оскільки такі гази значно дешевше природного або є умовно безкоштовними, а також знизити енергоемність продукції. Однак використання таких газів в якості основного палива ускладнюється тим, що нижча теплота згоряння цих газів може значно змінюватися і, таким чином, вносити збурення в режим роботи енергетичних установок.

Враховуючи ці обставини, існує необхідність в проведенні досліджень і вирішенні науково-практичної задачі розробки системи автоматичного управління (САУ) когенераційною енергетичною установкою, яка б дозволила використовувати в подібних установках несертифіковані види газоподібного палива, як способу підвищення ефективності їх роботи.

## Мета та задачі дослідження.

Метою статті є розробка системи автоматичного управління когенераційною енергетичною установкою, впровадження якої дозволить використання несертифікованих видів палив і таким чином підвищити економічність роботи установки.

Об'єктом дослідження є когенераційна енергетична установка на базі газової турбіни в якості теплового двигуна при номінальному режимі експлуатації.

Предметом дослідження є система автоматичного управління когенераційною енергетичною установкою, що враховує зміну якості палива.

## Основне дослідження.

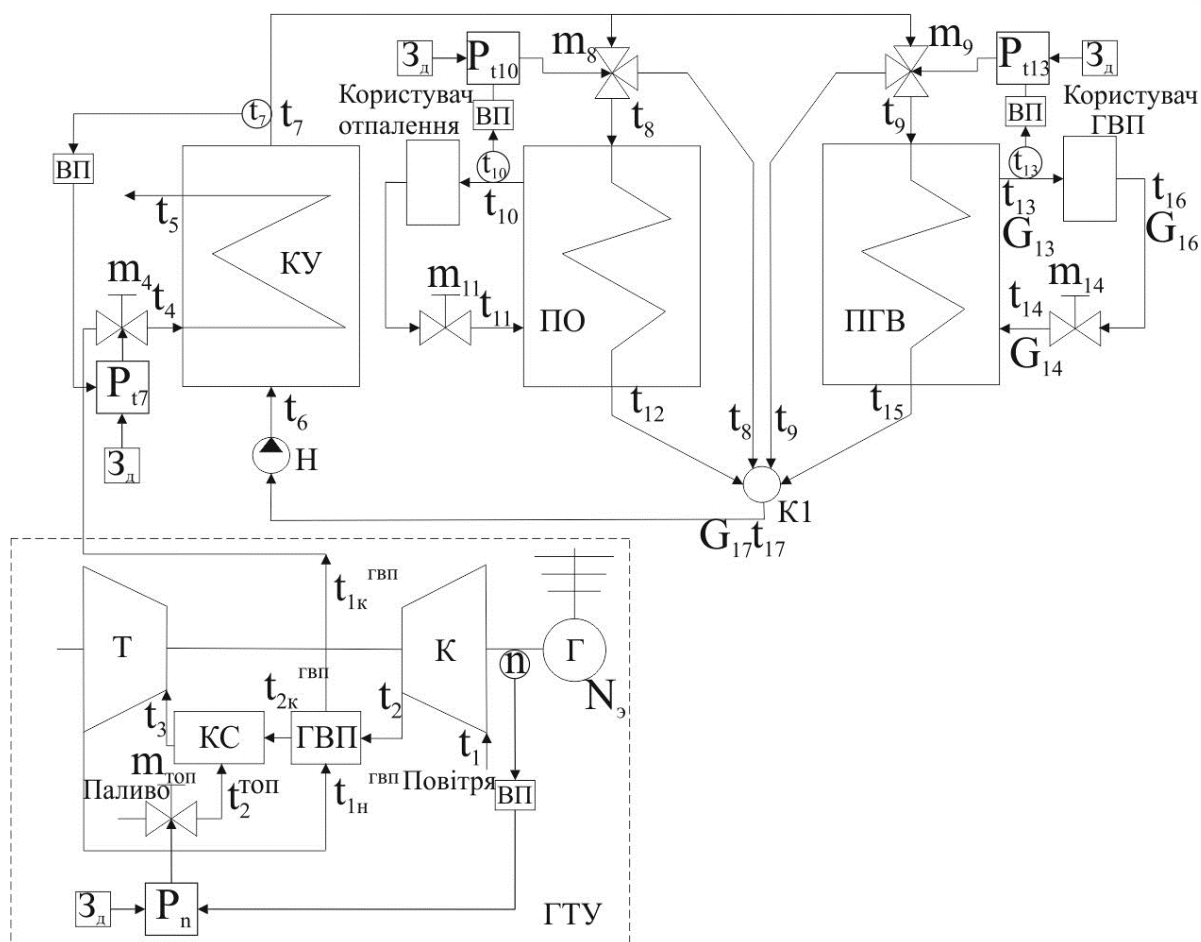
Для досягнення поставленої мети в роботі було проведено синтез системи автоматичного управління когенераційною енергетичною установкою, яка враховує зміну якості палива (рисунок 1).

Синтез САУ базується на математичній моделі КЕУ і даних аналізу динамічних характеристик, які наведені в [1,2].

Синтезована система управління включає чотири контури регулювання: контур регулювання частоти обертання ротора турбіни, контур регулювання температури води на виході із котла-утилізатора, контур регулювання температури води на виході з підігрівача опалення і контур регулювання температури води на виході з підігрівача гарячого водопостачання.

Каналами, що найсильніше впливають на динамічні характеристики когенераційної установки, є:  $N_g \rightarrow \omega$ ,  $G_{\text{топ}} \rightarrow \omega$ ,  $Q_n^p \rightarrow t_3$ ,  $Q_n^p \rightarrow \omega$  и  $G_{\text{топ}} \rightarrow t_3$ . В якості регулюючих впливів обрані: витрата палива  $G_{\text{топ}}$  і витрати гріючого теплоносія на вході в котел-утилізатор  $G_4$  і підігрівачі опалення  $G_8$  та гарячого водопостачання  $G_9$ .

У всіх чотирьох контурах регулювання використано ПІ-закон регулювання, як такий, що не має сталої похибки і дає перехідні процеси достатньо близькі до оптимальних.



**Рисунок 1 – Структурна схема САУ когенераційної енергетичної установки**

Систему автоматичного управління когенераційною установкою доповнено моделлю колектора, і моделлю що формує завдання для регулятора температури води на виході з підігрівача опалення згідно з графіком температури зворотної води.

З метою покращення якості перехідних процесів [3] система управління ГТУ була доповнена сигналом за похідною від температури газів на вході до турбіни (рисунок 2).

Отримані перехідні процеси при використанні ПІ-закону і додаткового сигналу по похідній від температури газів на виході камери згоряння наведено нижче (рисунок 3).

Аналіз динаміки системи автоматичного управління когенераційною установкою показав, що зміна електричного навантаження генератора  $\Delta N_g$ , викликає істотне відхилення температури газів на виході з камери згоряння. Збільшення електричного навантаження на 10 % призводить до збільшення температури газів на виході КС на 16,3 % (195 °C), що небажано, тому що збільшується термічна напруга елементів проточної частини газової турбіни [4].

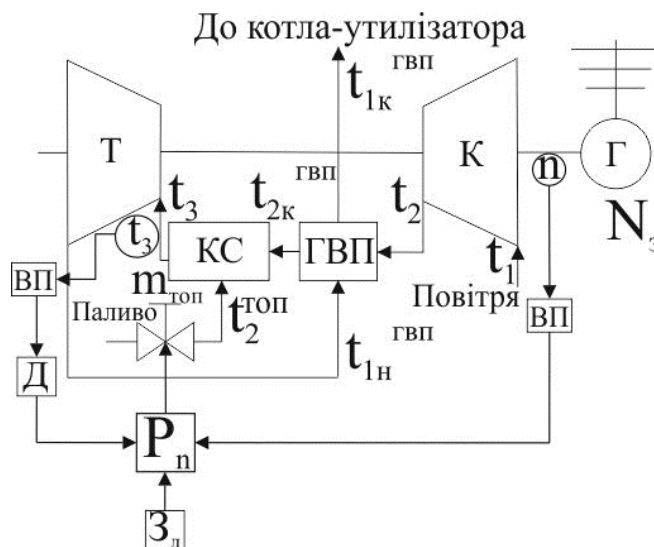
Перехідні процеси зміни температури газів на виході з камери згоряння наведені на (рисунок 4).

Аналіз динаміки показує якісне покращення перехідних процесів за всіма каналами: зростання ступеню загасання, зменшення динамічних забросів і часу

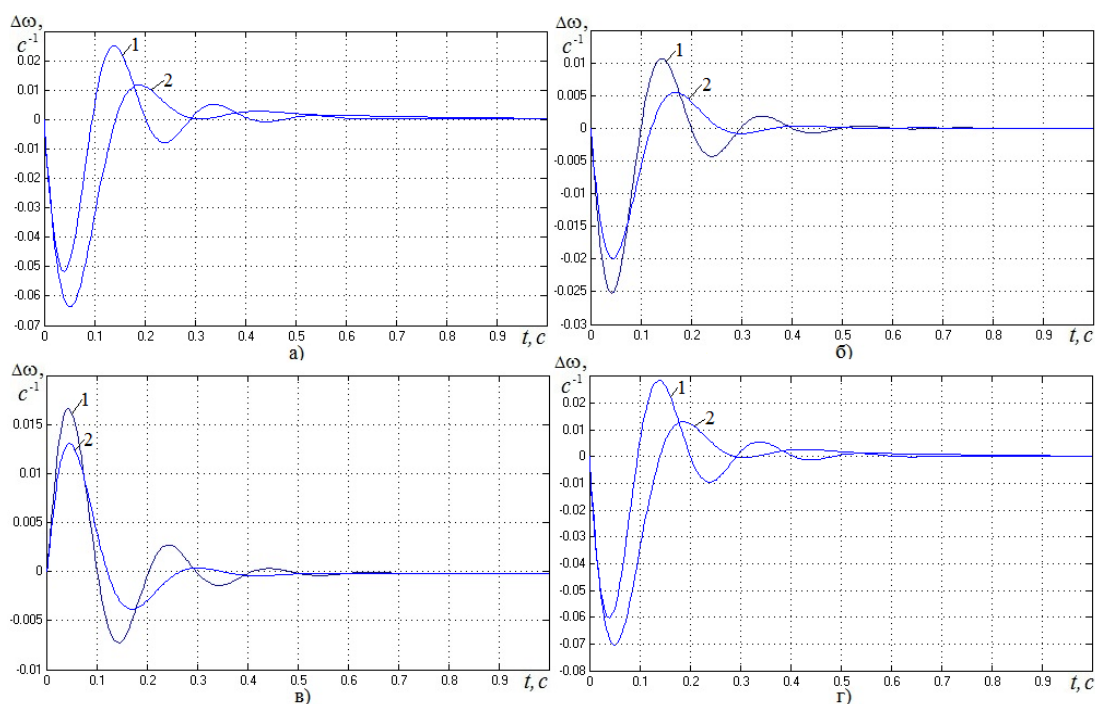




регулювання. Незначне збільшення першого динамічного забросу по каналу  $N_s \rightarrow \omega$  (рисунок 3, а) пояснюється тим, що зміна електричного навантаження практично миттєво впливає на частоту обертання ротору, однак на другому забросі зниження амплітуди вже складає 46,8%. Також представляє інтерес дослідження енергетичних характеристик КЕУ в умовах зміни якості палива.

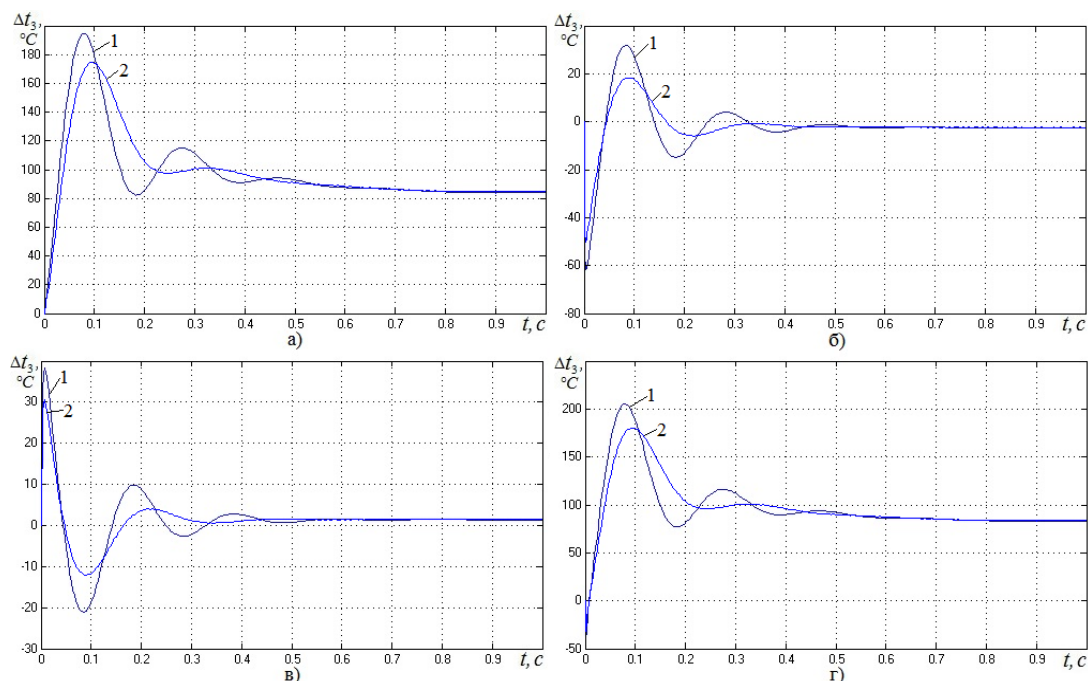


**Рисунок 2 – Структурна схема управління ГТУ з введенням додаткового сигналу по похідній від температури газів  $t_3$**



**Рисунок 3 – Перехідні процеси регулювання частоти обертання ротора ГТУ при використанні ПІ-закоу і додаткового сигналу по похідній:**

- а) –  $\Delta N_s = 10\%$ ; б) –  $\Delta Q_n = -10\%$ ; в) –  $\Delta t_1 = -10\%$ ;  
г) – ПП при одночасній дії збурень: 1 – ПІ; 2 – ПІ+Д.



**Рисунок 4 – Перехідні процеси регулювання температури газів  $t_3$  при використанні ПІ-закону і додаткового сигналу по похідній:**

а) –  $\Delta N_s = 10\%$ ; б) –  $\Delta Q_n = -10\%$ ; в) –  $\Delta t_1 = -10\%$ ;  
г) – ПП при одночасній дії збурень: 1 – ПІ; 2 – ПІ+Д.

Останній етап дослідження був присвячений вивченню можливості використання у когенераційній енергетичній установці несертифікованих видів палива природного та штучного походження [5].

Для проведення аналізу зміни статичних режимів роботи когенераційної енергетичної установки при використанні несертифікованих видів палив, було обрано наступні несертифіковані газоподібні види палива: генераторний газ (парокисневий), генераторний газ (водяний), коксовий газ з кам'яного вугілля, коксовий газ зі сланців, шахтний метан, природний газ, газ при перегонці нафти, висбрекінг і крекінг газ.

Враховуючи хімічний склад обраних несертифікованих палив було проведено теплові розрахунки двигуна когенераційної установки (ГТУ), які дозволили оцінити зміну енергетичних характеристик роботи двигуна. Результати розрахунків наведено в таблиці 1.

З результатів розрахунків, що наведені в таблиці 1, видно, що зі зміною нижчої теплоти згоряння палива змінюється і теоретично необхідна кількість повітря  $G_v^0$  для спалювання газу (рисунок 5), а це тягне за собою зміну витрати повітря через компресор  $G_v$  і витрати палива  $G_{\text{топ}}$ .

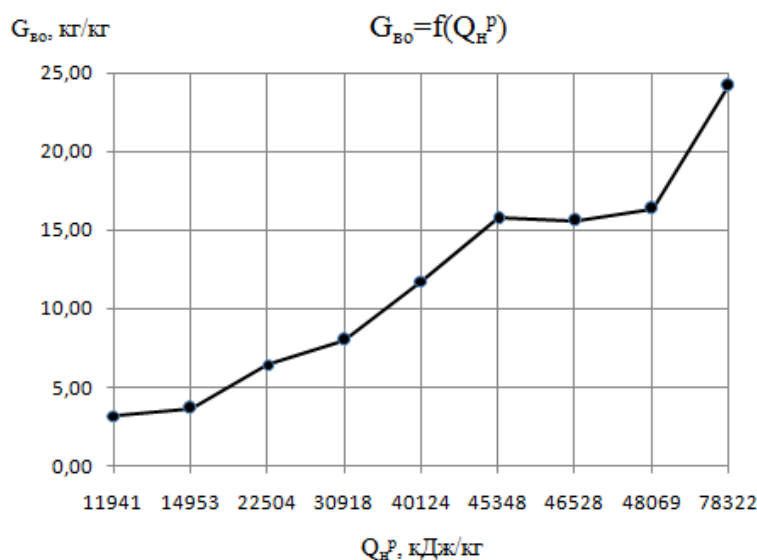
Також зі зміною теплотворної здатності палива змінюється температура газів на вході до турбіни  $t_3$  (рисунок 6).

Зниження температури газів на вході до турбіни знижує величину корисної роботи газової турбіни, у зв'язку зі зменшенням роботи розширення газів на валу турбіни. А цей факт означає, що ККД всієї газотурбінної установки також знизиться.

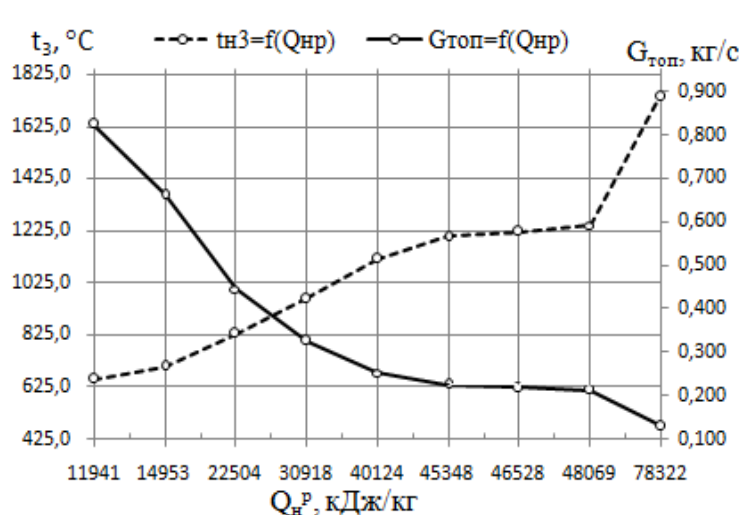


Таблиця 1 – Результати теплових розрахунків ГТУ

| № п/п | Вид газоподібного палива         | Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | Нижча теплота згоряння, $Q_n^p$ , кДж/кг | Теоретично необхідна кільк. повітря для спал. 1 кг газу, $G_b^0$ , кг/кг | Витрата повітря через компресор, $G_b$ , кг/с | Витрата палива, $G_{топ}$ , кг/с | Витрата газів через турбіну, $G_r$ , кг/с | Тем-ра газів на виході КС, $t_3$ , °C |
|-------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1.    | Генераторний газ (парокисневий)  | 1,150                              | 11941                                    | 3,17                                                                     | 10,18                                         | 0,825                            | 10,95                                     | 654,3                                 |
| 2.    | Генераторний газ (водяний)       | 0,700                              | 14953                                    | 3,68                                                                     | 10,58                                         | 0,663                            | 11,19                                     | 703,5                                 |
| 3.    | Коксовий газ з кам'яного вугілля | 0,800                              | 22504                                    | 6,43                                                                     | 11,04                                         | 0,446                            | 11,43                                     | 826,8                                 |
| 4.    | Коксовий газ з сланців           | 0,650                              | 30918                                    | 7,97                                                                     | 11,35                                         | 0,326                            | 11,62                                     | 964,3                                 |
| 5.    | Шахтний метан                    | 0,720                              | 40124                                    | 11,74                                                                    | 11,48                                         | 0,252                            | 11,68                                     | 1114,7                                |
| 6.    | Природний газ                    | 0,782                              | 45348                                    | 15,74                                                                    | 11,47                                         | 0,224                            | 11,64                                     | 1200,0                                |
| 7.    | Газ при перегонці нафти          | 1,726                              | 46528                                    | 15,61                                                                    | 11,51                                         | 0,218                            | 11,68                                     | 1219,3                                |
| 8.    | Вісбрекінг                       | 1,065                              | 48069                                    | 16,36                                                                    | 11,52                                         | 0,212                            | 11,68                                     | 1244,4                                |
| 9.    | Крекінг газ                      | 0,178                              | 78322                                    | 24,22                                                                    | 11,75                                         | 0,130                            | 11,82                                     | 1738,6                                |

Рисунок 5 – Змінення  $G_b^0$  в залежності від теплоти згоряння палива

Як вже була сказано вище, зростання температури газів на вході до газової турбіни вище розрахункового значення (1200 °C), внаслідок збільшення теплотворної здатності палива, також неприпустимо вимогами жароміцності матеріалів проточної частини газової турбіни.



**Рисунок 6 – Зміна витрати палива і температури газів на вході до газової турбіни**

Таким чином, при спалюванні газів, штучного походження, для яких теплота згоряння має перемінне значення, існує необхідність в регулюванні температури газів на вході до газової турбіни. Для даної цілі вперше запропоновано використовувати перерозподіл потоків первинного і вторинного повітря в камері згоряння.

Потік повітря, що йде в камеру згоряння від компресора дорівнює сумі первинного повітря  $G_{v1}$ , котрий надходить до жарової труби і приймає безпосередню участь в процесі горіння, і вторинного повітря  $G_{v2}$ , який омиває жарову трубу з метою її охолодження і надходить на вихід камери згоряння для охолодження продуктів згоряння, що виходять з жарової труби:

$$G_B = G_{v1} + G_{v2} \quad (1)$$

При збільшенні теплотворної здатності палива, температура газів на вході до газової турбіни зростає. Для її зниження слід зменшити витрату палива до камери згоряння.

Однак слід зазначити, що більш калорійне пальне потребує і більшої кількості повітря, а збільшення витрати повітря обмежене продуктивністю компресора. Теплові розрахунки газотурбінної установки показують (таблиця 1), що при збільшенні теплотворної здатності палива на 72,7 % витрата повітря через компресор зростає лише на 2,4 %. Це пояснюється зниженням витрати палива для забезпечення тієї ж потужності, що і на номінальному паливі (природний газ).

В нашому випадку це крекінг газ, який потребує для спалювання 1 кг палива 24,22 кг повітря, що призводить, хоч і не до значного (на 2,4 %), але збільшення витрати повітря через компресор (від 11,47 до 11,75 кг/с). Проте слід також врахувати, що спалення палива в камері згоряння газотурбінної установки йде при значному надлишку повітря ( $\alpha = 3 \div 5$ ), тому можливо припустити, що номінальної кількості повітря вистачить для забезпечення процесу горіння, і це не призведе до виникнення недопалу.

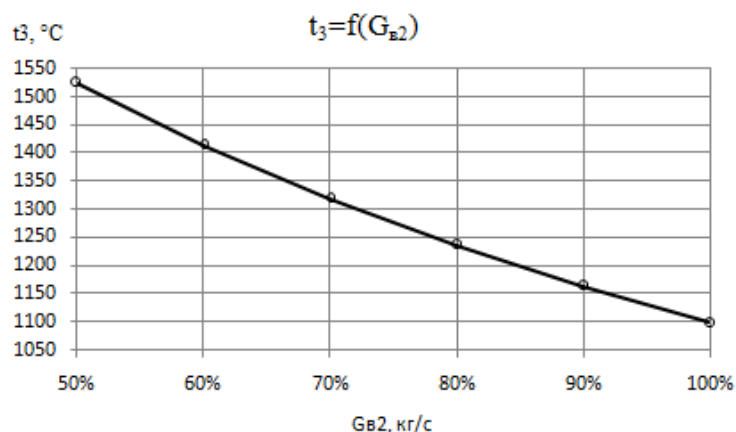
У випадку зменшення теплотворної здатності палива, температура газів на



виході камери згоряння знижується. В цьому випадку слід збільшувати витрату палива до камери згоряння. Як вже було відмічене вище, процес горіння в ГТУ протікає з великим надлишком повітря, тому збільшення витрати палива в невеликих межах від номінального значення не потребує збільшення подачі повітря. При значному збільшенні витрати палива рекомендується збільшення витрати повітря до жарової труби за рахунок використання частини вторинного повітря. При цьому слід приймати до уваги, що для палива з більш низьким значення теплоти згоряння, теоретично необхідна кількість повітря зменшується.

Але у випадку, коли регулюючий орган максимально відкрито, а температура газів перед турбіною нижче ніж  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тоді для її підвищення можливо зниження витрати вторинного повітря, і перепускання його, наприклад, в одну із ступіней газової турбіни, в якій температура газів найближча за значенням до температури вторинного повітря. Таке рішення дозволить зберегти витрату газів через турбіну незмінною.

Зміна температури газів на виході з камери згоряння в залежності від зміни кількості вторинного повітря, що подається на вихід камери згоряння, наведено на рисунку 7 (паливо – шахтний метан).



**Рисунок 7 – Зміна температури газів на виході КС в залежності від кількості вторинного повітря**

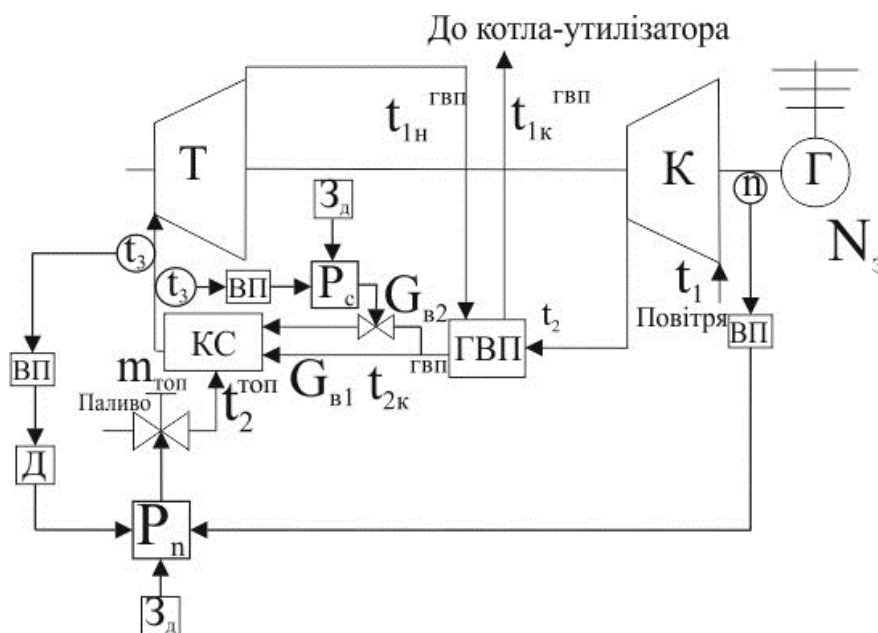
Із графіка на рисунку 7 видно, що зниження витрати вторинного повітря на 15 % є достатнім для підйому температури газів на виході за камери згоряння від  $1098$  до  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Структурна схема стабілізації температури газів на виході камери згоряння наведена на рисунку. 8.

В дисертаційній роботі проведено розрахунки величин витрати вторинного повітря для забезпечення номінального значення температури газів на виході камери згоряння для всіх обраних палив штучного походження, які представлені в таблиці 2.

Результати розрахунків, що зведені до таблиці 2, зроблені при номінальному значенні витрати палива ( $G_{\text{топ}}^{\text{ном}} = 0,224\text{ кг/с}$ ) і свідчать про значну зміну температури газів на виході з камери згоряння.





**Рисунок 8 – Схема стабілізації температури газів на виході камери згоряння**

**Таблиця 2 – Значення температури газів на виході КС в залежності від витрати вторинного повітря**

| Порядковий номер палива з табл. 2 | №1         | №2    | №3   | №4   | №5   | №6   | №7   | №8   | №9   |
|-----------------------------------|------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| $G_{в2}$ , кг/с                   | $t_3$ , °C |       |      |      |      |      |      |      |      |
| 0%                                | 1483       | 1595  | 1875 | 2186 | 2527 | 2721 | 2764 | 2821 | 3942 |
| 10%                               | 1317       | 1416  | 1664 | 1940 | 2243 | 2415 | 2453 | 2504 | 3499 |
| 20%                               | 1183       | 1272  | 1496 | 1744 | 2016 | 2171 | 2205 | 2251 | 3145 |
| 30%                               | 1075       | 1156  | 1358 | 1584 | 1831 | 1971 | 2003 | 2044 | 2856 |
| 40%                               | 984        | 1058  | 1244 | 1451 | 1677 | 1805 | 1834 | 1872 | 2616 |
| 50%                               | 908        | 976,3 | 1148 | 1338 | 1547 | 1665 | 1692 | 1727 | 2413 |
| 60%                               | 843        | 906,1 | 1065 | 1242 | 1436 | 1546 | 1570 | 1603 | 2239 |
| 70%                               | 786        | 845,2 | 993  | 1159 | 1339 | 1442 | 1465 | 1495 | 2089 |
| 80%                               | 737        | 792   | 931  | 1086 | 1255 | 1351 | 1373 | 1401 | 1957 |
| 90%                               | 693        | 745,1 | 876  | 1021 | 1181 | 1271 | 1291 | 1318 | 1842 |
| 100%                              | 654        | 703,5 | 827  | 964  | 1115 | 1200 | 1219 | 1244 | 1739 |

Логічно припустити, що зі збільшенням витрати палива, кількість вторинного повітря, що відбирається на виході камери згоряння з метою підвищення температури газів, буде зменшуватися. Але при цьому, як вже було відмічено вище, частина вторинного повітря буде перепущена до жарової труби в наслідок збільшення витрати палива, яке потребує більшої кількості повітря для забезпечення якісного процесу горіння.

Метою проведення теплових розрахунків є виділення гранично можливого зниження теплотворної здатності палива, яке дозволить когенераційній установці працювати без зниження ефективності. Адже максимальна витрата



палива в газотурбінній установці обмежена пропускною здатністю паливного клапана.

Данні теплових розрахунків при максимальній витраті палива ( $G_{\text{топ}}^{\text{макс}} = 0,2688$  кг/с) представлені в таблиці 3.

**Таблиця 3 – Значення температури газів на виході камери згоряння при максимальній витраті палива**

| Порядковий номер палива з табл. 2 | №1                    | №2    | №3   | №4   | №5   | №6   | №7   | №8   | №9   |
|-----------------------------------|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| $G_{\text{в2}}, \text{кг/с}$      | $t_3, ^\circ\text{C}$ |       |      |      |      |      |      |      |      |
| 0%                                | 1572                  | 1706  | 2041 | 2415 | 2824 | 3057 | 3109 | 3178 | 4522 |
| 10%                               | 1395                  | 1514  | 1812 | 2144 | 2507 | 2713 | 2759 | 2820 | 4013 |
| 20%                               | 1254                  | 1361  | 1629 | 1927 | 2253 | 2439 | 2480 | 2535 | 3608 |
| 30%                               | 1139                  | 1236  | 1479 | 1750 | 2046 | 2215 | 2253 | 2302 | 3276 |
| 40%                               | 1043                  | 1132  | 1355 | 1603 | 1874 | 2028 | 2063 | 2109 | 3001 |
| 50%                               | 962                   | 1044  | 1250 | 1478 | 1729 | 1871 | 1903 | 1945 | 2768 |
| 60%                               | 893                   | 969   | 1160 | 1372 | 1604 | 1736 | 1766 | 1805 | 2569 |
| 70%                               | 833                   | 903,9 | 1082 | 1280 | 1497 | 1620 | 1648 | 1684 | 2396 |
| 80%                               | 781                   | 847   | 1014 | 1199 | 1403 | 1518 | 1544 | 1578 | 2246 |
| 90%                               | 734                   | 796,9 | 954  | 1128 | 1320 | 1428 | 1452 | 1484 | 2113 |
| 100%                              | 693                   | 752,3 | 900  | 1065 | 1246 | 1348 | 1371 | 1401 | 1995 |

Спираючись на дані таблиці 3 можна зробити висновок, що теоретично для розглянутої когенераційної установки в якості палива можна використовувати всі обрані гази штучного походження. Діапазон зміни теплотворної здатності палива при цьому складає від 11941 до 78322 кДж/кг. Однак для палив, теплотворна здатність яких нижча за 30981 кДж/кг експлуатація КЕУ буде відбуватися на близьких до максимальних або максимальних витратах палива. Це говорить про те, що для цих палив підтримка температури газів після камери згоряння можлива тільки за рахунок перерозподілу потоку вторинного повітря. Але такий варіант управління може мати не високу точність і надійність.

### Висновки.

Основною перевагою вперше розробленої системи управління КЕУ, яка враховує зміну якості палива, є можливість використання газоподібних палив штучного походження. Таке рішення обґрунтовано можливістю в такий спосіб знизити витрати на придбання природного газу і тим самим знизити енергоємність продукції. В результаті аналізу динаміки системи автоматичного управління когенераційною енергетичною установкою були отримані перехідні процеси регулювання за основними каналами:  $N_s \rightarrow \omega$ ,  $Q_h^p \rightarrow \omega$ ,  $N_s \rightarrow t_3$  і  $Q_h^p \rightarrow t_3$ . Введення сигналу по похідній по температурі газів на виході з камери згоряння призводить до покращення перехідних процесів регулювання. Зменшення першого динамічного забросу по каналу  $Q_h^p \rightarrow \omega$  на 21,3 %, а по каналу  $Q_h^p \rightarrow t_3$  на 18,7 %.



Визначено, що теоретично можлива експлуатація КЕУ при використанні палив з теплотворною здатністю в діапазоні від 11941 до 78322 кДж/кг. Однак для палив, теплотворна здатність яких нижча за 30981 кДж/кг експлуатація КЕУ буде відбуватися на близьких до максимальних або максимальних значеннях витрати палива. Але такий варіант експлуатації може носити короточасний характер, оскільки відсутня можливість для маневрування при збільшенні електричної потужності установки обумовлену зростанням електричного навантаження.

Визначено, що в якості регулюючого впливу для регулювання температури газів на виході з камери згоряння можливо використання перерозподілу потоків первинного та вторинного повітря. Але однозначне рішення по застосуванню в ГТУ перерозподілу потоків повітря для регулювання температури газів потребує проведення додаткових теплових і конструктивних розрахунків ГТУ, які виходять за рамки даної дослідницької роботи. Розглянута в роботі оцінка впливу перерозподілу потоків повітря на температуру газів на виході камери згоряння носить рекомендаційний характер.

Практична цінність одержаних результатів полягає в тому, що на основі запропонованих методичних підходів і практичних рекомендацій можливе використання в когенераційних енергетичних установках в якості палива газів штучного походження, що дозволяє підвищити економічність роботи вказаних установок за рахунок зниження витрат на паливо.

### Література:

1. Ларіонова, О. С. Математическая модель динамики энергетической когенерационной газотурбинной установки [Текст] / О.С. Ларіонова, Ю.К. Тодорцев, А.М. Бундюк // XXIV междунар. научн. конф., 31 мая-3 июня 2011 р.: доп. – Київ: «КП», 2011. – Т.6. – С. 87 – 89.
2. Ларіонова, О. С. Математична модель динаміки когенераційної енергетичної установки [Текст] / О.С. Ларіонова, А.М. Бундюк // XVIII міжнар. конф., 28-30 верес. 2011 р.: доп. – Львів: «Львівська політехніка», 2011. – С. – 61 – 62.
3. Харабет, О.М. Вивчення класичної теорії автоматичного управління за допомогою сучасного персонального комп'ютера [Текст]: навч. посіб. / О.М. Харабет. – О. : Бахва, 2014. – 188 с.
4. Ценаев, С. В. Газотурбинные и парогазовые установки для тепловых электростанций [Текст] : учебн. пособ. / С. В. Ценаев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов; под ред. С.В. Ценаева. – 3-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 584 с.
5. Гришин, М.В. Беглов К.В. Оцінка ефективності збагачення палива для зменшення ризику витрат ТЕС. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2021, V. 32 (71) No 3., Р. 82-89. [https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/3\\_2021/16.pdf](https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/3_2021/16.pdf)

**Abstract.** Environmental problems play a significant role in modern society. An important area is the processing of various types of waste to obtain secondary energy resources. The peculiarity of such organic waste is that its composition is variable. Accordingly, the composition of the resulting



*fuel becomes variable and unknown. Therefore, their use in power generating plants is complicated. To solve this problem, it is important to develop an efficient control system for the thermal decomposition of organic waste. The article is devoted to the synthesis and study of an automatic control system based on a multidimensional digital state controller.*

**Key words:** *pyrolysis, control, multidimensional controller, state observer, nonlinear object.*

Статтю надіслано: 18.09.2023 р.

© Тарахтій О.С.



УДК 681.514

**IMPACT OF VARIABLE FREQUENCY DRIVE ON THE EFFICIENCY OF CENTRIFUGAL PUMPS IN OIL PIPELINE UNITS****ВПЛИВ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ В НАФТОПРОВІДНИХ АГРЕГАТАХ****Lahoida A. / Лагойда А.І.***k.t.s. / к.т.н.*

ORCID: 0000-0002-0862-7786

**Kostyshyn A. / Костишин А.В.***Aspirant / аспірант*

ORCID: 0009-0001-4494-077X

**Lahoida L. / Лагойда Л.І.**

ORCID: 0000-0002-2328-8276

**Kostyshyn S. / Костишин С.В.***Aspirant / аспірант*

ORCID: 0009-0008-8898-2657

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano-Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, 76019*

**Анотація.** У статті розглянуто вплив впровадження регульованого електроприводу на ефективність відцентрових насосів в системах нафтопровідних агрегатів. Проаналізовано різні методи регулювання робочого процесу та їхній вплив на споживану потужність та витрати робочої рідини. Розглянуто методику вибору оптимальних параметрів електроприводу для досягнення максимальної ефективності роботи насосних агрегатів.

**Ключові слова:** регульований електропривід, відцентрові насоси, ефективність, енергозбереження, нафтопровідні агрегати, робочий процес, добові технологічні графіки, економічна ефективність, оптимізація, електроенергія, витрати робочої рідини.

**Вступ.** Впровадження енергоефективних технологій у сучасну промисловість має важливе значення з точки зору економії ресурсів та зниження впливу на навколишнє середовище. Відцентрові насоси, що використовуються в нафтопровідних агрегатах, є ключовими елементами систем транспортування нафти та газу. Оптимізація їхньої роботи може призвести до значних економічних та екологічних переваг.

Дослідження проводилося на основі математичних моделей, що враховують взаємодію електродвигуна, відцентрового насосу та регулюючого пристрою. Вихідними даними були добові технологічні графіки витрат робочої рідини, каталогові дані станції та ряд економічних показників. Для аналізу було використано різні методи оптимізації, такі як розрахунок економії енергії, розрахунок річного балансового прибутку та рентабельність операції.

**Основний текст.**

Вихідними даними для розрахунків є добові технологічні графіки витрат робочої рідини (рис. 1), каталогові дані ВН та ряд економічних показників функціонування тиристорної електроприводної насосної станції, таких як вартості ТПЧ та 1 кВт.год електроенергії, норми амортизаційних відрахувань та відрахувань на експлуатацію ТПЧ.



