



ISSUE №27

Part №1



International periodic scientific journal

—*ONLINE*

www.moderntechno.de



Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 87.25)

MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Issue №27

Part 1

June 2023

Published by:
Sergeieva&Co
Karlsruhe, Germany

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*

Scientific Secretary: Kuprienko Sergey, *PhD in technical sciences*

Editorial board: More than 200 doctors of science. Full list on page:

<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/about/editorialTeam>

Expert Board of the journal: Full list on page:

<https://www.moderntechno.de/index.php/swj/expertteam>

The International Scientific Periodical Journal "**Modern engineering and innovative technologies**" has been published since 2017 and has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars.

Periodicity of publication: Quarterly

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 IndexCopernicus, GoogleScholar.

UDC 08

LBC 94

DOI: 10.30890/2567-5273.2023-27-01

Published by:

Sergeieva&Co

Lußstr. 13

76227 Karlsruhe, Germany

e-mail: editor@moderntechno.de

site: www.moderntechno.de



УДК [622.647.2–192:621.867.2]:622.8.1/.8

**DETERMINATION OF THE MAXIMUM NUMBER OF BRAKED
ROLLER SUPPORTS OF THE CONVEYOR, AT WHICH THERE
IS A RISK OF LOSING THE DRIVE TRACTION CAPACITY
ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОЇ КІЛЬКОСТІ ЗАГАЛЬМОВАНИХ
РОЛИКООПОР КОНВЕЄРА, ПРИ ЯКІЙ ВИНИКАЄ РИЗИК
ВТРАТИ ТЯГОВОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИВОДА**

Smirnov A. M. / Смірнов А. М.*Ph.D, Senior Researcher / к.т.н., ст. дослід.*

ORCID: 0000-0003-2827-521X

Kiriia R.V. / Кірія Р.В.*D.Sc., Senior Researcher / д.т.н., ст. н. співр.*

ORCID: 0000-0003-4842-7188

Mishchenko T. F. / Міщенко Т. Ф.*Master of Science / магістр*

ORCID: 0000-0002-3993-3639

Mostovyi B. I. / Мостовий Б. І.*Master of Science / магістр*

*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy
of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, 2A Simferopolska St., 49005
Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії
наук України (ІГТМ, НАНУ), м. Дніпро, вул. Симферопольська, 2А, 49005*

Анотація. У статті розглянуто питання щодо втрати тягової здатності привода стрічкових конвеєрів. Визначені основні причини втрати тягової здатності привода конвеєрів та розглянуто випадок втрати тягової здатності привода через збільшення опору руху стрічки, пов'язаного з виходом з ладу роликів роликоопор, і внаслідок цього зниження коефіцієнта зчеплення стрічки з приводними барабанами стрічкових конвеєрів. Визначено граничну кількість загальмованих роликоопор конвеєра по, при якій виникає ризик втрати тягової здатності привода, для однопривідного та двопривідного конвеєрів. Побудовано графіки залежності по від коефіцієнта зчеплення μ для однопривідного і двопривідного стрічкових конвеєрів. Запропоновано шлях визначення величини ризику втрати тягової здатності стрічкового конвеєра. Зроблено висновки щодо отриманих результатів досліджень.

Ключові слова: конвеєр, привод, роликоопори, тягова здатність, ризик.

Вступ.

Конвеєрний транспорт – дуже важлива складова гірничого підприємства, від ефективної роботи якої залежить робота усього технологічного комплексу при видобутку, обробці та збагаченні корисних копалин. Одним з істотних факторів ризику відмови стрічкових конвеєрів загального призначення і трубчастих є втрата тягової здатності привода конвеєрів.

Основними причинами втрати тягової здатності привода стрічкових конвеєрів, тобто повного ковзання стрічки по приводному барабану (пробуксовки), є перевантаження конвеєра, збільшення опору руху стрічки, пов'язане з виходом з ладу роликів роликоопор, і зниження коефіцієнта зчеплення стрічки з приводними барабанами стрічкових конвеєрів.

Допустиме перевантаження стрічкового конвеєра контролюється датчиками вимірювання погонного навантаження, потужності привода



конвеєра, а також датчиками пробуксовки привода. Крім того, підвищення навантаження на стрічковий конвеєр компенсується запасом зчеплення стрічки з приводними барабанами.

Отже, основними первинними причинами втрати тягової здатності стрічкових конвеєрів, що призводять до аварійної ситуації, пов'язаної з пробуксовкою стрічки на приводних барабанах, є зниження коефіцієнта зчеплення стрічки з приводними барабанами і відмова роликів ролюпопору става стрічкових конвеєрів.

Основна частина.

Згідно [1, 2] умови повного ковзання стрічки по приводних барабанах стрічкового конвеєра мають вигляд:

– для однопривідного стрічкового конвеєра

$$W_T \geq \frac{S_{зб}}{K_c} (e^{\mu\alpha} - 1), \quad (1)$$

де W_T – тягове зусилля на приводному барабані, Н; α – кут обхвату приводного барабана, рад; $S_{зб}$ – натяг стрічки в точці збігання стрічки з приводного барабана, Н; μ – коефіцієнт зчеплення стрічки з приводним барабаном; K_c – коефіцієнт запасу тягової здатності привода конвеєра;

– для двопривідного стрічкового конвеєра з незалежними зв'язками між приводами

$$W_{T2} \geq \frac{S_{зб2}}{K_c} (e^{\mu\alpha_2} - 1), \quad (2)$$

де W_{T2} – тягове зусилля на другому приводному барабані, Н; α_2 – кут обхвату другого приводного барабана, рад; $S_{зб2}$ – натяг стрічки в точці збігання стрічки з другого приводного барабана, Н.

При цьому згідно з [1] маємо

$$W_{T2} = \frac{W_T}{1 + K_p},$$

де $W_T = W_{T1} + W_{T2}$.

Тут W_T – загальне тягове зусилля двопривідного конвеєра, Н; W_{T1} – тягове зусилля на першому приводному барабані, Н; $K_p = W_{T1} / W_{T2}$ – коефіцієнт розподілу тягового зусилля між приводними барабанами.

З нерівностей (1) і (2) з урахуванням останньої рівності визначимо μ . В результаті отримаємо значення коефіцієнтів зчеплення стрічки з приводними барабанами, при яких відбувається повне ковзання стрічки по приводному барабану стрічкового конвеєра:

– для однопривідного конвеєра

$$\mu \leq \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{K_c W_T}{S_{зб}} + 1 \right); \quad (3)$$

– для двопривідного конвеєра



$$\mu \leq \frac{1}{\alpha_2} \ln \left[\frac{K_c W_T}{(1 + K_p) S_{362}} - 1 \right]. \quad (4)$$

Нерівності (3) і (4) можна записати у вигляді

$$\mu \leq \mu_0, \quad (5)$$

де для однопривідного конвеєра

$$\mu_0 = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{K_c W_T}{S_{36}} + 1 \right); \quad (6)$$

для двопривідного конвеєра

$$\mu_0 = \frac{1}{\alpha_2} \ln \left[\frac{K_c W_T}{(1 + K_p) S_{362}} - 1 \right]. \quad (7)$$

Тут μ_0 – граничне значення коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном, при якому відбувається повне ковзання стрічки по барабану.

Визначимо тепер тягові зусилля на приводних барабанах згідно з формулою [1, 2]

$$W_T = W_3 + W_{\Pi}, \quad (8)$$

де W_3 – опір руху стрічки завантаженої вітки по роликоопорах конвеєра, Н; W_{Π} – опір руху стрічки порожньої вітки по роликоопорах конвеєра, Н.

Опори W_3 і W_{Π} визначаються за формулами:

$$W_3 = k_1 (q_g + q_c + q'_p) L \omega_3 \cos \beta + (q_g + q_c) L \sin \beta; \quad (9)$$

$$W_{\Pi} = k_1 (q_c + q''_p) L \omega_n \cos \beta - q_c L \sin \beta, \quad (10)$$

де L – довжина конвеєра, м; β – кут нахилу конвеєра, град; q_g – погонна вага вантажу, Н/м; q_c – погонна вага стрічки, Н/м; q'_p , q''_p – погонні ваги обертових частин роликів завантаженої і порожньої віток, Н/м; ω_3 , ω_n – коефіцієнти опору руху стрічки завантаженої і порожньої віток конвеєра; k_1 – коефіцієнт, що враховує додаткові опори руху стрічки в місці перевантаження і на поворотах конвеєра (залежить від довжини конвеєра).

Підставляючи (9) і (10) в (8), після перетворення отримаємо

$$W_T = k_1 (q_g + q_c + q'_p) L \omega_3 \cos \beta + k_1 (q_c + q''_p) L \omega_n \cos \beta + q_g L \sin \beta. \quad (11)$$

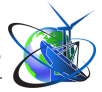
Вважаючи в (11), що $\omega_3 \approx \omega_n = \omega'$, після перетворення отримаємо

$$W_T = k_1 (q_g + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + q_g L \sin \beta. \quad (12)$$

Підставимо (12) в нерівності (3) і (4), отримаємо інтервал значень коефіцієнта зчеплення μ ($0 < \mu \leq \mu_0$), при яких виникає аварійна ситуація в приводі конвеєра, пов'язана з пробуксовкою стрічки по приводному барабану.

У разі, коли коефіцієнт зчеплення стрічки з приводним барабаном $\mu > \mu_0$, може виникнути повне ковзання стрічки по приводному барабану, пов'язане зі збільшенням опору руху стрічки по роликоопорах стрічкового конвеєра.

Як правило, підвищення опору руху стрічки по роликоопорах стрічкового конвеєра обумовлено виходом з ладу роликів роликоопор. В цьому випадку визначимо мінімальну кількість поламаних роликоопор n_0 , при якій



відбувається повне ковзання стрічки по приводному барабану конвеєра.

Позначимо цю мінімальну кількість поламаних роликоопор через n_0 . Тоді тягове зусилля на приводному барабані можна визначити за формулою

$$W'_T = W'_3 + W'_\Pi, \quad (13)$$

де W'_3 – опір руху стрічки завантаженої вітки по роликоопорах конвеєра в разі непрацюючих n_0 роликоопорах, Н; W'_Π – опір руху стрічки порожньої вітки по роликоопорах конвеєра, Н.

Опори W'_3 і W'_Π визначимо за формулами:

$$W'_3 = k_1(q_\delta + q_c + q'_p)(L - n_0 l_p) \omega' \cos \beta + k_1(q_\delta + q_c + q_p) n_0 l_p f_1 \cos \beta + (q_\delta + q_c) L \sin \beta; \quad (14)$$

$$W'_\Pi = k_1(q_c + q''_p) L \omega' \cos \beta - q_c L \sin \beta, \quad (15)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя ковзання стрічки по відмовним роликам роликоопор.

Підставляючи (14) і (15) в (13), після перетворення отримаємо

$$W'_T = k_1(q_\delta + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + k_1(q_\delta + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta - k_1 q'_p n_0 l_p \omega' \cos \beta + q_c L \sin \beta. \quad (16)$$

Нехтуючи в правій частині останньої рівності членом з мінусом через його малість у порівнянні з іншими членами, отримаємо

$$W'_T = k_1(q_\delta + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + k_1(q_\delta + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta + q_c L \sin \beta. \quad (17)$$

Порівнюючи вирази (12) і (17), отримаємо

$$W'_T = W_T + k_1(q_\delta + q_c) n_0 l_p (f_1 - \omega') \cos \beta. \quad (18)$$

З виразу (18) виходить: в разі виходу з ладу n_0 роликоопор завантаженої вітки стрічкового конвеєра тягове зусилля на приводних барабанах збільшується на величину, пропорційну кількості роликоопор, що відмовили.

Для визначення мінімальної кількості поламаних роликоопор n_0 , при якій відбувається повне ковзання стрічки по приводному барабану, згідно рівностям (1) і (2) запишемо умови:

– для однопривідного конвеєра

$$W'_T = \frac{S_{36}}{K_c} (e^{\mu \alpha} - 1); \quad (19)$$

– для двопривідного конвеєра

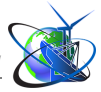
$$W'_T = \frac{S_{362}}{(1 + K_p) K_c} (e^{\mu \alpha_2} - 1). \quad (20)$$

Підставляючи значення W'_T з (17) в рівності (19) і (20), отримаємо рівняння щодо n_0 . Після розв'язку цих рівнянь отримаємо:

– для однопривідного конвеєра

$$n_0 = \frac{S_{36} (e^{\mu \alpha} - 1) - K_c [k_1(q_\delta + 2q_c + q'_p + q''_p) L \omega' \cos \beta + q_c L \sin \beta]}{K_c k_1(q_\delta + q_c) l_p (f_1 - \omega') \cos \beta}; \quad (21)$$

– для двопривідного конвеєра



$$n_0 = \frac{S_{36}(e^{\mu\alpha} - 1)(1 + K_p) - K_c[k_1(q_b + 2q_c + q'_p + q''_p)L\omega' \cos\beta + q_b L \sin\beta]}{K_c k_1(q_b + q_c)l_p(f_1 - \omega') \cos\beta}. \quad (22)$$

На рисунках 1 та 2 показано графіки залежності n_0 від коефіцієнта зчеплення μ для однопривідного і двопривідного стрічкових конвеєрів. При цьому параметри однопривідного стрічкового конвеєра і параметри привода приймали значення: $Q = 2000$ т/год; $L = 300$ м; $\beta = 0^\circ$; $l_p = 1$ м; $q_s = 2000$ Н/м; $q_c = 1000$ Н/м; $q'_p = 80$ Н/м; $q''_p = 40$ Н/м; $k_1 = 1,1$; $\omega' = 0,03$; $f_1 = 0,7$; $S_{36} = 20000$ Н; $\alpha = 200^\circ$ (3,49 рад); $K_c = 1,3$. А параметри двопривідного конвеєра і параметри привода приймали значення: $Q = 3000$ т/год; $L = 500$ м; $\beta = 0^\circ$; $l_p = 1$ м; $q_s = 3000$ Н/м; $q_c = 1000$ Н/м; $q'_p = 80$ Н/м; $q''_p = 40$ Н/м; $k_1 = 1,1$; $\omega' = 0,03$; $f_1 = 0,7$; $S_{362} = 40000$ Н; $\alpha = 200^\circ$ (3,49 рад); $K_c = 1,3$; $K_p = 2$.

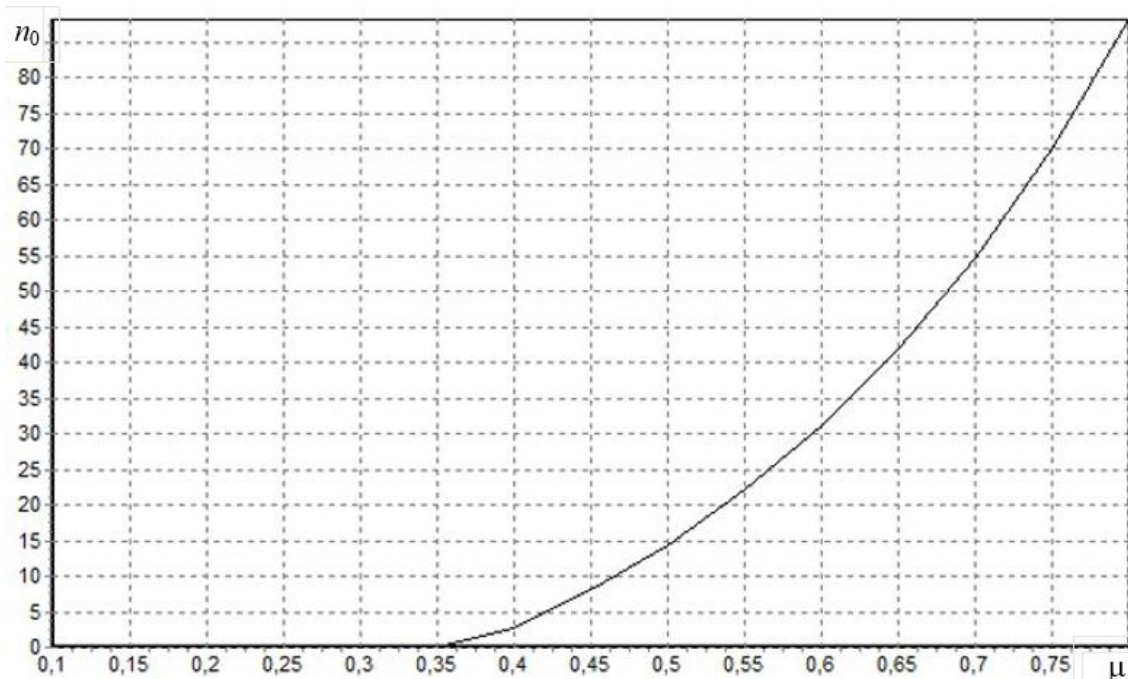


Рисунок 1 – Залежність n_0 від коефіцієнта зчеплення μ для однопривідного стрічкового конвеєра

Авторська розробка

Графіки побудовано за умови, що n_0 має фізичний сенс лише при $n_0 \geq 0$.

З графіків видно, що підвищення n_0 починається тільки з певних значень μ . Це коефіцієнти зчеплення стрічки з приводними барабанами μ , при яких починається повне ковзання стрічки по приводним барабанам. При цьому цей коефіцієнт зчеплення μ дорівнює граничному значенню коефіцієнта зчеплення μ_0 , отриманому відповідно до формул (6) і (7).

Отже, якщо $n_0 > 0$, то повне ковзання стрічки по приводному барабану відбувається в результаті відмови роликоопор. Якщо ж $n_0 = 0$, то повне ковзання стрічки по приводному барабану відбувається через перевантаження стрічкового конвеєра або малого значення коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном.

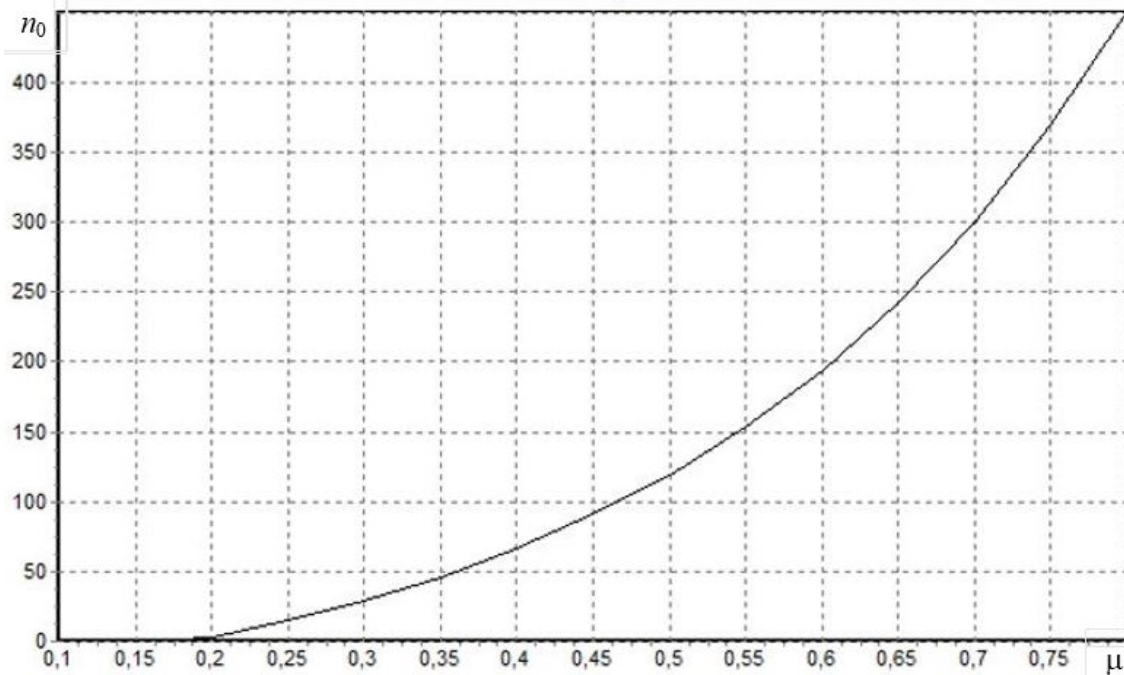


Рисунок 2 – Залежність n_0 від коефіцієнта зчеплення μ для двопривідного стрічкового конвеєра

Авторська розробка

Визначимо у загальному вигляді величину ризику втрати тягової здатності стрічкового конвеєра.