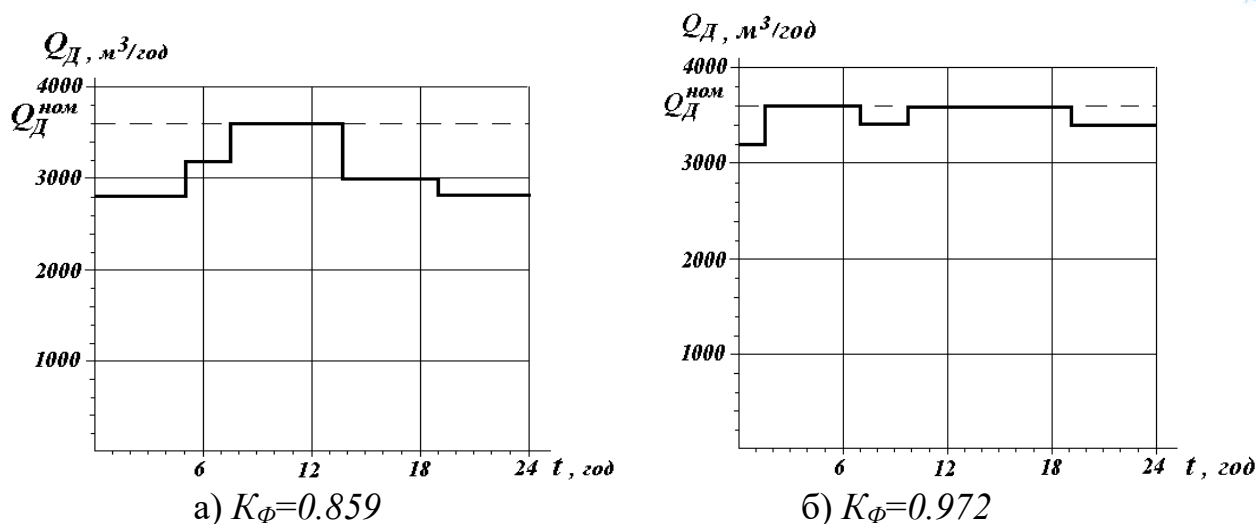


Рис. 1 Добові технологічні графіки витрат ВН

Річну економію електроенергії при впровадженні регульованого електроприводу можна розрахувати за виразом:

$$\Delta W_p = \frac{T_p}{24\eta_E^{ном}} \cdot \Delta N \cdot \Delta t_i, \quad (1)$$

де  $T_p$  - кількість робочих годин насосної станції в році;

$\eta_E^{ном}$  - номінальний ККД приводного електродвигуна;

$\Delta t_i$  - тривалість інтервалу добового графіка витрат;

$\Delta N$  - різниця споживаних ВН потужностей при різних способах регулювання дроселюванням ( $N_{дp}$ ) та зміною швидкості обертання ( $N_{var}$ ) (рис. 2).

$$\Delta N = N_{дp} - N_{var}. \quad (2)$$

У практичних розрахунках застосуємо формулу для розрахунку економії енергії (1). В цьому випадку річна економія електроенергії буде:

$$\Delta W_p = \frac{T_p N_C^{ном}}{24\eta_E^{ном}} \sum_{i=1}^k \left[ 1 - \left( \frac{Q_{Di}}{Q_D^{ном}} \right)^3 - \left( 1 - \frac{Q_{Di}}{Q_D^{ном}} \right) \cdot \gamma_p^{ном} \cdot \text{ctg} \gamma_p^{ном} \right] \cdot \Delta t_i, \quad (3)$$

де  $\gamma_p^{ном}$  - головний конструктивний параметр ВН – номінальний кут навантаження насоса, конструктивний параметр ВН, який пов'язаний з коефіцієнтом швидкохідності ВН  $n_s$  за допомогою наступного виразу:

$$\gamma_p^{ном} \approx 0.47 \left( 1 + \frac{n_s}{100} \right). \quad (4)$$

Для техніко-економічного порівняння варіантів використаємо методику визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику.

У випадку впровадження регульованого тиристорного електропривода річний балансовий прибуток  $\Pi_p$  визначається як різниця між річним доходом  $D_p$  і відповідними відрахуваннями на амортизацію та реновацію обладнання (



$A_{ap}$ ), підвищений знос електродвигуна ( $B_3$ ), технічне обслуговування та ремонт ТПЧ ( $B_{op}$ ):

$$\Pi_p = D_p - A_{ap} - B_3 - B_{op}, \quad (5)$$

де

$$D_p = c_0 \cdot W_p; \quad (6)$$

$$A_{ap} = \frac{A_{ap}^{норм} \cdot K_T}{100}; \quad (7)$$

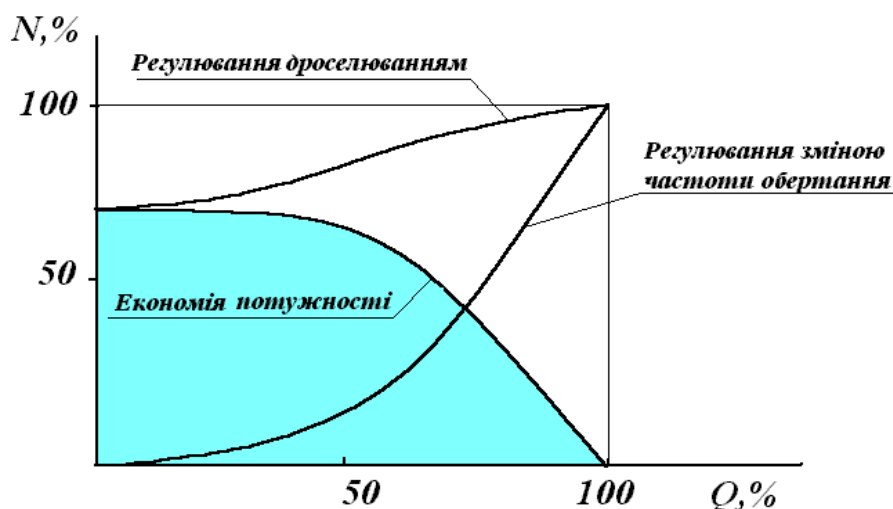
$$B_3 = \frac{B_3^{норм} \cdot K_T}{100}; \quad (8)$$

$$B_{op} = \frac{B_{op}^{норм} \cdot K_T}{100}; \quad (9)$$

$c_0$  - вартість 1 кВт.год електроенергії;

$A_{ap}^{норм}$ ,  $B_3^{норм}$ ,  $B_{op}^{норм}$  - відповідні норми відрахувань ( в процентах);

$K_T$  - капітальні затрати на придбання та установку ТПЧ.



**Рис. 2 Економія потужності при заміні дроселювання зміню швидкості обертання ВН**

Оскільки впровадження регульованого тиристорного електропривода відбувається протягом одного року, задача є статичною. В цьому випадку із врахуванням податку на прибуток (норма в процентах  $B_n^{норм}$ ), а також при відсутності використання кредитів чистий дисконтований прибуток становитиме:

$$\Pi_{dc} = \frac{\left(1 - \frac{B_n^{норм}}{100}\right) \cdot \Pi_p + A_{ap}}{E} - K_T, \quad (10)$$

де  $E$  - норма дисконту.

Рентабельність операції буде:

$$R = \frac{1}{T_{ок}} = \left(1 - \frac{B_n^{норм}}{100}\right) \left( \frac{D_p}{K_T} - \frac{A_{ap}^{норм} + B_3^{норм} + B_{op}^{норм}}{100} \right) + \frac{A_{ap}^{норм}}{100}, \quad (11)$$

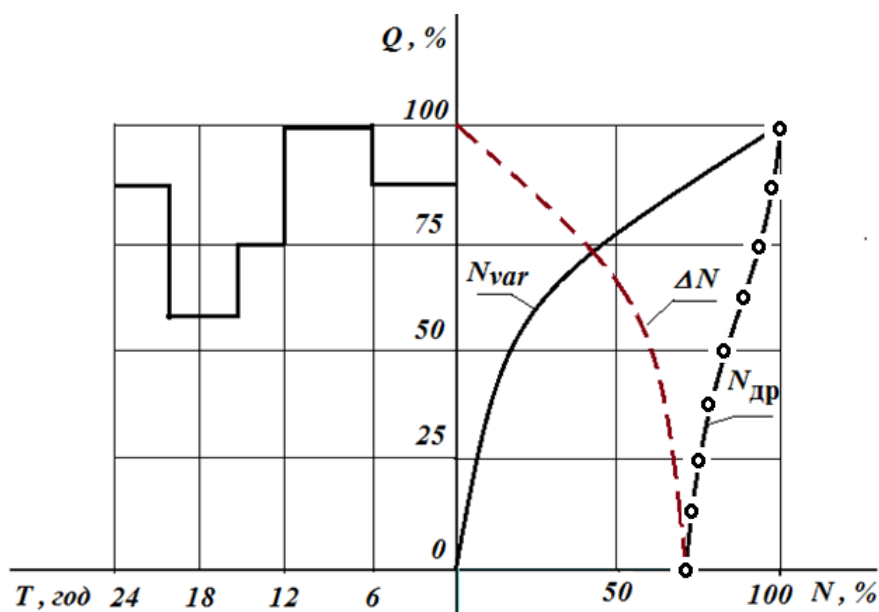


де  $T_{ок}$  - термін окупності (в роках).

Спільний розгляд рівнянь (3)-(11) дає змогу також розрахувати з умови отримання нульового чистого дисконтованого прибутку ( $\Pi_{dc} = 0$ ) максимально допустимі затрати  $K_T^{\max}$  на придбання та установку ТПЧ:

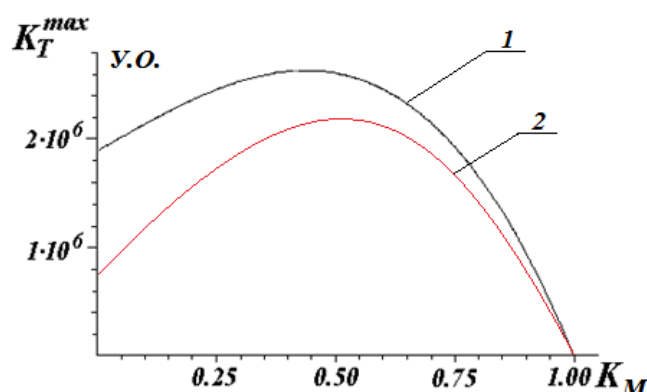
$$K_T^{\max} = \frac{D_p}{\left( \frac{A_{ap}^{норм} + B_3^{норм} + B_{op}^{норм}}{100} \right) + \frac{100E - A_{ap}^{норм}}{100 - B_n^{норм}}} \cdot \quad (12)$$

При проведенні аналізу доцільності впровадження регульованого електроприводу виникає ще одна проблема. Розрахунок режиму ВН (залежності споживаної потужності  $N_c$  від витратного навантаження  $Q$ ) виконують дискретно. Зазвичай крок дискретизації по витраті складає 10%, а тому велика ймовірність того, що годинні значення витрати (згідно добового графіку) можуть не співпасти з розрахунковими (рис. 3). Тому у роботі розв'язана задача інтерполяції характеристики споживаної потужності за допомогою функції Лагранжа.



**Рис. 3 Економія потужності при заміні дроселювання зміною швидкості обертання ВН у залежності від добового графіка витратного навантаження**

На рисунку 4 зображено графіки залежності максимально допустимих затрат  $K_T^{\max}$  на придбання та установку ТПЧ від коефіцієнта форми  $K_\phi$  добового графіка витрати для різних моделей врахування механічних втрат (PRASCAL 2 і PRASCAL 3). Оптимальний варіант впровадження тиристорного регульованого електропривода має місце при  $K_\phi = 0,52$  для моделі з використанням не лінійної характеристики споживаної потужності. Тут максимальна вартість ТПЧ складає  $K_T^{\max} = 2000000\$$ .



**Рис. 4** Залежності максимально допустимих затрат  $K_T^{\max}$  на придбання та установку ТПЧ від коефіцієнта форми  $K_\phi$  добового графіка витрати для різних моделей врахування механічних втрат: 1 – лінеаризована характеристика; 2 – нелінійна характеристика

Під час дослідження були отримані наступні результати:

- ✓ Визначено економічну ефективність впровадження регульованого електроприводу для відцентрових насосних агрегатів. Використання регульованого приводу дозволяє досягнути економії електроенергії за рахунок оптимізації навантаження насосу.
- ✓ Проведено порівняльний аналіз різних методів регулювання дроселюванням та зміною швидкості обертання. Встановлено, що зміна швидкості обертання є більш ефективним методом з точки зору енергозбереження.

Розроблено методику оптимального вибору параметрів електроприводу на основі аналізу навантаження та витрат робочої рідини. Запропонована методика дозволяє визначити оптимальний режим роботи на основі економічних показників.

**Висновки.** Дослідження підтвердило ефективність використання регульованого електроприводу для відцентрових насосних агрегатів. Зміна швидкості обертання демонструє більший потенціал для енергозбереження порівняно з дроселюванням. Розроблена методика оптимального вибору параметрів електроприводу може бути використана для підвищення ефективності роботи нафтопровідних насосних агрегатів. Дані результати мають важливе значення для нафтової та енергетичної промисловості, сприяючи зменшенню витрат та підвищенню екологічної безпеки.

### Література:

1. Kostyshyn, V.S. and Kurlyak, P.O. (2015). "Simulation of performance characteristics of centrifugal pumps by the electro-hydrodynamic analogy method", Journal of Hydrocarbon Power Engineering. Vol. 2, Issue1, p. 24-31.
2. Шаммазов А.М. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций [Текст] : Учебник для вузов / А.М. Шаммазов, В.Н. Александров, А.И. Гольянов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 404 с. - ISBN 5-247-03881-9.



3. Кутуков С.Е. Информационно-аналитические системы магистральных трубопроводов [Текст] / С.Е. Кутуков. - М.:СИП РИА, 2002.-324с. - ISBN 5-89354-150-2.

4. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. –163 с.

**Abstract.** *The article examines the impact of implementing a variable frequency drive on the efficiency of centrifugal pumps in oil pipeline unit systems. Various methods of regulating the operational process and their influence on power consumption and fluid flow rates are analyzed. The methodology for selecting optimal parameters of the electric drive to achieve maximum efficiency of pump unit operation is discussed.*

**Keywords:** *variable frequency drive, centrifugal pumps, efficiency, energy conservation, oil pipeline units, operational process, daily technological schedules, economic efficiency, optimization, electrical energy, fluid flow rates.*

Стаття відправлена: 11.09.2023 р.

© Лагойда А.І., Костишин А.В., Лагойда Л.І., Костишин С.В.





УДК 681.514

**DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR ENERGY  
EFFICIENCY OF A CENTRIFUGAL PUMP****ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА****Lahoida A. / Лагойда А.І.***k.t.s. / к.т.н.*

ORCID: 0000-0002-0862-7786

**Kostyshyn A. / Костишин А.В.***Aspirant / аспірант*

ORCID: 0009-0001-4494-077X

**Lahoida L. / Лагойда Л.І.**

ORCID: 0000-0002-2328-8276

**Kostyshyn S. / Костишин С.В.***Aspirant / аспірант*

ORCID: 0009-0008-8898-2657

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano-Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, 76019*

**Анотація.** Відцентрові насоси є ключовими компонентами в гідротехнічних системах та промислових процесах, де важливо забезпечити перекачування рідини між різними точками. Для досягнення найкращої продуктивності та надійності роботи відцентрових насосів важливо мати математичну модель, яка дозволяє аналізувати їх характеристики та робочі режими. У цій статті розглядається математична модель відцентрового насоса, його робочі характеристики та аспекти надійності в різних робочих режимах.

**Ключові слова:** відцентровий насос, математична модель, робочі характеристики, надійність, робочі режими, витратне навантаження.

**Вступ.**

Асинхронні двигуни (АД) відіграють критичну роль у сучасних технологіях та інфраструктурі, і до 70% усієї споживаної енергії припадає саме на них. Зниження частоти живлення може відзначитися значними змінами у роботі асинхронних двигунів. Важливо враховувати, що передбачуваний режим роботи, коли напруга залишається сталою, а частота змінюється, є винятком з класичних законів регулювання швидкості двигуна.

Ця стаття зосереджується на аналізі процесів, які відбуваються в асинхронних двигунах при такому режимі роботи. Особливу увагу слід звернути на вимушене зниження частоти живлення, яке може мати значний вплив на параметри двигуна. Розглянемо як змінюються механічні характеристики асинхронних двигунів та їхні режими роботи в умовах зниженої частоти.

На першому етапі ми розглянемо вплив зміненої частоти на магнітний потік та крутний момент асинхронного двигуна. Далі буде проведений якісний аналіз зміни параметрів асинхронних двигунів при зниженій частоті живлення. Для цього ми використаємо вирази для максимальної електромагнітної потужності та критичного ковзання.

Ця стаття допоможе глибше зрозуміти зміни, які відбуваються в



асинхронних двигунах при зниженій частоті живлення, та їхні наслідки для ефективності та стійкості роботи. Враховуючи ці аспекти, ми зможемо розробляти оптимальні стратегії експлуатації та управління асинхронними двигунами в умовах зміненої частоти живлення.

### Основний текст.

Відцентрові насоси (ВН) відіграють ключову роль у гідротехнічних системах та промислових процесах, де вимагається перекачування рідини з одного місця в інше. Для ефективного використання відцентрових насосів важливо мати розуміння їх характеристик та робочих режимів. Математична модель ВН грає важливу роль у прогнозуванні та аналізі цих параметрів.

Одним із ключових параметрів роботи відцентрового насоса є напір, він визначає висоту підняття рідини та її тиск у системі. Інший важливий параметр - витрата рідини, яка визначає об'єм рідини, який насос перекачує за одиницю часу. Крім того, коефіцієнт корисної дії (ККД) відображає ефективність роботи насоса та його витрату енергії.

Робота відцентрового насоса у різних витратних режимах може впливати на його надійність. Важливо розглядати роботу насоса на трьох робочих зонах:

Для оцінки надійності відцентрових насосів використовують теорію ймовірності та математичну статистику. Аналіз надійності базується на статистичних даних про відмови в різних умовах експлуатації та може включати розрахунки показників надійності, таких як віброшвидкість.

Для визначення механічних характеристик електродвигуна скористаємося відомим виразом для максимальної електромагнітної потужності. При змінюваних параметрах електроенергії вона представляється таким виразом:

$$P_{am} = \frac{k_u^2}{k_f} \cdot \frac{u_H^2}{2C_1 \left[ \frac{R_1}{k_f} + \sqrt{\left( \frac{R_1}{k_f} \right)^2 + x_k^2} \right]} = \frac{k_u^2}{k_f} \cdot (P_{am})_H, \quad (1)$$

де  $k_u$ ,  $k_f$  відносні напруга і частота.

Внаслідок невеликих значень  $R_1$  покладемо  $\frac{R_1}{k_f} \approx R_1$ . На підставі виразу (1)

отримаємо формулу для кратності максимального моменту:

$$K_m = \frac{M_m}{M_H} = \frac{P_{am}}{k_f P_{aH}} \approx \frac{k_u^2}{k_f^2} \cdot \frac{(P_{am})_H}{P_{aH}} = K_{mH} \frac{k_u^2}{k_f^2}. \quad (2)$$

де  $K_{mH}$  - кратність максимального моменту в номінальному режимі.

Нехтуючи активним опором обмотки, отримуємо вираз:

$$S_k \approx \frac{S_{kH}}{k_f}, \quad (3)$$

де  $S_{kH}$  - критичне ковзання в номінальному режимі.

Таким чином, на підставі формули Клосса і співвідношень (2) і (3) отримуємо вираз для відносного моменту при змінюються параметрах мережі:



$$M^* = \frac{M}{M_H} = \frac{2K_{mH} \frac{k_u^2}{k_f^2}}{\frac{S_{kH}}{K_{fS}} + \frac{K_{fS}}{S_{kH}}} \quad (1.4)$$

Проаналізуємо, яким чином зміниться робота АД в передбачуваних умовах з точки зору перевантажувальної здатності і стійкості на робочій ділянці механічної характеристики. З формули (2) випливає, що кратність максимального моменту обернено пропорційна квадрату відносної частоти і прямо пропорційна квадрату відносного напруги, тобто при роботі з номінальною напругою мережі і зниженій частоті перевантажувальна здатність збільшується.

Для визначення характеру зміни жорсткості робочої ділянки характеристики, яка характеризує стійкість, необхідно з (4) отримати вираз для частоти обертання двигуна в залежності від моменту. Для цього необхідно використовувати вираз ковзання  $S$  для будь-якого значення частоти:

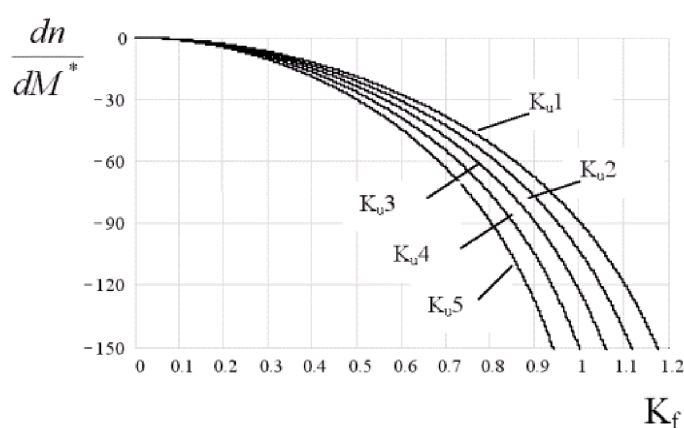
$$S = 1 - \frac{n}{n_0 \cdot k_f}, \quad (5)$$

де  $n_0$  - синхронна частота обертання при номінальній частоті.

Тоді:

$$n = \frac{1}{2M^{*2}k_f^2} \left( 2M^*k_f^3n_0 - 2K_{mH}k_u^2S_{kH}n_0 + \right. \\ \left. + 2\sqrt{K_{mH}^2k_u^2S_{kH}^2n_0 - M^{*2}k_f^4S_{kH}^4n_0^2} \right) \quad (6)$$

Отримана формула носить назву зворотної формули Клосса і може бути використана для комп'ютерного розрахунку механічної характеристики АД на робочому ділянці.



**Рис. 1 Залежність похідної від параметрів мережі:  $K_{u1} = 1$ ;  $K_{u2} = 0,95$ ;  $K_{u3} = 0,9$ ;  $K_{u4} = 0,85$ ;  $K_{u5} = 0,8$**

Математично жорсткість робочої ділянки характеристики визначається похідною  $\frac{dn}{dM^*}$ . На рисунку 1 наведені графіки залежності похідної від відносної



частоти при різних значеннях напруги.

З графіка видно, що при  $k_u = k_f$  жорсткість робочого ділянки характеристики не змінюється. За умови  $k_u < k_f$  жорсткість збільшується, при  $k_u > k_f$  зменшується, тобто в передбачуваному режимі роботи зі зниженням частоти буде підвищуватися не тільки перевантажувальна здатність, але і стійкість роботи АТ.

Як вже зазначалося вище, робота двигуна при обраному законі регулювання буде залежати не тільки від параметрів мережі, але і від заводських характеристик самого двигуна. Для оцінки сукупності цих факторів скористаємося поняттям коефіцієнта опору:

$$K_c = \frac{M_m}{M_c} = \frac{K_{mH}}{M_c^*} \cdot \frac{k_u^2}{k_f^2}, \quad (7)$$

де  $M_c^*$  - відносний момент опору на валу двигуна.

Формула (6) не зручна для практичних розрахунків, тому для визначення продуктивності механізмів, використовуючи (7) з формули (4), отримаємо більш простий вираз для ковшання:

$$S = \frac{S_{KH}}{k_f(K_c + \sqrt{K_c^2 - 1})}. \quad (8)$$

На підставі (8) з урахуванням того, що  $K_c > 2$ , отримаємо вираз для частоти обертання двигуна:

$$n_2 = n_1(1 - S) = k_f n_0 \left(1 - \frac{S_{KH}}{2K_c k_f}\right).$$

При визначенні електричних параметрів електродвигуна важливу роль відіграє, яким чином враховується намагнічування машини. Відомо, що при збільшенні магнітного потоку зростає струм намагнічування  $I_0$ , характеристикою цього процесу є крива намагнічування, або характеристика холостого ходу машини. Характеристики холостого ходу, побудовані у відносних одиницях для різних електродвигунів звичайного виконання, збігаються. Для розрахунків скористаємося характеристикою холостого ходу, наведеної на рис. 2.

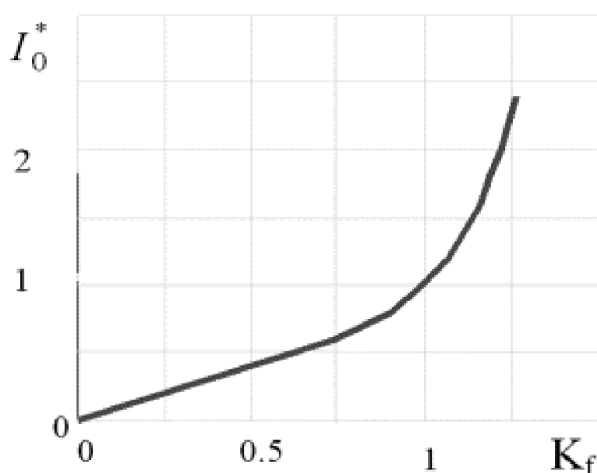


Рис. 2 Крива намагнічування



Для зручності розрахунків характеристик АД на ПЕОМ дану криву необхідно представити у вигляді інтерполяційного многочлена. З достатньою точністю в області "коліна" вихідна крива апроксимується многочленом 4-го ступеня. На підставі розрахунків отримано аналітичний вираз струму намагнічування електродвигуна:

$$I_0^* = 0.007379 - 1.6768 \cdot \left( \frac{K_u}{K_f} \right) + 10.4752 \cdot \left( \frac{K_u}{K_f} \right)^2 - 13.7962 \cdot \left( \frac{K_u}{K_f} \right)^3 + 5.8699 \left( \frac{K_u}{K_f} \right)^4. \quad (9)$$

Основним параметром асинхронного двигуна, що характеризує його енергетичні якості, є струм статора. Його можна представити у вигляді геометричної суми активної і реактивної складових:

- $I_{1a} = I_1 \cos \varphi_H = I_0 \cos \varphi_0 + I_2' \cos \varphi'$  - активна складова;
- $I_{1p} = I_1 \sin \varphi_H = I_0 \sin \varphi_0 + I_2' \sin \varphi'$  - реактивна складова.

Без урахування активних втрат холостого ходу, тобто якщо  $\sin \varphi_0 \approx 1$ , то:

$$I_1 = \sqrt{(I_0 \sin \varphi_0 + I_2' \sin \varphi')^2 + (I_0 \cos \varphi_0 + I_2' \cos \varphi')^2}. \quad (10)$$

Для визначення струмів двигуна необхідно визначити закон зміни кута зсуву фаз між струмом ротора і напругою мережі. Його можна визначити, користуючись схемою заміщення АД і виразом для ковзання через параметри схеми заміщення:

$$I_1 = \sqrt{(I_0 + I_2' \sin \varphi')^2 + (I_2' \cos \varphi')^2}. \quad (11)$$

На підставі (8):

$$\tan \varphi' \approx \frac{1}{K_c + \sqrt{K_c^2 - 1}}.$$

Користуючись відомими тригонометричними співвідношеннями, визначаємо:

$$\sin \varphi' = \frac{1}{\sqrt{2K_c(K_c + \sqrt{K_c^2 - 1})}}, \quad \cos \varphi' = \sqrt{\frac{K_c + \sqrt{K_c^2 - 1}}{2K_c}}. \quad (12)$$

У номінальних умовах струм ротора можна визначити, використовуючи параметри двигуна:

$$I_{2H}' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left( r_1 + \frac{c_1 r_2'}{S_H} \right)^2 + x_k^2}}.$$

Нехтуючи активним опором статора, на підставі схеми заміщення з урахуванням (2а) можна визначити струм ротора в будь-якому режимі:

$$I_2' = I_{2H}' \cdot \frac{k_u}{k_f} \sqrt{\frac{1 + \left( \frac{S_k}{S_H} \right)^2}{1 + \left( \frac{S_k}{K_f S} \right)^2}}.$$





З формули Клосса, з урахуванням (2а) і (8), отримуємо:

$$1 + \left( \frac{S_k}{S_H} \right)^2 = 2K_{mH} (K_{mH} + \sqrt{K_{mH}^2 - 1}) + \left( \frac{S_k}{K_f S} \right)^2 = 2K_c (K_c + \sqrt{K_c^2 - 1}). \quad (13)$$

З огляду на  $\frac{K_{mH}}{K_c} = M_c^* \frac{k_f^2}{k_u^2}$ , отримаємо вираз для струму ротора при змінюються параметрах мережі:

$$I'_2 = I'_{2H} = \sqrt{M_c^* \frac{K_{mH} + \sqrt{K_{mH}^2 - 1}}{K_c + \sqrt{K_c^2 - 1}}}. \quad (14)$$

Користуючись визначенням реактивної складової струму статора, отримаємо вираз для номінального значення струму ротора:

$$I'_{2H} \approx \frac{I_{1H} \cos \varphi_H}{\cos \varphi'}.$$

У номінальних умовах

$$I'_{2H} \approx I_{1H} \cos \varphi_H \sqrt{\frac{2K_{mH}}{K_{mH} + \sqrt{K_{mH}^2 - 1}}}. \quad (15)$$

Аналогічно можна отримати вираз для номінального значення струму намагнічування:

$$I_{0H} = I_{1H} \left( \sin \varphi_H - \frac{\cos \varphi_H}{K_{mH} + \sqrt{K_{mH}^2 - 1}} \right). \quad (16)$$

Для визначення струму намагнічування в неномінальних умовах необхідно скористатися аналітичним виразом струму намагнічування:

$$I_0 = I_0^* \cdot I_{0H} \sigma, \quad (17)$$

де  $I_0^*$  - розраховується за допомогою (9).

Підставляючи вирази (12) - (17) в (10), можна отримати вираз для розрахунку струму статора.

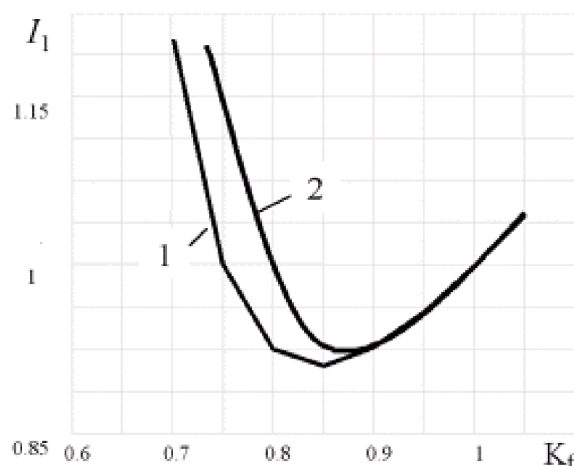
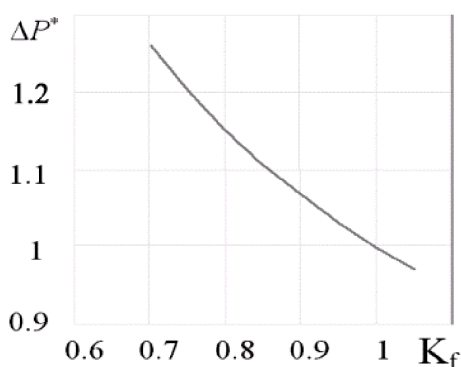


Рис. 3 Залежність струму двигуна від частоти



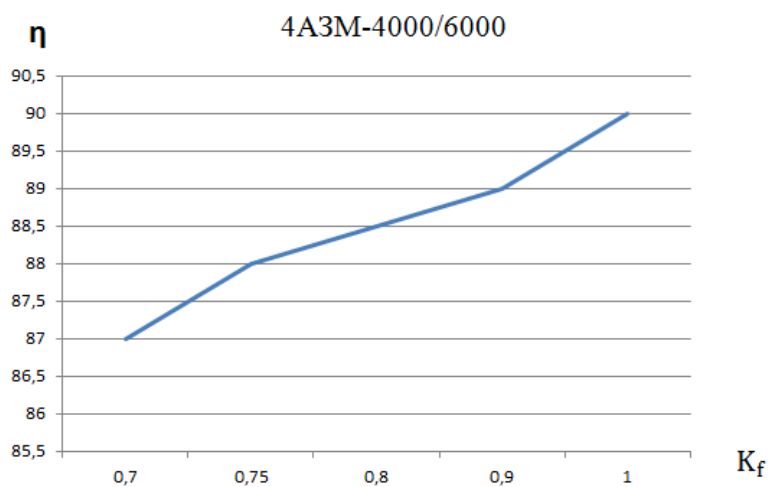
З рис. 4 видно, що при зниженні частоти на 20% при номінальному напрузі втрати в сталі зростають всього на 15%. Однак зростання втрат в сталі компенсується зниженням втрат в міді.



**Рис. 4 Електричні втрати при регулюванні частоти**

Таким чином, при вимушеному зниженні частоти живильної мережі до 80% асинхронний двигун може працювати в умовах більш легких, ніж в номінальному режимі, так як при такому зниженні частоти струм статора знижується до 90%, зменшуючи нагрів машини.

Для АД класу 4АЗМ-4000/6000 з ККД – 90% при номінальному режимі роботи який приводить в дію ВН НМ-7000-210.



**Рис. 5 Зміна ККД двигуна**

На рисунку 5 зображено графіки залежності коефіцієнта корисної дії АД моделі 4АЗМ-4000/6000 при регулюванні зміною частоти в мережі.

### **Висновки.**

Математична модель відцентрового насоса грає ключову роль у розумінні та аналізі його робочих характеристик та режимів. Розглянувши різні аспекти роботи відцентрових насосів, від ефективності до надійності, можна розробляти оптимальні стратегії експлуатації та підтримки цих важливих пристроїв у різних галузях.

**Література:**

1. Kostyshyn, V.S. and Kurlyak, P.O. (2015). "Simulation of performance characteristics of centrifugal pumps by the electro-hydrodynamic analogy method", Journal of Hydrocarbon Power Engineering. Vol. 2, Issue1, p. 24-31.
2. Середюк М.Д. Шляхи підвищення ефективності та зменшення енерговитратності процесів транспортування та зберігання нафти і газу [Текст] / М.Д.Середюк, В.Я.Грудз // Нафтогазова енергетика. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2007. – №2(3). – С. 24-30.
3. Кутуков С.Е. Информационно-аналитические системы магистральных трубопроводов [Текст] / С.Е. Кутуков. - М.:СИП РИА, 2002.-324с.
4. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. –163 с.

**Abstract.** Centrifugal pumps are key components in hydraulic systems and industrial processes where the transfer of liquids between different points is essential. To achieve the best performance and reliability of centrifugal pumps, it is crucial to have a mathematical model that allows the analysis of their characteristics and operating modes. This article discusses the mathematical model of a centrifugal pump, its performance characteristics, and aspects of reliability in various operating modes.

**Keywords:** centrifugal pump, mathematical model, performance characteristics, reliability, operating modes, flow rate load.

Стаття відправлена: 11.09.2023 р.

© Лагойда А.І., Костишин А.В., Лагойда Л.І., Костишин С.В.



УДК 004.2

**INFORMATION TECHNOLOGY IN CUSTOMER SERVICE: USE OF  
COMPUTER VISION AND DECISION SUPPORT SYSTEMS  
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОБСЛУГОВУВАННІ КЛІЄНТІВ:  
ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА СИСТЕМ ПІДТРИМКИ  
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

**Bisikalo O.V. / Бісікало О. В.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.***Romanets V.O. / Романець В.О.***postgraduate student / аспірант.**Vinnitsia national technical university,**Vinnitsia, Khmelnytsky highway 95, 21021**Вінницький національний технічний університет,**м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, 21021*

**Анотація.** У роботі розглядається використання систем підтримки прийняття управлінських рішень, зокрема з застосуванням технологій комп'ютерного зору. Адже це є перспективним напрямком підвищення ефективності обслуговування клієнтів у сучасних установах. Відкриваються нові можливості для забезпечення безпеки обслуговування, оптимізації завантаженості робочих місць у нештатних ситуаціях, якщо менеджер здійснює оперативний контроль та моніторинг стану робочих місць працівників. Це дозволяє застосовувати оперативну інформацію для прийняття рішення щодо оптимізації робочого графіку працівників, що обслуговують клієнтів, давати обґрунтовані оцінки завантаження окремих точок обслуговування та, за необхідності, негайно вживати відповідних адміністративних заходів.

У результаті дослідження розглянуто різні види технологій та їх поєднання для єдиної системи контролю обслуговування клієнтів. Основу складає програмована система розпізнавання та відстеження відвідувачів. Використання системи підтримки прийняття рішень на базі даних з відео передбачає використання технології виявлення та розпізнавання об'єктів Yolo, а також методу відстеження об'єктів DeepSORT. Обґрунтовано автоматизацію процесів з використанням системи підтримки прийняття рішень на основі результатів використання технологій комп'ютерного зору (методів YOLO та DeepSort) з метою підвищення точності та швидкості обробки оперативної інформації.

**Ключові слова:** системи підтримки прийняття рішень, оперативний контроль, комп'ютерний зір, штучний інтелект, DeepSORT, виявлення об'єктів, відстеження об'єктів, згорткові нейронні мережі.

### **Вступ.**

Практично будь-який процес контролю може виконуватися або людьми, або комп'ютерами. Але різні задачі вимагають різних підходів. Для вирішення деяких задач варто замінити та автоматизувати частину процесів з обробки інформації, залишивши менеджеру можливість приймати остаточне рішення, зокрема у певних випадках слід передати інформацію одразу виконавцю і менеджеру, залишивши за останнім функцію моніторингу. В інших випадках, коли комп'ютерна система працює з високою швидкістю та точністю, можна дати можливість системі управляти процесами самостійно, залишивши людям тільки функцію моніторингу та виконання відповідно.

В системах контролю за банківсько-фінансовою діяльністю, зважаючи на можливі ризики, комп'ютерне регулювання зазвичай має рекомендаційний



характер, а остаточне прийняття рішення залишається за управлінцем. Але потрібно передбачити варіативність при налаштуванні системи контролю, уможливаючи автоматизовану реакцію системи та процесу передачі результату її роботи як безпосередньої вказівки персоналу. Використання такого підходу дозволить підвищити як точність і швидкість обробки оперативної інформації, так і передачу рішення (вказівки) виконавцям.

Зазначена система може бути підсистемою для більш складної системи підтримки прийняття рішень, крім того, вона може бути використана практично у будь-якому масштабі банківської установи, і, що не менш важливо, її використання не обмежується виключно роботою з чергою в зоні роботи з клієнтами банку, а може бути екстрапольоване на інші об'єкти зі схожими задачами [1-3].

### **Основний текст**

Ризики в процесах прийняття рішень людиною в умовах постійного навантаження монотонною роботою можуть виявитися важливими та вплинути на якість та наслідки рішень. Враховуючи це, опис цих ризиків у більш об'ємному вигляді виглядатиме так:

- Постійне навантаження та монотонна робота можуть спричинити втому та втрату концентрації, що може негативно вплинути на здатність приймати обґрунтовані рішення. Довготривала монотонність може впливати на психологічний стан та загальну продуктивність.
- Крім того, постійна рутинність може спричинити втрату мотивації та інтересу до роботи. Це може вплинути на здатність приділяти достатньо часу та уваги прийняттю важливих рішень.
- Навантаження може призводити до використання шаблонних підходів. Однак це може призвести до втрати гнучкості та неспроможності адаптуватися до нових ситуацій.
- Більш того, недостатність часу на вивчення нових питань чи аналіз альтернативних шляхів може спричинити недостатність інформації для прийняття обґрунтованих рішень.

Щоб запобігти цим ризикам, важливо регулярно оптимізувати робочий процес та шукати можливості для вдосконалення. Розвиток інформаційних технологій дозволив використання різних алгоритмів та методів в такій діяльності. Одним з них є системи підтримки прийняття рішень (СППР).

СППР - це комп'ютерні програми та системи, призначені для надання допомоги прийняттю рішень у різноманітних областях. Вони використовують аналітичні, моделювальні та інші обчислювальні методи для надання користувачеві інформації, яка може бути використана для аналізу альтернатив та вибору оптимального рішення[4].

Основні компоненти СППР включають:

- Джерело даних: Це місце, звідки надходить вся необхідна інформація для аналізу. Це може бути база даних, електронні таблиці, текстові файли тощо.
- Модулі аналізу та обробки даних: Ці модулі використовують різні методи аналізу, статистичні алгоритми та інші інструменти обробки даних.





- Моделі та алгоритми прийняття рішень: СППР може включати в себе різні моделі та алгоритми для визначення оптимального рішення. Це може бути, наприклад, аналіз ефективності, методи оптимізації, тощо.
- Інтерфейс користувача: Це частина системи, через яку користувач може взаємодіяти з СППР. Це може бути графічний інтерфейс, командний рядок або веб-інтерфейс.
- Система візуалізації результатів: Деякі СППР надають можливість візуалізувати результати аналізу за допомогою графіків, діаграм та інших візуальних засобів.

СППР можуть бути використані в різних галузях, таких як управління бізнесом, медицина, фінанси, інженерія та інші. Вони допомагають приймати обґрунтовані рішення на основі аналізу великої кількості даних та врахування різних критеріїв.

У випадку коли менеджер здійснює контроль та моніторинг стану робочих місць працівників і касирів без фактичного перебування поряд не обійтись без відеонагляду.

Використання ж технологій комп'ютерного зору на основі даних з відеонагляду в поєднанні з СППР здатно суттєво знизити навантаженість на менеджера та покращити показники роботи. Адже практично будь-який процес контролю може виконуватися або людьми, або комп'ютерами.

В якості джерела даних необхідно використовувати систему, що здатна не тільки передати зображення, а й розпізнати та відслідкувати клієнтів(об'єкти) на цьому зображенні в режимі реального часу. Саме для цього необхідно використати технології комп'ютерного зору.

Комп'ютерний зір є ключовою галуззю штучного інтелекту, що спрямована на надання комп'ютерам можливості аналізувати та інтерпретувати візуальну інформацію, схоже на спосіб, як це роблять люди.

Основні принципи комп'ютерного зору:

#### *1. Попередня обробка зображення:*

Перед тим як комп'ютер може виявити об'єкти на зображенні, вихідне зображення піддається попередній обробці (зменшення шуму, підвищення контрастності та виокремлення граней).

#### *2. Виділення особливих ознак:*

Це може бути різноманітність кольорів, текстур, форм або інших характеристик, які допомагають ідентифікувати об'єкти.