У випадку, коли втрата тягової здатності приводного барабана, тобто повне ковзання стрічки по барабану, відбувається через вихід з ладу роlikоопор, маємо $n_0 > 0$ і $\mu > \mu_0$.

Величину ризику в цьому випадку визначимо за формулою [4, 5]

$$K = P_{n_0} W_c, \quad (23)$$

де P_{n_0} – ймовірність того, що в ставі стрічкового конвеєра відмовили ролики n_0 роlikоопор; W_c – величина втрат в результаті відмови роликів n_0 роlikоопор і повного ковзання стрічки по приводному барабану.

Визначення цієї величини для різних конвеєрних систем та умов є напрямком подальшої роботи авторів.

Висновки.

Виходячи з проведених досліджень щодо визначення граничної кількості загальмованих роlikоопор конвеєра, при якій виникає ризик втрати тягової здатності привода, можна зробити наступні висновки:

1. Розрахунки показали, що для однопривідного і двопривідного стрічкових конвеєрів при зниженні ресурсу роликів роlikоопор крім ризику втрати тягової здатності привода від перевантаження конвеєра або недостатнього коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном виникає ризик втрати тягової здатності внаслідок відмов роликів роlikоопор става конвеєра. При цьому зі збільшенням коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном величина ризику зменшується.

2. З рисунків 1 і 2 видно, що мінімальна кількість загальмованих роlikоопор конвеєра n_0 зростає по експоненціальній залежності зі зростанням



коефіцієнта зчеплення стрічки з приводними барабанами μ , причому підвищення n_0 починається тільки з певних значень μ . Це коефіцієнти зчеплення стрічки з приводними барабанами μ , при яких починається повне ковзання стрічки по приводним барабанам. При цьому цей коефіцієнт зчеплення μ дорівнює граничному значенню коефіцієнта зчеплення μ_0 , отриманому відповідно до формул (6) і (7). Для вибраних умов і параметрів для однопривідного конвеєра $\mu_0 = 0,35$, для двопривідного $\mu_0 = 0,2$.

3. Отже, якщо $n_0 > 0$, то повне ковзання стрічки по приводному барабану відбувається в результаті відмови роликкоопор. Якщо ж $n_0 = 0$, то повне ковзання стрічки по приводному барабану відбувається через перевантаження стрічкового конвеєра або малого значення коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном. При цьому для однопривідного стрічкового конвеєра втрата тягової здатності привода відбувається при $\mu < 0,35$, а для двопривідного стрічкового конвеєра – при $\mu < 0,2$. Тому для однопривідного конвеєра для зменшення ризику втрати тягової здатності приводом необхідно застосовувати футерований гумою приводний барабан. А для двопривідного стрічкового конвеєра необов'язково застосування футеровки приводних барабанів.

Література:

1. Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
2. Шахмейстер Л. Г. Подземные конвейерные установки / Л. Г. Шахмейстер, Г.И. Солод. – М.: Недра, 1976. – 432 с
3. Кірія Р. В. Визначення величини ризику при відмові става стрічкових конвеєрів, що працюють в умовах гірничих підприємств / Р. В. Кірія, А. М. Смірнов, Л. А. Новіков, Т. Ф. Міщенко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпро, 2021. – Вип. 157. – С. 180–189. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2021.157.180>.
4. Хенли Э. Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
5. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: ЛИБРОКОМ, 2013. – 584 с

References:

1. Shakhmeyster, L.G. and Dmitriev, V.G. (1987). *Teoriya i raschet lentochnykh konveyerov* [Theory and calculation of band conveyers], Mashinostroenie, Moscow, SU.
2. Shakhmeyster, L.G. and Solod, G.I. (1976). *Podzemnyye konveyyernyye ustanovki* [Underground conveyer options], Nedra, Moscow, SU.
3. Kiriya, R.V., Smirnov, A.M., Novikov, L.A. and Mishchenko, T.F. (2021). Determination of size of risk at refusal of stava of band conveyers working in the conditions of mountain enterprises. *Geo-Technical Mechanics*, (157), 180–189. Dnipro, Ukraine. DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2021.157.180>.
4. Khenli, E.Dzh. and Kumamoto, H. (1984). *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem i otsenka riska* [Reliability of technical systems and risk assessment], Mashinosrtoenie, Moscow, SU.
5. Gnedenko, B.V., Belyayev, Yu.K. and Solovyov, A.D. (2013). *Matematicheskiye metody v*



teorii nadezhnosti: Osnovnyye kharakteristiki nadezhnosti i ikh statisticheskiy analiz [Mathematical methods in reliability theory: basic reliability characteristics and their statistical analysis], LIBROCOM, Moscow, SU.

Abstract. *The article deals with the issue of the loss of traction capacity of the drive of belt conveyors. The main reasons for the loss of traction capacity of the conveyor drive are determined, and the case of the loss of traction capacity of the drive due to the increase in the resistance of the belt movement associated with the failure of the rollers of the roller supports and, as a result, the reduction of the adhesion coefficient of the belt with the belt conveyors drive drums is considered. The limit number of braked conveyor roller supports n_0 , at which there is a risk of loss of traction capacity of the drive, is determined for one-drive and two-drive conveyors. Graphs of the dependence of n_0 on the adhesion coefficient μ for single-drive and two-drive belt conveyors are plotted. A method of determining the risk of loss of traction capacity of a belt conveyor is proposed. Conclusions are made regarding the research results obtained.*

Key words: conveyor, drive, roller supports, traction capacity, risk.

Стаття відправлена: 15.06.2023 р.

© Смірнов А.М., Кірія Р.В., Міщенко Т.Ф., Мостовий Б.І.



THE INFLUENCE OF ELECTRIC DISCHARGES ON THE QUALITY AND CHARACTERISTICS OF HOPS

ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНИХ РОЗРЯДІВ НА ЯКІСТЬ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ХМЕЛЮ

Zaporozhets Y.V. / Запорожець Ю.В.

s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2356-2148

Burlaka T.V. / Бурлака Т.В.

s.t.s. / к.т.н., ст. викладач

ORCID: 0000-0002-2877-7386

National University of Food Technologies, Kyiv, Vladimirskaya, 68, 01601

Національний університет харчових технологій, м. Київ, вул. Володимирська 68, 01601

Анотація. У цій статті досліджується вплив електричних розрядів на якість та характеристики хмелю. Використовуючи спеціальну методику, автори провели експерименти, під час яких піддавали хміль електричним розрядам різної інтенсивності. Далі були зібрані дані щодо змін властивостей хмелю після впливу розрядів, зокрема щодо його аромату, гіркоти, кольору та інших якісних показників. Результати дослідження свідчать про те, що електричні розряди можуть впливати на якість хмелю, змінюючи його характеристики. Ця інформація може бути корисною для виробників пива, які шукають способи покращення якості та особливостей хмелю у своїх продуктах.

Ключові слова: хміль, гранули, гіркі речовини, екстрагування, екстрагент, екстракт.

Вступ. Вплив електричних розрядів на якість та характеристики хмелю є важливим аспектом досліджень у сфері пивоваріння та хмелярства. Електричні розряди можуть мати значний вплив на багатофакторну природу хмелю, включаючи його ароматичні властивості, гіркоту, структуру та інші якісні показники.

Розглянуто різні аспекти досліджень, зокрема методику експерименту, використані техніки та обладнання, а також основні результати, які були отримані у попередніх дослідженнях. Додатково, проаналізовано можливі механізми, що пояснюють вплив електричних розрядів на хміль.

Результати цього дослідження можуть бути корисними для пивоварів, виробників хмелю, а також науково-дослідних установ, що працюють у галузі пивоваріння та хмелярства.

Метою роботи дослідити та оцінити вплив електричних розрядів на якість та характеристики хмелю. Дослідження спрямоване на встановлення зв'язків між застосуванням електричних розрядів і змінами у фізико-хімічних властивостях хмелю, а також на виявлення потенційних позитивних або негативних впливів цього процесу на якість та характеристики кінцевого продукту.

Матеріали і методи. Матеріали для огляду – публікації вітчизняних і зарубіжних авторів, патенти та результати власних експериментальних досліджень із розроблення ефективних способів екстрагування рослинної сировини.

Результати і обговорення. У ХХІ столітті проведені дослідження, пов'язані з електрогідравлічним ефектом, що може змінювати характеристики



харчових продуктів, набули великого розвитку в Національному університеті харчових технологій. Під керівництвом професора Українця А.І. була створена наукова школа, яка зосереджується на використанні імпульсних енергетичних полів для оброблення харчових продуктів та напівфабрикатів.

Електрогідравлічний ефект (ЕГЕ) — це складний комплекс фізичних та хімічних явищ, які виникають при високовольтних електроімпульсних розрядах в рідині (високий тиск, потужні ударні хвилі, кавітаційні процеси, утворення парогазового пухирця та його пульсація, світлове випромінювання каналу розряду, іонізація та розкладання молекул речовини в плазмі каналу та біля нього, інтенсивне ультразвукове та ультрафіолетове випромінювання, імпульсне магнітне поле). ЕГЕ дозволяє інтенсифікувати екстрагування з сировини з клітинною структурою. В процесі електроімпульсної обробки основна частина електричної енергії, що виділяється в каналі розряду, перетворюється в пружну енергію з надвисокою амплітудою імпульсних пружних хвиль («вибух»), дія яких різко скорочує тривалість екстрагування і підвищує вихід біологічно активних речовин.

Процес енерговиділення при електророзрядах у воді супроводжується такими ж гідромеханічними явищами, які виникають під час вибуху зарядів хімічного або при фокусуванні потужного моноімпульсного випромінювання оптичного квантового генератора.

Характерним для всіх вибухів є утворення і розширення кавітаційної порожнини, досягнення нею максимального розміру, схлопування і подальші пульсації парогазового пухирця. При цьому від поверхні порожнини відходять ударні хвилі, тиск яких поблизу вибуху досягає декількох тисяч атмосфер.

Гідравлічні імпульси, що виникають в результаті розряду в рідині, складаються з двох важливих факторів: основного — гідравлічного удару і допоміжного — кавітаційного. Чим коротший імпульс, чим крутіший його фронт і вище амплітуда, тим коротший і сильніший гідравлічний удар.

Динаміка радіального розширення каналу визначається з одного боку струмом розряду, а з іншого боку залежить від розвитку гідродинамічного ударно-хвильового процесу в рідкому середовищі, що оточує розряд.

Один імпульсний розряд виключає, принаймні, два гідравлічних удари: перший — в момент утворення порожнини, другий — при її закриванні. При визначаючих умовах (висота стовпа рідини, тиску, розмір порожнини та ін.) газова порожнина здійснює декілька пульсацій, що являється логічним наслідком розриву суцільності рідини і адіабатичного її стиснення.

Форма порожнини на стадії досягнення нею кінцевого розміру близька до сферичної. Однак початкова стадія розвитку каверни не характеризується сферично симетричним рухом [37]. Каверна витягнута вздовж осі розряду. Такий характер початкової стадії розвитку каверни відповідає вибуху циліндричного заряду кінцевої довжини.

Вимірювання, проведені при виконанні серії експериментів, дають наступні характеристики пульсацій каверни: максимальний діаметр каверни при першій, другій та третій пульсаціях складає 6,3; 2,9; 1,6 мм. Періоди послідовних пульсацій є рівними $T_1 = 590\text{мкс}$, $T_2 = 240\text{мкс}$, $T_3 = 130\text{мкс}$.



Найбільша ефективність перетворення електричної енергії електроіскрового розряду в механічну може бути досягнута за рахунок максимального зниження передпробійних втрат енергії і вибору раціональної довжини міжелектродного проміжку.

Раціональну довжину міжелектродного проміжку визначали за формулою:

$$l_{opt} = 0,28 \cdot \sqrt{\frac{U \cdot r}{A^{1/2}}} \cdot \sqrt[8]{L \cdot C},$$

де A - іскрова постійна розряду (для неініціюємих розрядів $A=10^5$ Вс/м); r - просторова координата, що визначає відстань від осі розряду до об'єкта впливу (у нашому випадку внутрішня поверхня розрядної камери вузла) в екваторіальній площині розряду, м; U_0 - початкова напруга на розрядному проміжку до моменту замикання каналу іскри, В; L - індуктивність розрядного контуру, Гн; C - ємність накопичуваного конденсатора, Ф.

Результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Відстань між електродами електродної системи електророзрядної камери в залежності від напруги розряду

Напруга на електродах, U, В	Відстань між електродами, L, m	Напруга на електродах, U, В	Відстань між електродами, L, m
1	2	3	4
20000	0,027562	36000	0,036978
21000	0,028242	37000	0,037488
22000	0,028907	38000	0,037991
23000	0,029557	39000	0,038488
24000	0,030192	40000	0,038978
25000	0,030815	41000	0,039462
26000	0,031425	42000	0,039941
27000	0,032024	43000	0,040413
28000	0,032611	44000	0,040881
29000	0,033189	45000	0,041343
30000	0,033756	46000	0,041799
31000	0,034314	47000	0,042251
32000	0,034863	48000	0,042698
33000	0,035404	49000	0,043141
34000	0,035936	50000	0,043579
35000	0,036461		

Дані, наведені в таблиці 1, використовувались в подальшому при проведенні експериментів.

При виникненні імпульсного електричного розряду споживається імпульсна потужність, яку визначали за формулою:



$$P_{\text{им}} = \frac{U_m^2}{R} = U_m^2 \cdot \gamma,$$

де U_m – амплітудна напруга, В; R – електричний опір оброблюваного продукту, Ом; γ – електрична провідність оброблюваного продукту, См.

Витрати електроенергії для оброблення заданого об'єму суспензії в раціональному режимі оброблення визначали за формулою:

$$W = W_3 N, \text{ кВт год},$$

де W_3 – запасена і що виділяється в однім імпульсі енергія, Дж; N – кількість розрядів, необхідна для оброблення однієї порції продукту, кг.

$$W_3 = \frac{U^2 C}{2}, \text{ Дж},$$

де U – напруга, необхідна для пробиття міжторового проміжку, В; C – ємність конденсаторів, Ф.

Висновки.

В результаті проведених досліджень можна зробити висновок, що попередня обробка сировини електроіскровими розрядами з подальшим екстрагуванням водою у безперервнодіючому віброекстракторі дає можливість скоротити час екстрагування від 40 до 20 хв при незмінних якісних показниках екстракту.

Література:

1. Святненко, Р. С. Вивчення впливу електрофізичних методів обробки на мікробіологічні показники харчових продуктів / Р.С. Святненко., А. І. Маринін., О. В. Кочубей-Литвиненко // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2017. – Вип. 1(96). – С. 125–130.
2. Tiwari, B. K. Effect of nonthermal processing technologies on the anthocyanin content of fruit juices / B.K. Tiwari C.P. O'Donnell, P.J. Cullen // Trends in Food Science and Technology. – 2009. – 20. – P. 137 – 145. – doi: 10.1016/j.tifs.2009.01.058.
3. Wouters, P. I. Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing / Wouters, P. I. Alvarez, I. Raso // Trends Food Sci. Technol. – 2001. – №12. – P.112–121. – doi: 10.1016/S0924-2244(01)00067- X.

Abstract. This article investigates the effect of electrical discharges on the quality and characteristics of hops. Using a special technique, the authors conducted experiments during which hops were subjected to electrical discharges of various intensities. Next, data were collected on changes in the properties of hops after exposure to discharges, in particular on its aroma, bitterness, color and other quality indicators. The results of the study indicate that electric discharges can affect the quality of hops, changing its characteristics. This information can be useful for brewers looking for ways to improve the quality and characteristics of hops in their products.

Key words: hops, granules, bitter substances, extraction, extractant, extract.

Стаття отримана: 18.06.2023 г.

© Бурлака Т.В.



ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT FACTORS ON ASSESSING THE INTENSITY OF BITTERNESS OF HOPS EXTRACT АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ОЦІНЮВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ГІРКОТИ ЕКСТРАКТУ ХМЕЛЮ

Zaporozhets Y.V. / Запорожець Ю.В.

s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-2356-2148

Burlaka T.V. / Бурлака Т.В.

s.t.s. / к.т.н., ст. викладач

ORCID: 0000-0002-2877-7386

National University of Food Technologies, Kyiv, Vladimirskaya, 68, 01601

Національний університет харчових технологій, м. Київ, вул. Володимирська 68, 01601

Анотація. Ця стаття присвячена дослідженню впливу різних факторів на оцінювання інтенсивності гіркоти екстракту хмелю. Гіркота є важливою характеристикою хмелю і впливає на смакові властивості пива.

Дослідники провели серію експериментів, щоб встановити, як різні фактори впливають на сприйняття гіркоти хмелю. Один з факторів, що досліджувався, був тип хмелю. Виявилося, що різні сорти хмелю мають різну інтенсивність гіркоти, і це може бути пов'язано з їх хімічним складом.

Інший фактор, який був розглянутий, - це спосіб використання хмелю. Дослідники порівняли результати при використанні свіжого хмелю з результатами при використанні сухого хмелю. Виявилося, що спосіб використання хмелю також може впливати на його гіркоту, причому свіжий хміль надає більшу гіркоту, ніж сухий.

Додатковим фактором, що був досліджений, було використання добавок або модифікаторів смаку разом з хмелем. Виявилося, що такі добавки можуть змінювати сприйняття гіркоти, іноді зменшуючи його інтенсивність, а іноді підсилюючи.

У результаті аналізу було встановлено, що інтенсивність гіркоти екстракту хмелю залежить від кількох факторів, включаючи тип хмелю, спосіб його використання і наявність добавок або модифікаторів смаку.

Ключові слова: хміль, гранули, гіркі речовини, екстрагування, екстрагент, екстракт.

Вступ. Вплив інтенсивності гіркоти екстракту хмелю на якість та смак пива вже давно привертає увагу виробників і споживачів. Гіркота хмелю відіграє ключову роль в формуванні профілю смаку пива, вносячи баланс між солодкістю і гіркотою. Отже, точне оцінювання інтенсивності гіркоти є критично важливим завданням для пивоварних підприємств та індустрії пива в цілому.