#### *3. Класифікація об'єктів:*

На основі виділених ознак, комп'ютер використовує навчені моделі для класифікації цих ознак та визначення, до якого конкретного класу об'єктів вони відносяться.

Згорткові нейронні мережі (CNN) – це базовий підхід до застосування нейронних мереж для задач комп'ютерного зору в наш час – епоху глибокого навчання [5]. Згортковий підхід до розпізнавання об'єктів на зображеннях в першу чергу полягає у застосуванні паттернів (шаблонів – від англ. pattern), які необхідно розпізнати. Як паттерн можна вважати такі компоненти зображення об'єкта як вертикальні та горизонтальні контури, круглі фігури тощо. Саме

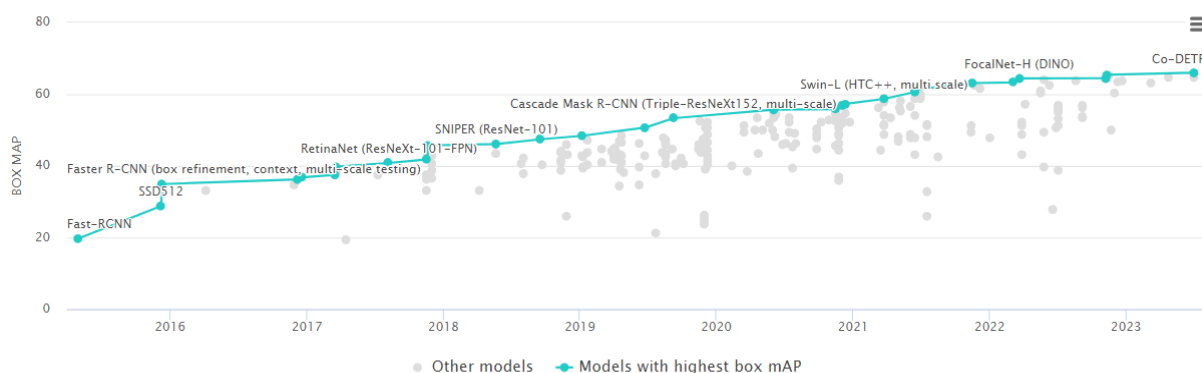


застосування таких паттернів дозволяє нам розпізнати об'єкт на зображенні за допомогою операції згортки.

У контексті глибокого навчання вхідні зображення та їх подальші модифікації подаються через ряд фільтрів, для отримання певного результату. Числа у матрицях фільтрів обраховуються нейронною мережею самостійно, що згодом призводить до фокусування на певних шаблонах, що і полягає в основі детекції об'єктів певного типу (класу), а саме – класифікації.

Класифікація зображень – найпоширеніша задача в області досліджень комп'ютерного зору. Класифікація та локалізація (виявлення) об'єктів – задача, яка базується на класифікації об'єктів на зображенні та обчислення їх координат та положення на фреймі [6].

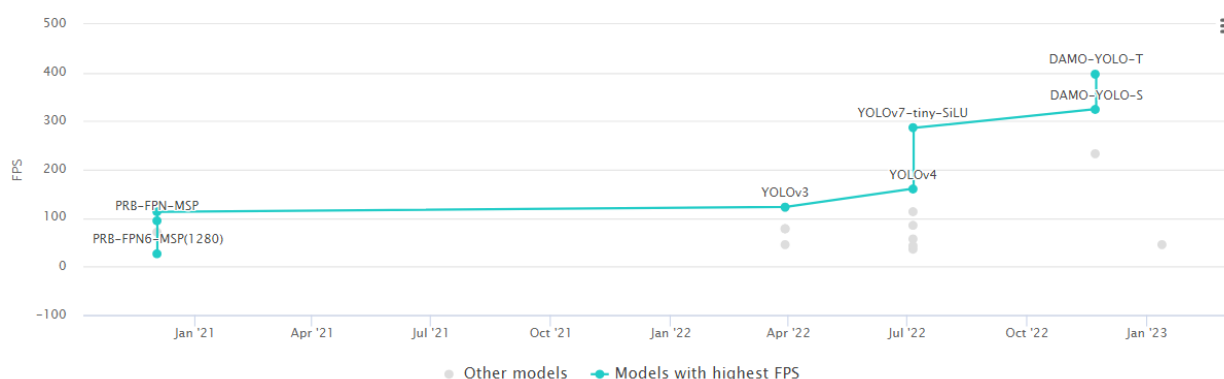
На сьогоднішній день існує велика кількість методів виявлення об'єктів. Методи виявлення об'єктів мають свої переваги та недоліки, але найбільш важливими характеристиками є швидкість обробки та якість виявлення. Найкращі методи з точки зору критерію якості AP (average precision) на наборі COCO test-dev наведені на рисунку 1 [7].



**Рисунок 1 – Сучасні методи виявлення об'єктів**

Джерело: [7]

На рисунку 2 представлені результати тестування методів виявлення об'єктів які працюють в режимі реального часу [8]. Як видно з рисунку гарно зарекомендували себе методи сімейства YOLO.



**Рисунок 2 – Сучасні методи виявлення об'єктів що працюють у режимі реального часу**

Джерело: [8]



Аналізуючи дані рисунку 2 можна зробити висновок, що оптимальним з точки зору швидкості обробки та якості виявлення буде метод Yolo. Швидкісні характеристики методу дозволяють методу відстеження працювати в режимі реального часу, а якість виявлення дозволить в подальшому збільшити якість відстеження [9-12]. Ажн крім виявлення і розпізнавання клієнтів, необхідно ще й засоби для того щоб відслідковувати її впродовж перебування в установі.

Ціллю методів що відстежують декілька об'єктів (Multi Object Tracking — MOT) є оцінка траєкторій об'єктів у кожному кадрі відео, знаходячи їх розташування та зберігаючи значення ідентифікаторів на наступних кадрах відео. Методи MOT можна класифікувати на офлайн та онлайн. Офлайн методи MOT використовують для створення траєкторій як попередні так і наступні кадри, в той час як онлайн методи MOT для оцінки поточного розташування використовують лише інформацію доступну до поточного кадру. Хоча в офлайн методах є деякі переваги при обробці складних траєкторій, вони не можуть бути застосовані при роботі у режимі реального часу [13].

В останні роки найкращі результати показують методи MOT які основані на детекторах об'єктів [14]. В таких підходах детектор об'єктів (як правило використовується швидкий детектор об'єктів з сімейства Yolo чи SDD) в кожному кадрі знаходить об'єкти інтересу, а також застосовуються інші алгоритми для розуміння який об'єкт на новому кадрі належить якому з попереднього кадру. В результаті аналізу найбільш успішних методів відстеження, а саме: Tracktor++, TrackR-CNN, JDE та DeepSORT, зроблені наступні висновки:

- Tracktor++ - це високошвидкісний алгоритм виявлення та відстеження, спроектований спеціально для використання у відео.

#### Особливості:

Висока швидкодія: Демонструє грану продуктивність в реальному часі. Ефективно впорається з ситуаціями, коли на кадрі знаходиться багато об'єктів.

Сфери застосування: Може бути використаний в системах відеоспостереження, автономних транспортних засобах та інших додатках, де потрібне точне та швидке відстеження об'єктів.

Складність впровадження: Середня. Tracktor++ є високопродуктивним алгоритмом, але для його ефективного впровадження може знадобитися відповідна апаратна підтримка. Також, впровадження в реальних умовах може вимагати додаткового тюнінгу параметрів.

- TrackR-CNN базується на архітектурі R-CNN та використовує глибоке навчання для відстеження об'єктів.

#### Особливості:

Використовує потужність глибокого навчання для точного виявлення та відстеження об'єктів. Дозволяє відстежувати об'єкти навіть при швидкому русі.

Сфери застосування: Застосовується в системах відеоспостереження, автономних автомобілях, віртуальній реальності та інших сферах.

Складність впровадження: Висока. TrackR-CNN використовує глибоке навчання, що може вимагати велику кількість даних для тренування та значних обчислювальних ресурсів. Впровадження та налаштування може бути



трудомістким.

- JDE використовує підхід "з'єднання виявлення та вбудовування" для відстеження об'єктів.

#### Особливості:

Комбінація виявлення та вбудовування: Інтегрує виявлення та відстеження в єдиний процес, що дозволяє отримувати точні та надійні результати. Дозволяє відстежувати багато об'єктів одночасно.

Сфери застосування: Використовується в системах відеоспостереження, дронів та автономних транспортних засобів.

Складність впровадження: Середня. JDE поєднує виявлення та вбудовування в єдиний процес, що може спростити впровадження. Проте, налаштування параметрів та оптимізація можуть вимагати певного рівня експертизи.

- DeepSORT (Deep Simple Online and Realtime Tracking) - це поєднання Deep Learning та SORT алгоритму для точного відстеження об'єктів в реальному часі.

#### Особливості:

Використання Deep Learning: Використовує нейронні мережі для точного виявлення та відстеження. Забезпечує швидке відстеження в реальному часі.

Сфери застосування: Використовується в системах відеоспостереження, автономних автомобілях та інших сферах.

Пояснення: DeepSORT поєднує Deep Learning та SORT алгоритм, що може зробити його впровадження ефективнішим у порівнянні з деякими іншими алгоритмами.

Отже метод DeepSORT може бути обраний для подальшої роботи, так як він підходить для задач поставлених у роботі як з точки зору швидкості, якості виконання так і з точки зору складності впровадження.

#### **Висновки.**

У результаті дослідження було розглянуто технології розпізнавання та відстеження об'єктів на відео, системи підтримки прийняття рішень та їх використання, спосіб їх поєднання в цілях використання у єдиній системі контролю за обслуговуванням клієнтів установи, в основу якого покладено програмну систему розпізнавання та відслідковування відвідувачів. Метод передбачає використання системи підтримки прийняття рішень на основі даних з відео установи за допомогою технології виявлення та розпізнавання об'єктів Yolo та методі відстеження об'єктів DeepSORT.

Було аргументовано причини автоматизації процесів з використанням СППР, що базується на результатах використання технологій комп'ютерного зору(методів YOLO та DeepSort) в контексті підвищення як точності, так і швидкості обробки оперативної інформації.

#### **Література:**

1. Ткачук Л. М. Інформаційне забезпечення оцінки ефективності діяльності банку [Електронний ресурс] / Л. М. Ткачук, В. О. Романець // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня



2017 р. - Електрон. текст. дані. - 2017. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fm/all-fm-2017/paper/view/2514>.

2. Ткачук Л. М. Особливості застосування інформаційно-аналітичної системи оцінювання ефективності діяльності комерційних банків / Л.М. Ткачук, А.П. Ткачук, В.О.Романець // Освіта і наука без кордонів – 2017 : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції. 2017, т. 13. С. 36–38.

3. Ткачук Л. М. Методичні підходи до оцінки ефективності діяльності банківської установи [Електронний ресурс] / Л. М. Ткачук, В. О. Романець // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fm/all-fm-2018/paper/view/5282>.

4. Decision Support System (DSS): What It Is and How Businesses Use Them URL:<https://www.investopedia.com/terms/d/decision-support-system.asp>

5. An Analysis Of Convolutional Neural Networks For Image Classification. URL:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918309335>

6. Image Recognition with Deep Neural Networks and its Use Cases. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/image-recognition-neural-networks-use-cases/>

7. Object Detection on COCO test-dev [Електронний ресурс]. URL: <https://paperswithcode.com/sota/object-detection-on-coco>.

8. Real-Time Object Detection on COCO [Електронний ресурс]. URL: <https://paperswithcode.com/sota/real-time-object-detection-on-coco>.

9. Yolo object detection with OpenCV. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pyimagesearch.com/2018/11/12/yolo-object-detection-with-opencv/>

10. Darknet: Open Source Neural Networks. [Електронний ресурс]. URL: <https://pjreddie.com/darknet/>.

11. Deep Learning based Object Detection using YOLOv3 with OpenCV (Python/C++). – [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.learnopencv.com/deep-learning-based-object-detection-using-yolov3-with-opencv-python-c/>

12. How to implement YOLOv3 from scratch in PyTorch. – [Електронний ресурс]. URL: <https://www.kdnuggets.com/2018/05/implement-yolo-v3-object-detector-pytorch-part-1.html>

13. The Multiple Object Tracking Benchmark [Електронний ресурс]. URL: <https://motchallenge.net/>

14. The Multiple Object Tracking Benchmark [Електронний ресурс]. URL: <https://motchallenge.net/>

**Abstract.** This article explores the integration of object detection and tracking technologies to optimize customer service in retail environments. The study emphasizes the need for efficient decision support systems (DSS) to streamline operations and improve decision-making. Leveraging advancements in computer vision, the combination of YOLO object detection and DeepSORT object tracking methods emerges as a powerful solution.

The article begins by elucidating the significance of DSS in mitigating time constraints for comprehensive analysis and decision-making. It highlights the components of DSS, including data sources, data processing modules, decision-making algorithms, user interfaces, and result





visualization systems.

Subsequently, the paper delves into the domain of computer vision, elucidating its fundamental principles. It underscores the preprocessing of images, extraction of distinctive features, and object classification using Convolutional Neural Networks (CNNs) as pivotal techniques.

Moving forward, the study evaluates modern methods for object detection, particularly those based on object detectors. Notable algorithms such as Tracktor++, TrackR-CNN, JDE, and DeepSORT are scrutinized for their efficacy in real-time object tracking scenarios.

The article culminates with a comprehensive comparison of the evaluated methods. Among them, DeepSORT, an amalgamation of Deep Learning and SORT algorithm, emerges as the optimal choice due to its exceptional speed and accuracy in real-time tracking applications.

In conclusion, this research advocates for the integration of YOLO-based object detection and DeepSORT tracking methods to enhance customer service in retail establishments. The proposed system, empowered by advanced decision support and computer vision technologies, demonstrates promising potential for revolutionizing customer experience and operational efficiency.

**Key words:** decision support systems, operational control, computer vision, artificial intelligence, DeepSORT, object detection, object tracking, convolutional neural networks.

Статья отправлена: 25.09.2023 г.

© Романец В. О.



УДК 004.92

**THE ANALYSIS OF POLYGONAL MODELS DENSITY IN THREE-DIMENSIONAL COMPUTER GAMES****АНАЛІЗ ЩІЛЬНОСТІ ПОЛІГОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ У ТРИВИМІРНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ІГРАХ****Zavalniuk Ye.K. / Завальнюк Є.К.***PhD student / аспірант*

ORCID: 0009-0005-1202-4653

*Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Khmelnytsky highway 95, 21021**Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Хмельницьке шосе 95, 21021***Romanyuk O.N. / Романюк О.Н.***d.t.s., professor / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-2245-3364

*Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Khmelnytsky highway 95, 21021**Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Хмельницьке шосе 95, 21021***Kotlyk S.V. / Котлик С.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-5365-1200

*Odesa National University of Technologies, Odesa, Kanatna St 112, 65039**Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Канатна 112, 65039***Stakhov O.Ya. / Стахов О.Я.***c.t.s., sen. lect. / к.т.н., ст. викл.*

ORCID: 0009-0003-8986-185

*Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Khmelnytsky highway 95, 21021**Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Хмельницьке шосе 95, 21021*

**Abstract.** The article analyzes the features of choosing the polygonal model density level for a three-dimensional computer game. The concepts of triangulation, polygonal mesh density, and level of detail are described. The relevance of adjusting the density of the object's polygonal mesh is justified. The main types of game objects are defined. The dependence of the object surface's number of triangles on the position, type and curvature of the figure, target style, platform and mode of the game, the total number of characters, the presence of animated transformations is examined. The features of calculating the curvature of a three-dimensional surface point, a polygonal mesh triangle's vertex, and a whole triangle are analyzed. The method of determining the need for additional triangulation of a triangle based on the assessment of its overall curvature is described. A table that shows the typical sizes of polygonal models in popular three-dimensional computer games over the past decade has been constructed. The features of software tools for automatization of the surface's level of detail selection are described.

**Key words:** triangulation, curvature of figure, level of detail, polygonal model density.

**Introduction.**

The first major subsystem of the graphics pipeline for computer games scenes creating is the geometrical transformations subsystem [1]. One of the main steps of the stage is the formation of polygonal models [2] of scene's objects. A common approach to creating polygonal meshes is triangulation, which lies in dividing the surface of a figure into triangles. One of the characteristics of the triangulation process, which significantly affects the productivity and realism of the game scene formation, is the density [3] of the final polygonal mesh. This characteristic is defined as the number of surface polygons relative to the size of the figure. The high density of the polygonal



model provides a highly realistic reproduction of the characteristics of the figure, but it does not always provide the possibility of dynamic graphics scene creation. Therefore, it is important to choose the optimal number of surface triangles for each frame's object.

### **Purpose of the work.**

The purpose of the article is to analyze the features of using different polygonal models density levels in three-dimensional computer games.

Game objects conventionally can be divided into characters and props (weapons, cars). Game characters are the central objects of the game, so they are visualized in more details. Usually, characters are visualized in computer games using 10 - 100 thousand triangles [4] (1 - 10 thousand for mobile games). 1-20 thousand triangles [4] are usually used to render game props (100-2 thousand for mobile games).

Mobile game models are rendered with a smaller number of triangles due to the weaker computing capabilities of phones.

The density of objects' polygonal models depends on the target style [5] of the scene. If the goal is a photorealistic reproduction of the real world (for example, in Microsoft Flight Simulator), the surfaces of the figures are divided into the maximum reasonable number of triangles. If the goal is to form a stylized scene (for example, in Fortnite), the use of a relatively small number of triangles is necessary.

The density of the polygonal model also depends on the location and number of objects [4] in the frame. In real time, it is possible to shade only a finite number of frame figures (and, accordingly, polygons). Therefore, the more objects are placed in the frame, the fewer triangles on average can fit a single object.

Objects in the background of the scene have a small size, the increase in the number of triangles on their surfaces is often imperceptible to the player. Therefore, there may be a need to extract a significant number of microtriangles that do not affect the perception of the scene image. Different levels of detail are applied to objects for the efficient usage of computing resources [6]. The objects' surfaces that are farthest from the camera are divided into a relatively small number of large triangles. The density of the polygonal model of the closest to the camera objects is the highest. It is recommended to reduce the number of triangles by 50% at each level of detail [6].

Game objects operating in the multiplayer mode [4] are characterized by additional restrictions on the number of surface triangles. In addition to rendering a large number of characters, computing resources are spent on updating the state of the game server.

The number of polygonal model's triangles directly depends on the level of curvature of the object's surface. To preserve the properties of complex curved surfaces, an increase in the number of surface triangles is necessary. The curvature of a three-dimensional surface at a point can be represented by Gaussian [7] or mean [7] curvature. The Gaussian curvature of the surface  $K$  is calculated [8] as the product of the principal curvatures  $k_1, k_2$  (the maximum and minimum curvatures of the object's surface intersections with the normal planes)

$$K = k_1 \cdot k_2 = \frac{LN - M^2}{EG - F^2},$$



where  $E = 1 + f_x^2$ ,  $F = f_x \cdot f_y$ ,  $G = 1 + f_y^2$ ,

$$L = \frac{f_{xx}}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2}}, M = \frac{f_{xy}}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2}}, N = \frac{f_{yy}}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2}} \quad (f_{coef} - \text{the derivative}$$

of the surface formula  $f(x, y)$  by *coef* variable).

The mean curvature  $H$  is the mean value of principal curvatures. It is calculated using the formula [8]

$$H = \frac{k_1 + k_2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{LG - 2MF + NE}{EG - F^2}.$$

The calculation of the curvature at the triangle's vertex [9] is as follows. A vertex is selected around which a circle of triangles is positioned (Fig. 1). Then the Gaussian curvature is calculated according to the expression [9]

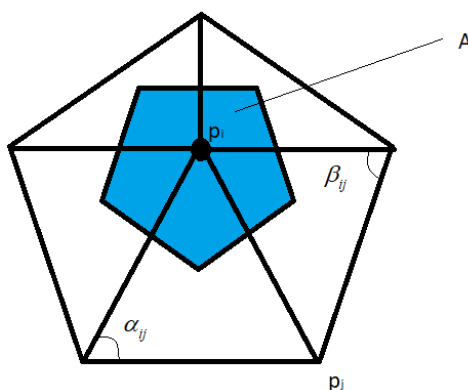
$$K = \frac{2\pi - \sum \theta_j}{A},$$

where  $\theta_j$  - the angle of the adjacent to the vertex  $j$ -th triangle,  $A$  - the sum of the thirds of areas of the adjacent to the vertex triangles.

The mean curvature at the triangle's vertex [9] is calculated using the formula

$$\frac{1}{2} \left\| \frac{1}{2A} \sum (\cot \alpha_{ij} + \cot \beta_{ij})(p_j - p_i) \right\|,$$

where  $p_j, p_i$  - the positions of the adjacent and central vertex respectively,  $\cot \alpha_{ij} + \cot \beta_{ij}$  - cotangent weights.



**Figure 1 – The data for triangle curvature calculation**

Source: [9]

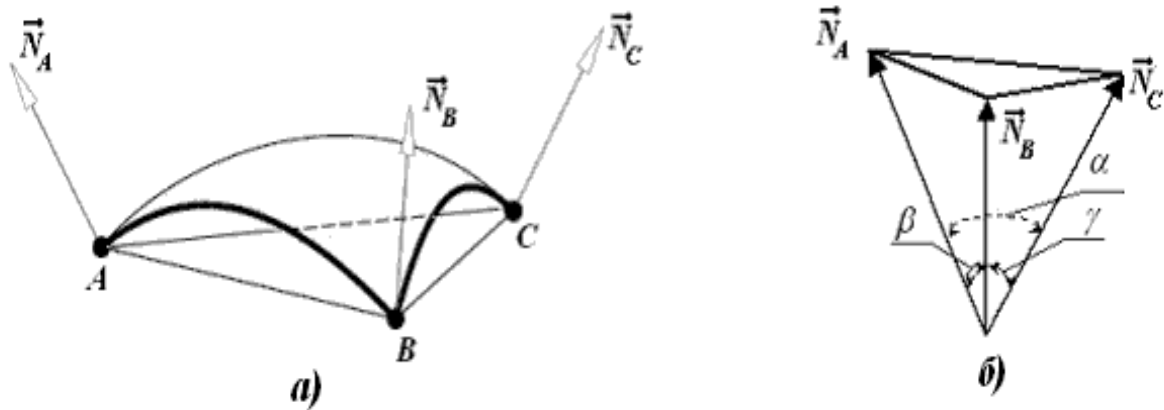
If the triangle has a large curvature, it can be divided into flatter triangles to simplify the shading procedure. The total curvature can be estimated by many methods.

In the simplest case, the deviation of the sum of triangle's angles from  $\pi$  is used to estimate the total curvature of a triangle.

One of the approaches is based on the analysis of a spherical triangle [10] formed from the normals  $\vec{N}_A, \vec{N}_B, \vec{N}_C$  of the polygon's vertices. It is assumed that the normals of the triangle's vertices come from a common point (Fig. 2a [10]). The curvature is large if the angles (Fig. 2 b [10]) between the edges of a spherical triangle are greater than the threshold value. To simplify the comparison of angles, it is possible to use



modules of vectors  $(\vec{N}_A - \vec{N}_B)$ ,  $(\vec{N}_A - \vec{N}_C)$ ,  $(\vec{N}_B - \vec{N}_C)$ .



**Figure 2 – The usage of triangle vertices' normals for the calculation of triangle's curvature**

Source: [10]

If the polygonal model is deformed during scene animation, the number of surface triangles should not be too small. Otherwise, the loss of a smooth transition between different states of the object is possible.

Table 1 provides information about the number of used surface polygons [11, 12] in famous computer games.

**Table 1 – The number of used surface polygons in famous computer games**

| Game                            | Year | Number of used polygons                                                                            |
|---------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Assassin's Creed 3              | 2012 | Benjamin Franklin – 17 744<br>Charles Lee - 25 994                                                 |
| Mass Effect 3                   | 2012 | Shepard – 25 440<br>EDI – 28 831<br>Reaper – 121 021                                               |
| Castlevania: Lords of Shadow    | 2013 | Black knight – 21 718<br>Cornell – 19 031                                                          |
| Infamous Second Son             | 2014 | Character – 120 000                                                                                |
| Call of Duty: Black Ops 3       | 2015 | Futuristic Car – 29 150<br>VTOL Aircraft – 67 154                                                  |
| Crash Bandicoot N. Sane Trilogy | 2017 | Spaceship – 80 750<br>Motorcycle – 59 483                                                          |
| Vampyr                          | 2018 | Bed – 11 218<br>Bookcase – 6 531<br>Piano – 23 449                                                 |
| Hell Let Loose                  | 2018 | Knife – 3 000<br>Howitzer – up to 37 400<br>Willis Jeep – up to 110 000<br>Land Mine – up to 5 486 |

Source: [11, 12]





As shown in the table, the number of surface polygons of characters and objects varies significantly depending on the characteristics and goals of the game.

Another category of objects are test figures that are used to test the methods of game scenes rendering. Usually, testing is done on figures of several levels of complexity. The quality of the simplest objects shading is checked on low-polygonal figures. For example, Sphere and Suzanne in Blender are built from 80 [13] and 968 [14] triangles, respectively. For testing more complex models, the Utah teapot, types of which are built from 3488 – 145620 triangles [15], can be used. When testing the most complex shapes, the "Stanford Dragon" (1132830 triangles) or "Armadillo" (7500000 triangles) can be used [16].

Adjusting the densities of polygonal object models is a complex operation during game development. Therefore, technologies for automatic determination of the object's level of detail have been developed. For example, Nanite [17] in Unreal Engine 5 facilitates the process of shading polygons in real time by dynamically optimizing the polygonal model. The downside of Nanite is that the technology only applies to static objects.

### Conclusions.

To ensure the formation of the game frame in real time, it is necessary to adjust the density values of the polygonal object models. If the object is the central character, is located in the foreground, is characterized by high curvature, the density of its polygonal model is high. If the object is a background object, has a flat shape, then a small number of triangles is used.

### References:

1. Romanyuk, O. et al. (2023) 'The Overview of Neural Rendering', *Modern Engineering And Innovative Technologies*, (27), pp. 129–134. doi:<https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-27-01-060>.
2. Romaniuk, O., Romaniuk, O. and Chekhmestruk, R. (2023) *Kompiuterna hrafika [Computer Graphics]*. Vinnytsia, Ukraine: VNTU.
3. Obidnyk, M. and Romaniuk, O. (2013) 'Pryskorena normalizatsiia vektoriv dlia formuvannia zobrazhen vysokopolihonalnykh stsen' ['Accelerated normalization of vectors for image formation of highly-polygonal scenes'], *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia*, (1), pp. 66–73.
4. Maxwell, W. (2021) *How many polygons should a game model have, CG Obsession*. Available at: <https://cgobsession.com/how-many-polygons-should-a-game-model-have/> (Accessed: 20 September 2023).
5. *How Many Polygons Can Unreal Engine Handle, OpenWorldLearning*. Available at: [https://www.openworldlearning.org/how-many-polygons-can-unreal-engine-handle/#google\\_vignette](https://www.openworldlearning.org/how-many-polygons-can-unreal-engine-handle/#google_vignette) (Accessed: 17 September 2023).
6. *Geometry, Android Developers*. Available at: <https://developer.android.com/games/optimize/geometry> (Accessed: 20 September 2023).
7. Gauthier, S. et al. (2017) 'Digitized 3D mesh segmentation based on curvature analysis', *Electronic Imaging*, 29(20), pp. 33–38. doi:10.2352/issn.2470-1173.2017.20.3dipm-005.



8. Jia, Y.-B. (2020) *Gaussian and Mean Curvatures, Faculty Website Directory*. Available at: <https://faculty.sites.iastate.edu/jia/files/inline-files/gaussian-curvature.pdf> (Accessed: 20 September 2023).
9. Vaillant, R. *Curvature of a triangle mesh, definition and computation, Rodolphe Vaillant's homepage*. Available at: <http://rodolphe-vaillant.fr/entry/33/curvature-of-a-triangle-mesh-definition-and-computation> (Accessed: 20 September 2023).
10. Romaniuk, O. (2008) 'Metod pryskorenoho zafarbovuvannia tryvymirnykh poverkhon z urakhuvanniam yikh lokalnoi kryvyzny' ['The method of accelerated coloring of three-dimensional surfaces taking into account their local curvature'], *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu*, (12), pp. 166–172.
11. *Polycounts in Next Gen Games Thread!*, *Polycount*. Available at: <https://web.archive.org/web/20211207155252/http://polycount.com/discussion/141061/polycounts-in-next-gen-games-thread> (Accessed: 20 September 2023).
12. 'Yes, but how many polygons?' *an artist blog entry with interesting numbers, Beyond3D Forum*. Available at: <https://forum.beyond3d.com/threads/yes-but-how-many-polygons-an-artist-blog-entry-with-interesting-numbers.39321/> (Accessed: 20 September 2023).
13. *Icosphere, 3D Warehouse*. Available at: <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/f9a3a35d8cbac5671d8475b23434c252/Icosphere?hl=en> (Accessed: 20 September 2023).
14. *Sample 3D Model: Suzanne, Wolfram Data Repository*. Available at: <https://datarepository.wolframcloud.com/resources/Sample-3D-Model-Suzanne/> (Accessed: 20 September 2023).
15. Johnson, D. *Utah Teapot, Utah Model Repository*. Available at: <https://users.cs.utah.edu/~dejohnso/models/teapot.html#:~:text=Utah%20Teapot&p;text=This%20format%20is%20readable%20by,and%20145%2C620%20triangles>. (Accessed: 20 September 2023).
16. *The Stanford 3D Scanning Repository, Computer Graphics at Stanford University*. Available at: <http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/> (Accessed: 20 September 2023).
17. Maxwell, W. (2021) *Does Unreal engines 5 nanite make poly count irrelevant, CG Obsession*. Available at: <https://cgobsession.com/does-unreal-engines-5-nanite-make-poly-count-irrelevant/> (Accessed: 20 September 2023).

**Анотація.** У статті проаналізовано особливості вибору рівня щільності полігональної моделі для тривимірної комп'ютерної гри. Описано поняття триангуляції, щільності полігональної сітки, рівня деталізації. Обґрунтовано актуальність налаштування щільності полігональної сітки об'єкта. Визначені основні типи ігрових об'єктів. Розглянуто залежність кількості трикутників поверхні об'єкта від положення, типу та кривизни фігури, цільового стилю, платформи та режиму гри, загального числа персонажів, наявності анімаційних трансформацій. Проаналізовано особливості обчислення кривизни точки тривимірної поверхні, вершини трикутника полігональної сітки, цілого трикутника. Описано метод визначення необхідності додаткової триангуляції трикутника на основі оцінки його загальної кривизни. Побудовано таблицю, що відображає типові розміри полігональних моделей у популярних тривимірних комп'ютерних іграх за останнє десятиріччя. Описано особливості програмних інструментів для автоматизації вибору рівня деталізації фігури.



**Ключові слова:** триангуляція, кривизна фігури, рівень деталізації, щільність полігональної моделі.

Article sent:2023.

© Zavalniuk Ye. K., Romanyuk O. N., Kotlyk S. V., Stakhov O. Ya.



УДК 004-049.5

## INFORMATION TECHNOLOGY OF SECURE ACCESS TO DNS RESOURCES BASED ON ML-TRAINED TRAFFIC IDENTIFICATION MODELS

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ БЕЗПЕЧНОГО ДОСТУПУ ДО РЕСУРСІВ DNS НА  
БАЗІ ML-ТРЕНОВАНИХ МОДЕЛЕЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТРАФІКУ

Fedchuk T.B. / Федчук Т.Б.

aspirant / postgraduate

ORCID: 0009-0003-5996-6467

Korobeinikova T.I. / Коробейнікова Т.І.

s.t.s., doc. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2487-8742

Lviv Polytechnic National University, S. Bandera St. 12, Lviv, 79013

Національний університет «Львівська Політехніка», Львів, Бандери, 12, 79013

**Анотація.** Система доменних імен (DNS) займається перетворенням IP-адреси сервера в доменне ім'я, що дає можливість кінцевому користувачу отримувати доступ до ресурсу, не запам'ятовуючи його IP-адреси. Даний протокол є основою сучасного інтернету, проте всі повідомлення між клієнтом та сервером проходять по незахищеному каналу зв'язку, що робить його вразливим до різного роду атак (Spoofing, Eavesdropping, Phishing та інших). Щоб подолати цю проблему – розробили новий протокол DNS over HTTPS (DoH), що здатний шифрувати DNS трафік між клієнтом та сервером. В даній статті будуть описані засоби дослідження виявлення, аналізу та розпізнавання шкідливого DNS-трафіку на основі аналізаторів трафіку та методу машинного навчання. Будуть запропоновані комплексні методи та подані порівняльні характеристики вже досліджених моделей виявлення DoH-трафіку. Для максимально-ефективних параметрів: Accuracy, Precision, Sensitivity, F Score, Specificity та мінімальній затримці сигналу буде використаний гібридний метод дослідження шкідливого DNS-трафіку, що базується на комбінованому застосуванні аналізаторів трафіку, машинного навчання та людського досвіду для отримання статистичних даних.

**Ключові слова:** Класифікатори трафіку, Система доменних імен, DoH, дерево Adaboost, Домен верхнього рівня, RF.

### Вступ.

Стрімкий розвиток сучасного інтернету, в тому числі, великий обсяг веб-сайтів, дозволяє усвідомити яку важливу роль відіграє ієрархічна система доменних імен DNS в інформаційному просторі. Протокол DNS по суті перетворює доменні імена в IP адреси, що дозволяє браузерам завантажувати та використовувати ресурси інтернету. Незважаючи на свою незамінність, DNS є вразливим до різного роду атак (Spoofing, Eavesdropping, Phishing), якими зловмисники постійно зловживають. Тому доставка безпечного DNS-трафіку набуває високого значення, оскільки зловмисники використовують передові підходи та швидкі методи для перехоплення, прослуховування та крадіжки інформації [1], [2].

Для подолання вразливостей DNS – використовується протокол DNS over HTTPS (DoH). Для підвищення безпеки протоколу DNS – було введено метод шифрування трафіку і його передачі через прихований канал мережі. Для ефективного дослідження, виявлення та аналізу зловмисного DoH-трафіку – є актуальними методи машинного навчання. [1], [2].



За проведеними дослідженнями Qasem Abu Al-Haija, Manar Alohalay, Ammar Odeh, які представили двоступеневу схему виявлення зловмисного трафіку DoH за допомогою гібридного підходу до навчання і запропонували двошарову систему. На першому рівні трафік досліджувався за допомогою випадкових тонких дерев (RF) та ідентифікується як трафік DoH або не DoH. На другому рівні трафік DoH додатково досліджується за допомогою дерева Adaboost(ADT) і визначені як незагрозливий DoH або шкідливий DoH. Зокрема, запропонована система працює з найменшою кількістю функцій, вибрані за допомогою аналізу головних компонентів, які мінімізують кількість зразків, отримані з використанням підходу випадкової недостатньої вибірки. Експериментальна оцінка повідомила, що високопродуктивна система з точністю прогнозування 99,4% і 100% і передбачуваними накладними витратами 0,83 с і 2,27 с для першого і другого шару відповідно. Що наглядно доводить ефективність машинного навчання у дослідженні DoH-трафіку [1].

Наукова публікація присвячена подальшому розвитку і дослідженню технології DNS із використанням протоколів шифрування та ідентифікації й аналізу шкідливого трафіку, на основі алгоритмів машинного навчання.

Метою даної роботи є підвищення ефективності виявлення та розпізнавання шкідливого DNS-трафіку, на базі алгоритмів машинного навчання для забезпечення безпеки та конфіденційності даних в межах клієнт-серверних сесій.

Таким чином, з'являється можливість досягти більш ефективного методу виявлення та розпізнавання шкідливого DoH-трафіку. Для цього планується розробити комплексну систему ефективності ідентифікації DNS-трафіку із використанням протоколів шифрування на основі алгоритмів машинного навчання.

## **1 Технічні деталі в галузі безпечного доступу до ресурсів DNS.**

**Сервіс DNS.** Кожний хост в інтернеті має унікальну IP-адресу, яка дозволяє користувачам підключатися та спілкуватися з ним. На початку існування мережі інтернет – користувачі могли отримати доступ лише до веб-сервера використовуючи IP-адресу сервера. Наприклад, щоб відвідати веб-сайт Google, користувач повинен ввести IP-адресу сервера, 142.251.208.142, замість [www.google.com](http://www.google.com).

Пізніше, у 1980-х роках, кількість інтернет-хостів зросла до сотень тисяч. У результаті це стало непрактичним запам'ятовувати та підтримувати IP-адресу кожного окремого хоста в цій мережі [3]. Paul Mockapetris вирішив цю проблему, представивши систему доменних імен (DNS). Ця система розпізнавання імен перетворює ім'я хоста на його IP-адресу [4].

Як спочатку було розроблено, DNS має ієрархічну деревоподібну структуру, що складається з трьох рівнів: кореневого рівня, верхнього рівня рівень домену (TLD) і авторитетний рівень [4]. Процес зіставлення імені з IP-адресою починається, коли інтернет-клієнти, такі як веб-браузери, ініціюють запит DNS і надсилають його до резолвера [4]. Резолвер передає запит через різні сервери для пошуку відповідної IP-адреси та надсилає її назад клієнту, як показано на рисунку 1.



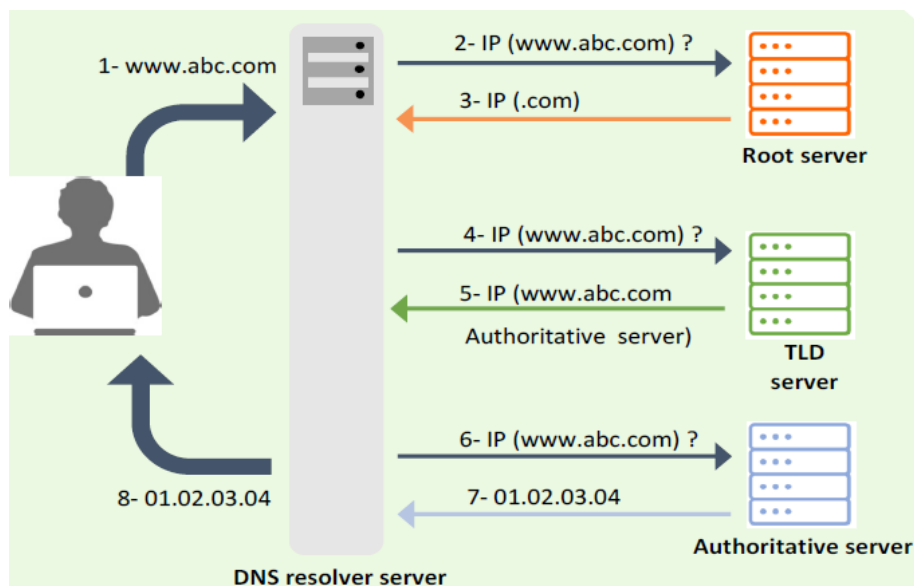


Рисунок 1 – Схема функціонування DNS

Джерело: [1]

**1.1 Вразливості сервісу DNS.** Трафік DNS не зашифрований. Така комунікація між клієнтом та сервером у відкритому вигляді дозволяє зловмисникам здійснювати атаки на передані пакети DNS [5]. Відповідно до рапорту IDC DNS – у звіті опитування понад 88% організацій зазнали атаки на основі DNS протягом 2022 року, в середньому сім атак на організацію. У звіті також виявлено, що DNS фішинг, hijacking/spoofing DNS, malware зі спрямуванням на DNS та DoS/DDoS-атаки були найпоширенішими атаками на основі DNS. В результаті організації втратили в середньому 942 тис. доларів за атаку [6].

**1.2 Протоколи DNS, DoT та DoH.** Шифрування трафіку DNS запобігає зловмисникам від перехоплення зв'язування між кінцевим користувачем і DNS-резолвером. Щоб покращити безпеку DNS, дослідники запропонували два протоколи: DNS over TLS і DNS over HTTPS, DoT і DoH відповідно [7,8]. DNS over TLS (DoT) – це протокол безпеки, який інкапсулює DNS-запит і відповідь у стандартний пакет безпеки транспортного рівня (TLS). Використання DoT, веб-клієнта ініціює сеанс TLS із резолвером, перевіряє його сертифікати публічного ключа та обчислює секретний ключ. Після встановлення сеансу відбувається обмін зашифрованим трафіком DNS між обома сторонами через окремий порт (853) [7].

Подібним чином DNS over HTTPS (DoH) шифрує трафік DNS для збереження конфіденційності і цілісності DNS-з'єднання. На відміну від DoT, DoH, який є новішим, не передає DNS-дані з трафіком TLS, але передає дані за допомогою повідомлень HTTPS. Ці HTTPS-повідомлення надсилаються через порт tsp/443, як типовий трафік HTTPS [8].