У цій статті ми зосередимось на аналізі впливу різних факторів на процес оцінювання інтенсивності гіркоти екстракту хмелю. Розуміння цих факторів допоможе покращити якість оцінки гіркоти та забезпечити її послідовність і об'єктивність.

Метою роботи є проведення аналізу впливу різних факторів на оцінювання інтенсивності гіркоти екстракту хмелю.

Гіркота є однією з важливих характеристик хмелю, яка впливає на якість та смак пива. Екстракт хмелю використовується у пивоварінні для надання гіркового смаку напою. Однак, інтенсивність гіркоти може бути різною в залежності від різних факторів, таких як сорт хмелю, метод його використання, температура нагрівання, тривалість екстракції та інші.



У даній статті проводиться докладний аналіз цих факторів і їх впливу на інтенсивність гіркоти екстракту хмелю.

Матеріали і методи. Матеріали для огляду – публікації вітчизняних і зарубіжних авторів, патенти та результати власних експериментальних досліджень із розроблення ефективних способів екстрагування рослинної сировини.

Результати і обговорення. Хміль – є незамінною і найдорожчою сировиною для виробництва пива. Під час перероблення хмелю у виробництві пива для забезпечення максимального використання його цінних речовин суттєве значення має будова і склад хмелевих шишок.

В узагальненому вигляді шишка хмелю (рис.1) складається з 40-70 квіток 1, розташованих на зігнутому стрижні 2, вкритому волосінням, з квітконіжкою 3. Квітки є туго зібраними зеленими пелюстками-лусками 4, в основі яких розташовані золотисто-жовті зерна лупуліну 5, що містять найбільш цінні гіркі смолисті речовини. За усередненими даними у складі шишки на лупулін припадає 19,81%, пелюстки — 66,85%, стержень — 7,36%, квітконіжку — 5,98%.

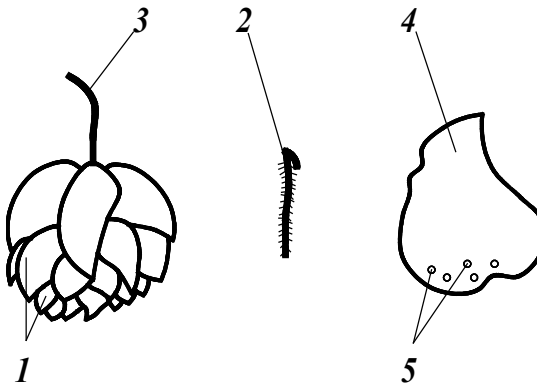


Рис.1. Будова шишки хмелю: 1 — квітка; 2— стержень; 3— квітконіжка; 4— пелюсток-лука; 5— зерна лупуліну

Головним показником визначення типу хмелю, є співвідношення гірких бета-кислот до альфа-кислот. Для ароматичного хмелю воно є більш ніж 0,9 , для гіркого — менше ніж 0,7. Враховується також склад компонентів ефірної олії.

У гіркому хмелі високий вміст гірких смол і відносно (на одиницю гірких речовин) низький — поліфенолів та ефірної олії. Зазвичай гіркий хміль вносять на ранній стадії кип'ятіння суслу для забезпечення максимальної ізомеризації і переходу альфа-кислот у сусло. Саме він формує основу гіркоти пива, але без інших речовин хмелю вона може бути грубою і пиво не буде мати належного рівня повноти комплексу показників високої якості.

Гіркі речовини хмелю є ціноутворюючими як найбільш специфічні і характерні для якості пива компоненти хмелю. Причому визначення вартості хмелю і, що навіть більш важливо, дозування його здійснюють за єдиним показником — вмістом альфа-кислот. В той же час для інтенсифікації, більш глибокого використання хмелю у пивоварінні необхідно враховувати і всі інші складові частини його гіркоти.



Гіркі речовини мають, поряд зі смаковими властивостями, дуже високу поверхневу активність і завдяки цьому разом з поліфенолами підвищують суттєвий показник якості пива — стійкість піни. Гіркі речовини також гальмують розвиток в пиві мікроорганізмів і цим сприяють вирішенню актуальної проблеми підвищення стійкості пива в процесі реалізації.

Гіркота обумовлена в основному загальними смолами і складається з цінних м'яких та малоцінних і навіть небажаних твердих смол. М'які смоли — це α -кислоти та β -фракція. До α -кислот, або гумулоу, відносяться когумулон, адгумулон, предгумулон, постгумулон. До β -кислот, або лупулоу — відповідно колупулон, адлупулон, прелупулон, постлупулон. β -кислоти мають менш інтенсивну гіркоту $\approx 1/3$ від гіркоти α -кислот. Вони містяться також в лупулінових залозах, але при дозріванні хмелю частина цих β -кислот перетворюється на значно більш гіркі α -кислоти. Відповідно частка β -кислот в загальних гірких речовинах буде іншою. Такі умови враховують в характеристиці хмелю, особливо, під час дозування у пивоварінні.

За отриманими дослідними даними на спектрофотометрі згідно з методикою розраховано значення величини гіркоти хмельового екстракту (табл.1).

Таблиця 1 - Величина гіркоти екстракту в залежності від часу екстрагування

Тривалість екстрагування, хв.	10	20	30	40	50	60
Величина гіркоти, од. ЕВС	21	24,9	32,7	39,5	33	28,7

Розбіжність між результатами двох визначень, отриманих для тієї самої проби при довірчій ймовірності $P = 0,95$, не перевищувала $1,2 \text{ мг/дм}^3$. Методика розрахована для визначення гіркоти при досить помірній величині.

Екстракти ж можуть бути концентровані, тобто мати ВГ 70...100 і більше одиниць в залежності від співвідношення хміль : екстрагент. Тому їх доцільно розбавляти для визначення високих значень ВГ.

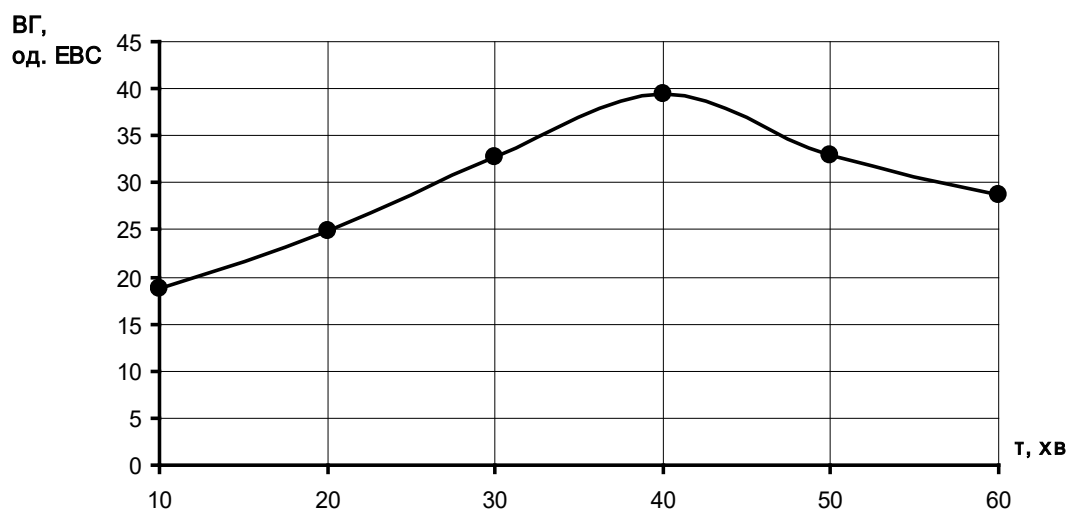


Рис.2. Динаміка накопичення гіркоти (ВГ) в екстракторі при обробленні хмелю протягом τ , хв



Проведені експерименти і розрахунки показують, що найточніші результати дає аналіз, якщо вміст ізо-альфа-кислот в дослідній пробі дорівнює 25...40 одиниць.

Отримана в експериментах тривалість оброблення в екстракторі підтверджує результати раніше проведених досліджень про закономірність екстремального накопичення ізогумулону під час оброблення хмелю при кип'ятінні пивного суслу: до 60-90 хв зростання, потім зниження через занадто глибоку ізомеризацію і перетворення альфа-кислот у малоцінні речовини, які не визначаються методикою як ізогумулон.

Висновки. Отримані результати експериментів показують, що визначення величини гіркоти хмельового екстракту за методикою, яку ми використовували, дає досить точні результати при помірній величині екстракту. Однак, для екстрактів з високим вмістом ізо-альфа-кислот рекомендується їх перед визначенням розбавляти. Крім того, проведені дослідження підтверджують закономірність екстремального накопичення ізогумулону в ході оброблення хмелю при кип'ятінні пивного суслу, що може впливати на точність результатів визначення гіркоти.

Література:

1. Оцінка сучасного стану галузі хмелярства України / Т. М. Ратошнюк // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. - 2018. - № 6(1). - С. 60-66.
2. Пивна та хмелева галузі України: кон'юнктура та інтеграція / Т. Ю. Приймачук, А. В. Проценко, Р. І. Рудик, Т. А. Штанько // Вісник аграрної науки. - 2018. - № 4. - С. 61-67.

Abstract. This article is devoted to the study of the influence of various factors on the evaluation of the intensity of hop extract bitterness. Bitterness is an important characteristic of hops and affects the taste properties of beer.

The researchers conducted a series of experiments to determine how various factors affect the perception of hop bitterness. One of the factors investigated was the type of hops. It turned out that different varieties of hops have different intensity of bitterness, and this may be related to their chemical composition.

Another factor that was considered was the way the hops were used. The researchers compared the results when using fresh hops with the results when using dry hops. It turns out that the way hops are used can also affect their bitterness, with fresh hops imparting more bitterness than dry hops.

An additional factor that was investigated was the use of additives or flavor modifiers along with hops. It turned out that such additives can change the perception of bitterness, sometimes reducing its intensity, and sometimes increasing it.

As a result of the analysis, it was found that the intensity of bitterness of hop extract depends on several factors, including the type of hop, the way it is used and the presence of additives or flavor modifiers.

Key words: hops, granules, bitter substances, extraction, extractant, extract.

Стаття отримана: 18.06.2023 г.

© Бурлака Т.В.



УДК 621.311.1

CALCULATION METHOD OF INDUCED VOLTAGE OF OVERHEAD POWER LINES**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НАВЕДЕНОЇ НАПРУГИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ****Fedoriv M./ Федорів М.Й.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8917-4159

Kurlyak P./ Курляк П.О.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8113-5211

Batsala I./ Бацала Я.В.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4964-407X

Mykhailiv I./ Михайлів І.М.*assistant / асистент*

ORCID: 0000-0001-9215-8654

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

Анотація. В статті розглянуто деякі аспекти моделювання ліній електропередачі. Окреслено етапи розрахунку наведеної напруги. Розроблено моделі повітряних ліній з урахуванням просторового розташування, фазування, розщеплення фаз і грозозахисних тросів при різних способах, що застосовуються на практиці, заземлення тросів. Встановлено, що заземлення грозозахисного троса на кожній опорі суттєво знижує рівень наведеної напруги.

Ключові слова: моделювання лінії електропередачі; наведена напруга; розрахунок наведеної напруги; заземлення.

Вступ. Наведена напруга виникає на виведені у ремонт та знеструмлені повітряні лінії електропередачі, внаслідок впливу на неї електромагнітного поля розташованої в безпосередній близькості працюючої електроустановки або іншої повітряної лінії, що знаходиться під напругою.

Офіційна термінологія наведеною напругою називає потенціал, небезпечний для життя, що виникає в результаті електромагнітних впливів паралельної повітряної лінії або електрики, що циркулює в контактних мережах.

Не втрачає актуальності розробка заходів, спрямованих на зниження рівня наведеної напруги.

Основний текст. Значення наведених напруг на фазах і грозозахисних тросах відключеної ПЛ залежать від багатьох факторів. Найбільш значущими з них є: величина струму на ПЛ, що впливають, геометричні відстані між відключеною і впливаючими лініями, відсутність або наявність заземлення ПЛ по кінцях у розподільних пристроях ПС, кількість заземлених фаз і грозозахисних тросів і опір контуру заземлення опори в місці проведення робіт, спосіб заземлення грозозахисного троса по довжині лінії.



При розрахунку наведеної напруги необхідний точний облік всіх перерахованих факторів. Фактори, пов'язані з параметрами ПЛ, дозволяють врахувати описаний вище метод моделювання лінії. Забезпечення необхідних значень струмів на всіх впливаючих лініях, здійснюється шляхом розрахунку встановленого несиметричного режиму для схеми, що включає всі аналізовані ПЛ.

Методика розрахунку наведеної напруги включає наступні етапи:

1. Для повітряної лінії визначається перелік сусідніх впливаючих ліній і складається схема мережі, що розглядається, до якої включаються початкові та кінцеві підстанції всіх розглянутих ПЛ [1, 2, 3, 4].

2. Вимкнена та сусідні ПЛ розбиваються на однорідні ділянки для яких залишатися незмінною кількість фаз і тросів ПЛ, геометричне розташування та параметри фаз та тросів, а також характер заземлення тросів. Межами між ділянками можуть бути передбачувані місця вимірювання наведеної напруги.

3. Ділянки моделюється залежно від способу заземлення грозозахисних тросів на її протяжності:

- якщо є хоча б один грозозахисний трос, заземлений на кожній проміжній опорі,
- якщо всі грозозахисні троси заземлюються лише на анкерних опорах,
- якщо всі грозозахисні троси використовуються для високочастотного (ВЧ) зв'язку та заземлюються тільки по кінцях ділянки. З отриманих у п. 3 матриць, що моделюють однорідні ділянки, складається загальна матриця вузлових провідностей схеми. Відключена ПЛ заземляється по кінцях і в місці вимірювання шляхом приєднання фаз до вузлів, що заміщають контур заземлення ПС і опори [5].

4. У матрицю вузлових провідностей вводяться еквіваленти, що заміщають примикаючі до ПС енергосистеми.

5. Один з вузлів схеми приймається за балансуєчий (зазвичай як балансуєчий вузол приймається найбільш потужна ПС, що видає потужність схемі і має засоби регулювання напруги), для решти вузлів задаються активна і реактивна потужності.

6. Проводиться розрахунок усталеного режиму та перевіряється відповідність знайдених значень струмів у лініях. Якщо дані вимірювання та розрахунку відрізняються, то коригуються значення потужностей у вузлах і проводиться повторний розрахунок режиму, що встановився.

7. При досягненні необхідної точності потокорозподілу у схемі розрахунок закінчується. Фіксуються розраховані фазні напруги на вимкненій ПЛ у місці проведення вимірювання [6].

Апробація описаної вище методики моделювання ПЛ та розрахунку наведених напруг проводилася на прикладі ПЛ Івано-Франківськ 330 кВ (рисунок 1). На цій лінії були виконані натурні вимірювання наведених напруг при відключенні ПЛ та заземленні її по кінцях (у розподільних пристроях ПС «Івано-Франківськ-330» та ПС «Богородчани-330»). Вимірювання проводилися у чотирьох точках лінії. При вимірі всі фази лінії приєднувалися до тіла опори. Перед заземленням фаз вимірювався опір контуру заземлення опори. Під час

Перед проведенням порівняльних розрахунків наведених напруг були зібрані вихідні дані щодо досліджуваної ПЛ, а також по всіх лініях, які мають ділянки з взаємовпливом.

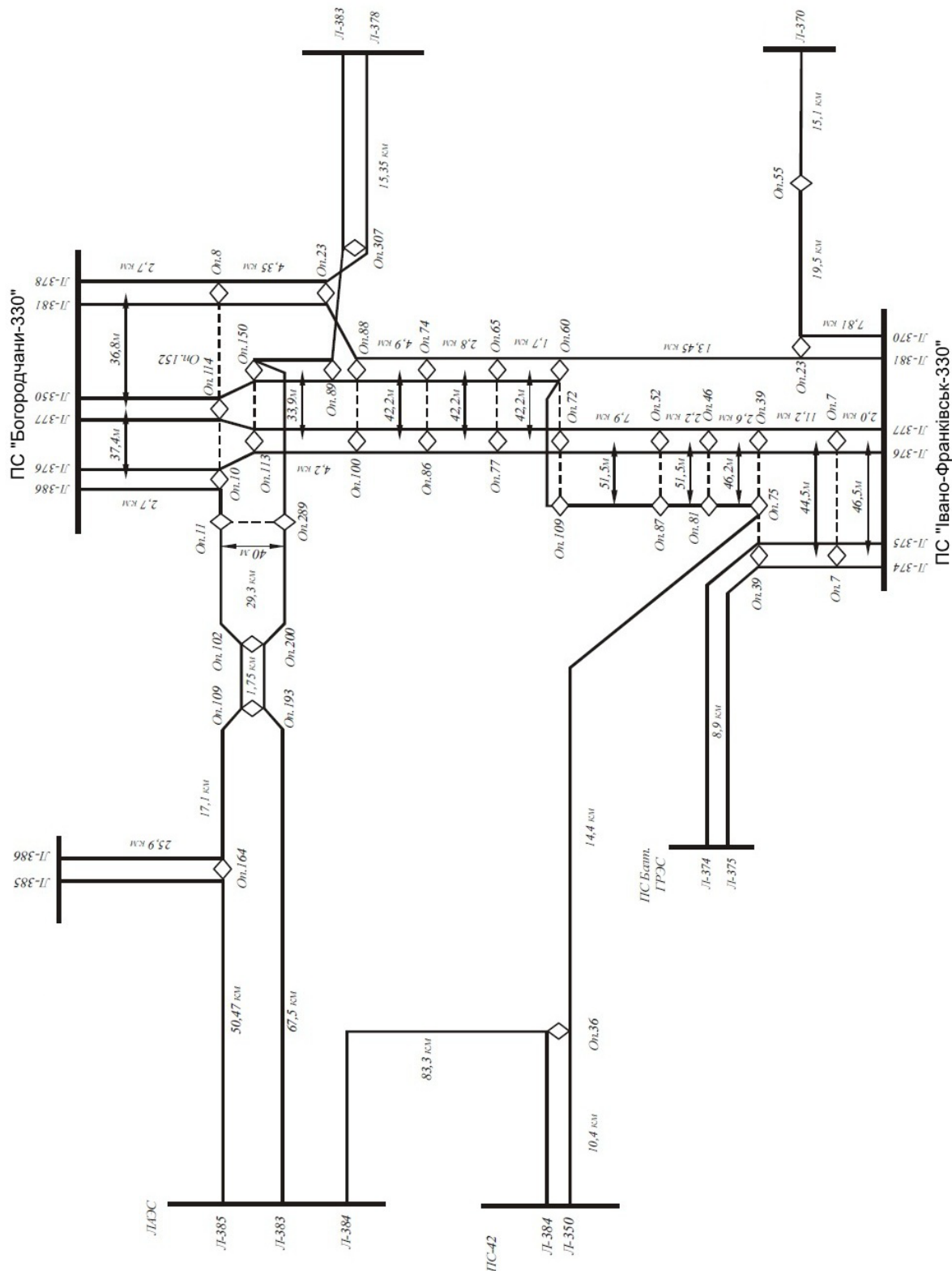


Рисунок 1. Схема електричної мережі Івано-Франківськ-330 для апробації методики моделювання