За допомогою протоколу DoT виділений порт підтримує традиційну фільтрацію на основі портів. Це дозволяє мережевим адміністраторам контролювати та блокувати DNS-трафік для захисту мережі від зловмисників, зберігаючи при цьому конфіденційність зв'язку DNS. Проте він має недолік – відкриває виділений порт для зловмисників.



Таким чином, зловмисник може атакувати виділений порт (853) великим обсягом трафіку, щоб зупинити роботу DoT. З іншого боку, прийняття протоколу DoH, який інкапсулює DNS трафік у запитах HTTPS, робить DNS-з'єднання менш видимим для традиційних засобів фільтрації на основі портів. Відсутність видимості в мережі свідчить про те, що атаки можуть залишитися непоміченими. Зловмисники можуть використовувати протокол DoH для створення прихованих каналів із зовнішніми командно-контрольними серверами, для викрадання даних тощо [9].

**1.3 Розвиток протоколів безпечного доступу до ресурсів доменних структур.** IETF прийняв протокол DoH як документ RFC (RFC 8484 [10]) у 2018 р. Наразі існує дві суттєво відмінні реалізації. RFC 8484 використовує класичний DNS “Wireformat” [11] інкапсульований у протоколі HTTPS. Повідомлення також передаються за допомогою запитів HTTP GET або POST. Інший підхід використовує DNS-повідомлення, закодовані в описаному форматі JSON у RFC 8427 [12]. Потім дані JSON передаються через HTTPS GET. Наразі більшість DNS провайдерів (близько 90%) підтримують «Wireformat», HTTPS GET або POST версія [13]. DoH на основі JSON підтримується навколо 30% провайдерів DNS [14]. На практиці всі браузерери з підтримкою DoH і більшість інших, орієнтованих на продуктивність клієнтів DoH використовують повідомлення Wireformat, сумісні з RFC 8484 разом із методом HTTPS POST.

Підхід JSON також має свої переваги. Основна причина для закодування DNS-запиту у JSON є підвищення читабельності і легке маніпулювання даними на основі текстових повідомлень. За спостереженнями дослідників Karel Hrynek, Dmytro Vekshin, Jan Luxemburk, Tomas Cejka, Armin Wasicek – JSON використовується переважно для одного запиту додатками, де продуктивність і короткий час відповіді не є пріоритетом [2].

Затримка протоколу DNS безпосередньо впливає на продуктивність мережеских програм [15]. Тому багато дослідників вимірювали наслідки розгортання DoH щодо продуктивності. Ці дослідження підсумовані в таблиці 1. Налаштування – дані вимірювання та їх походження, результати – основні висновки вимірювання щодо впливу DoH на продуктивність порівняно з традиційним DNS.

Одне з перших вимірювань затримки DoH було опубліковано McManus [16] з Mozilla у 2018 році, показуючи, що середня затримка програм, спричинена DoH, становить лише 6 мс. Наступне дослідження, проведене Böttger et al. [17] зосереджено на перевиконанні DoH порівняно з традиційним DNS. Їх результати показують, що DoH додає значну затримку, коли з'єднання використовується для одного запиту. Однак, коли підключення DoH повторно використовується для кількох запитів, додаткова затримка незначна. Інше дослідження, проведене Hounsell et al. [18] показує, що затримка DoH і надійність сильно залежать від вибраного резолвера.

Це також підтверджено Jerabek et al. [19], які вивчали поведінку розпізнавача DoH і розподіл розмірів пакетів DoH залежно від використовуваних резолверів. Згідно з їх результатами, деякі резолвери DoH використовують довгі заголовки HTTP, що призводить до більших пакетів і, отже, до більших



накладних витрат.

**Таблиця 1 – Порівняння досліджень, пов'язаних з продуктивністю DoH.  
Вимірювання.**

| Автор                | Рік  | Параметри вимірювання                               | Результати                                                            |
|----------------------|------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| MСManus [18]         | 2018 | Користувачі Firefox                                 | Незначний вплив, додана затримка 6 мс                                 |
| Böttger et al. [19]  | 2019 | Один клієнт                                         | Незначний вплив на затримку під час повторного використання з'єднання |
| Borgolte et al. [16] | 2019 | Самоемульовані мережеві умови                       | Вибірковий вплив, в залежності від умов мережі                        |
| Hounsel et al. [23]  | 2020 | Самоемульовані мережеві умови                       | Вибірковий вплив, в залежності від умов мережі                        |
| Hounsel et al. [20]  | 2021 | Згенеровано через кінцеві точки по всій Пн. Америці | Вибірковий вплив, залежно від використовуваного резолвера DoH         |
| Chhabra et al. [22]  | 2021 | Глобальні вимірювання серед 224 країн               | Вибірковий вплив, залежно від умов мережі                             |
| Mbewe et al. [24]    | 2021 | Згенеровано через кінцеві точки по всій Африці      | Вибірковий вплив, залежно від умов мережі                             |
| Jerabek et al. [21]  | 2022 | Згенеровані, одна локація                           | Вибірковий вплив, залежно від використовуваного резолвера DoH         |

Джерело: [2]

Більш детальне дослідження було виконано Chhabra et al. [20]. Їх результати показують, що користувачі з країн із високим рівнем доходу та якіснішою інтернет-інфраструктурою мають меншу ймовірність сповільнити продуктивність, спричинену DoH, що призведе до непропорційного впливу на користувачів із країн із меншою економічною спроможністю. Їх висновки також підтверджуються дослідженнями, проведеними Hounsel et al. [21], Borgolte та ін. [16] і Mbewe et al. [22], які показують, що DoH має незначний вплив при малих мережевих затримках. Згідно [16], [23], [22], традиційний DNS значно перевершує DoH при роботі з перевантаженими або мобільними мережами 3G.

Станом на 2023 рік – DoH підтримується (й іноді вмикається за замовчуванням) більшістю сучасних веб-браузерів, таких як Chrome (з версії 838), Edge, Firefox, Opera та Brave. Існують також рідні резолвери з підтримкою DoH у Microsoft Windows [23] і сучасних дистрибутивах GNU/Linux (наприклад, через systemresolved). DoH підтримується основним програмним забезпеченням сервера доменних імен, таким як BIND (з версії 9.17.10), KNOT resolver (з версії 5.2.0) і Unbound (з версії 1.12.0). Існує проксі-сервер DoH від Cloudflare під назвою cloudflared. Відомо щонайменше вісім клієнтських реалізацій DoH і щонайменше шість серверних реалізацій і перераховані на dnsCrypt.info9.



За цей період часу також було проведено багато досліджень по інтенсивності використання трафіку DoH і з'явилося багато наукових публікацій, проте все ще є теми для дослідження.

## **2 Методи та засоби аналізу та виявлення шкідливого трафіку.**

**2.1 Методи машинного навчання.** DoH трафік – це трафік DNS, що інкапсулюється в протокол HTTPS. Таким чином DNS шифрується сертифікатом SSL й ідентифікувати чи це зловмисний трафік чи не шкідливий – складніше. Щоб виявити зловмисний трафік DoH, системі може знадобитися впровадження спеціальних інструментів і методів, таких як глибока перевірка пакетів [27,28] аналіз поведінки [29,30] або алгоритми машинного навчання [31,32].

Ефективніше використовувати метод гібридного навчання, який поєднує алгоритми машинного навчання з людським досвідом для точного виявлення та класифікації шкідливого трафіку. Гібридний метод навчання може точно виявляти та класифікувати зловмисний трафік DoH шляхом поєднання алгоритмів машинного навчання з досвідом людини. Однак важливо зазначити, що цей підхід вимагає значних даних і досвіду для ефективного впровадження.

Rawat, R. Shedbalkar, K. Moharir, M. Deepamala, N. Kumar, P.R. Tanmayananda використовували п'ять класів із масивного збору даних кібербезпеки CIRA-CIC-DoHBrw-2020 із сайту UNB як предмет дослідження: RNN, RFC, DTC, LSTM і GRU. Вони також використовували GBC, KNC і XGBoost. Точність, MAE, MSE, класифікаційні таблиці та матриці були додатковими показниками оцінки.

CIRA-CIC-DoHBrw-2020 передбачає дії з підготовки та попередньої обробки даних для налаштування даних для процесу навчання. У цьому дослідженні набір даних використовувався для оцінки запропонованої моделі ідентифікації зловмисного DNS через трафік HTTPS (DoH) за допомогою моделей навчання під наглядом. Набір даних CIRA-CIC-DoHBrw-2020 спочатку складався з двох наборів даних: (1) набір даних першого рівня, який використовується для класифікації трафіку DNS на DoH або не-DoH і складається з 269 643 зразків для трафіку DoH і 897 494 зразків для не-DoH Трафік DoH. (2) набори даних другого рівня, які використовуються для класифікації.

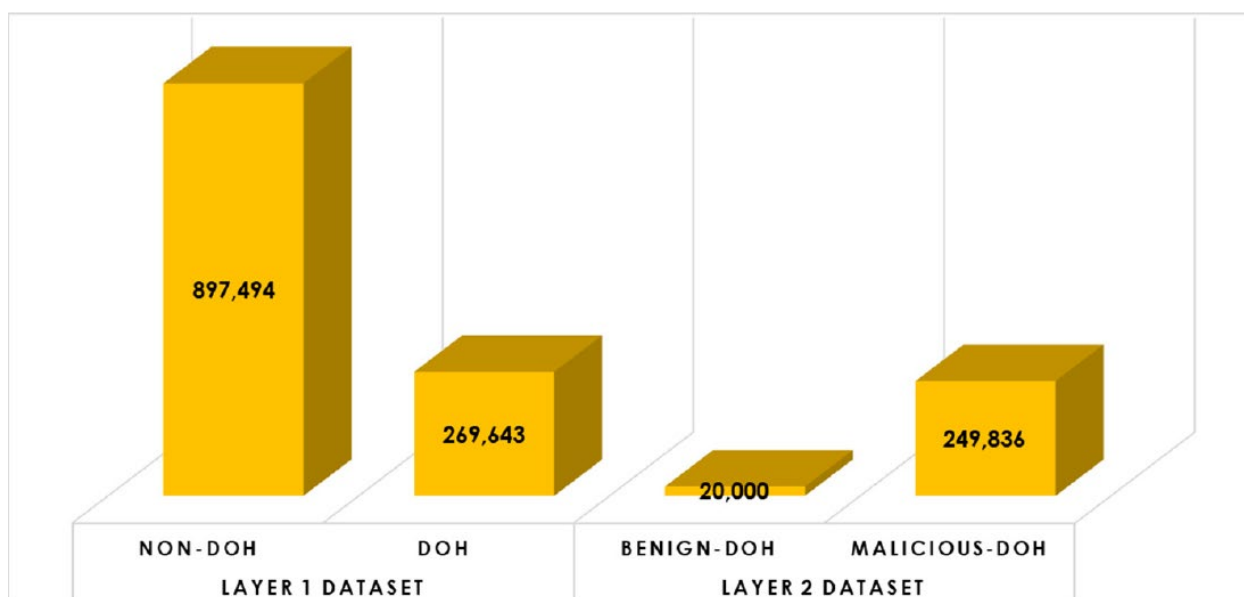
Безпечний трафік DoH або шкідливий і складається з 20 000 зразків для безпечного трафіку DoH і 249 836 зразків для зловмисного трафіку DoH. На рисунку 2 показано розподіл гістограми для набору даних CIRA-CIC-DoHBrw-2020.

Дослідження показують, що класифікатори XGBC і RFC працюють найкраще в цьому зборі даних. Хоча S. Alrayes, F. Maray, M. Gaddah, A. Yafoz, A. Alsini, R. Alghushairy, O. Mohsen, H. Motwakel, мали на меті класифікувати різні технології тунелювання DNS для запуску шкідливого трафіку DoH, недостатня різноманітність даних створює обмеження.

Behnke, M. Briner, N. Cullen, D. Schwerdtfeger, K. Warren, J. Basnet, R. Doleck, зменшили непотрібний шум, реалізували методи вибору функцій і запропонували зрозумілі функції, демонструючи більш точну та ефективну ідентифікацію шахрайського трафіку DoH. Ця робота спрямована на розвиток



попередніх досліджень і створення більш придатної моделі для практичного застосування шляхом усунення шуму, застосування методів вибору ознак і підкреслення можливості пояснення функцій. Результати показують, що LGBM показала найвищу точність часу навчання.



**Рисунок 2 – Загальний набір даних CIRA-CIC-DoHBrw-2020**

Джерело: [1]

Точна ідентифікація DoH є предметом [26] обговорення потенціалу аналізу зашифрованого трафіку. Мета полягає в тому, щоб оцінити, чи може машинне навчання витягувати будь-яку інформацію з розширених HTTPS-даних трафіку IP. Щоб визначити найкращі класифікатори DoH, можна дослідити п'ять широко використовуваних методів машинного навчання. Результати досліджень свідчать про те, що точність і розпізнавання DoH повинна становити понад 99,9%. Крім того, оскільки автори виявили (використовуючи створені набори даних) значні відмінності в поведінці Firefox, Chrome і Cloudflare, можна ідентифікувати програму, яка використовується для зв'язку DoH. З точністю 99,9% навчений класифікатор може ідентифікувати клієнтів. DoH. Deccio, C. Davis зосередилися на визначенні небезпеки використання протоколу DoH, окреслили підходи для виявлення трафіку DoH і запропонували підхід нейронної мережі для перегляду трафіку DoH. Вони використовували набір даних, отриманих з периферійних маршрутизаторів через IPFIX/NETFLOW, і досягнута точність передбачення становила 80% для ненормалізованих даних і більше 95% для очищених і нормалізованих даних. Casanova, L.F.G. Lin, P.-C. використали шість методів машинного навчання, щоб запропонувати систематику дворівневого методу ідентифікації трафіку DoH з відокремленням безпечного трафіку DoH від шкідливого. Ефективність запропонованого підходу оцінювали за точності, прецизійності, запам'ятовування, F-оцінки, матриць, криві ROC та значущі ознаки. Висновки показали, що алгоритми LGBM і XGBoost перевершують конкурентів. Практично за всіма параметрами класифікації, досягаючи





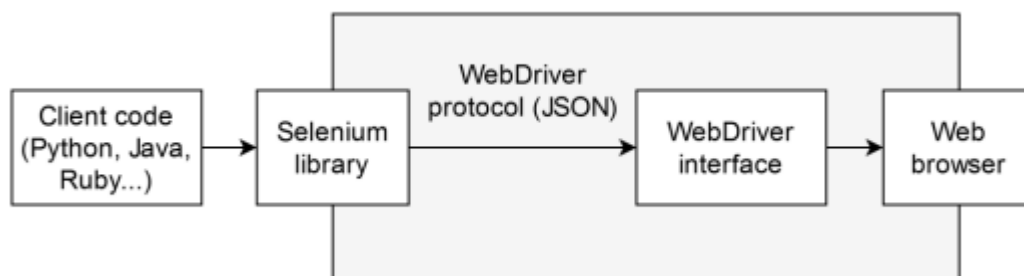
максимальної точності 100% у тестах класифікації першого та другого рівня. З 34 характеристик, взятих із набору даних CIRA-CIC-DoHBrw-2020, було виявлено, що вихідний ІР. є найважливішою характеристикою для відокремлення трафіку DoH від трафіку, що не є DoH, на першому рівні, потім IP-адреса призначення. На відміну від цього, лише IP-адреса призначення є ключовим компонентом для LGBM і алгоритмів посилення градієнта, щоб розрізняти безпечний і зловмисний трафік DoH на другому рівні.

З вищедосліджених ML-моделей можна спостерігати різну ефективність від досліджень, проте забезпечення контрольованого навчання та використання досвіду фахівця нададуть моделі вищої точності і кращих показників при дослідженні, що за умови підбору правильної моделі – в кінцевому виконанні принесе показник, наближений до 100%.

**2.2 Аналізатори трафіку.** Для визначення виду трафіку та дослідження його закономірностей – використовують аналізатори трафіку. Вони здатні відслідковувати, фіксувати та записувати події, на основі чого в подальшому можна здійснити аналіз результатів.

Найбільш доступним і адекватним способом отримання веб-трафіку, подібного до користувача, є використання браузера. Можна використати бібліотеку Selenium [32] для автоматизації веб-браузера з підтримкою DNS over HTTPS, Mozilla Firefox. Selenium – це популярна бібліотека, доступна кількома мовами програмування, яка дозволяє контролювати та автоматизувати веб-браузери. Він діє як інтерфейс між користувачем і бінарним виконуваним файлом, який називається WebDriver [32], приховуючи внутрішню роботу певної реалізації браузера через стандартизований інтерфейс (рис. 3).

Після готовності браузера до запуску, необхідно захопити трафік. Для цього використовується утиліта tcpdump(при роботі з Windows OS чи Mac – може бути використаний аналізатор трафіку Wireshark) [32] із фільтром захоплення, оскільки необхідно зосередитись на трафіку, спрямованому на порт 443. Варто зауважити, що, оскільки трафік можна фільтрувати за допомогою простого фільтра захоплення, навіть у реальному сценарії немає необхідності вводити надлишковий трафік. Вихідний файл має формат PCAP, який можна аналізувати іншими інструментами, наприклад Wireshark.



**Рисунок 3 – Схема отримання веб-трафіку за допомогою бібліотеки Selenium**

Джерело: [32]

Після обробки трасування мережі кожне підключення береться як зразок і позначається відповідно до IP-адреси призначення. Кожен зразок може мати



одну з двох міток: DNS over HTTPS (IP-адреса призначення резолвера Cloudflare) або HTTP (будь-яка інша адреса призначення).

Звідси можна зробити висновок, що комплексні інструменти для захоплення мережевого трафіку можуть надати більш вичерпний аналіз даних, необхідний для подальшого дослідження та його класифікації.

### **Висновки.**

Відносно новий протокол DNS over HTTPS зарекомендував себе як такий, що забезпечує захист та конфіденційність даних в межах сесій DNS між клієнтом та сервером. Разом з цим – виникає проблема в замаскуванні шкідливого трафіку чи перенаправленні його з метою приховування істинних мотивів.

Інструменти, що аналізують та захоплюють трафік здатні виконати великий обсяг первинної роботи і здійснити розподіл трафіку на шкідливий і безпечний, а також передати необхідні результати, за якими можна створити графіки залежності.

За допомогою машинного навчання із підбором необхідної моделі та використанням класифікатора для ідентифікації типу трафіку, а також розробкою методу контрольованого навчання для блокування шкідливого трафіку – реалізований механізм, який ще не був якісно досліджений та стане в нагоді для майбутніх науковців, інженерів, фахівців з інформаційної безпеки та кінцевих користувачів. Аналіз точності механізму показує 99.4% для ідентифікації DoH та не DoH трафіку а також 100% для визначення шкідливого DoH трафіку.

### **Література.**

1. Qasem Abu Al-Haija, Manar Alohalay, Ammar Odeh, “A Lightweight Double-Stage Scheme to Identify Malicious DNS over HTTPS Traffic Using a Hybrid Learning Approach”.
2. Hynek, K.; Vekshin, D.; Luxemburk J.; Cejka, T.; Wasicek, A.; “Summary of DNS over HTTPS Abuse”.
3. Jose, G.-L.; Mary, K.S.; Carol, A.W. Internet Protocol Handbook. In The Domain Name System (DNS) Handbook; DTIC: Fort Belvoir, VA, USA, 1989; Volume 4.
4. Paul, M. Domain Names–Implementation and Specification; Internet Engineering Task Force; ISI: Marina del Rey, CA, USA, 1987.
5. Usman Aijaz, N.; Misbahuddin, M.; Raziuddin, S. Survey on DNS-Specific Security Issues and Solution Approaches. In Data Science and Security; Jat, D.S., Shukla, S., Unal, A., Mishra, D.K., Eds.; Lecture Notes in Networks and Systems; Springer: Singapore, 2021; Volume 132, pp. 79–89, ISBN 9789811553080.
6. Romain, F. DNS Security for Business Continuity and Resilience; IDC: Needham, MA, USA, 2022.
7. Hu, Z.; Zhu, L.; Heidemann, J.; Mankin, A.; Wessels, D.; Hoffman, P.E. Specification for DNS over Transport Layer Security (TLS); Internet Engineering Task Force: Fremont, CA, USA, 2016.
8. Hoffman, P.E.; McManus, P. DNS Queries over HTTPS (DoH); Internet Engineering Task Force: Fremont, CA, USA, 2018.



9. Albulayhi, K.; Smadi, A.A.; Sheldon, F.T.; Abercrombie, R.K. IoT Intrusion Detection Taxonomy, Reference Architecture, and Analyses. *Sensors* 2021, 21, 6432. [CrossRef] [PubMed]
10. P. E. Hoffman and P. McManus, “DNS Queries over HTTPS (DoH),” RFC 8484, Tech. Rep. 8484, Oct. 2018.
11. P. Mockapetris, “Domain names –implementation and specification,” RFC 1035 (Internet Standard), RFC Editor, pp. 1–55. [Online]. Available: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1035.txt>
12. E. Brumaghin and C. Grady, “Covert channels and poor decisions: The tale of dnsmessenger,” Mar 2017. [Online]. Available: <https://blog:talosintelligence.com/2017/03/dnsmessenger.html>
13. C. Cimpanu, “Here’s how to enable DoH in each browser, ISPs be damned,” Dec 2020, <https://www.zdnet.com/article/dns-over-https-willeventually-roll-out-in-all-major-browsers-despite-isp-opposition/>.
14. S. García, K. Hynek, D. Vekshin, T. Cejka, and A. Wasicek, “Large scale measurement on the adoption of encrypted DNS,” CoRR, vol. abs/2107.04436, 2021. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2107:04436>
15. K. Hynek and T. Cejka, “Privacy Illusion: Beware of Unpadded DoH,” in 2020 11th IEEE Information Technology, Electronic and Mobile Communication conference (IEMCON), 2020.
16. K. Borgolte, T. Chattopadhyay, N. Feamster, M. Kshirsagar, J. Holland, A. Hounsel, and P. Schmitt, “How DNS over HTTPS is Reshaping Privacy, Performance, and Policy in the Internet Ecosystem,” Performance, and Policy in the Internet Ecosystem (July 27, 2019), 2019.
17. I. N. Bozkurt, A. Aguirre, B. Chandrasekaran, P. B. Godfrey, G. Laughlin, B. Maggs, and A. Singla, “Why is the internet so slow?!” in Passive and Active Measurement, M. A. Kaafar, S. Uhlig, and J. Amann, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 173–187.
18. P. McManus, Aug 2018. [Online]. Available: <https://blog:nightly.mozilla.org/2018/08/28/firefox-nightly-securedns-experimental-results/>
19. T. Böttger, F. Cuadrado, G. Antichi, E. L. a. Fernandes, G. Tyson, I. Castro, and S. Uhlig, “An Empirical Study of the Cost of DNS-over-HTTPS,” in Proceedings of the Internet Measurement Conference, ser. IMC ’19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019, p.15–21. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3355369:3355575>
20. A. Hounsel, P. Schmitt, K. Borgolte, and N. Feamster, “Can Encrypted DNS Be Fast?” in Passive and Active Measurement, O. Hohlfeld, A. Lutu, and D. Levin, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 444–459.
21. K. Jerabek, O. Rysavy, and I. Burgetova, “Measurement and characterization of DNS over HTTPS traffic,” 2022. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2204.03975>
22. R. Chhabra, P. Murley, D. Kumar, M. Bailey, and G. Wang, “Measuring DNS-over-HTTPS Performance around the World,” in Proceedings of the 21st ACM Internet Measurement Conference, ser. IMC ’21. New York, NY, USA: Association



for Computing Machinery, 2021, p. 351–365. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3487552:3487849>

23. A. Hounsel, K. Borgolte, P. Schmitt, J. Holland, and N. Feamster, Comparing the Effects of DNS, DoT, and DoH on Web Performance. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020, p. 562–572. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3366423:3380139>

24. E. S. Mbewe and J. Chavula, “On QoE Impact of DoH and DoT in Africa: Why a User’s DNS Choice Matters,” in Towards new e-Infrastructure and e-Services for Developing Countries, R. Zitouni, A. Phokeer, J. Chavula, A. Elmokashfi, A. Gueye, and N. Benamar, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 289–304.

25. T. Jensen, “Windows Insiders can now test DNS over HTTPS,” May 2020. [Online]. Available: <https://techcommunity.microsoft.com/t5/networkingblog/windows-insiders-can-now-test-dns-over-https/ba-p/1381282>

26. Vekshin, D.; Hynek, K.; Cejka, T. Doh insight: Detecting dns over https by machine learning. In Proceedings of the 15th International Conference on Availability, Reliability and Security, Virtual Event, 25–28 August 2020; pp. 1–8.

27. Rawat, R.; Shedbalkar, K.; Moharir, M.; Deepamala, N.; Kumar, P.R.; Tanmayananda, M. Analysis and detection of malicious activity on doh traffic. In Proceedings of the 2021 2nd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT), Bangalore, India, 1–3 October 2021; pp. 1–5.

28. Parra, G.D.L.T.; Rad, P.; Choo, K.-K.R. Implementation of deep packet inspection in smart grids and industrial Internet of Things: Challenges and opportunities. J. Netw. Comput. Appl. 2019, 135, 32–46. [CrossRef]

29. Naz, N.; Khan, M.A.; Alsuhibany, S.A.; Diyan, M.; Tan, Z.; Khan, M.A.; Ahmad, J. Ensemble learning-based IDS for sensors telemetry data in IoT networks. Math. Biosci. Eng. 2022, 19, 10550–10580. [CrossRef]

30. Fisher, W.W.; Piazza, C.C.; Roane, H.S. Handbook of Applied Behavior Analysis; Guilford Publications: New York, NY, USA, 2021.

31. Behnke, M.; Briner, N.; Cullen, D.; Schwerdtfeger, K.; Warren, J.; Basnet, R.; Doleck, T. Feature Engineering and Machine Learning Model Comparison for Malicious Activity Detection in the DNS-Over-HTTPS Protocol. IEEE Access 2021, 9, 129902–129916. [CrossRef]

32. DNS Over HTTPS Traffic Analysis and Detection. Carlos López Romera, Carlos Hernández Gañán, Víctor García Font 2nd June, 2020.

**Abstract:** Domain Name System has a great role in accessing Internet resources, providing granularity, hierarchy and consistency.

This protocol is an integral part of the information space, which cannot be replaced, but due to its peculiarity, which was developed back in the 1980s, it contains a number of vulnerabilities that are easily used by criminals.

The introduction of the new DNS over HTTPS protocol eliminates the threats inherent in traditional DNS, ensuring data encryption and privacy within client-server connections, but creates an additional traffic load that can be felt with limited 3G/LTE network connectivity.

The development of significantly new models for the study and analysis of DoH traffic with the provision of high performance indicators can provide network engineers and specialists in the field of computer network protection with qualitative knowledge necessary for management, monitoring



and protection of the information space.

Tools that analyze and capture traffic are able to perform a large amount of initial work and perform the classification of traffic into malicious and safe, as well as transmit the necessary results that can be used to create dependency graphs. These include Tcpdump, Wireshark using the necessary filters (by port or by protocol) to capture DoH traffic, the Selenium library for automating the collecting of logs in a web browser controlled by one of the Python, Java or Ruby programming languages.

Using machine learning with model matching, the first step uses a random spanning tree (RF) method to identify traffic as DoH or non-DoH, the second step analyzes malicious and benign DoH traffic, giving us an accuracy score of 99.4% and 100% respectively. The use of the classifier itself to identify the type of traffic, as well as the development of a supervised learning method, is the basis for configuring the blocking of malicious traffic. The implementation of this mechanism has not yet been qualitatively researched and it will be useful for future scientists, engineers, information security specialists and end users.

**Key words:** Traffic classifier, Domain Name System, DNS over HTTPS, ADT, Top Level Domain, RF.

Науковий керівник: к.т.н., доц. Коробейнікова Т.І.

Стаття надіслана: 14.09.2023 р.

© Федчук Т.Б.





UDC 004.056.53:[004.7:004.032.26]

**INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING NEUROFUZZY  
NETWORK TO DETERMINE THE EXTENT OF DoS ATTACK  
ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОНЕЧІТКОЇ МЕРЕЖІ  
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ЗДІЙСНЕННЯ DoS АТАКИ**

**Pakhomova Victoria / Пахомова Вікторія***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-0022-099X

**Kovalov Rodion / Ковальов Родіон***second degree holder / здобувач другого ступеня*

ORCID: 0009-0005-3780-8550

Ukrainian State University of Science and Technology,

Dnipro, Lazaryan, 2, 49010

Український державний університет науки і технологій,  
Дніпро, Лазаряна, 2, 49010

**Abstract.** As a research method, ANFIS configurations 4-5-8-16-16-1 were used, where 4 is the number of input neurons; 5 – total number of layers; 8 – the number of neurons of the first hidden layer; 16 – the number of neurons of the second hidden layer; 16 – the number of neurons of the third hidden layer; 1 – the number of resultant neurons created using the Fuzzy Logic Toolbox of the MatLAB system, the resulting characteristic is the degree of confidence that the DoS attack occurred at the following terms: low; medium; high. Using the open database of NSL-KDD network traffic parameters on the created ANFIS, a study of its error at different affiliation functions on samples of different lengths was carried out using different methods of training optimization. It is determined that the smallest value of the ANFIS error was based on the use of the multiparameter Bell function by the Hybrid learning optimization method, and it is enough to have a training sample of 70 examples.

**Keywords:** DoS attack, traffic, NSL-KDD, ANFIS, Bell function, error.

## **Introduction**

**Formulation of the problem.** The creation of an effective network attack detection system requires the use of qualitatively new approaches to information processing, which should be based on adaptive algorithms capable of self-learning. The most promising direction in the creation of similar network attack detection systems is the use of neural network technology.

**Analysis of the latest research.** A review of scientific sources [1-3, 6-8] showed that the following neural networks can be used to detect DoS attacks: Multi Layer Perceptron (MLP); Kohonen network or Self-Organizing Map (SOM); Radial Basis Function network (RBF); Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS). In addition, none of the methods provides a complete guarantee of detection of DoS attacks, while different neural networks detect different network classes of attacks in different ways.

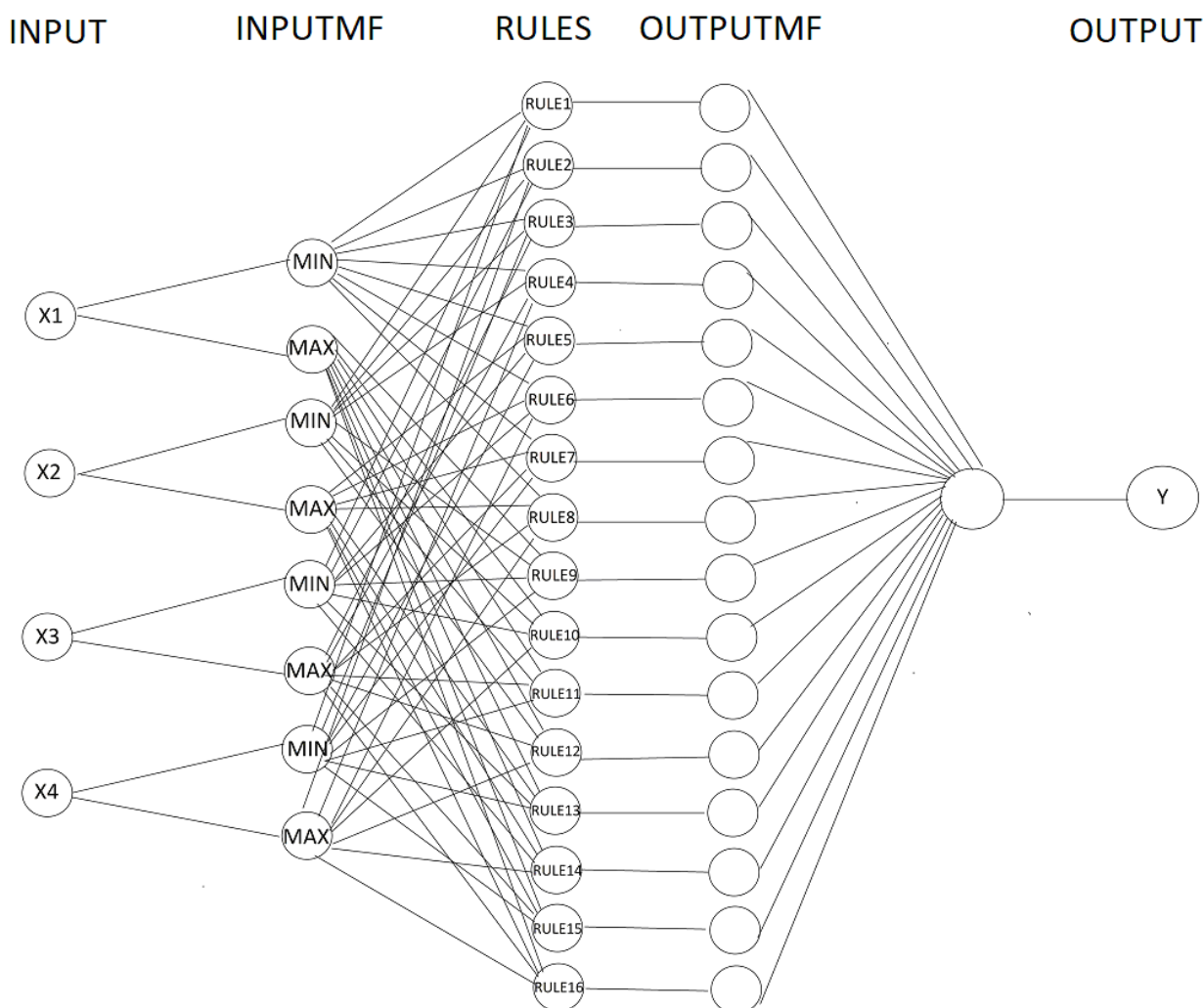
**The purpose of the article** is development of a methodology for determining the degree of DoS attack using neurofuzzy technology. In accordance with the goal, the following tasks are set: creation of a neurofuzzy network; determination of optimal parameters on the created neurofuzzy network.

## **1. Statement of the problem and mathematical apparatus**

The category of DoS (Denial of Service) attacks includes a wide range of methods



that are aimed at ensuring that the resource is unavailable to legitimate users. These attacks are used to overload the network or servers, resulting in reduced functionality and availability. The following network attack classes fall into the DoS category: Back; Land; Neptune; Pod; Smurf; Teardrop. As a mathematical apparatus, the ANFIS system, combining the methods of a neural network and the Takagi-Sugeno fuzzy inference logic system, the structure of which is shown in Figure 1.



**Figure 1** – ANFIS configuration 4-5-8-16-16-1

*Authoring*

The input neurons of the first layer are the following parameters [5]: X1 (dst\_host\_count) – the number of connections installed on the host computer to which the attack was directed; X2 (dst\_host\_srv\_count) – the number of unique services available on the host computer targeted by the attack; X3 (count) – the number of requests sent by the attacker within a short time; X4 (srv\_count) – the number of requests for a specific service sent by the attacker within a short time.

The second layer (inputmf) has  $2 \times 4 = 8$  neurons; two terms (minimum and maximum value) to each of the neurons.

The third layer (rule) has  $2^4 = 16$  rules composed similarly to [6], as an example: if X1=MIN1 I X2=MIN2 I X3=MIN3 I X4=MIN4, then there is a low degree of confidence in the implementation of a DoS attack;



if  $X1=MAX1 \text{ I } X2=MIN2 \text{ I } X3=MIN3 \text{ I } X4=MIN4$ , then there is a low degree of confidence in the implementation of a DoS attack;  
 if  $X1=MIN1 \text{ I } X2=MAX2 \text{ I } X3=MIN3 \text{ I } X4=MIN4$ , then there is a low degree of confidence in the implementation of a DoS attack;  
 if  $X1=MIN1 \text{ I } X2=MIN2 \text{ I } X3=MAX3 \text{ I } X4=MIN4$ , then there is a low degree of confidence in the implementation of a DoS attack;  
 if  $X1=MIN1 \text{ I } X2=MIN2 \text{ I } X3=MIN3 \text{ I } X4=MAX4$ , then there is a low degree of confidence in the implementation of a DoS attack;  
 if  $X1=MIN1 \text{ I } X2=MIN2 \text{ I } X3=MAX3 \text{ I } X4=MAX4$ , then the medium degree of confidence of carrying out a DoS attack;  
 if  $X1=MAX1 \text{ I } X2=MIN2 \text{ I } X3=MIN3 \text{ I } X4=MAX4$ , then the medium degree of confidence of carrying out a DoS attack;  
 if  $X1=MAX1 \text{ I } X2=MAX2 \text{ I } X3=MIN3 \text{ I } X4=MIN4$ , then the medium degree of confidence of carrying out a DoS attack;  
 if  $X1=MIN1 \text{ I } X2=MAX2 \text{ I } X3=MIN3 \text{ I } X4=MAX4$ , then the medium degree of confidence of carrying out a DoS attack;

...

if  $X1=MIN1 \text{ I } X2=MAX2 \text{ I } X3=MAX3 \text{ I } X4=MAX4$ , then a high degree of confidence in carrying out a DoS attack.

The fourth layer (outputmf) is function of belonging to each rule, i.e. their  $2^4$ .

The fifth layer (output) is represented by the resulting neuron Y – the degree of confidence that the attack has taken place. This neuron has three terms: low; medium; high, used to express a level of confidence.

## 2. Sample preparation

To create samples, an open database NSL-KDD (Network Security Lab-KDD Cup) [5] was used, which contains data on network traffic during its normal activities, as well as during an attack. The training sample consisted of 105 examples: fifteen examples for each network attack class, as well as for the normal state (no network attack, Normal). A fragment of the training sample is shown in Table 1.

**Table 1 – Fragment of the training sample (21 of 105 examples)**

| X1  | X2 | X3  | X4  | Y | CLASS   |
|-----|----|-----|-----|---|---------|
| 1   | 1  | 251 | 251 | 1 | Neptune |
| 2   | 2  | 79  | 79  | 1 | Neptune |
| 4   | 4  | 68  | 68  | 1 | Neptune |
| 1   | 2  | 15  | 1   | 1 | Land    |
| 3   | 2  | 16  | 2   | 1 | Land    |
| 1   | 2  | 1   | 6   | 1 | Land    |
| 123 | 6  | 255 | 26  | 1 | Back    |
| 121 | 19 | 255 | 19  | 1 | Back    |
| 166 | 9  | 255 | 9   | 1 | Back    |
| 57  | 16 | 255 | 59  | 1 | Pod     |
| 2   | 4  | 2   | 38  | 1 | Pod     |
| 1   | 1  | 1   | 1   | 1 | Pod     |



continuation table 1

|     |     |     |     |   |          |
|-----|-----|-----|-----|---|----------|
| 263 | 263 | 255 | 255 | 1 | Smurf    |
| 511 | 511 | 255 | 212 | 1 | Smurf    |
| 46  | 46  | 255 | 46  | 1 | Smurf    |
| 4   | 4   | 255 | 71  | 1 | Teardrop |
| 21  | 21  | 255 | 21  | 1 | Teardrop |
| 68  | 68  | 255 | 68  | 1 | Teardrop |
| 2   | 2   | 150 | 25  | 0 | Normal   |
| 13  | 1   | 255 | 1   | 0 | Normal   |
| 5   | 5   | 30  | 255 | 0 | Normal   |

A source: [5]

### 3. Creation, training and testing the ANFIS

With the help of the Fuzzy Logic Toolbox package, MatLAB created ANFIS configuration 4-5-8-16-16-1 [4], which is shown in Figure 2.