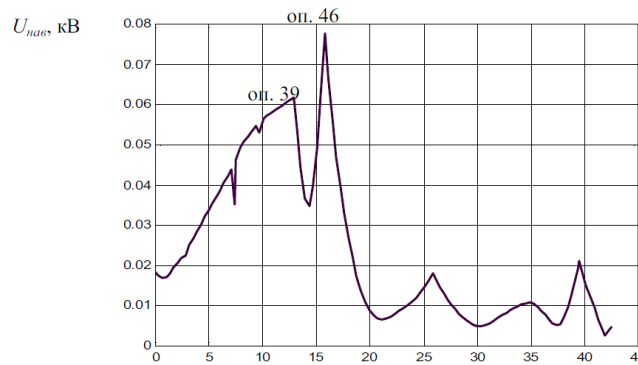


Рисунок 2. Розподіл потенціалу наведеної напруги на ПЛ 330 ($R_3 = 10 \text{ Ом}$) при максимальній напрузі сусідніх ліній, що впливають

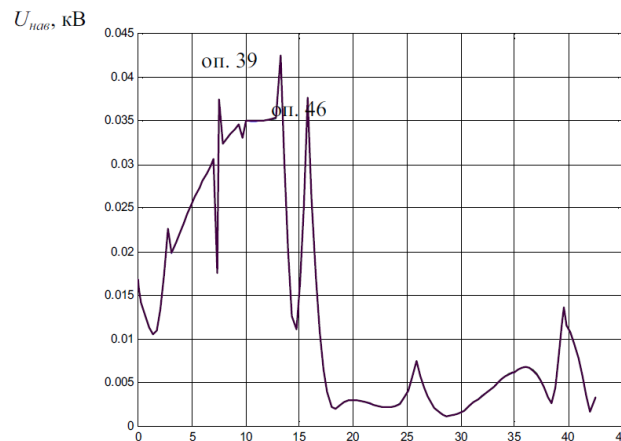


Рисунок 3. Розподіл потенціалу наведеної напруги на ПЛ 330 ($R_3 = 2 \text{ Ом}$) при максимальній напрузі сусідніх ліній, що впливають

Для визначення ділянок ПЛ з неприпустимим рівнем наведеної напруги на рисунках 2 і 3 наведені епюри напруги при накладенні трифазних заземлень у місці виконання робіт.

Прийнято, що опір заземлення на кожній опорі 10 Ом (рисунок 2) та 2 Ом (рисунок 3). Точка заземлення пересувається вздовж усієї довжини відключеної лінії.

При цьому навантаження на ПЛ, що впливають, максимальні. Епюри напружень разом з горизонтальною лінією, що відповідає напрузі 25 В, показують межі ділянок ПЛ, де можливі ремонтні роботи на відключеній лінії звичайними методами при заземленні лінії по кінцях (РП) і в місці виконання робіт.

На графіках чітко простежуються два максимуми, що відповідають опорам №39 та №46. На ПЛ від ПС «Івано-Франківськ-330» до опори №39 (ділянка І) підвішено звичайний грозозахисний трос, а від опори №39 до ПС «Богородчани-330» (ділянка ІІ) у грозозахисний трос, заземлений на кожній опорі, вбудований ВОК. На опорі №46 здійснюється транспозиція фаз.

При порівнянні рисунків 2 та 3 можна зробити висновок, що зменшення опору контуру заземлення опор призводить до значного зниження рівня наведених напруг.



Ще більшого зниження рівня наведеної напруги можна досягти шляхом заземлення на ділянці I сталевго грозозахисного троса на кожній проміжній опорі, що підтверджується на рисунках 4 та 5.

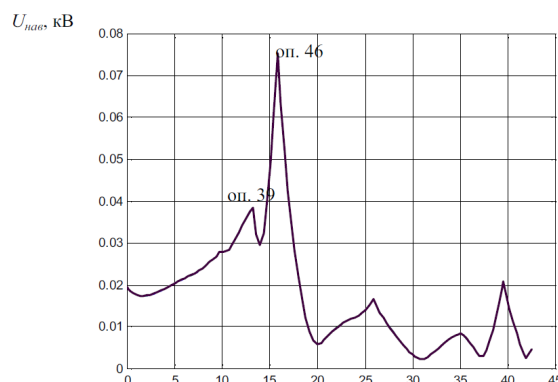


Рисунок 4. Розподіл потенціалу наведеної напруги на ПЛ 330 ($R_3 = 10$ Ом) при максимальному навантаженні сусідніх ліній, що впливають (на ділянці від ПС «Івано-Франківськ-330» до опори 39 сталевий грозозахисний трос заземлений на кожній опорі)

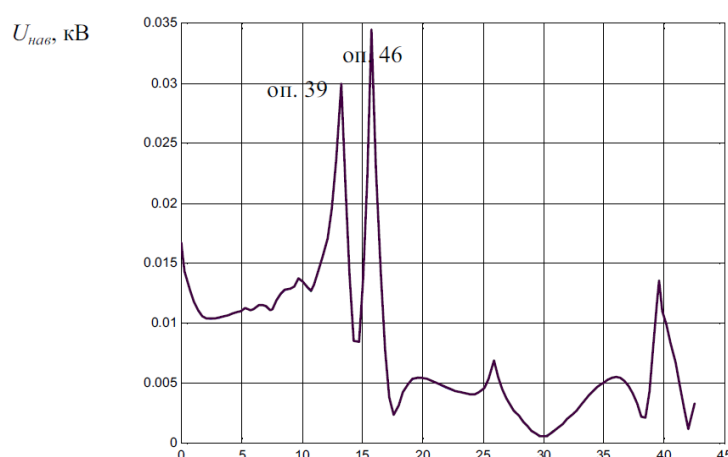
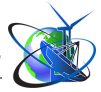


Рисунок 5. Розподіл потенціалу наведеної напруги на ПЛ 330 ($R_3 = 2$ Ом) при максимальному навантаженні на сусідніх лініях, що впливають (на ділянці від ПС «Івано-Франківськ-330» до опори 39 сталевий грозозахисний трос заземлений на кожній опорі)

Заземлення грозозахисного троса на кожній опорі необхідне для зниження рівня наведеної напруги, приводить до появи додаткових втрат активної потужності.

Найбільші втрати виникають за умов підвіски грозозахисного троса, найменші втрати виникають при розрізаному грозозахисному тросі по всій довжині лінії [6].

Встановлено, що опори заземлення опор мало впливають на втрати в грозозахисному тросі, заземленому на кожній опорі. Заземлення грозозахисного троса на кожній опорі не тільки на ділянці II ПЛ 330 (ВОК), але й на ділянці I призводить до додаткових втрат потужності на цій лінії близько 10 кВт при максимальній переданій потужності 500 МВт, що становить 0,34% від загальних втрат 3,2 МВт.



Висновки.

1. Розроблено моделі ПЛ з урахуванням просторового розташування, фазування, розщеплення фаз і грозозахисних тросів при різних способах, що застосовуються на практиці, заземлення тросів: заземлення на кожній опорі; заземлення на анкерних опорах з одного боку та розрив з іншого боку; заземлення тільки по кінцях ПЛ.

2. Встановлено, що заземлення грозозахисного троса на кожній опорі суттєво знижує рівень наведеної напруги.

Література:

1. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Про затвердження Інструкції про проведення вимірювань наведеної напруги в електроустановках» ГКД 34.03.201-94. від 04.05.1994.

2. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Про Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання» від 21.06.2013 № 399.

3. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Про затвердження Правил улаштування електроустановок» від 21.07.2017 № 476.

4. Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція. СОУ 31.2-21677681- 19:2009. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 54 с.

5. Електричні системи та мережі: конспект лекцій / укл.: І.Л.Лебединський, В.І. Романовський, Т.М. Загородня. – Суми : СДУ, 2018. – 214 с.

6. Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2020.– Вип. 18. – 199 с.

Abstract. The article considers some aspects of modeling power transmission lines. The stages of calculating the applied voltage are outlined. Models of overhead lines have been developed taking into account the spatial location, phasing, splitting of phases and lightning protection cables with various methods of cable grounding used in practice. It has been established that the grounding of the lightning protection cable on each support significantly reduces the level of applied voltage.

Keywords: power transmission line modeling; applied voltage; calculation of the applied voltage; grounding.



УДК 681.7

STABILIZER QUALITY INDICATORS ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ СТАБІЛІЗАТОРА

Bezvesilna O.M. / Безвесільна О.М.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-6951-1242

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Peremogy Avenue, 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут**імені Ігоря Сікорського", Київ, проспект Перемоги, 37, 03056***Hrynevych M.S. / Гриневич М.С.***assistant / асистент*

ORCID: 0000-0001-9183-5211

*State University "Zhytomyr Polytechnic", Zhytomyr, Chudnivska street, 103, 10005**Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Чуднівська, 103, 10005***Tolochko T.O. / Толочко Т.О.***senior lecturer / старший викладач*

ORCID: 0000-0002-2346-0419

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Peremogy Avenue, 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут**імені Ігоря Сікорського", Київ, проспект Перемоги, 37, 03056*

Abstract. The work is devoted to the formulation of the main quality indicators of stabilizers.

Key words: stabilizer, quality indicators, moving object, accuracy, quality, stability.

Introduction. Analytical review of the literature on stabilizers [1-3, etc.] does not contain information on determining quality indicators of stabilizers, which are absolutely necessary when solving problems of increasing the efficiency of stabilizers.

The task of this work is to formulate the main quality indicators of stabilizers.