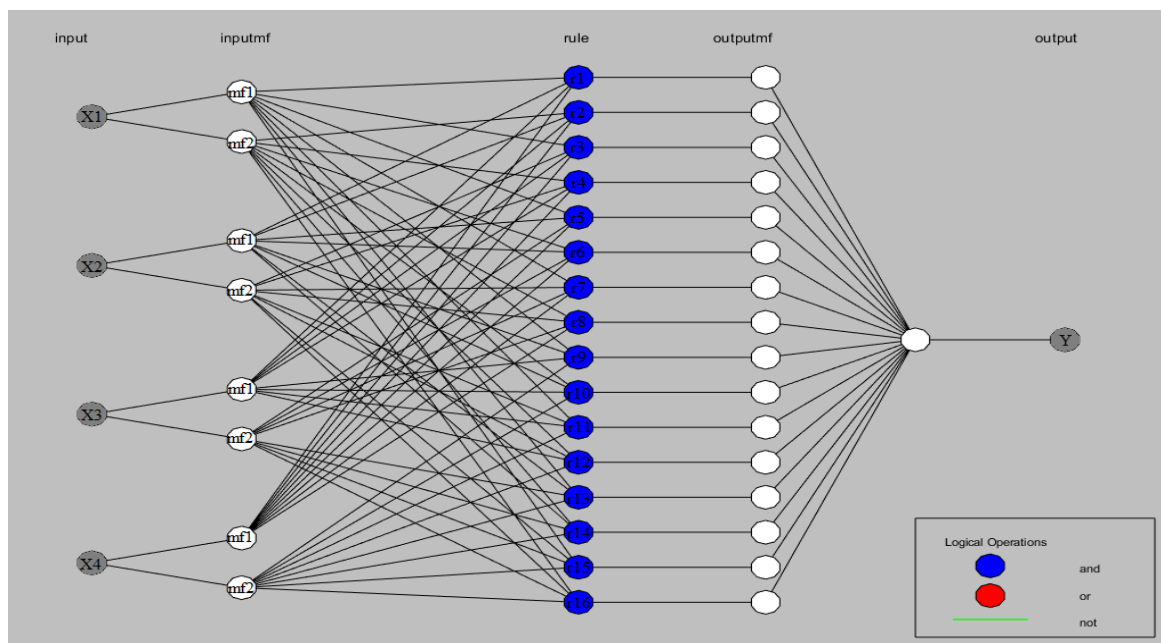
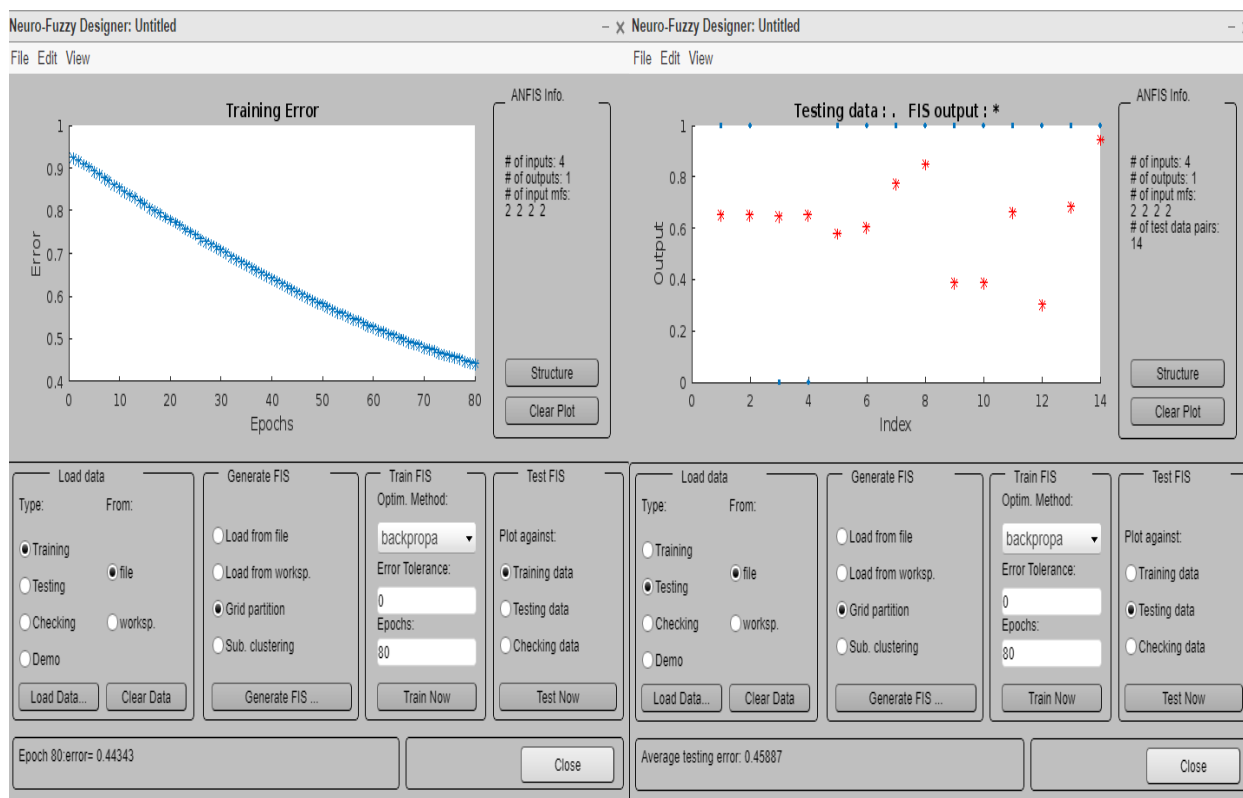


Figure 2 – Created by ANFIS in the MatLAB system

Authoring

The results of ANFIS training and testing are presented in Figure 3. As can be seen from the figure, the error of ANFIS was 0.51 during training and 0.56 during testing.

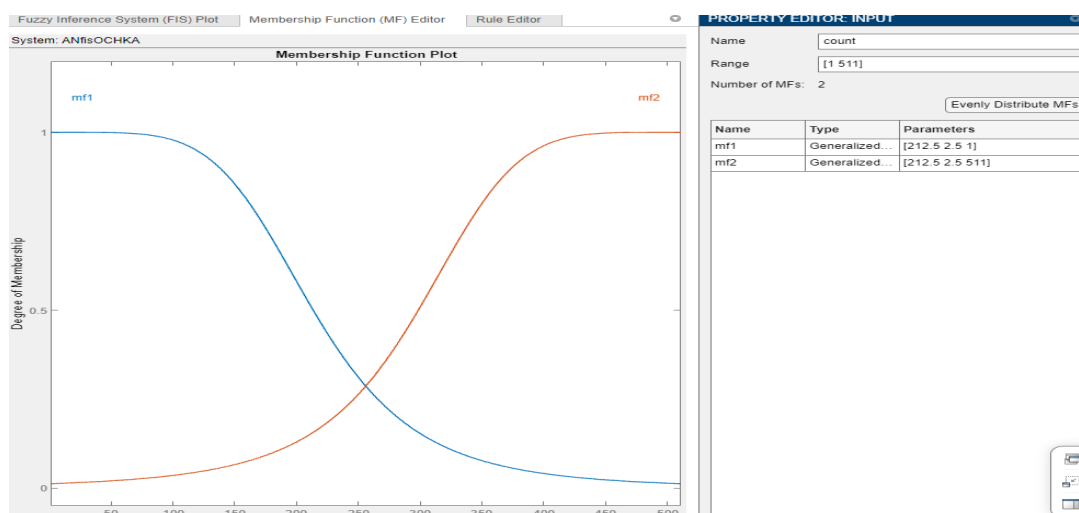


**Figure 3 – ANFIS Training & Testing**

*Authoring*

#### 4. Exploration of ANFIS parameters

On the basis of the created ANFIS, an error study was carried out in various functions of neuronal affiliation; as an example in Figure 4 the learning outcomes of ANFIS using various neuronal affiliation functions are summarized in Table 2.



**Figure 4 – Affiliation Function Editor**

In addition, during the training and testing of ANFIS, studies of its error were carried out on samples of different lengths (28, 70 and 105 examples) using various methods of learning optimization: Backpropa (a method of backpropagation of an error



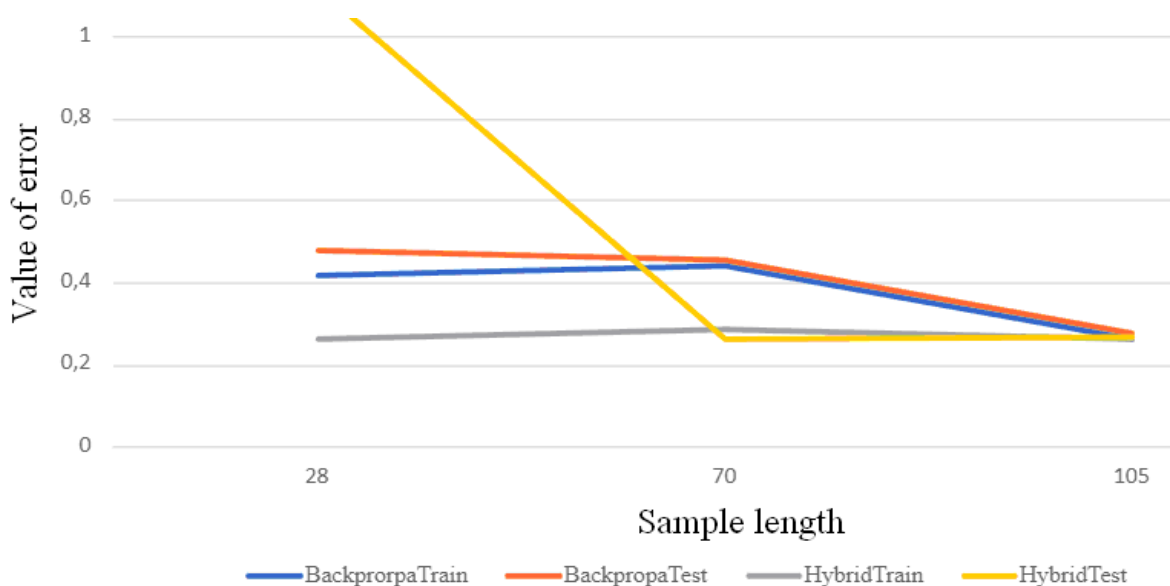


based on the ideas of the fastest descent method); Hybrid (a hybrid method that combines the backpropagation method of error with the method of least squares), Figure 5. As you can see from the figure, the smallest ANFIS error values are achieved when using Hybrid, and the sample length should be at least 70 examples.

**Table 2 – ANFIS Training on Different Affiliation Functions**

| Affiliation Function                | Function designation | Value of error |
|-------------------------------------|----------------------|----------------|
| Triangular function                 | trimf                | 0.59608        |
| Trapezoidal function                | trapmf               | 0.59608        |
| Bell function                       | gbellmf              | 0.51037        |
| Gaussian function                   | gaussmf              | 0.52625        |
| Gaussian function with two peaks    | gauss2mf             | 0.60273        |
| Parallel Boundary-Interval function | pimf                 | 0.63198        |
| Bilateral Sigmoidal function        | dsigmf               | 0.62694        |

Authoring



**Figure 5 – ANFIS Error on Samples of Different Lengths**

Authoring

## Conclusions

To determine the degree of confidence of a DoS attack using the NSL-KDD database, it was created using the Fuzzy Logic Toolbox of the MatLAB ANFIS system, the Bell function was taken as a function of neuronal affiliation. On the basis of the created ANFIS, an error study was carried out on samples of different lengths (28; 70; 105 examples) using different optimization methods: Backpropa and Hybrid. The smallest error value of ANFIS was according to the Hybrid method, and it is enough to have a sample of 70 examples.



## References

1. Alguliyev R. M., Imamverdiyev Y. N. & Sukhostat L. V. (2018). An improved ensemble approach for DoS attacks detection. *Radioelectronics, informatics, upravlinis* [Radio Electronics, Informatics, Control]. No. 2. pp. 73-82. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-2-8
2. Amini M., Rezaeenour J. & Hadavandi E. (2016). A Neural Network Ensemble Classifier for Effective Intrusion Detection using Fuzzy Clustering and Radial Basis Function Networks. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*. Vol. 25. Iss. 02. pp. 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1142/s0218213015500335>
3. Karpinski M., Shmatko A., Yevseiev S., Jancarczyk D. & Milevskyi S. (2021). Detection of Intrusion Attacks Using Neural Networks. *Miznar. nauk.-pract. conf. «Information bezpeka tha information technology», Kharkiv-Odesa* [Intl. Scin.-Pract. Conf. Information Security and Information Technologies, Kharkiv-Odesa]. pp. 117-124.
4. Kovalov R. (2023). Detecting DoS network attacks using neural network technology. *Thesis for obtaining a bachelor's degree: speciality 125 – cybersecurity / supervisor doc. Victoria Pakhomova; Ukrainian State University of Science and Technology. Dnipro*. 38 p.
5. NSL-KDD dataset. URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/nsl.html>
6. Pakhomova V. M. & Maslak A. V. (2022). Network attack detection using KDDCup99 database and neuron fuzzy technology. *Vceni zapiski tavriysky natsionalnogo university imeni V.I. Vernadskogo*. Seria: technical nauki [Scientific Notes of V. I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical sciences]. Vol. 33(72). No. 5. pp. 135-140. DOI: <https://doi.org/10.32872/2663-5941/2022.5/19>
7. Pakhomova V. M. & Motylenko V. A. (2022). Studying the possibility of using RBF for determining Smurf attacks based on the KDDCup database. *Vceni zapiski tavriysky natsionalnogo university imeni V.I. Vernadskogo*. Seria: technical nauki [Scientific Notes of V. I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical sciences]. Vol. 33(72). No. 6. pp. 115-121. DOI: <https://doi.org/10.32872/2663-5941/2022.6/20>
8. Saied A., Overill R. E. & Radzik T. (2016). Detection of known and unknown DDoS attacks using Artificial Neural Networks. *Neurocomputing*. Vol. 172. pp. 385-393. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.04.101>

**Анотація.** У якості методу дослідження використана ANFIS конфігурації 4-5-8-16-16-1, де 4 – кількість вхідних нейронів; 5 – загальна кількість шарів; 8 – кількість нейронів першого прихованого шару; 16 – кількість нейронів другого прихованого шару; 16 – кількість нейронів третього прихованого шару; 1 – кількість результуючих нейронів, що створена за допомогою пакета Fuzzy Logic Toolbox системи MatLAB, за результуючу характеристику взято ступень впевненості, що DoS атака відбулася за наступними термами: низький; середній; високий. З використанням відкритої бази даних параметрів мережевого трафіку NSL-KDD на створеній ANFIS проведено дослідження її похибки при різних функціях приналежності на вибірках різної довжини за різними методами оптимізації навчання. Визначено, що найменше значення похибки ANFIS склало на основі використання багатопараметричної функції Белла за методом оптимізації навчання Hybrid, при цьому достатньо мати навчальну вибірку із 70 прикладів.

**Ключові слова:** DoS атака, трафік, NSL-KDD, функція Белла, похибка.



УДК 504:633.06

**ASSESSMENT OF TECHNOGENIC DANGER RADIOACTIVE  
CONTAMINATION OF CROP PRODUCTS  
ОЦІНКА ТЕХНОГЕННОЇ НЕБЕЗПЕКИ- РАДІОАКТИВНЕ ЗАБРУДНЕННЯ  
ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА**

**Kudriawytzka A.N./Кудрявицька А.М.***c.a.s. ., as.prof./к.с.-г.н., доц.*

SPIN: 7001-1956

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2888-1981>**Karabach K.S. / Карабач К.С.***c.of agr.s., as.prof. / к.с.-г.н., доц.*ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7706-231X>*National university of life and environmental sciences of Ukraine**Kyiv, str. of Heroes of defensive, 17,03041**Національний університет біоресурсів і природокористування України,**м. Київ, вул. Героїв оборони, 17,03041*

**Анотація.** Важливим завданням безпеки діяльності людини є мінімізація дозових навантажень на населення. Його вирішення можливе за рахунок створення низки заходів, які спрямовані на запобігання, ліквідацію та зменшення можливих наслідків забруднення продукції рослинництва радіоактивними речовинами.

**Ключові слова:** дезактивація, ґрунт, забруднення, урожай, захворювання.

Сучасні тенденції формування радіоекологічної ситуації мають різноспрямовані вектори. Серед позитивних слід відзначити такі: природний розпад радіонуклідів; фіксацію радіонуклідів у ґрунті; включення радіонуклідів у малий кругообіг у природних та напівприродних екосистемах. А серед негативних відзначаються наступні: майже повне припинення контрзаходів через скрутне економічне становище країни; включення в обробіток радіоактивно забруднених торфових та лучних угідь після їх розпаювання; зростання обсягів використання населенням для власного споживання овочевої продукції, яка вирощується в приватних господарствах; споживання молока та м'яса, одержаного після випасання худоби на природних луках та в лісових угіддях; зростання обсягів заготівлі і споживання харчової продукції лісу та вивезення її на продаж за межі забрудненої території [1-3].

Майже 75% території України зазнало радіоактивного забруднення  $^{137}\text{Cs}$ , що більш ніж удвічі перевищувало доаварійні рівні. Природні процеси розпаду радіонуклідів за 37 років, що минули після аварії на Чорнобильській АЕС, внесли суттєві корективи у структуру розподілу радіонуклідів на території України. За цей період майже вдвічі скоротилася площа території, де рівні забруднення  $^{137}\text{Cs}$  перевищують  $10 \text{ kBк/м}^2$  [1-3].

Важливою проблемою залишається забруднення ґрунтів важкими металами, такими як свинець, кадмій, мідь та цинк. Дані хімічні елементи та їх сполуки є найтоксичнішими, оскільки вони не руйнуються у ґрунті та воді, а мігрують трофічним ланцюгом: "ґрунт → рослина (корм) → тварина → продукція → людина". В результаті чого викликають приховані негативні зміни у загальному обміні речовин в організмі людей та тварин [3-4].



Дослідженнями науковців доведено, що основна кількість радіоцезію у віддалений період після катастрофи на ЧАЕС все ще зосереджена в орному шарі ґрунту. Зокрема, середньозважені показники вмісту радіоцезію в шарі 0–20 см дерново-підзолистого супіщаного ґрунту становили в середньому 67,1–78,8 %, в 20–30 см горизонту – 10,7–17,1 %, решта радіонуклідів перебувала глибше 30-сантиметрової відмітки. У 30–40-сантиметровому шарі вміст цезію був у межах 4,1–11,3 % загальної кількості його у ґрунті.

В шарі 40–50 см цей показник знаходився в межах 0,9–1,0%. Нижче 50 см він варіював по низхідній – від 1,5 до 0,4 %. Практично, таку саму тенденцію по вертикальному розподілу радіонуклідів відмічено у торфо-болотних ґрунтах. Концентрація радіонуклідів в орному шарі (0–20 см) становила 81,4 %, в шарі 20–40 см – майже 11 % і після 40 см – 7,5 % [2-4].

Фізико-хімічні властивості ґрунту надзвичайно впливають на інтенсивність надходження радіонуклідів із ґрунту в рослини. Численними науковцями доведено, що з підвищенням родючості ґрунту, інтенсивність нагромадження радіонуклідів рослинами значно знижується [1-3]. Залежно від фізико-хімічних властивостей ґрунту розходження в нагромадженні радіостронцію у врожаї сільськогосподарських рослин можуть сягати до 50 разів для зерна зернових і силосних культур, до 20 разів – для соломки зернових культур, до 10–15 – для бульб і бадилля картоплі [2-4]. Одним із проявів впливу фізико-хімічних характеристик ґрунту на перехід радіонуклідів у рослини є зональність. Зі зміною природних зон змінюються фізико-хімічні властивості ґрунтів і, відповідно, міняються кількісні залежності їх надходження [2-3].

Основними факторами, що визначають надходження радіонуклідів у рослини кореневим шляхом, є сполука ґрунтового розчину й концентрація в ньому радіонукліда, фізико-хімічні характеристики радіонуклідів, агрохімічні властивості ґрунтів, біологічні особливості рослин і агротехніка обробітку культур.

Науковцями встановлено, що отримати екологічно чистий урожай можна при щільності забруднення ґрунтів на рівні природного фону або який не перевищує 1,0 Кі/км<sup>2</sup> по цезію – 137 і 0,02 Кі/км<sup>2</sup> по стронцію – 90. Ведення сільськогосподарського виробництва на таких територіях можливо без обмежень [4]. Забруднення продукції рослинництва радіоактивними речовинами залежить від типу і властивостей ґрунтів, на яких вирощують рослини. Найвищі рівні забруднення стронцієм відмічені на дерново – підзолистих ґрунтах, менші – на сірих лісових і сіроземках, і найнижчі – на чорноземах [2-4].

Вилучаються з сільгоспвиробництва мінеральні ґрунти із щільністю забруднення понад 15,0 Кі/км<sup>2</sup> і торфові – більше 4,0 Кі/км<sup>2</sup>. Одержати на них екологічно чисту продукцію без дезактивації ґрунту неможливо. Шкодочинність радіоактивного забруднення сільськогосподарських земель значно зростає в регіонах і господарствах, де переважають ґрунти легкого гранулометричного складу з низьким вмістом гумусу та кислою реакцією ґрунтового середовища, тобто низькобуферні, екологічно нестійкі ґрунти, що мають підвищені коефіцієнти переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини, які трофічними ланцюгами потрапляють в організм тварин і людини [2].



Обсяг накопичення радіонуклідів у рослинах залежить від їх видових і сортових особливостей. Рослини, які отримують більше кальцію, накопичують більше стронцію-90, а рослини, що відрізняються високим вмістом калію, накопичують більше цезію-137. У товарній частині рослинницької продукції найбільше стронцію -90 і цезію -137 містять коренеплоди (столовий буряк, морква) і бобові культури (горох, соя, вика), далі картопля, менше радіонуклідів – у зернових злакових культур [4].

Дослідженнями встановлено, що діапазон накопичення цезію-137 в зерні різних сільськогосподарських культур різний [2,3]. Так, у зерні квасолі цезію на одиницю маси міститься в 3-5 разів менше, ніж у зерні гороху і вівса. Видова відмінність у накопичуванні цезію окремими сортами пшениці, вівса, квасолі, гороху на одиницю маси зерна може досягти 10, а сортова – складає 1,5-2 рази.

Овочі здебільшого надходять у їжу без переробки, тому їх споживання становить небезпеку. Так, в 1 кг свіжої картоплі міститься близько  $2,9 \cdot 10^{-9}$  Кі радіоактивного калію.

З ґрунту сільськогосподарські культури засвоюють лише ті радіонукліди, які розчиняються у воді [3]. За ступенем накопичення радіонуклідів рослини можна розмістити у такий спадний ряд: капуста – картопля – пшениця – природні трав'яні покриття. Відомо, що здатність виводити із організму радіонукліди мають: проросла пшениця, обліпіха (у будь – якому вигляді), золотий корінь, коріандр, солодка, піон, гречка, оман, елеутерокок, листя і ягоди суниці, брусниця (листя) та мучниця, айр, конюшина, овес та топінамбур, мікроводорість спіруліна, кропива, висушений калган – корінь, кріп, ягоди калини [5,6].

### **Висновки:**

Основні заходи, спрямовані на зниження радіоактивного забруднення продукції рослинництва:

1. Враховувати комплекс основних агротехнічних і агрохімічних заходів: обробіток ґрунту, внесення азотно - фосфорних добрив та полив; вапнування кислих ґрунтів, розміщення культур.
2. Використовувати результати радіологічного обстеження з метою попередньої оцінки можливостей отримання продукції рослинництва, м'яса, і молока з вмістом радіонуклідів, що не перевищує допустимий рівень.
3. Проводити первинну дезактивацію і технологічну обробку (дані заходи знижують радіоактивне забруднення продуктів у 7-10 і більше разів).

### **Література:**

1. Іваненко Т.П. Екологічний стан у світі і його вплив на здоров'я людей . К.: Знання, 2018.–241 с..
2. Мазур І.М., Батюк Б.В. Деякі аспекти радіоактивного забруднення продукції рослинництва // Вісник Львівського державного аграрного університету. – Агрономія.–2020.– №8.– С.47–50.
3. Стеблюк М.І. Цивільний захист. Підручник для ВНЗ.– К.: Знання, 2011.– 490 с.
4. Тараріко О.Г., Сорока В.І. Сучасні деградаційні процеси та еколого–





агрохімічний стан сільськогосподарських земель України / Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. – К.: Фітосоціоцентр, 2002.– 296 с.

5. Кудрявицька А.М. Безпека діяльності людини- виявлення та оцінювання хімічної обстановки після аварії на об'єкті з виливом НХР- International periodic scientific journal Modern engineering and innovative technologies Issue No21 Part 1 June 2022.—139-142 p.

6. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді: ДР-2006. Держ. гігієнічні нормативи. – К., 2007. – 114 с.

**Abstract** The important task of radiological defence is minimization of the dose loading on a population. His decision is possible due to creation rows of events, that is sent to prevention, liquidation and reduction of possible consequences of contamination of products of plant-grower by radionuclidess.

*Basic events sent to the decline of radiocontammant of products of plant-grower :*

1. To take into account the complex of basic agrotechnical and agrochemical events : till of soil, bringing nitric - phosphoric fertilizers and *нолує*; liming of sour soils, placing of cultures.

2. To draw on the results of radiological inspection with the aim of preliminary estimate of possibilities of receipt of products of plant-grower, meat, and milk with content of радіонуклідів, that does not exceed a possible level.

3. To conduct primary decontamination and technological treatment

**Key words:** decontamination, soil, contamination, harvest, disease.

Стаття відправлена: 23.09.2023 р.  
© Кудрявицька А.М., Карабач К.С.



УДК 656.025

# SUB-PROCESS CHARACTERISTICS OF MODERN GEO-INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE MULTIMODAL TRANSPORTATION SYSTEM

## СУБПРОЦЕСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНИХ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Lyamzin A. / Лямзін А.О.

d.t.s., as.prof. / д.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-6964-845X

Osmak V./ Осмак В. Є.

k.t.s., as.prof./ к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2459-554X

Semchenko N. /Семченко Н. О.

k.t.s., as.prof./ к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-5946-0402

Ukrainskyi Y. / Український Є.О

k.t.s./ к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4552-2174

National Aviation University, Kyiv, ave. Liubomyra Huzara, 1, 03058

Національний авіаційний університет, м. Київ, пр-т. Любомира Гузара, 1, 03058

**Анотація.** В роботі наведено результати системного аналізу особливостей властивостей сучасних геоінформаційних технологій з визначенням колом їх субпроцесних характеристик з метою їх впровадження в мультимодальних транспортних системах.

**Ключові слова:** геоінформаційні технології, мультимодальні перевезення, електронний обмін даними (ЕОД).

### Вступ.

Метою впровадження нових геоінформаційних технологій є прискорення процесу надання транспортних послуг, здійснення контролю якості за мультимодальним транспортним процесом, а також усунення «вузьких місць», які виникають в географічному просторі. Одним з найбільш важливих моментів є визначення місцезнаходження та контроль за просуванням рухомого складу та вантажу. Геоінформаційні технології вирішують такі завдання: контроль транспортного процесу, стеження та виявлення вантажів, рухомого складу; підготовка транспортного процесу. Система ЕОД при здійсненні контролю за мультимодальним транспортним процесом дозволяє замінити паперові документи, що уповільнюють та гальмують виконання перевезень, юридично діючими даними електронного обміну. Друга функція ЕОД – пересилання інформації електронною поштою, що випереджає надходження офіційних документів, що дозволяє прискорити транспортний процес за рахунок попередньої підготовки та проведення низки операцій в оптимальному режимі. Майже всі транспортні системи поєднують обидві вищезгадані функції ЕОД. В даний час зусилля в галузі розвитку інформаційних технологій спрямовані на вирішення ще одного завдання - організацію взаємодії відправників вантажу як споживачів системи ЕОД і постачальників (виробників) цієї системи. Це досить складне завдання, вирішення якого стримується недостатнім розвитком технічних та технологічних можливостей. Крім того, у цьому завданні



відбувається зіткнення протилежних інтересів (вантажовласників та перевізників), що також дещо гальмує її вирішення. Джерело: [1]

На сьогодні, геоінформаційний ринок в Україні не надто розвинений. Це інноваційний напрям, який все ще набуває популярності, в той час, як у розвинених країнах він повсякчас застосовується у найрізноманітніших сферах. Таке становище спричинене в першу чергу двома факторами: недостатньою поінформованістю суспільства про можливості та переваги ГІС, а також відсутністю коштів для впровадження подібних систем на тлі поточної економічної ситуації в країні. Джерело: [2]

### **Основний текст**

Інфраструктура ЕОД складається із терміналів ЕОД (телепортів), пов'язаних між собою. Системи ЕОД диференційовані за видами транспорту.

У системі мультимодальних перевезень роль інформаційного забезпечення значно зростає, всі транспортні компанії повинні мати доступ до інформації один одного, а також можливість комп'ютерного зв'язку з клієнтурою. Крім того, можливість обміну інформацією має базуватись на єдиних стандартах. Найцікавішою є інформаційна система DISK для мультимодальних перевезень, що діє на 28 терміналах Німеччини. Вона виконує функції з перевірки, обробки та передачі інформації між відправниками вантажу, перевізниками, вантажоодержувачами. У Франції фірма CNC розробила інформаційну систему ІНФО-ІНТЕР. Це система електронної пошти, що має функції обробки замовлень, стеження та виявлення транспортних засобів та вантажів, електронної видачі розрахунків та впровадження банку даних. Стан інформаційної системи є важливим чинником, що визначає конкурентоспроможність інтермодальних перевезень. У на початку 80-х була розроблена і впроваджена система комп'ютерної передачі стандартних галузевих текстів та загальноприйнятих у міжнародній практиці ділових документів (система ЕДІ). Міжкомп'ютерна передача стандартних міжнародних електронних текстів для глобального міжнародного застосування в управлінні, торгівлі та перевезеннях здійснюється на основі системи ЕДІФАКТ. Міжнародні стандарти для цієї системи затверджено Європейською економічною комісією ООН. Системи ЕДІ та ЕДІФАКТ, виключаючи з вживання паперову документацію, значно спрощують управління та планування перевізним процесом, а також скорочують час на його виконання, що є ключовим фактором у жорсткій конкурентній боротьбі за ринки. Крім того, розвиток електронних інформаційних систем забезпечує економію витрат шляхом переходу на «безпаперову» технологію в середньому на 7 – 8 % вартості товарів міжнародної торгівлі за оцінками експертів ЄЕК ООН. Витрати однією транспортний документ знижуються загалом величину, яка рівноцінна скорочення наскрізної ставки інтермодального фрахту на 3 – 4 %. Загальний ефект від застосування систем ЕДІ та ЕДІФАКТ у міжнародній торгівлі країн Західної Європи зі США та Канадою оцінюється у 50 – 60 млрд доларів на рік, а у світовій торгівлі загалом – понад 300 млрд доларів на рік. У Японії застосовується система електронної передачі інформації ШІПНЕТ, яка аналогічна американським системам.

Нині існують два вектора визначення особливостей субпроцесних



характеристик сучасних геоінформаційних технологій в системі мультимодальних перевезень Джерело: [3]: дослідження, зосереджені виключно на питаннях подальшого розвитку та поліпшення ГІС для задоволення транспортних додатків; дослідження, які займаються вирішенням питання щодо використання ГІС з погляду полегшення та покращення транспортних досліджень.

Субпроцесні характеристики сучасних геоінформаційних технологій можливо поділити на групи:

1) Можливість визначення аналітичної оцінки місця розташування. Цій категорії відповідає просторовий запит: що існує в конкретному місці на поверхні Землі? Щоб побачити, де розташований і як виглядає об'єкт, що цікавить користувача ГІС, для цього використовуються карти.

2) Задоволення просторових умов. Цій категорії просторового аналізу відповідає запит: Де задовольняються конкретні просторові умови? Найпростіший запит про місце розташування об'єкта складається за однією умовою. Для отримання відповіді достатньо виконати одну штатну операцію. Більш складний запит про місце розташування об'єкта може включати певний набір умов.

3) Можливість надання кількісної характеристики часового простору де виконуються мультимодальні перевезення. Дана субпроцесна характеристика відповідає на запит: які зміни відбулися на певній території за зазначений період? Відповідь на це питання представляє собою спробу визначити зміни, що відбулись у просторі й у часі, тенденції цих змін на певній території. Наприклад, яка тенденція поширення грипу в регіоні, які нові об'єкти побудовані за останній рік, наскільки і яке збільшення урбанізованих територій відбулося? Зберігаючи і порівнюючи карти, отримані в різні періоди, ГІС дозволяє виявити динаміку змін, тобто провести часовий аналіз.

4) Можливість надання характеристики структури. Дана субпроцесна характеристика дозволяє відповісти на просторовий запит: які просторові структури або розподіли існують? Наприклад, скільки є аномалій, які не відповідають нормальному розподілові, та де вони знаходяться; який розподіл населення в населеному пункті; які ділянки дороги є найбільш небезпечними; який розподіл вартості нерухомості на території міста; який розподіл вартості землі в регіоні? Виділення просторових структур – це складне питання, що потребує застосування арсеналу потужних засобів просторового аналізу.

5) Можливість якісної оцінки різноманітних сценаріїв. Сценарій є результатом питань типу: "Що відбудеться, якщо...?" У таких і аналогічних випадках користувач використовує модель для прогнозування та карти потенційного впливу. Застосування такої моделі дозволяє побудувати гіпотетичну ситуацію та прогнозувати розвиток і наслідки соціологічних та економічних ситуацій, стихійних лих і аварій природно-техногенного характеру в просторі та часі.

Як свідчить аналіз можливостей ГІТ і основних пріоритетних напрямків, ГІС в системі мультимодальних перевезень доцільно орієнтувати на вирішення завдань:



- 1) оцінки стану системи мультимодальних перевезень та планування процесів їх ресурсного використання;
- 2) оцінки та прогнозування рівня екологічної безпеки системи мультимодальних перевезень;
- 3) оцінки ефективності і прогнозування розвитку системи мультимодальних перевезень;
- 4) розробки рекомендацій щодо забезпечення функцій управління системою мультимодальних перевезень.

Необхідно відзначити, що ці проблемні характеристики системи мультимодальних перевезень є також домінуючими для прикладних дистанційних досліджень діяльності інших видів транспортних систем та її функціональних складових з космосу. Тому можна стверджувати про важливість ГІС і ГІТ для перспективних інформаційних технологій у прикладних дистанційних дослідженнях ефективності як системи мультимодальних перевезень в цілому, так і її функціональних складових.

### Висновки.

Були отримані результати аналізу, які дозволяють підкреслити факт того, що сучасні геоінформаційні технології з визначеним колом їх субпроцесних характеристик в умовах мультимодальних транспортних системах мають унікальні функціональні особливості, які дозволяють її використовувати в сучасному середовищі, яке характеризується набором ризиків різноманітної природи ринку з надання транспортних послуг.

### Література:

1. Козаченко Т. І. Теоретичні аспекти геоінформаційного моделювання. / Т. І. Козаченко – УГЖ – Київ, 2009 – № 4 – С. 51-56.
2. Strelko O., Kyrychenko H., Berdnynchenko Y., Hurinchuk S. Automation of Work Processes at Ukrainian Sorting Stations International Journal of Engineering & Technology, 2018, 7(2.23) P. 516–518.
3. Соколова О.Є. Концептуальні засади формування мультимодальної системи перевезення вантажів / О.Є. Соколова // Наукоємні технології. – 2014. – № 1. – С. 114-118.

**Abstract.** The paper presents the results of a systematic analysis of the features of modern geoinformation technologies based on their sub-process characteristics determined by the scope of their implementation in multimodal transport systems.

**Key words:** geo-information technologies, multimodal transportation, electronic data exchange (EDE).

Стаття відправлена: 08.09.2023 р.

© Лямзін А.О.

© Осьмак В. Є.

© Семченко Н. О.

© Український Є.О.





УДК 636.09:616 – 03:636.7

**EFFECTIVENESS OF THE USE OF DIETARY FEEDS FOR ALIMENTARY DYSTROPHY IN DOGS****ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДІЄТИЧНИХ КОРМІВ ЗА АЛІМЕНТАРНОЇ ДИСТРОФІЇ У СОБАК****Khilobok O. / Хілобок О.**

graduate student

ORCID: 0009-0004-8506-6785

**Matsenko O. / Маценко О.**

k.vet.s., as.prof/ к. вет.н., доц.

ORCID: 0000-0002-1782-4650

State Biotechnological University, Kharkiv, Alchevskyh, 44, 61002

Державний біотехнологічний університет, Харків, Алчевських, 44, 61002

**Анотація.** В роботі наведені результати комплексного лікування собак за аліментарної дистрофії, що супроводжувалась синдромом мальабсорбції і проявлялась порушенням процесів травлення та всмоктування поживних речовин з кишечника до крові. З метою відновлення перистальтики і мікрофлори кишечника, зниження окисних пошкоджень клітин, зниження навантаження на шлунково-кишковий тракт, посилення регенераторної здатності ворсинчастого епітелію стінки кишечника, на тлі введення фармакологічних препаратів застосовували лікувальні дієтичні корми «Hill's prescription diet i/d digestive care» та «Royal canin vet gastro intestinal», які рекомендовані з метою забезпечення хворих тварин високоперетравними речовинами з високим рівнем енергії.

Ефективність комплексної терапії за аліментарної дистрофії у собак визначали за рівнем відновлення клінічних показників тварин (нормалізації маси тіла, візуального покращення загального вигляду, нормалізації функції шлунково-кишкового тракту, відновлення фізичного стану та корекції морфо-біохімічних тестів у крові).

**Ключові слова:** лікувальні дієти для собак, аліментарна дистрофія, порушення метаболізму, синдром мальабсорбції, терапевтична ефективність, гематологічні і біохімічні показники.

**Вступ.**

Порушення правил годівлі та утримання дрібних домашніх тварин призводить до дисбалансу між основними поживними речовинами (білками, жирами, вуглеводами), мінералами і вітамінами. [1, 2, 4].

В умовах сучасного мегаполісу однією із проблем міста є безпритульні собаки на вулицях, які представляють небезпеку для населення (розповсюдження антрозоопозонозів, напад голодних агресивних тварин на людей, що призводить до їх травмування, інвалідності та загибелі). Особливо посилилась проблема під час воєнних дій на території України, так як дуже велика кількість домашніх тварин вимушено залишилась без власників.

Так як безпритульні тварини не мають можливості протягом тривалого часу забезпечити себе повноцінними якісними кормами, значний їх відсоток страждає на аліментарну дистрофію (*кахексію*) – захворювання, яке виникає внаслідок недостатнього живлення організму тварин за дефіциту поживних речовин у раціонах або голодуванні і характеризується глибоким порушенням всіх видів обміну, гормонів - і ферментопатією з розвитком атрофічних і дистрофічних процесів в організмі, уповільненням росту і розвитку, зниженням



продуктивності, маси тіла і прогресуючим виснаженням. Дана патологія супроводжується синдромом мальабсорбції [6], що проявляється порушенням травлення та всмоктування поживних речовин з кишечника до крові і призводить до гіпоксії, гіпопротеїнемії, гіпоглікемії, ацидозу, недостатності вітамінів і солей, падінням колоїдно - осмотичного тиску в плазмі, порушенням мікроциркуляції [3, 5].

Морфофункціональна недостатність органів і аутоінтоксикація організму собак за синдрому мальабсорбції за аліментарної дистрофії призводить до коматозного стану, паралічу життєво-важливих центрів в довгастому мозку.

Лікування тварин має бути спрямоване на відновлення структури і функції органів і систем організму, а саме забезпечення тварин кормами з повноцінними та легкокорозчинними вуглеводами, перетравним протеїном, ліпідами, вітамінами, мінеральними речовинами на тлі введення засобів симптоматичної та замісної терапії з метою відновлення моторики і секреції шлунку та кишечника, введення мінерально-вітамінних та серцевих препаратів, застосування анаболічних стероїдних гормонів, а за виражених набряках – сечогінних препаратів.

Одним із лікувальних кормів за розладів функції шлунково-кишкового тракту у собак, розробленим американської фірмою «Hill's pet nutrition», є сухий дієтичний корм «Hill's prescription diet i/d digestive care», який рекомендовано до застосування з метою забезпечення хворих тварин високоперетравними речовинами, відновлення перистальтики і мікрофлори кишечника та зниження окисних пошкоджень клітин.

Аналогічним дієтичним кормом для собак з дисфункцією травної системи є «Royal canin vet gastro intestinal» французького виробника «Royal canin», який у своєму складі поєднує високоякісні білки з високим ступенем засвоюваності, пребіотики та високий рівень енергії, що дозволяє обмежити обсяг корму та знизити навантаження на шлунково-кишковий тракт, посилює регенераторну здатність ворсинчастого епітелію стінки кишечника за гострого запального процесу.

Метою наших дослідів стало вивчення терапевтичної ефективності дієтичних кормів «Hill's prescription diet i/d digestive care» та «Royal canin vet gastro intestinal» у комплексному лікуванні собак за аліментарної дистрофії.

### **Основний текст.**

**Аліментарна дистрофія** у собак виникає внаслідок тривалого дефіциту основних та біологічно-активних поживних речовин, що призводить до порушення метаболізму, розвитком дистрофічних та атрофічних змін в органах та системах, що спричиняє розлад та зниження функції шлунково-кишкового тракту: атрофії слизової оболонки кишечника та пошкодження ворсинок тонкої кишки і призводять до синдрому мальабсорбції - комплексу розладів, пов'язаних із порушенням всмоктування у тонкій кишці нутрієнтів, мінералів та вітамінів. Гіпосекреція залоз внутрішньої секреції і зниження ферментативних процесів призводять до нагромадження недоокиснених та проміжних продуктів, ураження органів і систем в цілому [6].

Основним механізмом розвитку за дистрофії є активація вироблення прозапальних цитокінів, що призводять до анорексії, переважання ефектів



катаболічних гормонів (глюкокортикоїди, КА) над анаболічними (інсулін, СТГ, статеві стероїди). При цьому відбувається мобілізація жирів з їх депо, з м'язової тканини - амінокислот, активація глюконеогенезу. Додаткові порушення обміну білків є наслідком або недостатнього всмоктування поживних речовин (мальабсорбція) або їх патологічної втрати [7].

Корекція загального стану тварин за аліментарної дистрофії з синдромом мальабсорбції мають різні способи (введення препаратів, стимулюючих апетит, інгібіторів глюконеогенезу, антицитокінових препаратів), але з клінічного досвіду фахівців, основним терапевтичним методом за даної патології є повноцінне забезпечення енергетичних та пластичних потреб організму ентеральним або парентеральним шляхом.

Найбільш фізіологічним шляхом введення поживних речовин у організм тварин є ентеральне харчування – застосування поживних сумішей, підданих попередній обробці для забезпечення високої засвоюваності (елементні, напівелементні, високомолекулярні збалансовані суміші та суміші спрямованої дії) [7].

Вибір суміші за аліментарної дистрофії у собак залежить від функціонального стану шлунково-кишкового тракту. Так, при збереженні його фізіологічних можливостей перевагу слід надавати напівелементним сумішам, які добре переносяться і є найбільш фізіологічними. За патологічного стану шлунку та кишок при частковому порушенні процесів перетравлення або всмоктування (ентерити, хронічна серцева недостатність, фіброз кишкової стінки, хвороби печінки, підшлункової залози та інші патології), корекцію годівлі слід починати з олігомерних сумішей, які мають максимальну здатність до засвоєння.

**Матеріали і методи.** В умовах кафедри внутрішніх хвороб і клінічної діагностики тварин Державного біотехнологічного університету, ветеринарної клініки «SOS» (м. Харків) та «Ветексперт» (м. Охтирка Сумської області) було проведено клінічні та лабораторні дослідження собак з симптомами дистрофії. Клінічні дослідження хворих тварин проводили загальноприйнятими методами: аналіз загального стану, визначення температури тіла, частоти пульсу та дихання, дослідження окремих систем організму (серцево-судинної, травної, дихальної, сечовидільної та нервової) методами огляду, пальпації, аускультції та перкусії.

Морфологічні і біохімічні дослідження крові проводили до лікування хворих тварин та через 30 діб з його початку. Проби крові для клінічного та біохімічного дослідження відбирали натще із вени передпліччя. У крові в камері із сіткою Горєва підраховували кількість еритроцитів та лейкоцитів, вміст гемоглобіну визначали гемоглобінціанідним методом, швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ) - методом Панченкова.

В сироватці крові визначали рівень загального білка, глюкози, холестерину, загального білірубину, кальцію та фосфору з використанням напівавтоматичного біохімічного аналізатора *RT-1904*.

Тварин для дослідів відбирали за наступними показниками – виснажені з низькою масою тіла, запалі голодні ямки, випинання останніх ребер, тьмяність



та скуйовдження шерстного покриву, западання очей, слабка реакція на подразнення, розлади травлення. Враховуючи, що тварини не мали власників і були приведені з вулиць міста, маємо підстави вважати, що тривала відсутність корму і води і була причиною даного стану.

Лікування тварин І-ї (дослідної) групи за аліментарної дистрофії проводили, додержуючись наступної схеми: на тлі фізичного спокою тварини призначали дієтичну годівлю спеціалізованим дієтичним кормом «Hill's prescription diet i/d digestive care» введення орально натрію сульфату, кардіо-та гепатопротектору тіотріазоліну, парентеральне введення амінопептиду, розчину глюкози 40 та вітамінного препарату Продевіт Тетра. Тваринам II-ї (контрольної) групи до аналогічної терапевтичної схеми вводили інший дієтичний корм - «Royal canin vet gastro intestinal» (таблиця 1).

**Таблиця 1-Фармакологічні препарати для лікування собак за аліментарної дистрофії**

| Назва препарату                                        | Дія                                                               | Доза                                                 |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| I група<br>Hill's prescription diet i/d digestive care | Дієтичний збалансований легкозасвоюваний корм                     | за інструкцією на кг м.т. протягом 30 днів           |
| II група<br>Royal canin vet gastro intestinal          |                                                                   |                                                      |
| Натрію сульфат (глауберова сіль)                       | Сольовий проносний засіб                                          | орально 1,0 натще, 3 доби                            |
| Продевіт Тетра                                         | Вітамінний й комплекс                                             | в/м, п/ш 3 - 1мл/ гол (до 40 кг м. т.) 1 раз/тиждень |
| Тіотріазолін                                           | Протиішемічна, антиоксидантна, мембраностабілізуюча, імуномодуюча | орально 50 мг 3р/добу 30 днів                        |
| Амінопептид                                            | ферментативний гідролізат білків крові ВРХ                        | п/ш, в/м до 500 мл/добу 7 діб                        |
| Розчин глюкози 40 %                                    | Дезінтоксикаційна, поживна                                        | в/в 5-10 мл/гол 1-2 рази на добу                     |

Дослідження проводились з урахуванням вимог Регламенту Європейського Парламенту та Ради 2019/6/ЄС, GCP, Керівництва щодо проведення клінічних досліджень ветеринарних препаратів на цільових видах тварин, міжнародних етичних принципів досліджень щодо використання живих тварин.

### **Результати дослідження.**

Тварини з клінічними ознаками дистрофічних змін були як безпородними (3 гол.), так і породистими – вівчарка, тер'єр і такса, 4 тварини - самці і 2 – самки різного віку – як молоді (6 та 8 міс), середнього (2, 5,8 років), так і похилого віку (12 років).

У чотирьох хворих тварин встановлена нормальна температура тіла– у середньому 38,1 °С, але у двох собак (тер'єр 8 р, б/п 6 міс) відмічали її зниження до 37,0-37,1 °С, що було характерним для другої стадії втрати маси тіла. До того



ж, у досліджуваних тварин було виявлено брадікардію – частота пульсу становила 66 та 68 уд/хв. проти показників у нормі 70-120 уд./хв. та брадіпноє – 10-12 дих.рухів/хв., що спостерігається за різноманітних ураженнях центральної нервової системи, інтоксикації, травмах внаслідок зниження збудження дихального центру, або зменшення його стимуляції. Інші чотири тварини мали показники кількості скорочення серця та дихання на нижніх фізіологічних межах.

Оглядом тварин було встановлено пригнічення, виснаження, запалі голодні ямки та випинання маклаків і останньої пари ребер. Дослідженням слизових оболонок констатовано їх анемічність з іктеричним відтінком, але дві собаки мали сухі анемічні оболонки з ціанотичним відтінком, що характерно за дисфункції серцево-судинної системи. Еластичність шкіри була зниженою, шерсть без блиску, скуйовджена та покрита злущеним епітелієм, що свідчило про порушення метаболізму. Тварини були малорухливими, у них відмічали зниження реакції на зовнішні подразнення.

Аускультациєю серця встановлено послаблення серцевого поштовху та тонів. У двох тварин (тер'єр 8 р, б/п 6 міс) констатовано слабкість, хиткість при пересуванні, зниження рефлексів. Дослідженням функції шлунково-кишкового тракту встановлено зниження його моторики, відсутність дефекації. У двох хворих собак відзначали помірне збільшення розмірів печінки, зниження її перкусійної межі за дещо зниженої температури тіла, що є характерним при хронічній гепатодистрофії. До того ж, пальпаторно відмічали болючість нирок.

Таким чином, указані симптоми у чотирьох із шести хворих тварин свідчили про розвиток аліментарної дистрофії першого ступеню на тлі недостатнього живлення за нестачі поживних речовин у раціоні, а у двох собак встановлені зміни, характерні для другої стадії дистрофії (виснаження, зниження температури тіла та рефлексів, гепато- та міокардіодистрофія, ураження нирок, дисфункція ШКТ).

Клінічним дослідженням крові хворих тварин встановлено зменшення кількості гемоглобіну у середньому у 1,4 рази, у порівнянні з даними у здорових тварин, що характерно за кисневої недостатності та дисфункції печінки (таблиця 2).

**Таблиця 2- Морфологічні показники крові собак за аліментарної дистрофії**

| Тварина        | Еритроцити<br>Т/л | Лейкоцити<br>Г/л | Гемоглобін<br>г/л | ШОЕ<br>мм/год |
|----------------|-------------------|------------------|-------------------|---------------|
| <i>НОРМА</i>   | <i>5,6-7,4</i>    | <i>6-12</i>      | <i>108-150</i>    | <i>2-5</i>    |
| Б/п, Полкан    | 6,1               | 10,4             | 92                | 6             |
| Вівчарка, Тора | 5,5               | 8,0              | 86                | 5             |
| Тер'єр, Пуля   | 5, 2              | 6, 3             | 82                | 7             |
| Такса, Спок    | 5, 7              | 5,8              | 94                | 4             |
| Б/п, Джек      | 5, 1              | 6,1              | 100               | 7             |
| Б/п, Бонік     | 4, 3              | 6,9              | 86                | 3             |
| M±m            | 5, 3±0,25         | 7, 2±0,7         | 90±2,7            | 5,3±0,7       |

Також констатували кількість еритроцитів та лейкоцитів на нижніх межах фізіологічних показників, що свідчило про розвиток анемії та відсутність





запального процесу. У хворих тварин визначали помірне підвищення швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ) - у середньому цей показник складав 5,3 мм/год, що є можливим за анемії та гіпопротеїнемії.

Біохімічними дослідженнями крові хворих собак (таблиця 3) було встановлено, що рівень загального білка, у середньому, був на нижній межі фізіологічних показників, а у двох тварин навіть нижче від норми, що можливо як за нефротичного синдрому, зниженні синтезу білка, хронічному гепатиті, гепатодистрофії, так і за порушення всмоктування білка та дефіциту його надходження.

Рівень глюкози у крові – основний показник вуглеводного обміну. При дослідженні глюкози у хворих на аліментарну дистрофію тварин встановлено її рівень на нижніх межах, що можна пояснити відсутністю збалансованої годівлі у даних тварин, а дві тварини з симптомами, характерними для другої стадії дистрофії, мали навіть занижені дані – 4,0-4,3 ммоль/л.

Рівень холестерину визначається метаболізмом жирів, що, у свою чергу, залежить від дієти, функції печінки, нирок, щитоподібної залози та інших ендокринних органів. Дослідженням його кількості у хворих собак встановлена тенденція до зниження даного показника (3,5 ммоль/л проти 2,9-6,5 ммоль/л), що є характерним за гіпопротеїнемії, пухлинах та цирозі печінки, гострих інфекціях, гіпертиреозі, недостатності годівлі і всмоктування.

Так як у тварин клінічним дослідженням виявляли іктеричність слизових оболонок, була необхідність визначити стан печінки за вмістом у крові загального білірубину. Тож, відзначили підвищений вміст білірубину до 13,6 ммоль/л у порівнянні з середніми нормативними даними (8,25 ммоль/л), що характерно за порушення кон'югації та екскреції даного пігменту ушкодженою печінкою.

**Таблиця 3- Результати біохімічного дослідження сироватки крові хворих собак**

| № п/п          | Заг. білок, г/л | Глюкоза ммоль/л | Холестерин ммоль/л | Заг. білірубін ммоль/л | Кальцій ммоль/л  | Фосфор ммоль/л    |
|----------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------------|------------------|-------------------|
| <b>НОРМА</b>   | <b>40-73</b>    | <b>4,4-7,3</b>  | <b>2,9-6,5</b>     | <b>3-13,5</b>          | <b>2,3 – 3,3</b> | <b>1,13 – 3,0</b> |
| Б/п, Полкан    | 52              | 4,6             | 3,0                | 14,6                   | 2,5              | 0,9               |
| Вівчарка, Тора | 70              | 3,7             | 3,6                | 13,7                   | 3,0              | 1,3               |
| Тер'єр, Пуля   | 37              | 4,0             | 2,8                | 15,2                   | 2,0              | 1,7               |
| Такса, Спок    | 68              | 3,5             | 4,1                | 12,0                   | 2,6              | 2,2               |
| Б/п, Джек      | 42              | 4,3             | 2,9                | 14,6                   | 1,9              | 1,1               |
| Б/п, Бонік     | 61              | 5,0             | 4,4                | 11,2                   | 2,5              | 1,4               |
| M±m            | 55±5,5          | 4,2±0,2         | 3,5±0,3            | 13,6±0,6               | 2,4±0,17         | 1,4±0,2           |

Аліментарна дистрофія супроводжується порушенням і мінерального обміну, а саме за даної патології відбувається зниження концентрації кальцію і фосфору. Так як кальцій сироватки крові є сумою іонів кальцію, у тому числі



пов'язаного з білками (в основному, з альбумінами), у хворих досліджуваних тварин рівень цього елементу був на нижніх межах норми - 2,4 ммоль/л. До того ж, відбувалось зниження і рівня фосфору у середньому до 1,4 ммоль/л.

Таким чином, на підставі аналізу утримання і годівлі тварин, проведення їх клінічних досліджень, лабораторного аналізу крові та її сироватки, нами було підтверджено попередній діагноз – аліментарна дистрофія тварин.

Курс лікування тварин за аліментарної дистрофії проводили протягом 30 днів.

Позитивний ефект проведеного лікування встановлювали на підставі тенденції до нормалізації ваги тіла, візуального покращення загального вигляду тварин, нормалізації функції шлунково-кишкового тракту, стану шерстного покриву, слизових оболонок, відновлення фізичного стану (відсутність апатії, депресії, нормальна реакція на обслуговуючий персонал, проява цікавості до оточуючого середовища, активність).

Покращення загального стану тварин після проведеної терапії підтверджували змінами морфо-біохімічних тестів у крові та її сироватці.

З аналізу клінічного дослідження крові собак обох груп було встановлено тенденцію до нормалізації еритроцитів, гемоглобіну та ШОЕ (таблиця 4).

Так, кількість червоних клітин крові після лікування стала складати 6, 8 Т/л проти 5, 6 Т/л у тварин за аліментарної дистрофії. До того ж, відзначили і підвищення гемоглобіну у середньому до 110 г/л, що напевно, пов'язано з покращенням годівлі тварин та забезпеченням поживними і біологічно-активними речовинами (білками, вуглеводами, жирами, мікро- і макроелементами, вітамінами).

Нормалізація значень ШОЕ свідчила про зниження ступеню агрегації еритроцитів у плазмі на тлі зменшення в ній концентрації білків гострої фази (фібриногена, С-реактивного білка, імуноглобулінів) та нормалізації кровотворення.

**Таблиця 4 - Морфологічні показники крові собак після проведеної терапії**

| Тварина                  | Еритроцити<br>Т/л | Лейкоцити<br>Г/л | Гемоглобін<br>г/л | ШОЕ мм/год |
|--------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------|
| <i>НОРМА</i>             | 5,6-7,4           | 6-12             | 108-150           | 2-5        |
| до лікування             | 5,3±0,25          | 7, 2±0,7         | 90±2,7            | 5,3±0,7    |
| Після лікування І група  | 7,2±0,6*          | 8,7±0,06         | 114±3,2*          | 4,3±0,02   |
| після лікування ІІ група | 6,8±0,3           | 9,3±0,2          | 110±2,8           | 4,9±0,5    |

Примітка: \*-  $p \leq 0,05$

При проведенні біохімічних досліджень сироватки крові тварин (таблиця 5), було встановлено підвищення досліджуваних показників, що характеризують метаболізм в організмі. Так, підвищився у межі фізіологічних даних рівень загального білка, глюкози та холестерину. Також відзначали зменшення кількості загального білірубину, що відбувалось за відновлення клітин печінки та покращення її функції.

З аналізу обміну мінералів у сироватці крові тварин після проведення лікування тварин за аліментарної дистрофії, встановлено нормалізацію кількості



кальцію та фосфору та їх співвідношення - 3,2 ммоль/л та 1,6 ммоль/л, та 2,9 ммоль/л і 1,5 ммоль/л, відповідно.

**Таблиця 5 - Результати біохімічного дослідження сироватки крові собак після лікування**

| № п/п                    | Заг. білок, г/л | Глюкоза ммоль/л | Холестерин ммоль/л | Заг. білірубін ммоль/л | Кальцій ммоль/л | Фосфор ммоль/л |
|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| <i>НОРМА</i>             | 40-73           | 4,4-7,3         | 2,9-6,5            | 3-13,5                 | 2,3 – 3,3       | 1,13 – 3,0     |
| до лікування             | 55±5,5          | 4,2±0,2         | 3,5±0,3            | 13,6±0,6               | 2,4±0,17        | 1,4±0,2        |
| після лікування I група  | 64,8±2,6        | 6,7±0,03*       | 4,5±0,6            | 9,1±0,02*              | 3,2±1,5         | 1,6±0,02       |
| після лікування II група | 67,4±1,8        | 6,0±1,4         | 4,0±1,3*           | 9,7±0,08               | 2,9±1,8*        | 1,5±0,07*      |

Примітка: \* -  $p \leq 0,05$

Таким чином, на підставі повторного проведення клінічного дослідження собак та лабораторних аналізів їх крові, виявлено позитивний терапевтичний ефект від застосованої схеми корекції порушеного обміну речовин на тлі згодовування тваринам дієтичних лікувальних кормів Hill's prescription diet i/d digestive care та Royal canin vet gastro intestinal, які мали аналогічний вплив за відновлення функції кишечника за дистрофічних уражень.

### **Висновки:**

1. Основними симптомами аліментарної дистрофії у собак є різке зменшення живої ваги (до 10-20 %), пригнічення, виснаження, зниження реакції на зовнішні подразники, запалі голодні ямки та випинання маклаків і останньої пари ребер, анемічність слизових оболонок, зниження еластичності шкіри, брадикардія (66 та 68 уд/хв), дисфункція шлунково-кишкового тракту.

2. За аліментарної дистрофії у собак встановлено зменшення кількості гемоглобіну у середньому у 1,4 рази, кількості еритроцитів та лейкоцитів на нижні межі фізіологічних показників, помірне підвищення швидкості осідання еритроцитів до 5,3 мм/год, зниження кількості білка до 4,0-4,3 ммоль/л, холестерину до 3,5 ммоль/л, концентрації кальцію до 2,4 ммоль/л та рівню фосфору до 1,4 ммоль/л та підвищення загального білірубину до 13,6 ммоль/л, зниження

3. Застосування комплексної терапії собак за аліментарної дистрофії призвело до нормалізації маси тіла тварин, візуального покращення загального вигляду тварин, нормалізації функції шлунково-кишкового тракту, стану шерстного покриву, слизових оболонок, відновлення фізичного стану (відсутність апатії, депресії, нормальна реакція на обслуговуючий персонал, проява цікавості до оточуючого середовища, активність) та змінами морфо-біохімічних тестів у крові та її сироватці (тенденція до нормалізації кількості еритроцитів, лейкоцитів, ШОЕ, підвищення у фізіологічних межах кількості білка, глюкози, холестерину, загального кальцію та фосфору, зниження рівню білірубину).



4. Проведена терапія хворих собак за аліментарної дистрофії на тлі застосування лікувальних дієтичних кормів Hill's prescription diet i/d digestive care та Royal canin vet gastro intestinal мала позитивний ефект, що підтверджено клінічними та лабораторними дослідженнями тварин та їх біологічних рідин.

### Література:

1. Gasbarrini G, Corazza GR, Biagi F, Brusco G, Andreani ML, Malservisi S, Greco AV. Malassorbimenti intestinali, malattia celiaca e linfoma associato: dal sintoma alla diagnosi [Intestinal malabsorption, celiac disease and associated lymphoma: from symptoms to diagnosis]. Riv Eur Sci Med Farmacol. 1994 Sep-Dec;16 Suppl 1:39-68. Italian. PMID: 8539467.
2. Hill FW. Malabsorption syndrome in the dog: a study of thirty-eight cases. J Small Anim Pract. 1972 Oct;13(10):575-94. doi: 10.1111/j.1748-5827.1972.tb06802.x. PMID: 4666919.
3. Hoenig M. Intestinal malabsorption attributed to bacterial overgrowth in a dog. J Am Vet Med Assoc. 1980 Mar 15;176(6):533-5. PMID: 7364641.
4. Lark R, Johnson R. Синдроми порушення всмоктування. Nurs Clin North Am. 2018 вересень; 53 (3): 361-374. doi: 10.1016/j.cnur.2018.05.001. Epub 2018, 11 липня. PMID: 30100002.
5. Parfenov AI, Sabel'nikov EA. Sindrom narushennogo vsasyvaniia i pechen' (obzor literatury) [Syndrome of malabsorption and the liver (a literature review)]. Eksp Klin Gastroenterol. 2002;(2):52-7, 102. Russian. PMID: 12046388.
6. Schulzke JD, Tröger H, Amasheh M. Disorders of intestinal secretion and absorption. Best Pract Res Clin Gastroenterol. 2009;23(3):395-406. doi: 10.1016/j.bpg.2009.04.005. PMID: 19505667.
7. Strombeck DR, Doe M, Jang S. Maldigestion and malabsorption in a dog with chronic gastritis. J Am Vet Med Assoc. 1981 Oct 15;179(8):801-5. PMID: 7341592.
8. Костюкевич О.І. Сучасні підходи до діагностики та лікування синдрому кахексії з позиції лікаря-терапевта. РМЗ. 2011; 1:24.

**Abstract.** The paper presents the results of complex treatment of dogs with nutritional dystrophy, which was accompanied by malabsorption syndrome and manifested by impaired digestion and absorption of nutrients from the intestine into the blood. In order to restore intestinal peristalsis and microflora, reduce oxidative damage to cells, reduce the load on the gastrointestinal tract, enhance the regenerative capacity of the villous epithelium of the intestinal wall, therapeutic dietary feeds "Hill's prescription diet i/d digestive care" and "Royal canin vet gastro intestinal" were used against the background of the introduction of pharmacological drugs, which are recommended to provide sick animals with highly digestible substances with a high level of energy.

The effectiveness of complex therapy for alimentary dystrophy in dogs was determined by the level of recovery of clinical parameters of animals (normalisation of body weight, visual improvement of general appearance, normalisation of gastrointestinal tract function, recovery of physical condition and correlation of morphological and biochemical tests in blood).

**Key words:** therapeutic diets for dogs, nutritional dystrophy, metabolic disorders, malabsorption syndrome, therapeutic efficacy, haematological and biochemical parameters.

Стаття отпралена: 14.09.2023 г.

© О. Хілобок



## TREATMENT FEEDING OF INFANTES WITH ATOPIC DERMATITIS AS A GUARANTEE OF THE FORMATION OF A HEALTHY CHILD IN THE FAMILY

**Nikitina N.O. / Нікітіна Н.О.**

*c.med.s., as. prof. / к.мед.н., доц*

ORCID 0000-0002-6103-7419

*International Humanitarian University, Fontanskaya road, 33, Odesa, 65009*

**Bespalova A.V. / Беспалова А.В.**

*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-3713-0610

*Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrikhsona str., 4, Odesa, 65029*

**Abstract.** The article presents the results of studying the assessment of risk factors for atopic dermatitis and the effectiveness of hypoallergenic formulas in the complex treatment of infantes in the first year of life with atopic dermatitis. It has been proven that feeding infantes with hypoallergenic formulas "Humana HA 1" and "Humana HA 2" from the company "Humana" (Germany) is significantly more effective in comparison with other hypoallergenic breast milk substitutes. Feeding with these milk formulas reduces the skin manifestations of atopic dermatitis, contributes to the normalization of the level of blood eosinophils and Ig E; intestinal microbiocenosis, have pleasant organoleptic properties, do not cause side effects.

**Key words:** infantes, atopic dermatitis, hypoallergenic breast milk substitutes, milk formulas "Humana HA 1" and "Humana HA 2" from the company "Humana" (Germany).

### Introduction.

A healthy child in a family is the key to the psycho-emotional unity and integrity of the family, which ensures the formation of a healthy society and the preservation of the nation's gene pool. For the health of the child, breastfeeding is of exceptional importance - it provides optimal physical growth and mental development, prevents the development of infectious and alimentary-dependent diseases throughout life.

However, for various reasons, the infantes are supplemented or transferred to artificial feeding, which causes the development of food allergies and atopic dermatitis (AD).

AD is a global medical and social problem of here and now due to its high prevalence (20-40% of the population, of which - from 10 to 28% of infantes, in Ukraine from 3 to 10%), debut in early childhood, rapid development of "atopic march" with the formation of chronic forms, a decrease in social adaptation and the quality of life of infantes, and early disability. Therefore, the prevention and treatment of AD in infantes is one of the important tasks of pediatrics and pediatric allergology.

The most common allergen (70-90%) in infantes is cow's milk protein. In this regard, the main element of the complex therapy of AD is the nutrition of infantes with hypoallergenic therapeutic and prophylactic milk formulas.

### Literature review.

In [1] infants and infantes with immunoglobulin E-mediated CMA were exposed to a diagnostic double-blinded, placebo-controlled food challenge with a new amino acid formula by Blemil Plus Elemental using Neocate as the placebo.

In [2] use of hypoallergenic replacement formulas such as extensively hydrolyzed formulas (EHF) are recommended. However, in about 5% of patients EHF are not





tolerated and/or allergy symptoms can persist. When EHF's are ineffective and in severe forms of CMA, amino acid-based formulas (AAF) should be considered.

In [3] presents the current knowledge on tolerance development in infants and infants with CMPA to increase the awareness of the clinicians concerning the new approaches in CMPA treatment. Tolerance development is considered a relatively new concept in CMPA, inducing a shift in interventions in CMPA from a passive (avoidance of responsible allergen) toward a proactive (tolerance induction) strategy.

In [4], one of the directions is the formation of tolerance to food allergens in infancy, prevention of Ig E-mediated sensitization and the development of early clinical manifestations of a FA (FA is a pathological reaction to food components, which is based on immune mechanisms involving specific immunoglobulin E).

In methodical recommendations [5] the peculiarities of diagnosis and approaches to the therapeutic and preventive nutrition of infants with an allergy to CMP (cow's milk protein) are considered. The results of own research on the appointment of appropriate milk formulas for diet therapy of various forms of food allergy to CMP are given.

Paper [6] presents new severity grading system of food-induced acute allergic reactions in infants could serve as a clinical tool for health care professionals.

In the article [7] milk formulas based on partial hydrolysis of milk protein with the addition of a prebiotic - "Humana HA 1" and "Humana HA 2" from the company "Humana" (Germany) were studied. The protein component in these formulas is represented by low molecular weight peptides, which provide a balance of amino acids in the child's blood, similar to natural feeding. The low molecular weight of the partially hydrolyzed protein helps to reduce its allergenicity by 400 times and the risk of sensitization of the body, and also ensures the development of oral tolerance. Humana HA formulas do not contain  $\beta$ -lactoglobulin.

Fats are represented by a milk formulas of vegetable oils with a high content of PUFAs of classes  $\omega$ -6 and  $\omega$ -3 in the optimal ratio. Carbohydrates - lactose and galactose. The prebiotics included in the milk formulas, the vitamin-mineral complex contribute to the proper development of the brain, central nervous system, good digestion, strengthening the natural immune defenses of the child's body, and healthy growth.

Humana milk formulas are made from high-quality raw materials (fresh milk) under identical technological conditions, without the use of biological additives for all countries of the world.

Purpose of the study. Study and evaluation of risk factors for AD, as well as the effectiveness of the milk formulas "Humana HA 1" and "Humana HA 2" in the complex treatment of infants with atopic dermatitis

#### **Material and research methods.**

We observed 72 infants aged 2.5 months to 1 year with AD. Boys made up 52.7%, girls - 47.3%. In order to objectively assess the severity of AD and the effectiveness of therapy, we calculated the SCORAD index recommended by the European Working Group on AD [8]. Moderate course of AD on the SCORAD scale corresponded to 20-40 points, mild - up to 20 points.



All babies with AD were divided into groups randomized by sex, age and severity of the course of the disease. The complex of treatment included traditional drug treatment using a short course of antihistamines, sorbents, enzymes, local non-hormonal drugs.

For 8 weeks, 30 infants (main group 1) received a formula of "Humana HA 1" as a therapeutic diet, 26 infants of the second half year of life (2 main group) - "Humana HA 2" with a prebiotic. The comparison groups consisted of 36 infants with AD, 16 of them in the first and 20 in the second half year of life. Prior to the start of the study, all infants were bottle-fed with various breast milk substitutes (BMS).

Therapeutic nutrition with hypoallergenic milk formulas "Humana HA 1" and "Humana HA 2" with prebiotics based on partially hydrolyzed serum protein, meeting the requirements of ESPHGAN, was prescribed in accordance with the instructions for use. Infants in the control groups continued to be fed with various breast milk substitutes.

In order to evaluate the effectiveness of complex therapy using the hypoallergenic milk formulas "Humana HA 1" and "Humana HA 2" with prebiotics, a clinical and laboratory examination was performed before and on days 5, 10, 15 and 20 of treatment. Mathematical processing of the results was carried out by the methods of variational statistics using the Microsoft software package. Factor analysis was performed by calculating the odds ratio and its 95% confidence interval (CI).

### Results and its discussion.

Comparison of the significance of risk factors in the group of infants with AD with a group of healthy ones showed that the development of allergies is significantly likely in infants with a burdened family history of allergies, in cases of early artificial feeding, antibiotic therapy during pregnancy, lactation and in infancy, dysfunction of the gastrointestinal tract from birth.

An analysis of the dynamics of clinical symptoms of AD in infants showed that skin edema and rashes on the face, neck, scalp and extensor surfaces of the extremities disappeared significantly faster in the main groups 1 and 2, in contrast to the comparison groups.

75% of infants had a mild course of AD with an average SCORAD index of 16.7 points, 25% had a moderate course of the disease with a SCORAD index of 27.8 points.

The disappearance of skin inflammatory manifestations of AD on days 5–10 after the prescribed diet is more than 2 times decrease in the SCORAD index was considered a positive clinical effect.

**Table 1 - Dynamics of the SCORAD index in infants with AD who are fed with hypoallergenic milk formulas**

| Decrease in the SCORAD index by more than 2 times | Groups (number of infants, %) |                           |                           |                           |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                                   | 1 main (30)                   | 1 comparisons (26)        | 2 main (26)               | 2 comparisons (20)        |
| Day 5 (95% CI)                                    | 18 (60%)<br>(42,47-77,53)     | 12 (46%)<br>(26,84-65,16) | 18 (69%)<br>(51,22-86,77) | 11 (55%)<br>(33,19-76,80) |
| Day 10 (95% CI)                                   | 26 (87%).<br>74,96 - 99,03    | 18 (69%)<br>51,22 – 86,77 | 24 (92%)<br>81,57 -102,4  | 14 (70%)<br>49,92 – 90,08 |



The decrease in the SCORAD index by day 5 in the groups did not have significant differences, and by day 10 it was noted in a significantly larger number of infants who received the formulas "Humana HA 1" and "Humana HA 2".

In the study of blood, at the beginning of the observation, all infants had moderate eosinophilia. The level of eosinophils in infants with AD on the background of ongoing treatment and feeding with hypoallergenic milk formulas on day 10 was significantly lower in the main groups.

In infants receiving treatment feeding with hypoallergenic milk formulas "Humana HA 1" and "Humana HA 2", the level of Ig E by the 20-th day of treatment was significantly lower than in the comparison groups.

One month after feeding the infants with hypoallergenic BMS, normalization of the intestinal microflora was achieved in a significant majority of infants from the main groups. The rest of the infants were additionally treated with pre- and probiotics.

An important aspect of feeding infants in the first year of life is the taste of hypoallergenic milk formulas and the velocity of getting used to them. The conducted studies have shown a significantly faster adaptation of infants to new hypoallergenic milk formulas "Humana HA 1" and "Humana HA 2" compared to other various hypoallergenic BMS.

Subsequent catamnestic observations indicate the minimum frequency, severity and duration of allergic reactions and diseases in infants of the main groups.

### **Conclusions.**

1. The study and assessment of the significance of risk factors for the development of AD showed that the development of allergies is significantly likely in infants with a burdened family history of allergies, in cases of early artificial feeding, antibiotic therapy during pregnancy, lactation and in infancy, dysfunction of the gastrointestinal tract with birth.

2. Based on the results obtained on the evaluation of the clinical effectiveness of the use of hypoallergenic breast milk substitutes of the new generation "Humana HA 1" and "Humana HA 2" company "Humana" (Germany) for feeding infants in the first year of life suffering from atopic dermatitis, it was found that the above milk formulas significantly more effectively stop skin manifestations of AD, contribute to the normalization of the level of blood eosinophils and Ig E, intestinal microbiocenosis, have pleasant organoleptic properties, do not cause side effects (safe).

3. Long-term use of milk formulas of "Humana HA 1" and "Humana HA 2" reduces the likelihood of exacerbation AD, increases the period of remission, decreases the severity of the course and reduces the duration of exacerbation.

The foregoing allows us to recommend the priority use of hypoallergenic milk formulas "Humana HA 1" and "Humana HA 2" by "Humana" (Germany) in practical healthcare for the treatment and prevention of atopic dermatitis in infants.

### **References**

1. A well-tolerated new amino acid-based formula for cow's milk allergy.// Fierro V, Valluzzi RL, Banzato C, Plaza MA, Bosque M, Íbero M, Echeverría LAZ, Mennini M, Dahdah L, de Castellar R, Tort G, Jiménez // J.Immun Inflamm Dis. 2020 Jun;8(2):140-149. doi: 10.1002/iid3.286.



2. The use of amino acid formulas in pediatric patients with allergy to cow's milk proteins: Recommendations from a group of experts. // Ribes-Koninckx C, Amil-Dias J, Espin B, Molina M, Segarra O, Diaz-Martin //JJ.Front Pediatr. 2023 Mar 22;11:1110380. doi: 10.3389/fped.2023.1110380.

3. Current Trends in Tolerance Induction in Cow's Milk Allergy: From Passive to Proactive Strategies.// Sackesen C, Altintas DU, Bingol A, Bingol G, Buyuk Tiryaki B, Demir E, Kansu A, Kuloglu Z, Tamay Z, Sekerel BE. //Front Pediatr. 2019 Sep 18;7:372. doi: 10.3389/fped.2019.00372.

4. Охотнікова О.М., Яковлева Н.Ю. Дієтодіагностика та дієтотерапія алергічних захворювань у дітей. //Клінічна імунологія. Алергологія. Інфектологія. 2018. № 7 (112). С. 12-22.

5. Особливості діагностики та підходи до лікувально-профілактичного харчування дітей раннього віку з алергією до білка коров'ячого молока : метод. рекомендації. / [О.Г. Шадрін, С.Л. Няньковський, Д.О. Добрянський та ін.] К.: ТОВ «ЛЮДИ В БІЛОМУ», 2014. 28 с.

6. L. Blazowski, P. Majak, R. Kurzawa et al. (2021). A severity grading system of food-induced acute allergic reactions to avoid the delay of epinephrine administration. Ann Allergy Asthma Immunol. 2021 Oct; 127 (4): 462-470. e2. doi: 10.1016/j.anaai.2021.04.015.

7. Эффективность применения смеси Humana HA при вскармливании детей первого года жизни, страдающих атопическим дерматитом / Е. А. Старец, Н. А. Никитина, Е. А. Калашникова и др. // Современная педиатрия. – 2012. – № 4 (44). – С. 37–42.

8. Severity scoring of atopic dermatitis: the SCORAD index. Consensus Report of the European Task Force on Atopic Dermatitis // Dermatology.-1993; 186(1): 23-31.

**Аннотация.** В статье представлены результаты изучения оценки факторов риска атопического дерматита и эффективности гипоаллергенных смесей в комплексном лечении детей первого года жизни с атопическим дерматитом. Доказано, что вскармливание детей гипоаллергенными смесями "Нутана HA 1" и "Нутана HA 2" фирмы "Нутана" (Германия) достоверно эффективнее в сравнении с другими гипоаллергенными заменителями грудного молока. Вскормливание этими смесями уменьшают кожные проявления атопического дерматита, способствуют нормализации уровня эозинофилов крови и Ig E; микробиоценоза кишечника, обладают приятными органолептическими свойствами, не вызывают побочных эффектов.

**Ключевые слова:** дети первого года жизни, атопический дерматит, гипоаллергенные заменители грудного молока, смеси "Нутана HA 1" и "Нутана HA 2" фирмы "Нутана" (Германия).



## SEVERITY OF CLINICAL SYMPTOMS IN PATIENTS WITH NEGATIVE SYMPTOMS IN SCHIZOPHRENIA

## ОБТЯЖЕНОСТЬ КЛИНИЧНОЇ СИМПТОМАТИКИ У ПАЦІЄНТІВ З НЕГАТИВНИМИ СИМПТОМАМИ ПРИ ШИЗОФРЕНІЇ

Kushnir Yu.A./ Кушнір Ю.А.

Head of Department, PhD / завідувач відділення, к.м.н  
Municipal Non-Profit Enterprise 'Clinical Hospital "Psykhatriia"

St. 103 Kyrylivska Street, Kyiv, 04080, Ukraine

Комунальне некомерційне підприємство «Клінічна лікарня Психіатрія»

вул. Кирилівська, 103, м. Київ, 04080, Україна

**Анотація.** Було обстежено 252 пацієнта з негативною симптоматикою (НС) при шизофренії та 79 пацієнтів з позитивною симптоматикою при шизофренії. Був використаний комплексний підхід, що полягав у поєднанні клініко-анамнестичного, клініко-психопатологічного та статистичного методів дослідження. Оцінка клініко-анамнестичних особливостей у хворих на шизофренію включала аналіз розподілу пацієнтів з шизофренією за статтю, віком, рівнем освіти та сімейним станом. Проведений порівняльний аналіз спадкової обтяженості шизофренії з метою з'ясування можливого її впливу на прогноз розвитку негативних порушень в структурі шизофренії. Серед осіб з НС при шизофренії переважали пацієнти жіночої статі віком 20-29 років зі спеціальною середньою освітою; обтяженість клінічної картини у пацієнтів з НС при шизофренії окреслювалась переважанням пацієнтів, що були виховані у неповних сім'ях; з відставанням у психічному розвитку; з численними хворобами в дитячому віці та зі зловживанням ПАР і алкоголю.

**Ключові слова:** негативні симптоми, позитивні симптоми, шизофренія, клінічні характеристики, клініко-анамнестичний аналіз, обтяженість.

### Вступ.

Шизофренія - інвалідизуючий психічний розлад, негативні наслідки якої проявляються не тільки порушеннями в психічній сфері, а й у наявності великої кількості соматичних розладів, спадкової обтяженості, відставанням у розвитку, зловживанням ПАР та алкоголем [1,4]. 58% пацієнтів з шизофренією мають як мінімум одне соматичне захворювання, а в 9% їх діагностується чотири та більше [2-5]. Обтяженість пацієнтів з шизофренією соматичними захворюваннями та зловживанням ПАР є частою причиною зниження тривалості життя, яка у хворих на шизофренію на 20% коротша порівняно із загальною популяцією населення [3,6]. При цьому питання специфіки негативної симптоматики при шизофренії, що поєднана з різноманітними соматичними, спадковими та іншими факторами, що обтяжують клінічну симптоматику, недостатньо висвітлено, фундаментальних досліджень зі згаданої проблеми за останні роки не проводилося, а поодинокі роботи були присвячені лише окремим її аспектам [7-9]. Особливого значення набуває необхідність визначення конкретних клінічних ознак-маркерів шизофренії з метою підвищення якості їх діагностики, профілактики та лікування.

Тому метою дослідження стало визначення особливостей клініко-анамнестичної структури шизофренії для покращення діагностики та лікування негативної симптоматики при шизофренії.





### Основний текст.

Усього в дослідженні прийняли участь 331 пацієнт з шизофренією. Було обстежено 252 пацієнта з негативною симптоматикою при шизофренії (основна група) та 79 пацієнтів з позитивною симптоматикою при шизофренії (група порівняння). У дослідженні був використаний комплексний підхід, що полягав у використанні клініко-анамнестичного, клініко-психопатологічного та статистичного методів дослідження. Статистична обробка даних застосовувалась для визначення середніх величин кількісних параметрів, їхніх стандартних помилок (у форматі  $M \pm m$ ), достовірності відмінностей (точний метод Фішера і кутове перетворення Фішера). Для кожної градації діагностичного критерію визначався її внесок у постановку діагнозу: розраховувалась міра інформативності Кульбака (MI) та обчислювалися діагностичні (прогностичні) коефіцієнти (ДК) [10]. Статистична обробка результатів проводилась за допомогою Excel-2010 та STATISTICA 6.1.

Аналіз соціально-демографічних особливостей пацієнтів з негативними симптомами (НС) при шизофренії включав оцінку розподілу пацієнтів за статтю, віком, рівнем освіти та сімейним станом. Аналіз розподілу за статтю продемонстрував, що серед обстежених пацієнтів з переважанням негативної симптоматики при шизофренії було 103 чоловіків ( $40,87 \pm 1,25$ ) % та 149 жінок ( $59,13 \pm 1,51$ ) % (таблиця 1). Серед пацієнтів з переважанням позитивної симптоматики при шизофренії було обстежено 41 особа чоловічої статі ( $51,90 \pm 4,61$ ) % та 38 хворих жіночої статі ( $48,10 \pm 4,44$ ) %. Статистичний аналіз дозволив встановити, що у виборці основної групи жінок було більше (59,13 %,  $p = 0,023$ , ДК = 0,90, MI = 0,05), у той час коли в групі порівняння переважали особи чоловічої статі (51,90 %,  $p = 0,023$ , ДК = 1,04, MI = 0,06).

**Таблиця 1 - Розподіл за статтю пацієнтів з шизофренією**

| Стать                                                                    | Основна група (n = 252) |                  | Група порівняння (n = 79) |                  |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
|                                                                          | Абс.                    | % $\pm m\%$      | Абс.                      | % $\pm m\%$      |
| Чоловіки*                                                                | 103                     | 40,87 $\pm 1,25$ | 41                        | 51,90 $\pm 4,61$ |
| Жінки*                                                                   | 149                     | 59,13 $\pm 1,51$ | 38                        | 48,10 $\pm 4,44$ |
| Умовні позначення: * - відмінності статистично достовірні при $p < 0,05$ |                         |                  |                           |                  |

Результати дослідження віку хворих на шизофренію представлені у таблиці 2. Серед пацієнтів основної групи було 76 осіб у віці 20-29 років ( $30,16 \pm 1,00$ ) %, 98 осіб у віці 30-39 років ( $38,89 \pm 1,21$ ) %, 54 особи у віці 40-49 років ( $21,43 \pm 0,76$ ) % та 24 особи у віці 50-60 років ( $9,52 \pm 0,36$ ) %. Тобто більшість пацієнтів основної групи знаходилась у віковому діапазоні 20-49 років.

Розподіл за віком у пацієнтів групи порівняння був наступним: 15 осіб у віці 20-29 років ( $18,99 \pm 2,19$ ) %, 29 осіб у віці 30-39 років ( $36,71 \pm 3,74$ ) %, 22 особи у віці 40-49 років ( $27,85 \pm 3,03$ ) % та 13 осіб у віці 50-60 років ( $16,46 \pm 1,93$ ) %. Тобто більшість пацієнтів групи порівняння знаходилась у віковому діапазоні 30-49 років. Було доведено, що кількість пацієнтів у віці 20-29 років переважала серед хворих основної групи (30,16 %,  $p = 0,017$ , ДК = 2,01, MI = 0,11), у той час



коли в групі порівняння було більше осіб у віці 50-60 років (16,46 %,  $p = 0,038$ , ДК = 2,38, МІ = 0,08).

**Таблиця 2 - Розподіл за віком пацієнтів з шизофренією**

| Вік                                                                      | Основна група (n = 252) |                  | Група порівняння (n = 79) |                  |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
|                                                                          | Абс.                    | % $\pm$ m%       | Абс.                      | % $\pm$ m%       |
| 20-29*                                                                   | 76                      | 30,16 $\pm$ 1,00 | 15                        | 18,99 $\pm$ 2,19 |
| 30-39                                                                    | 98                      | 38,89 $\pm$ 1,21 | 29                        | 36,71 $\pm$ 3,74 |
| 40-49                                                                    | 54                      | 21,43 $\pm$ 0,76 | 22                        | 27,85 $\pm$ 3,03 |
| 50-60*                                                                   | 24                      | 9,52 $\pm$ 0,36  | 13                        | 16,46 $\pm$ 1,93 |
| Умовні позначення: * - відмінності статистично достовірні при $p < 0,05$ |                         |                  |                           |                  |

Результати вивчення рівня отриманої освіти хворих на шизофренію продемонстрували, що серед пацієнтів з переважанням негативної симптоматики 97 осіб мали середню спеціальну освіту (38,49  $\pm$  1,20) %, 65 осіб – незакінчену вищу освіту (25,79  $\pm$  0,89) %, 49 осіб – середню освіту (19,44  $\pm$  0,70) %, 32 осіб – вищу освіту (12,70  $\pm$  0,47) % та лише 9 осіб – навчальну освіту (3,57  $\pm$  0,14) % (таблиця 3).

**Таблиця 3 – Рівень освіти у хворих на шизофренію**

| Рівень освіти                                                                                   | Основна група (n = 252) |                  | Група порівняння (n = 79) |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
|                                                                                                 | Абс.                    | % $\pm$ m%       | Абс.                      | % $\pm$ m%       |
| Начальна                                                                                        | 9                       | 3,57 $\pm$ 0,14  | 3                         | 3,80 $\pm$ 0,48  |
| Середня                                                                                         | 49                      | 19,44 $\pm$ 0,70 | 11                        | 13,92 $\pm$ 1,66 |
| Середня спеціальна**                                                                            | 97                      | 38,49 $\pm$ 1,20 | 19                        | 24,05 $\pm$ 2,69 |
| Незакінчена вища*                                                                               | 65                      | 25,79 $\pm$ 0,89 | 29                        | 36,71 $\pm$ 3,74 |
| Вища*                                                                                           | 32                      | 12,70 $\pm$ 0,47 | 17                        | 21,52 $\pm$ 2,44 |
| Умовні позначення: відмінності статистично достовірні: * - при $p < 0,05$ ; ** - при $p < 0,01$ |                         |                  |                           |                  |

Серед пацієнтів з переважанням позитивних симптомів при шизофренії 29 осіб мали незакінчену вищу освіту (36,71  $\pm$  3,74) %, 19 осіб – середню спеціальну освіту (24,05  $\pm$  2,69) %, 17 осіб – вищу (21,52  $\pm$  2,44) %, 11 осіб – середню (13,92  $\pm$  1,66) % та 3 особи лише навчальну (3,80  $\pm$  0,48) %. Згідно з результатами дослідження було визначено, що серед обстежених хворих осіб з спеціальною середньою освітою було більше в основній групі (38,49 %,  $p = 0,006$ , ДК = 2,04, МІ = 0,15), у той час коли в групі порівняння було більше осіб з незакінченою вищою освітою (36,71 %,  $p = 0,019$ , ДК = 1,53, МІ = 0,08) та з вищою освітою (21,52 %,  $p = 0,023$ , ДК = 2,29, МІ = 0,10).

Результати дослідження сімейного стану хворих на шизофренію представлені у таблиці 4. Серед хворих основної групи 82 особи не перебували у шлюбі (32,54  $\pm$  1,06) %, 56 осіб знаходились у шлюбних стосунках (22,22  $\pm$  0,78) %, 102 особи були розлучені (40,48  $\pm$  1,24) % та 12 осіб втратили свою дружину (4,76  $\pm$  0,19) %.

**Таблиця 4 – Характеристика сімейного стану у хворих на шизофренію**

| Сімейний стан           | Основна група (n = 252) |                  | Група порівняння (n = 79) |                  |
|-------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
|                         | Абс.                    | % $\pm$ m%       | Абс.                      | % $\pm$ m%       |
| неодружений / незаміжня | 82                      | 32,54 $\pm$ 1,06 | 22                        | 27,85 $\pm$ 3,03 |
| замужем / одружений     | 56                      | 22,22 $\pm$ 0,78 | 15                        | 18,99 $\pm$ 2,19 |
| розлучений(а)           | 102                     | 40,48 $\pm$ 1,24 | 35                        | 44,30 $\pm$ 4,24 |
| вдова(вдівець)          | 12                      | 4,76 $\pm$ 0,19  | 7                         | 8,86 $\pm$ 1,08  |

Серед пацієнтів групи порівняння 22 особи були самотніми (27,85  $\pm$  3,03) %, 15 осіб мали сім'ю (18,99  $\pm$  2,19) %, 35 осіб були розлучені (44,30  $\pm$  4,24) % та 7 осіб були вдівцями (8,86  $\pm$  1,08) %. Значущих розходжень між групами визначено не було. В обох групах відзначалося переважання розлучених та самотніх осіб.

Також був проведений порівняльний аналіз спадкової обтяженості шизофренії з метою з'ясування можливого її впливу на прогноз розвитку негативних порушень та їх переважання в клінічній картині захворювання. Було встановлено, що у більшості пацієнтів основної (64,70  $\pm$  1,53) % та контрольної (59,49  $\pm$  4,85) % груп не спостерігалось спадкової обтяженості, у 20,60 % осіб основної групи та у 26,58 % пацієнтів контрольної групи спостерігалась спадкова обтяженість одного із близьких родичів, але значущих розбіжностей за цим показником між двома групами встановлено не було (таблиця 5).

**Таблиця 5 - Спадкова обтяженість по шизофренії пацієнтів з шизофренією**

| Спадкове обтяження       | Основна група (n = 252) |                 | Контрольна група (n = 79) |                  | p     | ДК   | МІ   |
|--------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|------------------|-------|------|------|
|                          | Абс.                    | % $\pm$ m       | Абс.                      | % $\pm$ m        |       |      |      |
| Не обтяжена              | 163                     | 64,7 $\pm$ 1,53 | 47                        | 59,49 $\pm$ 4,85 | 0,074 | 0,36 | 0,01 |
| Один із близьких родичів | 52                      | 20,6 $\pm$ 0,73 | 21                        | 26,58 $\pm$ 2,92 | 0,065 | 1,10 | 0,03 |
| Кілька близьких родичів  | 24                      | 9,52 $\pm$ 0,36 | 4                         | 5,06 $\pm$ 0,63  | 0,092 | 2,74 | 0,06 |
| Один із далеких родичів  | 6                       | 2,38 $\pm$ 0,09 | 5                         | 6,33 $\pm$ 0,79  | 0,068 | 4,25 | 0,08 |
| Кілька далеких родичів   | 7                       | 2,78 $\pm$ 0,11 | 2                         | 2,53 $\pm$ 0,32  | 0,308 | 0,40 | 0,00 |

Оцінка розподілу пацієнтів за обтяженістю психічними розладами, алкогольною та хімічною залежностями продемонструвала, що у 9,13 % пацієнтів основної групи відмічалась обтяженість у родичів шизофренії та алкогольної залежності, у 7,54 % спостерігалась обтяженість серед родичів афективними розладами та у 6,75 % - розладами особистості (таблиця 6). В контрольній групі також спостерігалась наявність серед родичів шизофренії та алкогольної залежності (13,92 % та 11,39 % відповідно), а також у 7,59 % - наявність розладів особистості та у 5,06 % - афективних розладів. Порівняння вибірок за даним показником не виявило достовірних статистичних



відмінностей, що не підтвердило припущення про прогностичне значення спадкової обтяженості щодо шизофренії на клінічний профіль захворювання. Відсутність статистично значущих відмінностей між групами свідчить про єдину природу шизофренії з позиції кількісної оцінки спадкового обтяження.

Розподіл пацієнтів з шизофренією за особливостями розвитку продемонстрував, що хворі з негативною симптоматикою при шизофренії частіше виховувалися в неповних сім'ях ( $74,21 \pm 1,50$ ) %, мали численні дитячі хвороби ( $34,94 \pm 1,12$ ) %, відмічали відставання у психічному розвитку ( $32,94 \pm 1,07$ ) %, наявність родової травми ( $14,68 \pm 0,54$ ) % (таблиця 7).

**Таблиця 6 - Розподіл пацієнтів з шизофренією за обтяженістю психічними розладами, алкогольною та хімічною залежностями серед родичів**

| Психічні розлади та алкогольна залежність | Основна група<br>(n = 252) |      |            | Контрольна група<br>(n = 79) |       |            | p     | ДК   | МІ   |
|-------------------------------------------|----------------------------|------|------------|------------------------------|-------|------------|-------|------|------|
|                                           | Абс.                       | %    | $\pm m$    | Абс.                         | %     | $\pm m$    |       |      |      |
| Шизофренія                                | 23                         | 9,13 | $\pm 0,35$ | 11                           | 13,92 | $\pm 1,66$ | 0,077 | 1,83 | 0,04 |
| Епілесія                                  | 1                          | 0,4  | $\pm 0,02$ | 0                            | 0     |            | 0,761 |      |      |
| Алкогольна залежність                     | 23                         | 9,13 | $\pm 0,35$ | 9                            | 11,39 | $\pm 1,37$ | 0,139 | 0,96 | 0,01 |
| Соматоформні розлади                      | 1                          | 0,4  | $\pm 0,02$ | 0                            | 0     |            | 0,761 |      |      |
| Невротичні розлади                        | 2                          | 0,79 | $\pm 0,03$ | 0                            | 0     |            | 0,579 |      |      |
| Розлади особистості                       | 17                         | 6,75 | $\pm 0,26$ | 6                            | 7,59  | $\pm 0,94$ | 0,188 | 0,51 | 0,00 |
| Афективні розлади                         | 19                         | 7,54 | $\pm 0,29$ | 4                            | 5,06  | $\pm 0,63$ | 0,163 | 1,73 | 0,02 |
| Хімічна залежність                        | 3                          | 1,19 | $\pm 0,05$ | 2                            | 2,53  | $\pm 0,32$ | 0,253 | 3,28 | 0,02 |

Пацієнти з позитивною симптоматикою при шизофренії також частіше виховувались в неповних сім'ях ( $65,82 \pm 4,93$ ) %, мали відставання в психічному розвитку ( $21,52 \pm 2,44$ ) %, аномалії вагітності та родові травми (15,19 % та 17,72 % відповідно).

Порівняння основної та контрольної груп між собою дозволило довести, що виховання в неповних сім'ях ( $74,21$  %,  $p \leq 0,040$ , ДК = 0,52, МІ = 0,02), відставання у психічному розвитку ( $32,94$  %,  $p \leq 0,017$ , ДК = 1,85, МІ = 0,11) та численні хвороби в дитячому віці ( $34,92$  %,  $p \leq 0,001$ , ДК = 3,27, МІ = 0,30) відрізняло пацієнтів з негативною симптоматикою при шизофренії від пацієнтів з позитивною симптоматикою при шизофренії, для яких більш притаманним були аномалії вагітності (15,19 %,  $p \leq 0,003$ , ДК = 5,04, МІ = 0,26).

Розподіл пацієнтів з шизофренією за обтяженістю хронічною соматичною патологією продемонстрував, що у пацієнтів основної групи у 9,13 % пацієнтів фіксувались проблеми, пов'язані з шлунково-кишковим трактом, у 6,35 % - з нервовою системою, 4,76 % пацієнтів відчували проблеми з серцево-судинною, сечостатевою та опорно-руховою системами (таблиця 8).

Серед пацієнтів контрольної групи були визначені проблеми з нервовою системою ( $13,92 \pm 1,66$ ) %, шлунково-кишковим трактом ( $11,39 \pm 1,37$ ) %, серцево-судинною та сечостатевою системами ( $8,86 \pm 1,08$ ) % та опорно-



руховою системою ( $7,59 \pm 0,94$ ) %. Статистичний аналіз результатів дозволив визначити, що осіб з проблемами у нервовій системі було більше серед пацієнтів з позитивною симптоматикою ( $13,92$  %,  $p \leq 0,021$ , ДК = 3,41, МІ = 0,13).

**Таблиця 7 - Розподіл пацієнтів з шизофренією за особливостями розвитку**

| Найменування показників           | Основна група<br>(n = 252) |                  | Контрольна група<br>(n = 79) |                  | p            | ДК   | МІ   |
|-----------------------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|------------------|--------------|------|------|
|                                   | Абс.                       | % $\pm$ m        | Абс.                         | % $\pm$ m        |              |      |      |
| Відсутня                          | 46                         | 18,25 $\pm$ 0,66 | 14                           | 17,72 $\pm$ 2,06 | 0,133        | 0,13 | 0,00 |
| Аномалії вагітності               | 12                         | 4,76 $\pm$ 0,19  | 12                           | 15,19 $\pm$ 1,79 | <b>0,003</b> | 5,04 | 0,26 |
| Родова травма                     | 37                         | 14,68 $\pm$ 0,54 | 14                           | 17,72 $\pm$ 2,06 | 0,111        | 0,82 | 0,01 |
| Дитячі хвороби                    | 88                         | 34,92 $\pm$ 1,12 | 13                           | 16,46 $\pm$ 1,92 | <b>0,001</b> | 3,27 | 0,30 |
| Відставання у психічному розвитку | 83                         | 32,94 $\pm$ 1,07 | 17                           | 21,52 $\pm$ 2,44 | <b>0,017</b> | 1,85 | 0,11 |
| Відставання у фізичному розвитку  | 23                         | 9,13 $\pm$ 0,35  | 11                           | 13,92 $\pm$ 1,65 | 0,077        | 1,83 | 0,04 |
| Виховання у повній сім'ї          | 65                         | 25,79 $\pm$ 0,89 | 27                           | 34,18 $\pm$ 3,55 | 0,050        | 1,22 | 0,05 |
| Виховання у неповній сім'ї        | 187                        | 74,21 $\pm$ 1,50 | 52                           | 65,82 $\pm$ 4,93 | <b>0,040</b> | 0,52 | 0,02 |

**Таблиця 8 - Розподіл пацієнтів з шизофренією за обтяженістю хронічною соматичною патологією**

| Хронічна соматична патологія | Основна група<br>(n = 252) |                 | Контрольна група<br>(n = 79) |                  | p            | ДК   | МІ   |
|------------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------|------------------|--------------|------|------|
|                              | Абс.                       | % $\pm$ m       | Абс.                         | % $\pm$ m        |              |      |      |
| ССС                          | 12                         | 4,76 $\pm$ 0,19 | 7                            | 8,86 $\pm$ 1,08  | 0,083        | 2,70 | 0,06 |
| ШКТ                          | 23                         | 9,13 $\pm$ 0,35 | 9                            | 11,39 $\pm$ 1,37 | 0,139        | 0,96 | 0,01 |
| ХОЗЛ                         | 4                          | 1,59 $\pm$ 0,06 | 1                            | 1,27 $\pm$ 0,16  | 0,404        | 0,98 | 0,00 |
| НС                           | 16                         | 6,35 $\pm$ 0,24 | 11                           | 13,92 $\pm$ 1,66 | <b>0,021</b> | 3,41 | 0,13 |
| Онкопатологія                | 3                          | 1,19 $\pm$ 0,05 | 4                            | 5,06 $\pm$ 0,63  | 0,050        | 6,29 | 0,12 |
| ОРС                          | 12                         | 4,76 $\pm$ 0,19 | 6                            | 7,59 $\pm$ 0,94  | 0,131        | 2,03 | 0,03 |
| СС                           | 12                         | 4,76 $\pm$ 0,19 | 7                            | 8,86 $\pm$ 1,08  | 0,083        | 2,70 | 0,06 |

Умовні позначення: ШКТ – шлунково-кишковий тракт; СССР – серцево-судинна система; ХОЗЛ – хронічне обструктивне захворювання легень; НС – нервова система; ОРС – опорно-рухова система; СС – сечостатева система

Аналіз наявності в анамнезі у хворих на шизофренію неврологічної патології продемонстрував, що у 6,75 % в основній групі та у 7,59 % в контрольній групі були встановлені ЧМТ в анамнезі (таблиця 9). Нейроінфекції реєструвалися у 4,37 % пацієнтів основної групи та у 6,33 % хворих контрольної групи. Наявність нейроінтоксикацій спостерігалась у 7,54 % пацієнтів основної групи та у 8,86 % осіб контрольної групи. Значущих розбіжностей виявлено не було.

Зловживання хімічних речовин у хворих на шизофренію спостерігалось як в основній, так і в контрольній групі. Так, серед пацієнтів з негативними симптомами при шизофренії зловживання ПАР визначалось у 22,62 % пацієнтів,





алкоголем – у 37,70% осіб та паління було характерним 42,86% осіб (таблиця 10).

**Таблиця 9 - Черепно-мозкової травми, нейроінфекції і нейроінтоксикації у хворих з шизофренією**

| Характер пошкодження ЦНС | Основна група (n = 252) |      |        | Контрольна група (n = 79) |      |        | p     | ДК   | МІ   |
|--------------------------|-------------------------|------|--------|---------------------------|------|--------|-------|------|------|
|                          | Абс.                    | %    | ± m    | Абс.                      | %    | ± m    |       |      |      |
| ЧМТ                      | 17                      | 6,75 | ± 0,26 | 6                         | 7,59 | ± 0,94 | 0,188 | 0,51 | 0,00 |
| Нейроінфекції            | 11                      | 4,37 | ± 0,17 | 5                         | 6,33 | ± 0,79 | 0,172 | 1,61 | 0,02 |
| Нейроінтоксикації        | 19                      | 7,54 | ± 0,29 | 7                         | 8,86 | ± 1,08 | 0,170 | 0,70 | 0,00 |

**Таблиця 10 - Зловживання хімічних речовин у хворих з шизофренією**

| Найменування показників | Основна група (n = 252) |       |        | Контрольна група (n = 79) |       |        | p            | ДК   | МІ   |
|-------------------------|-------------------------|-------|--------|---------------------------|-------|--------|--------------|------|------|
|                         | Абс.                    | %     | ± m    | Абс.                      | %     | ± m    |              |      |      |
| ПАР                     | 57                      | 22,62 | ± 0,79 | 10                        | 12,66 | ± 1,51 | <b>0,020</b> | 2,52 | 0,13 |
| алкоголь                | 95                      | 37,70 | ± 1,19 | 16                        | 20,25 | ± 2,31 | <b>0,002</b> | 2,70 | 0,24 |
| паління                 | 108                     | 42,86 | ± 1,29 | 32                        | 40,51 | ± 4,00 | 0,097        | 0,25 | 0,00 |

Серед пацієнтів з позитивними симптомами зловживання ПАР визначалось у 12,66 % пацієнтів, алкоголем – у 20,25 % осіб та паління фіксувалось у 40,51 % пацієнтів. Статистичний аналіз результатів дозволив довести, що серед пацієнтів з негативними симптомами було більше осіб, що зловживали ПАВ (22,62 %,  $p \leq 0,02$ , ДК = 2,52, МІ = 0,13) та алкоголем (37,70 %,  $p \leq 0,002$ , ДК = 2,70, МІ = 0,24), ніж в групі хворих з позитивною симптоматикою при шизофренії (12,66 % та 20,25 % відповідно).

### Висновки.

1. Були встановлені соціально-демографічні особливості пацієнтів з НС при шизофренії, які полягали в переважанні: осіб жіночої статі (59,13 %,  $p = 0,023$ , ДК = 0,90, МІ = 0,05); пацієнтів у віці 20-29 років (30,16 %,  $p = 0,017$ , ДК = 2,01, МІ = 0,11) та осіб з спеціальною середньою освітою (38,49 %,  $p = 0,006$ , ДК = 2,04, МІ = 0,15).

2. Соціально-демографічні особливості пацієнтів з ПС при шизофренії окреслювалися переважанням осіб чоловічої статі (51,90 %,  $p = 0,023$ , ДК = 1,04, МІ = 0,06); пацієнтів у віці 50-60 років (16,46 %,  $p = 0,038$ , ДК = 2,38, МІ = 0,08) та осіб з незакінченою вищою освітою (36,71 %,  $p = 0,019$ , ДК = 1,53, МІ = 0,08) та з вищою освітою (21,52 %,  $p = 0,023$ , ДК = 2,29, МІ = 0,10).

3. Були визначені клініко-анамнестичні характеристики обтяженості клінічної картини у пацієнтів з НС при шизофренії, які полягали в переважанні осіб, що були виховані у неповних сім'ях (74,21 %,  $p \leq 0,040$ , ДК = 0,52, МІ = 0,02); осіб з відставанням у психічному розвитку (32,94 %,  $p \leq 0,017$ , ДК = 1,85, МІ = 0,11); пацієнтів з численними хворобами в дитячому віці (34,92 %,  $p \leq 0,001$ , ДК = 3,27, МІ = 0,30) та пацієнтів зі зловживанням ПАР (22,62 %,  $p \leq 0,02$ , ДК = 2,52, МІ = 0,13) та алкоголю (37,70 %,  $p \leq 0,002$ , ДК = 2,70, МІ = 0,24).



4. Клініко-анамнестичні характеристики обтяженості клінічної картини у пацієнтів з ПС при шизофренії окреслювалися наявністю у матері аномалій вагітності (15,19 %,  $p \leq 0,003$ , ДК = 5,04, МІ = 0,26) та переважанням пацієнтів з проблемами у нервовій системі (13,92 %,  $p \leq 0,021$ , ДК = 3,41, МІ = 0,13).

Отримані результати дозволили уточнити дані щодо клініко-психопатологічних особливостей пацієнтів з НС та ПС при шизофренії, які повинні враховуватися при проведенні діагностики та лікування цих станів.

### Література:

1. Castle David J., Buckley Peter F., Gaughran Fiona P. Physical Health and Schizophrenia // Oxford University Press. – 2017. – P. 136.

2. Tandon R. Medical comorbidities of schizophrenia // Digest of Psychiatry. – 2013. – Vol. 42, N 3. – P. 51-55.

3. Менделевич Б.Д. К вопросу о распространенности соматической патологии среди пациентов, страдающих психическими расстройствами // Казанский медицинский журнал. – 2012. – Т. 93, № 3. – С. 532-534.

4. Bucci P., Galderisi S. Categorizing and assessing negative symptoms // *Current opinion in psychiatry*. – 2017. – Vol. 30(3). – P. 201–208. <https://doi.org/10.1097/YCO.0000000000000322>

5. Butcher I., Berry K., Haddock G. Understanding individuals' subjective experiences of negative symptoms of schizophrenia: A qualitative study// *The British journal of clinical psychology*, 2020. – Vol. 59(3). P. 319–334. <https://doi.org/10.1111/bjc.12248>

6. Galderisi S., Mucci A., Dollfus S. et. EPA guidance on assessment of negative symptoms in schizophrenia. // *European psychiatry: the journal of the Association of European Psychiatrists*. 2021. – Vol. 64(1), e23. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2021.11>

7. Kirkpatrick B., Mucci A., Galderisi S. Primary, Enduring Negative Symptoms: An Update on Research. // *Schizophrenia bulletin*. 2017. – Vol. 43(4), P. 730–736. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbx064>

8. Mørch-Johnsen L, Agartz I, Jensen J. The Neural Correlates of Negative Symptoms in Schizophrenia: Examples From MRI Literature. // *Clinical EEG and Neuroscience*. 2018. – Vol. 49(1). – P. 12-17. doi:[10.1177/1550059417746214](https://doi.org/10.1177/1550059417746214)

9. Бохан Н.А., Семке А.В., Корнетова У.Г и др. Клинико-динамические механизмы инициального периода подтипа шизофрении с ведущим негативным симптомокомплексом.// Бюллетень медицинской науки. 2018. – Вып. 3 (11)б С. 46-52.

10. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологи. СПб.: ООО «Речь», 2008. 350 с.

**Abstract.** 252 patients with negative symptoms (NS) of schizophrenia and 79 patients with positive symptoms of schizophrenia were examined. A comprehensive approach was used, consisting of a combination of clinical and anamnestic, clinical and psychopathological and statistical research methods. The assessment of clinical and anamnestic features in patients with schizophrenia included the analysis of the distribution of patients with schizophrenia by gender, age, level of education, and marital status. A comparative analysis of the hereditary burden of schizophrenia was carried out in



order to find out its possible influence on the prognosis of the development of negative disorders in the structure of schizophrenia. Among people with NS in schizophrenia, female patients aged 20-29 with a special secondary education predominated; the severity of the clinical picture in patients with NS in schizophrenia was outlined by the predominance of patients who were raised in single-parent families; with a delay in mental development; with numerous diseases in childhood and with the abuse of surfactants and alcohol.

**Key words:** negative symptoms, positive symptoms, schizophrenia, clinical characteristics, clinical and anamnestic analysis

Науковий консультант: д.м.н., проф. Н.О. Марута  
Стаття підготовлена в рамках виконання дисертації

Стаття відправлена: 23.09.23  
© Кушнір Ю.А.



УДК 612.015.3+612.17]-02:616.12-005.4

**PATHOGENETIC CONNECTIONS BETWEEN VARIOUS LINKS OF METABOLISM AND STRUCTURAL-FUNCTIONAL STATE OF THE HEART IN PATIENTS WITH CHD****ПАТОГЕНЕТИЧНІ ЗВ'ЯЗКИ МІЖ РІЗНИМИ ЛАНКАМИ МЕТАБОЛІЗМУ ТА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИМ СТАНОМ СЕРЦЯ У ХВОРИХ НА ІХС****Chekalina N.I. / Чекаліна Н.І.***d.med.s., as. prof. / д.мед.н., доц..*

ORCID: 0000-0003-1111-9472

Poltava State Medical University,

23 Shevchenko str., Poltava, Ukraine, 36011

Полтавський державний медичний університет,

вул. Шевченка, 23, м. Полтава, Україна, 36011

**Анотація.** У статті представлено дані, що відображають взаємозв'язки між показниками ліпідного спектру крові, функціонального стану печінки, гемокоагуляції, хронічного системного запалення, ішемії міокарда та стану центральної гемодинаміки у хворих на стабільну ішемічну хворобу серця (ІХС). За допомогою кореляційного аналізу визначено провідну роль хронічного системного запалення у патогенезі ІХС та опосередкованих нею порушень центральної гемодинаміки. Зазначено можливі мішені лікувального впливу.

**Ключові слова:** ішемічна хвороба серця, хронічне системне запалення, дисліпідемія, центральна гемодинаміка, кореляційний аналіз.

**Introduction.**

Проблема ішемічної хвороби серця (ІХС) та її морфологічної основи – атеросклерозу (АС) – є одним з найбільш пріоритетних напрямків наукових досліджень у світі, оскільки ІХС посідає перше місце в структурі смертності від усіх причин, охоплюючи більш, ніж третину працездатного населення [1]. Близько 65 % у структурі смертності від серцево-судинних захворювань в Україні складає ІХС [2]. Незважаючи на численні дослідження у даному напрямку та новітні діагностичні й лікувальні методи, що впроваджуються, суттєвого результату щодо зменшення захворюваності та смертності з приводу ІХС досі не досягнуто. Саме тому вивчення патогенетичних ланок ІХС та АС з метою пошуку мішеней лікувального впливу є актуальним та перспективним.

На сьогодні детально вивчено патогенез АС, зміни, що відбуваються на різних рівнях структурної організації судинного русла, та процеси, що їх зумовлюють [3]. Визначено провідну роль ендотеліальної дисфункції, дисліпідемії, хронічного системного запалення (ХСЗ), тощо [4]. Проте, недостатньо вивчені взаємозв'язки між різними ланками та показниками структурно-функціонального стану серця, що може відкрити нові підходи до підбору патогенетично обґрунтованого персоналізованого лікування.

**Метою** нашого дослідження було визначення взаємозв'язків між показниками ліпідного обміну, печінкового метаболізму, хронічного системного запалення, ішемії міокарда та центральної гемодинаміки у хворих на ішемічну хворобу серця.



## Materials and methods of research.

У одномоментному когортному клінічному дослідженні взяло участь 48 осіб  $55 \pm 3,7$  років, 26 чоловіків та 22 жінок, хворих на стабільну ІХС, I-II функціональний клас (ФК), серцева недостатність (СН) 0-I ступеню. Перед проведенням комплексного обстеження, всі пацієнти дали згоду на участь у дослідженні шляхом підписання інформованої згоди, згідно з умовами Гельсинської декларації 1975 року та її переглядів, а також, Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 690 (від 23.09.2009 р.).

Критеріями включення до дослідження були наявність зазначеного діагнозу ІХС, встановленого згідно з відповідним Уніфікованим протоколом, фаза стабілізації протягом двох місяців та більше, наявність комплаєнсу [5], Критеріями виключення були артеріальна гіпертензія вище II стадії, складні порушення ритму і провідності серця, вади серця, наявність хронічної ниркової, печінкової недостатності, ревматичні, онкологічні захворювання, цукровий діабет.

Для досягнення поставленої мети пацієнтам були проведені лабораторні та інструментальні дослідження. Визначали показники ліпідного спектру крові – загальний холестерин (ХС), ХС ліпопротеїдів низької щільності (ЛПНЩ), ХС ліпопротеїдів високої щільності (ЛПВП), тригліцериди (ТГ) методом імуноферментного аналізу; ферменти аланінамінотрансфераза (АлТ), аспартатамінотрансфераза (АсТ), гамма-глутамілтрансептидаза (ГГТП), лужна фосфатаза (ЛФ) та білірубін – фотоколориметричним методом. Визначали рівні цитокінів (ЦК) у крові – фактору некрозу пухлини  $\alpha$  (TNF $\alpha$ ), інтерлейкіну-1 (IL-1) та інтерлейкіну-10 (IL-10) у сироватці крові імуноферментним методом. Експресію гену mRNA інгібітора каппа В  $\alpha$  (I $\kappa$ B $\alpha$ ) ядерного фактору каппа В (NF- $\kappa$ B) у мононуклеарах периферичної крові визначали методом полімеразної ланцюгової реакції в режимі реального часу (Real-time PCR) [6]. Еходопплеркардіографію (Ехо) проводили на ультразвуковому сканері «Fukuda UF 750-XT» (Японія) за стандартною методикою. Визначали кінцевий діастолічний розмір (КДР) ЛШ, кінцевий систолічний розмір (КСР) ЛШ, кінцевий діастолічний об'єм (КДО ЛШ), кінцевий систолічний об'єм (КСО) ЛШ, діаметр лівого передсердя (ЛП). Визначали глобальну скоротливу здатність ЛШ за його ударним об'ємом (УО) та фракцією викиду (ФВ). Діастолічну функцію ЛШ оцінювали за станом трансмітрального кровотоку, а саме – за співвідношенням швидкостей раннього (Е) та пізнього (А) діастолічного наповнення (Е/А) та часом уповільнення раннього діастолічного наповнення (DT) [7].

Отримані дані були використані для виявлення взаємозв'язків між досліджуваними показниками у хворих на ІХС.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою програми KyPlot 6.0 (KyensLab Inc.). Гіпотезу про нормальність розподілу перевіряли з використанням критерію Шапіро – Уїлка. Пошук взаємозв'язків між показниками проводили за допомогою кореляційного аналізу за Пірсоном та, за умов ненормального розподілу, за Спірменом. Кореляційні зв'язки вважали сильними (тісними) при значенні коефіцієнту кореляції  $r \geq 0,7$ , помірної сили –





при  $0,3 < r < 0,7$ , слабкими – при  $r \leq 0,3$ . Дані вважали достовірними при рівні значимості  $p < 0,05$ .

#### Результати дослідження.

В усіх хворих на ІХС було визначено дисліпідемію: був підвищений рівень ХС, ХС ЛПНЩ, у 39 % – рівень ТГ. Рівні печінкових ферменти (АлТ, АсТ, ЛФ, ГГТП) були у межах референсних значень, білірубін та його фракції відповідали межах норми, але ми залучили ці показники до кореляційного аналізу з метою пошуку патогенетичних взаємозв'язків між різними ланками метаболізму. У 87 % хворих був підвищений рівень ІЛ-1, у 94 % –  $\text{TNF}\alpha$ , рівень ІЛ-10 був підвищений у 28 % хворих.

За даними ЕхоКГ, всі хворі мали порушення діастолічної функції ЛШ, переважна більшість – за типом порушення релаксації, 6 % – за типом ІІ (псевдонормалізація). ФВ ЛШ була в межах фізіологічної норми. Діаметр ЛП був збільшеним у 74 % хворих.

Дані кореляційного аналізу, що мали статистичну значимість, наведені у таблиці 1.

**Таблиця 1 – Результати кореляційного аналізу досліджуваних показників хворих на ІХС**

| Показник 1         | Показник 2   | Коефіцієнт кореляції, r | Рівень значимості, p < |
|--------------------|--------------|-------------------------|------------------------|
| ХС                 | ХС ЛПНЩ      | 0,760                   | 0,001                  |
| ХС                 | ХС ЛПВЩ      | 0,429                   | 0,05                   |
| ХС                 | ТГ           | 0,582                   | 0,001                  |
| ХС                 | ІКВ $\alpha$ | 0,503                   | 0,01                   |
| ХС ЛПНЩ            | ТГ           | 0,483                   | 0,01                   |
| ХС ЛПНЩ            | ІКВ $\alpha$ | 0,453                   | 0,01                   |
| АлТ                | АсТ          | 0,657                   | 0,001                  |
| АлТ                | ГГТП         | 0,394                   | 0,001                  |
| АлТ                | ЛФ           | 0,475                   | 0,01                   |
| АсТ                | ГГТП         | 0,441                   | 0,01                   |
| ГГТП               | ЛФ           | 0,534                   | 0,001                  |
| ІЛ-1               | ІКВ $\alpha$ | 0,396                   | 0,05                   |
| $\text{TNF}\alpha$ | ІКВ $\alpha$ | 0,392                   | 0,05                   |
| $\text{TNF}\alpha$ | ІЛ-10        | - 0,446                 | 0,01                   |
| $\text{TNF}\alpha$ | DT           | 0,395                   | 0,01                   |
| ФВ ЛШ              | DT           | - 0,564                 | 0,001                  |
| Е/А                | DT           | - 0,421                 | 0,05                   |
| Е/А                | ЛП           | - 0,484                 | 0,01                   |

Автор – Чекаліна Н.І.

Отримані результати дозволили виявити тісний прямий кореляційний зв'язок між рівнем загального ХС та ХС ЛПНЩ, що має, певною мірою, функціональний характер. Так само, прямі кореляційні зв'язки середньої сили були виявлені між ХС та ХС ЛПВЩ, ХС ЛПНЩ та ТГ.

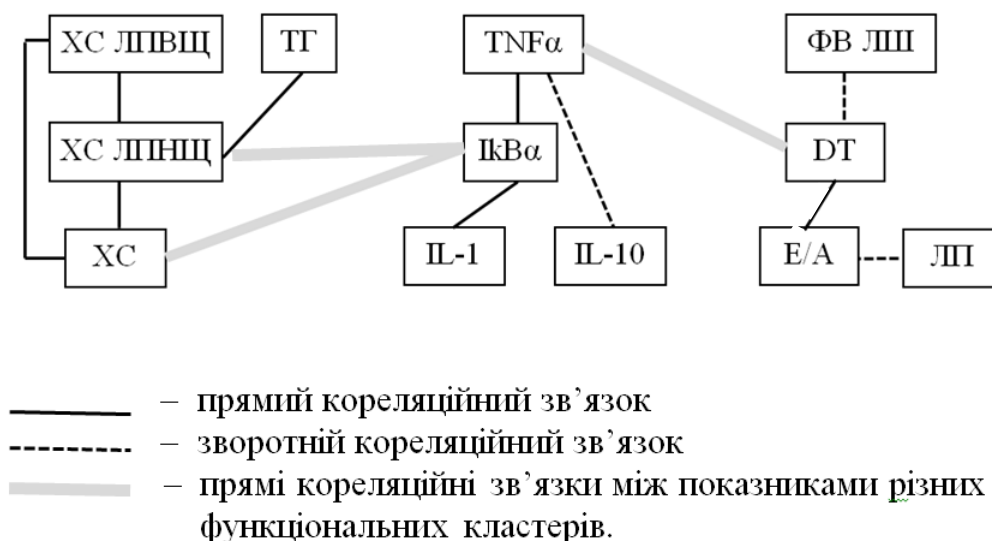


Печінкові ферменти, незважаючи на те, що їхні рівні були у межах референсних значень, мали між собою середньої сили прямі кореляційні зв'язки.

Рівень експресії mRNA I $\kappa$ B $\alpha$ , що відображає транскрипційну активність NF- $\kappa$ B, мав середньої сили кореляційні зв'язки з обома прозапальними ЦК – TNF $\alpha$  та IL-1. Між TNF $\alpha$  та протизапальним ЦК IL-10 виявлено середньої сили зворотній кореляційний зв'язок.

Також, визначено зворотній кореляційний зв'язок середньої сили між складовими, що відображають діастолічну функцію ЛШ – DT та E/A, E/A та діаметром ЛП. ФВ ЛШ негативно корелювала з DT, що демонструє функціональний зв'язок систолічної та діастолічної функції ЛШ.

Між кластерами «ліпідний спектр крові», «хронічне системне запалення» та «центральна гемодинаміка», у які можна було об'єднати досліджувані показники, знайдені кореляційні зв'язки, які відображають патогенетичні компоненти ІХС та їхній взаємний вплив (Малюнок 1).



**Малюнок 1 – Взаємозв'язки між ліпідним обміном, хронічним системним запаленням та гемодинамічними параметрами у хворих на ІХС.**

Автор – Чекаліна Н.І.

### Обговорення та аналіз результатів.

Порушення ліпідного спектру крові, що було визначено у хворих на ІХС, є неодмінним компонентом АС з наступними змінами органів-мішеней [3]. В умовах гіперхолестеринемії відбувається ліпопероксидація, рекрутинг макрофагів до стінки артерій зі створенням депозитів ХС, ушкодження ЕТ з експресією прозапальних молекул, що тісно пов'язано з активацією імунокомпетентних клітин та продукцією ЦК, опосередкованою активацією NF- $\kappa$ B, активуючого протеїну 1, тощо [4,8]. Визначені кореляційні зв'язки між показниками ліпідного спектру крові та рівнем експресії I $\kappa$ B $\alpha$ , свідчать про патогенетичні взаємозв'язки між ХСЗ та дисліпідемією у досліджуваних хворих на ІХС, що цілком узгоджується з сучасними уявленнями про механізми атерогенезу [9].

Рівень експресії mRNA I $\kappa$ B $\alpha$  мав прямі кореляційні зв'язки з вмістом



прозапальних ЦК, що обґрунтовує залежність їхньої продукції від активації NF- $\kappa$ B [10]. Зворотній кореляційний зв'язок між IL-10 та TNF $\alpha$  підтверджує протизапальне спрямування IL-10 [11].

Систолічна та діастолічна функція серця тісно пов'язані, Підвищення тиску у камерах серця формується на тлі зменшення здатності міокарда до релаксації з поступовим формуванням його жорсткості. В умовах ішемії, метаболічних порушень через погіршення коронарного кровообігу відбувається деградація кардіоміоцитів шляхом апоптозу, некрозу, формування фіброзних та склеротичних змін міокарда [12]. Кореляційні зв'язки, визначені у нашому дослідженні, обґрунтовують патогенетичні ланки систоло-діастолічних порушень при ІХС.

При цьому, визначений зв'язок між рівнем TNF $\alpha$  та показником DT, який характеризує діастолічну функцію ЛШ, демонструє значимість активації ХСЗ у патогенезі порушень центральної гемодинаміки.

### **Висновки.**

Таким чином, в результаті проведеного кореляційного аналізу визначено, що у патогенезі ІХС тісно пов'язані хронічне системне запалення, порушення ліпідного спектру крові та гемодинамічні зміни.

Виявлені зв'язки між досліджуваними показниками дозволять спрямувати науковий пошук на вивчення тонких механізмів патогенезу атеросклерозу та ІХС для визначення мішеней медикаментозного впливу.

### **Висловлення вдячності.**

*Висловлюємо глибоку вдячність колективу Науково-дослідного інституту генетичних та імунологічних основ розвитку патології та фармакогенетики за допомогу у проведенні лабораторних досліджень.*

### **Бібліографія.**

1. Європейська база даних статистичної інформації «Здоров'я для всіх» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://medstat.gov.ua/ukr/normdoc.html>.
2. Коваленко В.М. Серцево-судинні захворювання: класифікація, стандарти діагностики та лікування / В.М. Коваленко, М.І. Лутай, Ю.М. Сіренко, О.С. Сичов. – Київ: Моріон, 2019. – 239 с.
3. Fan J. Atherosclerosis: Known and unknown / J. Fan, T. Watanabe // Pathol Int. – 2022. – V. 72, № 3. - P. 151-160.
4. Brunetti N.D. Early inflammatory cytokine response: A direct comparison between spontaneous coronary plaque destabilization vs angioplasty induced / N.D. Brunetti, M. Correale, P.L. Pellegrino, I. Munno, L.D. Gennarj, A. Cuculo [et al.] // Atherosclerosis. – 2014. – V. 236, № 2. – P. 456-460.
5. Уніфікований клінічний протокол первинної, вторинної (спеціалізованої) та третинної (високоспеціалізованої) медичної допомоги. Стабільна ішемічна хвороба серця / Новини медицини і фармації. Кардіологія і ревматологія (тематичний номер). – 2016. – № 572. – С. 27-60.
6. Nolan T. Quantification of mRNA using real-time RT-PCR / T. Nolan, R. E. Hands, S. A. Bustin // Nature Protocols. – 2006. - № 1. – P. 1559–1582.



7. European Association of Echocardiography recommendations for standardization of performance, digital storage and reporting of echocardiographic studies / A. Evangelista, F. Flachskampf, P. Lancellotti [et al.] // Eur. J. Echocardiogr. - 2008. - Vol. 9. - P. 438-448.

8. Inflammatory cytokines in atherosclerosis: current therapeutic approaches / D. Tousoulis, E. Oikonomou, E. K. Economou [et al.] // Eur. Heart. J. – 2016. - Vol. 37, № 27. – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.1093/eurheartj/ehw234>.

9. Voskresensky O.N. The antioxidant system, ontogenesis and ageing / O.N. Voskresensky., I.A. Zhutaev, V.N. Bobyrev, Yu.V. Bezugly // Вопросы медицинской химии. – 1982. –Т. 28, №. 1 – С. 14-27

10. Кайдашев І.П. Активация NF-κB при метаболическом синдроме / І.П. Кайдашев // Фізіол. журн. – 2012. – Т.58, №1. – С. 93-101.

11. Ткачук С.О. Зміни вмісту інтерлейкінів 1β, 10 при стеатогепатозі та ішемічному ураженні міокарда / С.О. Ткачук, Л.Є. Лаповець, Г.В. Башта, О.І. Мартянова // Вісник проблем біології і медицини. - 2017. - Вип. 1 (135.). – С. 196-199.

12. Gordon J.W. Multiple facets of NF-κB in the heart: to be or not to NF-κB / J.W. Gordon, J.A. Shaw, L.A. Kirshenbaum // Circ Res. – 2011. – Vol.108, № 9. – P. 1122-1132.

## References

1. Ievropeiska baza danykh statystychnoi informatsii «Zdorovia dlia vsikh», [European database of statistical information "Health for all"] [online]. Available at: <http://medstat.gov.ua/ukr/normdoc.html>. [Accessed 19 July 2023]. [in Ukrainian].

2. Kovalenko, V.M., Lutai, M.I., Sirenko, Yu.M., and Sychoy, O.S. (2019). Sertsevo-sudynni zakhvoriuvannia: klasyfikatsiia, standarty diahnozyky ta likuvannia [Cardiovascular diseases: classification, standards of diagnosis and treatment] Kiev: Morion [in Ukrainian].

3. Fan, J. and Watanabe, T. (2022). Atherosclerosis: Known and unknown. Pathol Int., 72(3), pp.151-160. DOI: 10.1111/pin.13202.

4. Brunetti, N.D., Correale, M., Pellegrino, P.L., Munno, I., Gennarj, L.D., Cuculo, A., et al. (2014). Early inflammatory cytokine response: A direct comparison between spontaneous coronary plaque destabilization vs angioplasty induced. Atherosclerosis, 236(2), pp.456-460. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2014.07.037.

5. Unifikovanyi klinichniy protokol pervynnoi, vtorynnoi (spetsializovanoi) ta tretynnoi (vysokospetsializovanoi) medychnoi dopomohy. Stabilna ishemichna khvoroba sertsia.. Kardyolohiia i revmatolohiia (tematychnyi nomer) [Unified clinical protocol of primary, secondary (specialized) and tertiary (highly specialized) medical care. Stable ischemic heart disease] (2016). Novyny medytsyny i farmatsii. Kardiologhiia ta revmatologhiia (tematychnyi nomer) [News of medicine and pharmacy. Cardiology and rheumatology (thematic number)]. 572, 27-60. [in Ukrainian].

6. Nolan T., Hands, R.E. and Bustin S.A. (2006). Quantification of mRNA using real-time RT-PCR. Nature Protocols, 1, pp.1559–1582. DOI: 10.1038/nprot.2006.236.

7. Evangelista, A., Flachskampf, F., Lancellotti, P., Badano, L., Aguilar, R., Monaghan, M., Zamorano, J. and Nihoyannopoulos, P. (2008). European Association of Echocardiography. European Association of Echocardiography recommendations for standardization of performance, digital storage and reporting of echocardiographic studies. Eur J Echocardiogr., 9(4), pp.438-448. DOI: 10.1093/ejechocard/jen174.

8. Tousoulis, D., Oikonomou, E., Economou, E.K., Crea, F. and Kaski, J.C. (2016). Inflammatory cytokines in atherosclerosis: current therapeutic approaches. Eur Heart J., 37(22),



pp.1723-1732. DOI: 10.1093/eurheartj/ehv759.

9. Voskresensky, O.N., Zhutaev, I.A., Bobyrev, V.N., & Bezugly, Yu.V. (1982). The antioxidant system, ontogenesis and ageing. Voprosy Meditsinskoj Khimii [Questions of Medicinal Chemistry], 28, 1, 14-27.

10. Kaidashev, I.P. (2012). Aktyvatsiia NF- $\kappa$ B pry metabolichnomu syndromi [Activation of NF- $\kappa$ B in metabolic syndrome]. Fiziol. Zhurnal [Physiological journal], 58, 1, 93-101. [In Ukrainian].

11. Tkachuk, S.O., Lapovets, L.Ie., Bashta, H.V. ta Martianova, O.I. (2017). Zminy vmistu interleukiniv  $1\beta$ ,  $10$  pry steatohepatozu ta ishemichnomu urazhenni miokarda [Changes in the content of interleukins  $1\beta$ ,  $10$  in steatohepatosis and ischemic myocardial damage]. Visnyk problem biolohii i medytsyny [Herald of problems of biology and medicine], 1(135.), pp.196-199.

12. Gordon, J.W., Shaw, J.A. and Kirshenbaum, L.A. (2011). Multiple facets of NF- $\kappa$ B in the heart: to be or not to NF- $\kappa$ B. Circ Res., 108(9), pp.1122-1132.

DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.110.226928.

**Abstract.** The article presents data reflecting the relationship between the indicators of the blood lipid spectrum, the functional state of the liver, hemocoagulation, chronic systemic inflammation, myocardial ischemia and the state of central hemodynamics in patients with stable coronary heart disease (CHD). Using correlation analysis, the leading role of chronic systemic inflammation in the pathogenesis of coronary heart disease and the central hemodynamic disorders mediated by it was determined. Possible targets of therapeutic effect are indicated.

**Keywords:** coronary heart disease, chronic systemic inflammation, dyslipidemia, central hemodynamics, correlation analysis.

*Дана стаття є фрагментом НДР «Особливості перебігу серцево-судинної патології у пацієнтів різної вікової категорії в залежності від наявності компонентів метаболічного синдрому та коморбідних станів, шляхи корекції виявлених порушень та профілактики», 2019-2023 рр. (№ державної реєстрації 0119U1028)*

Стаття надіслана: 25.09.2023

© Chekalina N.I.





## ALGORITHM OF PSYCHOLOGICAL ASSISTANCE IN THE SYSTEM OF TREATMENT AND REHABILITATION MEASURES FOR PATIENTS WITH ENT PATHOLOGIES

### АЛГОРИТМ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ДОПОМОГИ У СИСТЕМІ ЛІКУВАЛЬНО-РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ У ХВОРИХ З ЛОР – ПАТОЛОГІЯМИ

Rakhmanov Vasif Vagif Oglu / Рахманов Васіф Вагіф Огли

Postgraduate / аспірант

Dnipro Regional Hospital named after Mechnikov

Дніпропетровська обласна лікарня імені Мечникова

**Анотація.** Дана робота присвячена лікувальним психотерапевтичним навіюванням, спрямованим на корекцію тієї чи іншої патопсихологічної симптоматики у хворих з лор патологіями. Часто формула навіювання складається нечітко, без урахування особливостей психічних процесів у конкретних хворих, їх взаємозв'язку у процесі відновного лікування та після його закінчення.

Під час відновного лікування поліпшення одного психічного процесу сприяє покращенню інших подібно до того, як порушення одного психічного процесу викликає дисоціацію інших.

У зв'язку з цим розкид (нечіткість) навіювання, дія якого спрямована на одну функцію, може викликати замість позитивного результату загальні дисоціації між психічними та фізіологічними процесами, підсвідомо прихований негативізм з боку хворих.

Особливо це характерно для хворих з порушенням слуху, у яких відзначається недостатнє словесне розуміння навіюваного. Під час проведення реабілітаційних заходів це веде до порушення асоціативних процесів.

**Ключові слова:** Патопсихологічна симптоматика, психічні та Фізіологічні процеси, реабілітаційні заходи, Медико-соціальна реабілітація, соматичні та неврологічні захворювання, застосування психотерапії при нейросенсорному порушенні слуху, психотерапевтичне навіювання

У зв'язку з недоліками існуючих лікувально-реабілітаційних заходів для осіб з дефектом органу слуху великого значення набувають розробки більш раціональних методів медико-соціальної реабілітації цих хворих. Насамперед - застосування комплексу психотерапевтичних заходів, які до цього часу, у цієї категорії хворих не застосовувалися через відсутність вербального контакту, незважаючи на широке використання психотерапії у лікуванні різних соматичних та неврологічних захворювань. Наша багаторічна практика дозволила довести ефективність застосування психотерапії при нейросенсорному порушенні слуху.

Метою цих методичних рекомендацій є:

- 1) розробка структурної основи психотерапевтичного навіювання;
- 2) розробка методики попереднього прогнозування ефективності методів лікування;
- 3) розробка критеріїв оцінки результатів лікувально-реабілітаційних заходів, що дозволяють проводити медико-соціальну реабілітацію осіб з порушенням слуху, ускладненою вторинними невротичними та неврозоподібними розладами.

Окремі положення даних методичних рекомендацій можна використовувати при лікуванні хворих з прикордонними розладами.



### **Загальні методичні вказівки**

Психотерапевтичні навіювання слід проводити у спеціальних кабінетах, що дозволяють виключити дію зовнішніх подразників.

Перш ніж приступити до лікування, слід вивчити ступінь втрати слуху та його залишки, симптоми захворювання, особливості психічних процесів, прояв вторинних ускладнень захворювання.

Перед навіюванням слід визначити його цілі та завдання, тривалість його дії (на добу – коротка дія, на тиждень – тривала дія, після закінчення курсу лікування – більш тривала дія).

Навіювання можна проводити одномоментно або поетапно при тривалому сеансі гіпнотерапії. У такому разі протягом сеансу проводяться 1-3 навіювання. На початку для занурення в гіпнотичний стан навіювання спрямовується на надання седативної дії. Під час гіпнотичного стану проводиться цілеспрямоване навіювання корекції того чи іншого психопатологічного розладу. Наприкінці гіпнотичного сну навіювання спрямовується на зняття гіпнотичної релаксації тощо.

У процесі навіювання можна змінювати голос того, що вселяє. Спочатку навіювання проводиться жіночим голосом, потім чоловічим чи навпаки. При цьому хворі заздалегідь попереджаються про зміну голосу.

Навіювання, як говорилося, має бути складено конкретно і чітко. Багатомовність викликає негативізм із боку хворих.

Хворим із глухотою, що мають в анамнезі нейроінфекції: менінгіт, менінгоенцефаліт, черепно-мозкові травми, навіювання слід неодноразово повторювати, фрази конкретизувати, зробити їх чіткішими та коротшими.

Слід зазначити, що для навіювання занурення хворого в глибокий гіпнотичний стан не завжди виправдано і обов'язково. У частини хворих після занурення у глибокий гіпнотичний стан можлива втрата раппорту. Навіювання можна проводити в неспаному і неглибокому гіпнотичному стані. За потреби зі слуховим апаратом (у глухих).

На початкових етапах навіювання спрямовується на зняття астеничних станів, вторинних невротичних та неврозоподібних розладів та інших порушень. Навіювання для зняття певних порушень слід проводити за показаннями протягом 1-2 днів лікування. Миттєві результати від навіювання не завжди можуть бути досягнуті.

Після настання поліпшень у соматичному, психічному стані на 3-4-й день можна проводити навіювання, спрямоване на покращення слухового сприйняття, поєднуючи його з навіюванням на покращення психічних процесів.

Окремі хворі через порушення слуху недоступні вербальному контакту в неспаному стані. Однак після занурення у гіпнотичний сон вони, проте, виявляються здатними сприймати голоси (особливо знайомі) поблизу вуха.

З огляду на це після занурення хворого у гіпнотичний сон, через 5-6 хвилин, біля його вуха (залежно від ступеня втрати слуху відстань для кожного підбирається індивідуально) проводиться «пробне навіювання». Для цього лікар (після занурення хворого у глибокий гіпнотичний стан) вселяє хворому огиду до того чи іншого улюбленого предмета або дії (до гри, їжі, напою тощо). Після



пробудження хворий, не знаючи спрямованості навіювання, повинен описати свої відчуття під час гіпнотичного стану у щоденнику спостережень. Зважаючи на те, що зазвичай багато хворих не запам'ятовують ці відчуття, рідним дається завдання поспостерігати за ними і відзначити момент реалізації навіювання.

У частини хворих навіювання реалізується не відразу, а лише на 3 - 4-й день після неодноразового навіювання. Після того, як встановлено факт реалізації навіювання, лікар становить для хворого індивідуальну формулу лікувального навіювання.

На підставі оцінки результатів навіювання, проведених на початку курсу, можна зробити попередній висновок про залишки слуху, рівень психічного розвитку та стан мови, сферу інтересів тощо.

За результатами реалізації навіювання надалі можна зробити узагальнюючий висновок та індивідуалізувати лікувальне навіювання для корекції того чи іншого розладу, у тому числі й покращення слухової уваги, сприйняття.

У процесі лікування зміст навіювання можна змінювати залежно від індивідуальних особливостей та настання певних змін у стані хворого. З цією метою необхідно враховувати структурні основи навіювання, спрямовані на той чи інший психічний процес у певному періоді лікування.

У дітей та дорослих з вираженими невротичними та неврозоподібними розладами аудіометричні та психологічні дослідження проводяться у неспаному стані, що не завжди дозволяє повною мірою оцінити залишки слуху та психологічні особливості. У гіпнотичному стані покращуються потенційні можливості у хворих. Вони чують краще, ніж у неспаному стані. Найчастіше ці явища спостерігаються на 2-3-й день навіювання.

У хворих з вадами слуху через відсутність вербального контакту не завжди вдається достовірно оцінити ступінь порушення психічних процесів, виявити психопатологічну симптоматику.

Насамперед необхідно звернути увагу на оцінку психічного стану хворого. Для цього слід враховувати особливості перебігу психічних процесів хворого до і після лікування протягом доби і через більш тривалий час. При складанні формули навіювання враховуються індивідуальні схильності, здібності хворого, які, можливо, не знайшли застосування або втрачені. Надалі вони знаходять свій відбиток у заданих діях, малюнках. У наступних сеансах можна задавати дії, властиві чи невластиві даному індивіду.

Для досягнення мети в перші 1-3 дні виключається вплив батьків та інших осіб на фактори реалізації гіпнотичного навіювання, а також повторення того самого навіювання в перші дні лікування. Надалі ці обмеження знімаються.

### **Зміст навіювання на початковому етапі**

Зміст навіювання є одним із головних проблем методики, оскільки він має охопити: діяльність, пізнавальні процеси, емоційно-вольову бік діяльності особистості, її психологічні особливості.

У цій частині роботи буде узагальнено матеріал і зроблено спробу показати один із підходів до вирішення цих проблем, виходячи із завдань розробленої методики, предметом якої є цілі, зміст та технологія лікування - навіювання та



поєднання її з іншими методиками, спрямованими на свідомі та підсвідомі - психічні процеси мозку, що дозволяють визначити теоретичні та практичні засади лікувального навчання. Це потрібно для того, щоб лікувальні навчання будувалися на рівні сучасних уявлень про психіку, вищу нервову діяльність.

### **Лінгвістичний компонент змісту навчання**

Для визначення змісту навчання при тій чи іншій патології бажано врахувати і лінгвістичний компонент навчання.

Під лінгвістичним компонентом навчання мається на увазі: 1) норма мови (прийняте мовне вживання мовних засобів); 2) сукупність правил, що впорядковують вживання мовних засобів у мовній вимові навчаного. При цьому враховуються особливості мовної вимови та розвитку мови, свідомих та підсвідомих процесів навчаного. Слід визначити фонетичну, морфологічну, синтаксичну, лексичну сторони змісту навчання.

Для навчання в осіб з нормальним слухом важливим є мова і вимова як того, що вселяє, так і того, якому вселяють, а в осіб з вадами слуху - змістове поняття змісту слів вселяючого.

При сурдопедагогічних заняттях під гіпнотичним сном у хворих з недорозвиненням мови ми використовуємо весь комплекс заходів, спрямованих на вироблення у них здатності сприймати і розуміти мову, відтворювати її і, нарешті, спілкуватися в умовах нормального мовного оточення. З цією метою слід розпочинати навчання мови та вимови, активізувати процеси використання мови та мови в комунікативних цілях. При цьому слід виходити з того, що на початкових етапах потрібно навчання мови, тобто навчати спочатку розуміння та відтворення, а також висловлювання елементарних мовних звернень, зумовлених тими чи іншими ситуаціями, які можливі у житті хворого.

Зміст навчання має на початкових етапах лікування спрямовуватися не так на знання слів, граматику, фонетику, а на активізацію прагнення говорити, інакше кажучи – для вирішення найпростіших комунікативних завдань. У наступних етапах лікування – на поліпшення психічних процесів, соціальної комунікації пацієнтів.

При складанні формули навчання, особливо в дітей із поведінковими порушеннями, слід дотримуватися послідовності від лікувального впливу до педагогічного виховання, і навіть від промови - до розвитку мови у процесі організованого цілеспрямованого спілкування до досягнення максимального пробудження соціальної активізації (соціалізації) пацієнтів.

Для цього на наступних етапах, коли у хворих настала стабілізація психіки, є потреба до спілкування, навчання, текст навчання повинен включати строго відпрацьований граматичний, лексичний мінімум та мовленнєвий вираз матеріалу. Добір, дозування мовних виразів залежить від розвитку дитини.

При складанні навчання слід врахувати як індивідуальну особливість індивідуума, і сімейні взаємини, і навіть особливості культури народу, до якого належить даний хворий.

У результаті слід підкреслити, що лінгвістика допомагає визначити лінгвістичний компонент змісту навчання, який поєднує як мовну, так і мовну



сукупності, які здатні забезпечити лінгвістичний та екстралінгвістичний зміст навіювання.

### **Психологічний компонент змісту навіювання**

Визначення змісту навіювання виходить із знання психології індивіда. При цьому враховуються психічне відображення дійсності, душевні властивості, розумова діяльність та стан індивіда та ін.

При складанні формули навіювання та проведенні його особливо звертають увагу, в якій послідовності беруть участь хворі у розмові та слуханні речень, чи намагаються виявити відмінності та подібності, встановлюється функціонування мови та мови залежно від психологічних особливостей хворого.

Таким чином, облік психології індивіда дозволяє визначити другий компонент змісту навіювання. Це формування навичок та умінь використовувати мовлення у комунікативних цілях, у прилученні їх до активного життя в умовах звичайного мовного оточення.

### **Методологічний компонент змісту навіювання**

Під методологічним компонентом змісту навіювання мається на увазі навчання - прагнення хворих до пізнання нової для них мети, мови, вимови та формування умінь практично використовувати їх з метою спілкування. При цьому можна застосувати будь-який можливий та неможливий засіб для даного індивіда, для спілкування, розвитку мови, соціальної реабілітації. Воно має бути спрямоване на розвиток умінь та навичок прислухатися, писати, говорити, танцювати, читати голосно, або хоча б тихо, щоб краще запам'ятати використання словосполучень, речень у письмовому, візуальному, вербальному вигляді. Іншого шляху до розвитку залишку слуху та оволодіння мовою немає.

У цьому слід розвивати в індивідумі ті вміння, які легше піддаються корекції і приносять радість (особливо у дітей).

Отже, із сучасного рівня теорії психотерапії та використання її в лікувальних та педагогічних цілях була зроблена спроба визначення змісту навіювання. Вона включає три компоненти:

1. Лінгвістичний, що поєднує мовний та мовний компоненти.
2. Психологічний - формування навичок та умінь використовувати мову та мовлення у комунікативних цілях.
3. Методологічний - прагнення хворих до пізнання нової їм мети, мови, мовлення та формування умінь практично використовувати в цілях спілкування.

У процесі лікування при реалізації навіювань у хворих внаслідок поліпшення слухового сприйняття і тимчасової гіперакузії, що виникає при цьому, або через неправильний підхід з боку оточуючих у більшості випадків превалює емоційний стан у вигляді негативізму, вегетативних реакцій, плачу, деякої агресивності та ін. явище гіперакузії у хворих унаслідок підвищеної чутливості до навколишніх звуків проявляються тимчасові порушення адаптаційних механізмів.

Все це необхідно мати на увазі і при кожному навіюванні підбирати фрази суворо індивідуально для придушення цих реакцій.

Нижченаведена схематична структура навіювання повинна лягти в основу при складанні формули навіювання.





## **Структура навчання**

### **1. Навчання для поліпшення пізнавальних процесів**

**а)** Навчання для розвитку здатності до освіти понять, суджень, умовиводів (індуктивних та дедуктивних) для розвитку швидкості та самостійного мислення, розвитку логічного мислення за якістю: глибина, широта думки, гнучкість, критичність розуму.

У слабочуючих і глухих у зв'язку зі знаходженням у середовищі собі подібних або педагогічно занедбаних (дітей) виявляється загальмованість, аутичне мислення: хворі відгороджені від оточуючих, замкнуті, занурені у свої переживання. Особливо це характерно для підлітків та дорослих з раптовою втратою слуху та є однією з ознак аутичності, почуття комплексу неповноцінності, депресії. Це симптом пристосувальних компенсаторних механізмів до довкілля.

У разі потреби диференціальної діагностики з ендегенним процесом слід звернути увагу на комунікабельність хворих у середовищі знайомих (вдома), диференціювати мислення хворих з дефектом слуху, які перебувають у немовному середовищі, від розірвано-безладного мислення, його ґрунтовності та символічності. У хворих із поразкою слуху першому плані виступає симптом депривації слуху, а виявлене порушення логічних причинних зв'язків слід вважати вторинним. Якщо хворий може висловити основну думку письмово, а чи не словесним шляхом через відсутність мови, і спілкується також письмово, хоч і з граматичними помилками через педагогічну занедбаність, то в такому разі немає підстав для діагностики ендегенного процесу.

При навчанні основний акцент робиться на розвиток наочно-дієвого та наочно-подібного мислення (на початку курсу лікування). У наступних сеансах проводиться навчання для розвитку абстрактного мислення (у формі абстрактних понять та міркувань).

**б)** Навчання для покращення відчуттів (екстероцепторів, інтероцепторів, пропріоцепторів).

Слухові відчуття (тембр, сила та амплітуда звуку). У глухих - навчання для поліпшення сприйняття сили звуку, у тих, хто слабо чує - тембра і амплітуди звуку. Навчання спрямовується на поліпшення сприйняття мови, мовних та немовних звуків (музики, різних шумів високої та низької частоти), а також чутливості та порогів відчуттів.

Зорові відчуття: покращення сприйняття краси навколишнього світу, природи, фарб ахроматичних (чорний, білий та безбарвний) та хроматичних (від грец. Chromatikos – кольоровий), всі відтінки червоного, зеленого, блакитного, синього, фіолетового, жовтого.

Шкірні відчуття, смакові та нюхові відчуття особливо розвинені у глухих.

Якщо у хворих досить розвинені всі вищеперелічені відчуття (наприклад, у слабочуючих, які навчаються в масових школах), то проводиться навчання на розвиток комплексних відчуттів (поєднання відчуттів зорово-слухових, тактильно-дотично-рухових тощо).

За наявності органічних відчуттів (нудоти, болю в тілі, спраги) або порушення відчуття рівноваги, рухових, кінестетичних відчуттів, викликаних



застосуванням ототоксичних антибіотиків та інших ліків, навіювання слід спрямувати на усунення цих відчуттів.

**в) Навіювання для поліпшення сприйняття.**

Основний акцент робиться на покращення слухового сприйняття в комплексі з іншими (зоровими, шкірнотактильними) та на покращення кіркових процесів, аналізу та синтезу комплексних подразників з одночасним покращенням сприйняття часу, руху, простору, спостережливості (предметна, психологічна).

Для дітей залежно від їхньої педагогічної підготовленості вибираються прості фрази, що відповідають їх розвитку та рівню знань предметів, що сприймаються.

Одночасно робиться навіювання, спрямоване на покращення сенсорної збудливості, формування адекватної реакції вегетативної нервової системи при ускладнених ситуаціях (заняттях).

**г) Навіювання, спрямоване на покращення пам'яті.**

Навіювання спрямовується на поліпшення тимчасових зв'язків: запам'ятовування (сміслові, механічне, довільне та мимовільне); відтворення; збереження засвоєного; впізнавання.

Навіюється утворення та відтворення кількох тимчасових зв'язків, що замикаються на слуховому подразнику.

На наступних сеансах виробляється навіювання, спрямоване на якість пам'яті: тривалість збереження засвоєного, точність відтворення, швидкість і обсяг запам'ятовування, готовність до запам'ятовування та розвитку видів пам'яті, емоційної пам'яті.

У хворих з периферичним порушенням слухової функції при непошкоджених центральних відділах слухового аналізатора навіювання дозволяє впливати на другу сигнальну систему. З цією метою використовується навіювання для розвитку смислової (словесно-логічної) пам'яті, яка пов'язана із взаємодією першої та другої сигнальних систем при домінуючій ролі другої сигнальної системи. Після досягнення результатів у наступних сеансах вибираються формули навіювання для покращення образної пам'яті: зорової, слухової, дотичної.

У педагогічно підготовлених дітей у деяких випадках: наприкінці курсу лікування зміст та формула навіювання ускладнюються.

**д) Поліпшення уяви.**

У хворих з вадами слуху через часті соціальні конфлікти настає депресивний стан, вони втрачають працездатність, життєвий інтерес, у оточенні незнайомих - аутичні.

У таких випадках навіювання слід спрямувати на поліпшення довільної та мимовільної уяви, а згодом - репродуктивної та творчої уяви.

Особливо слід зазначити, що у слабочуючих і глухих більш розвинена схильність до мрій, фантазій. Деяким з них снитимуться сни, для яких характерним є те, що вони здорові, добре чують, виходять заміж, одружуються і т.п.

У таких випадках доцільно попередити їх про неможливість повного



відновлення слуху, розв'язати мрії за допомогою цілеспрямованих бесід у неспаному стані та навіювання під час гіпнотичного сну. Одночасно вселяються ідеї самостійної боротьби з недугою.

Деяким хворим сняться сни кошмарного змісту, або такі сни, наприклад: вони зовсім погано чують, глухі. У таких випадках у хворих може настати різке погіршення загального самопочуття, зокрема і слухового сприйняття. Необхідна особиста розмова та цілеспрямована сугестія, враховуючи можливе погіршення у психічному статусі у зв'язку з баченнями кошмарного сну.

## ***II. Навіювання, спрямоване на емоційно-вольову сферу особистості та її діяльність***

а) Розвиток почуття обов'язку, любові, дружби та товариства, інтелектуальних та естетичних почуттів.

б) Поліпшення якості волі: рішучості, сміливості, наполегливості, самостійності, впевненості, організованості, дисциплінованості, витривалості, терпіння (до мовленнєвих тренувань), витримки, самовладання. Корекція, спрямована на спонукачів до вольової дії (на структурні елементи вольового акта): потреба, мета, бажання, потяг, мотив та ін.

## ***III. Навіювання, спрямоване на індивідуально-психологічні особливості особистості***

а) Розширення світогляду, сфери інтересів. Розвиток бажання та інтересу до слухових та мовленнєвих тренувань, спілкування;

б) Корекція деяких характеристик темпераменту особистості:

- у холериків корекція запальності, емоційної збудливості, невірноваженості у поведінці, агресивності;
- у сангвініків - корекція нестійкості у емоційних переживаннях;
- у флегматиків – розвиток почуття, виразності, міміки, жестів;
- у меланхоліків - розвиток інтересу до довкілля, подолання смутку, виховання комунікабельності, подолання замкнутості, вразливості, уразливості.

в) Ставлення людини до навколишньої дійсності:

- навіювання спрямувати на риси, що виражають загальний психічний склад особистості;
- навіювання спрямувати на критичне ставлення до себе, своїх неправильних вчинків, дій;
- виховання позитивного ставлення до оточуючих.

г) Здібності:

- Розвиток загальних здібностей. Здатність розвитку різних видів діяльності, гарного засвоєння зайняти;
- Розвиток спеціальних здібностей (схильність до одного предмета).

## ***IV. Навіювання, спрямоване на особистість та її діяльність***

а) Розвиток навичок:

- інтелектуальні навички;
- сенсорні навички (розрізняти кольори, музику, звуки та ін.);
- рухові навички;



- Змішані навички.

б) Вміння.

в) Звички: професійні, культурні, моральні (ввічливість, чистота, акуратність), подолання шкідливих звичок (смоктання пальця, гризіння нігтів, лінощі, грубість, куріння тощо).

г) Навіювання, спрямоване на діяльність пізнавально-мовленнєву, трудову, навчальну, ігрову.

д) Навіювання, спрямоване на зовнішні умови життєдіяльності:

- на внутрішні умови біологічної діяльності;
- набуті якості особистості (діяльність);
- спрямованість та цілеспрямованість;
- Відношення до праці;
- Колективізм;
- Активність.

е) Навіювання, спрямоване на близьку та далеку діяльність.

Якщо в хворих цілі примітивні, інтереси обмежені, то в такому разі навіювання проводиться для розвитку інтересів, принциповості, широти кругозору тощо.

Хворі можуть мати нереальні чи марні цілі, прагнути до них, завдаючи своїм близьким чимало клопоту. У таких випадках навіювання спрямовується на критичну оцінку ситуації, можливості чи неможливості досягнення поставленої мети.

ж) Навіювання, спрямоване на свідому діяльність.

Основний акцент робиться на концентрацію збудливого процесу у слуховому аналізаторі. Вибираються фрази поліпшення уявлень з певних предметів, поліпшення аналітичного сприйняття звукових та інших подразників, відновлення тимчасових зв'язків між предметом і явищем, синхронізації слухового аналізатора коїться з іншими аналітико - синтетичними функціями коркових і підкіркових процесів. У всіх випадках основний акцент робиться на зосередженість (концентрацію), обсяг, розподіл, стійкість уваги, швидкість перемикавання. Загалом довільна, мимовільна та післядовільна увага. Відповідно, покращення слухової уваги викликає поліпшення мовної вимови.

з) Поліпшення мови та спілкування.

Одна з вторинних ознак дефекту слуху – порушення мови. Якщо слух втрачено у доречовий період, діти неминуче відстають у мовному розвитку. У пізнішому (мовному) періоді порушується подальший розвиток мови та приєднується вплив психотравмуючих факторів.

У хворих порушується зовнішня усна (монологічна та діалогічна) активна мова, вони пристосовуються до писемного мовлення, розвивається усне внутрішнє пасивне мовлення.

Формула навіювання вибирається у розвиток мовної діяльності -діалогу, розмови; суперечки, виступи, монологу. Відбувається процес реалізації навіювання на основі використання засобів мови (слів, словосполучень, речень тощо). Це сприяє вихованню позитивних якостей особистості: активності,



самостійності, впевненості у своїх силах, почуття товариства, допомагає подолати комплекс неповноцінності.

Розвиток мовної діяльності готує хворих до життєвих труднощів, сприяє їх соціальній реабілітації.

### **Прогнозування успішності пропонованих лікувально-реабілітаційних заходів**

Як відомо, застосування медикаментозних препаратів у більшості випадків є ефективним у гострому періоді захворювання.

Однак на практиці частіше фахівці не виправдано призначають (рекомендують) медикаментозну терапію, яка не показана або має негативні наслідки.

**Abstract.** *The work is devoted to therapeutic psychotherapeutic suggestions aimed at correcting one or another pathopsychological symptomatology in patients with ENT pathologies. Often, the suggestion formula is formulated vaguely, without taking into account the specifics of mental processes in specific patients, their interrelationship in the process of restorative treatment and after its completion.*

*In restorative treatment, the improvement of one mental process promotes the improvement of others, just as the disruption of one mental process causes the dissociation of others.*

*In this regard, the scattering (vagueness) of suggestion, the effect of which is aimed at one function, can cause, instead of a positive result, general dissociations between mental and physiological processes, subconsciously hidden negativism on the part of patients.*

*This is especially characteristic of patients with hearing impairment, who have an insufficient verbal understanding of what is suggested. During rehabilitation measures, this leads to disruption of associative processes.*

**Key words:** *Pathopsychological symptoms, mental and physiological processes, rehabilitation measures, medical and social rehabilitation, somatic and neurological diseases, use of psychotherapy in neurosensory hearing impairment, psychotherapeutic suggestion*





## CONTENTS

### Innovative engineering, technology and industry

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-020> 3

SYNTHESIS AND RESEARCH OF A MULTIDIMENSIONAL  
STRUCTURALLY OPTIMAL ASR BY A PYROLYSIS  
INSTALLATION

*Beglov K.V., Garbar M. G., Kolomiychenko O. Y., Kosachenko V. K.*

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-021> 11

MODEL AND METHOD OF CONTROLLING THE ACTIVE  
ZONE OF THE VVER-1000 REACTOR DURING CYCLIC  
TRANSIENT PROCESSES

*Zubak V.V., Belousov V.S., Belousov Vl. S., Kipriyanov I. A.*

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-026> 21

EMISSIONS OF CARBON DIOXIDE WHEN BURNING  
DIFFERENT TYPES OF FUEL AND CONSTRUCTION  
OF NOMOGRAMS FOR CALCULATION OF NITROGEN  
OXIDES

*Sheleshei T.V., Bednarska I.S., Vlasenko O.V.,  
Syvachenko V.A., Korchma V.O., Matusevych K.B.*

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-030> 27

ANALYSIS OF EXISTING DESIGN SOLUTIONS FOR  
MEASURING VECTOR QUANTITIES

*Zayets S.S., Nazarenko N.M., Kyrychuk Yu.V.*

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-041> 33

INFLUENCE OF PLANT COMPONENTS ON IMPROVING  
THE QUALITY OF LOW-FAT CREAM

*Ryzhkova T.M., Heida I. M.*

### Computer science, cybernetics and automatics

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-022> 39

AUTOMATED CONTROL OF A COGENERATION UNIT  
USING UNCERTIFIED GASEOUS FUELS

*Tarakhtiy O.S., Zhukovskiy V. R., Ivaneiev A. M.  
Yavorskiy O. V., Shuvalov D. R.*

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-038> 51

IMPACT OF VARIABLE FREQUENCY DRIVE ON  
THE EFFICIENCY OF CENTRIFUGAL PUMPS IN  
OIL PIPELINE UNITS

*Lahoida A., Kostyshyn A., Lahoida L., Kostyshyn S.*



<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-039> 57

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR  
ENERGY EFFICIENCY OF A CENTRIFUGAL PUMP

*Lahoida A., Kostyshyn A., Lahoida L., Kostyshyn S.*

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-046> 65

INFORMATION TECHNOLOGY IN CUSTOMER SERVICE: USE  
OF COMPUTER VISION AND DECISION SUPPORT SYSTEMS

*Bisikalo O.V., Romanets V.O.*

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-049> 73

THE ANALYSIS OF POLYGONAL MODELS DENSITY IN  
THREE-DIMENSIONAL COMPUTER GAMES

*Zavalniuk Ye.K., Romanyuk O.N., Kotlyk S.V., Stakhov O.Ya.*

**Security systems in the modern world**

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-015> 80

INFORMATION TECHNOLOGY OF SECURE ACCESS TO  
DNS RESOURCES BASED ON ML-TRAINED TRAFFIC  
IDENTIFICATION MODELS

*Fedchuk T.B., Korobeinikova T.I.*

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-037> 92

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING NEUROFUZZY  
NETWORK TO DETERMINE THE EXTENT OF DoS ATTACK

*Pakhomova V., Kovalov R.*

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-040> 99

ASSESSMENT OF TECHNOGENIC DANGER RADIOACTIVE  
CONTAMINATION OF CROP PRODUCTS

*Kudriawytzka A.N., Karabach K.S.*

**Development of transport and transportation systems**

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-008> 103

SUB-PROCESS CHARACTERISTICS OF MODERN GEO-INFORMATION  
TECHNOLOGIES IN THE MULTIMODAL TRANSPORTATION SYSTEM

*Lyamzin A., Osmak V., Semchenko N., Ukrainskiy Y.*

**Medicine and health care**

<https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-013> 107

EFFECTIVENESS OF THE USE OF DIETARY FEEDS FOR  
ALIMENTARY DYSTROPHY IN DOGS

*Khilobok O., Matsenko O.*



- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-014> 116  
TREATMENT FEEDING OF INFANTES WITH ATOPIC  
DERMATITIS AS A GUARANTEE OF THE FORMATION  
OF A HEALTHY CHILD IN THE FAMILY  
*Nikitina N.O., Bespalova A.V.*
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-035> 121  
SEVERITY OF CLINICAL SYMPTOMS IN PATIENTS WITH  
NEGATIVE SYMPTOMS IN SCHIZOPHRENIA  
*Kushnir Yu.A.*
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-052> 130  
PATHOGENETIC CONNECTIONS BETWEEN VARIOUS LINKS  
OF METABOLISM AND STRUCTURAL-FUNCTIONAL STATE  
OF THE HEART IN PATIENTS WITH CHD  
*Chekalina N.I.*
- <https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj21-01-054> 137  
ALGORITHM OF PSYCHOLOGICAL ASSISTANCE IN  
THE SYSTEM OF TREATMENT AND REHABILITATION  
MEASURES FOR PATIENTS WITH ENT PATHOLOGIES  
*Rakhmanov Vasif Vagif Oglu*



Scientific publication

*International periodic scientific journal*

# ScientificWorldJournal

Issue №21

Part 1

September 2023

Indexed in  
**INDEX COPERNICUS**  
high impact factor (ICV: 89.14)

*Articles published in the author's edition*

*Academy of Economics named after D.A. Tsenov  
Bulgaria jointly with SWorld*

Signed: September 30, 2023

e-mail: [editor@sworldjournal.com](mailto:editor@sworldjournal.com)

site: [www.sworldjournal.com](http://www.sworldjournal.com)



[www.sworldjournal.com](http://www.sworldjournal.com)



[www.sworldjournal.com](http://www.sworldjournal.com)