Presentation of the main research material. The development of modern military equipment is marked by a significant increase in the speed and maneuverability of moving objects.

It is difficult to imagine the modern military sphere without the use of stabilizers. The relevance of stabilizers and the need for their improvement becomes special in a world where military conflicts and security threats are taking on increasingly complex forms.

Stabilizers are mainly used to keep the object in a stable position even during movement or external influences. These can be tanks, military helicopters, submarines, artillery systems and many other military weapons. Thanks to stabilizers, you can improve the accuracy of fire, increase the range of hitting targets and reduce the risk of a miss.

In a war zone where movement and danger are always present, the speed and reliability of stabilizers are vital. Without their help, it is difficult to imagine the successful execution of military tasks. Enemy actions can be unpredictable, so quick response and accurate weapon positioning become critical to mission success and the



protection of one's own troops.

The need for constant improvement of stabilizers in the military sphere is an integral component of strategic security and effectiveness of military operations. Only thanks to the constant improvement of technologies and the introduction of advanced developments will we be able to ensure the safety of our military and defend our interests in the complex geopolitical conditions of the modern world.

The main tasks of stabilization and control of moving objects are solved with the help of gyroscopic stabilizers, the accuracy of work and other main indicators of which determine the efficiency of the functioning of the corresponding objects.

Three-axis gyroscopic stabilizers are designed to stabilize and control a platform with various devices installed on it relative to three stabilization axes.

Stabilization consists in determining the parameters of the angular position of the platform and creating the corresponding control signals.

Control of moving objects requires maintaining a given angular position of movement acceleration meters (newton meters) in space while meeting strict requirements for orientation errors. Three-axis gyrostabilizers are used to stabilize newton meters in space.

The main part of the three-axis gyro stabilizer is a stabilized platform, which has landing surfaces for mounting gyro blocks, newton meters.

In order to isolate the gyro-stabilized platform from the angular movement of the object, a system of semi-axes and frames is used, creating a three-stage gimbal suspension. The cardan suspension can provide two unlimited angles of rotation of the platform around the outer and inner axes, while the rotation around the middle axis of the suspension leads to a significant deterioration of the dynamic characteristics of the gyro stabilizer. Therefore, when choosing the location of the object, it is necessary to ensure that the angle of rotation around the middle axis is minimal and does not exceed 45-60°. At angles greater than 85°, a three-frame suspension is used.

The design of a three-axis gyro stabilizer is largely based on the method of designing a single-axis stabilizer, since from the point of view of the applied theory of gyroscopes, a spatial (three-axis) stabilizer can be divided into three one-dimensional channels of single-axis gyro stabilizers.

In connection with the development of computer technology, the capabilities of gyroscopic systems are expanding. This leads, as a rule, to the emergence of new structural solutions, at the same time increasing requirements for reliability, increased service life and reduced weight and dimensional characteristics.

Today, small-sized inertial navigation systems of the order of 10-15 kg are being developed, the testing of which on appropriate stands is impractical, since most of the stands for semi-scale testing of gyrostabilizers and elements of control systems of moving objects have very large dimensions and a weight of about 100 kg.

The problem of increasing the accuracy and other main indicators of such systems while simultaneously reducing the mass and geometric dimensions is one of the most urgent problems today.

The technical perfection of the stabilizers (C) is assessed by indicators characterizing the quality of its functioning both in the stabilization mode and in the



guidance mode. The most important of them are the following [2-3, etc.]:

- stability;
- accuracy of stabilization;
- stabilization quality;
- pointing speed and nature of the distribution by the angle of rotation of the control panel;
- stabilizer readiness time;
- the time of continuous operation of the stabilizer, during which the technical characteristics correspond to the required values;
- reliability of functioning;
- the nature and time of transient processes when working out large angles of misalignment;
- energy efficiency;
- range of operating conditions.

Stability provides the main purpose of C, as an automatic control system, which consists in maintaining a given constant value of the regulated parameter or its change according to a defined law [3].

When the regulated parameter deviates from the set value (for example, under the influence of a disturbance or a change in the target), the regulator affects the system in such a way as to eliminate this deviation.

If, as a result of this influence, the system returns to its initial state or moves to another equilibrium state, then such a system is called stable.

If there are oscillations with increasing amplitude or there is a monotonous increase in error, then the system is called unstable [3].

Stabilization accuracy is the main indicator that characterizes the operation of the system in the stabilization mode.

External disturbances caused by continuous random oscillations of the body of a moving object cause the stabilizer to deviate from the specified pointing direction [2-3].

To quantify the accuracy of stabilization, the average values of the absolute angular deviations of the weapon stabilizer are determined - the average values of the stabilization errors.

The following are used as measures of accuracy of weapon stabilization systems [3]: - mean squared error; - average amplitude error.

The stabilization error is determined experimentally using special equipment and is measured in parts per thousand. The higher the accuracy of stabilization, that is, the smaller the deviation from the given pointing direction, the higher the quality of the stabilizer [3].

Modern Cs allow obtaining fairly high stabilization accuracy values ($\alpha = 0.6-0.8$ thousand), which determines the high efficiency of target identification [2-3, etc.].

The aiming speed of a stabilized object when aiming or tracking a target characterizes the quality of the system in the aiming mode.

To accurately aim the weapon at the target, the actuators of the stabilizer must ensure the rotation of the object of regulation with angular velocities that smoothly change from values of 0.05-0.07 deg/s to 5-6 deg/s [2-3, etc.].



The dependence on the angle of rotation of the control panel in this range of pointing speeds should be linear (or close to it) with a gradient of change in angular speed of no more than 0.002 rad/s/degree [2-3, etc.]. This is necessary to ensure the possibility of continuous and accurate tracking of moving targets.

In order to quickly move a moving object when transferring from one target to another, it is necessary that the actuators ensure their rotation with angular velocities $Q_{\max} > 30-35$ deg/s [3].

Stabilizer readiness time - the time interval from the moment the stabilizer is turned on to the start of its operation - is determined by the duration of the gyromotor acceleration process. For modern C, the readiness time is no more than 2 minutes. (includes switch-on time - up to 20 s) [3].

The time of continuous operation of the stabilizer is determined by the technical conditions during the execution of the task [1, 2].

The energy efficiency indicator reflects the electricity consumption of the stabilizer when performing its functions. More energy-efficient stabilizers ensure long-term operation from a single battery charge or reduce fuel consumption, which is especially important for portable or mobile devices.

The range of operating conditions indicates the range of external conditions in which the stabilizer can function effectively. It can include parameters such as temperature range, humidity, vibration, aerodynamic loads, etc. The wider the range of operating conditions, the more adaptable and reliable the stabilizer is.

Conclusions. Based on the analysis of the instrument composition, structure and dynamic parameters of blocks of well-known digital stabilizers, the main quality indicators of the stabilizer were formulated.

Literature:

1. Bezvesilna O.M. Scientific, technological, organizational and implementation bases for the creation of a new stabilizer complex for weapons of light armored vehicles / O.M. Bezvesilna, V.G. Tsiruk // Monograph. - NGO "Priority", Kyiv. - 2015. - 176 p
2. Bezvesilna O.M., Ilchenko M.V. Methods and means of improving the accuracy characteristics of the instrument system for measuring mechanical parameters and stabilization. - KPI named after Igor Sikorsky. Kyiv: SE "Editorial of the newsletter" Official Gazette of the President of Ukraine". With the seal of KPI named after Igor Sikorskyi, 2020 - Kyiv: 208 p.
3. Technical description and operating instructions. BMP-2 infantry fighting vehicle. part 1. [Electronic resource] – 1987. – Retrieved from <http://armyman/info/books/id-44.html>.

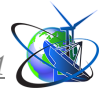
Анотація. Робота присвячена формулюванню основних показників якості стабілізаторів.

Ключові слова: стабілізатор, показники якості, рухомий об'єкт, точність, якість, стійкість.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Безвесільна О.М.

Стаття відправлена: 26.05.2023 р.

© Безвесільна О.М., Гриневич М.С., Толочко Т.О.



УДК 681.7

INCREASING THE SPEED DUE TO THE IMPROVEMENT OF THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE INSTRUMENT COMPONENT OF THE STABILIZER

ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗА РАХУНОК ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЛАДОВОГО СКЛАДУ СТАБІЛІЗАТОРА

Bezvesilna O.M. / Безвесільна О.М.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6951-1242

Nechai S.O. / Нечай С.О.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-0056-6341

Tolochko T.O. / Толочко Т.О.

senior lecturer / старший викладач

ORCID: 0000-0002-2346-0419

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, Peremogy Avenue, 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, проспект Перемоги, 37, 03056*

Abstract. The work is devoted to the description of experimental studies of engines used in stabilizers.

Key words: engine, stabilizer, speed, moving object, power amplifier.

Introduction. The speed of the stabilizer is an important aspect, as it is its ability to quickly adapt to changing external conditions, which is relevant when considering this issue from the point of view of application in military equipment. The stabilizer of moving objects must be able to quickly respond to movements and oscillations, ensuring constant stability and elimination of deviations. Performance indicators of stabilizers of moving objects, in particular their speed, largely depend on the parameters of the electric motors used in them. However, in the known literature [1-3, etc.] these issues are not considered.

The properties of electric motors play an important role in the operation of the stabilizer, as they provide movement and respond to changes in the requirements for stabilizing the object. Some of the main properties of electric motors that affect the operation of the stabilizer include the following:

- **Torque:** Determines the motor's ability to transmit force to move an object or control its position. The greater the torque of the electric motor, the more effectively the stabilizer will be able to keep the object in a stable position, especially during load changes or external influences.

- **Reaction Speed:** Determines how quickly he can change his strength and rotation speed. To effectively stabilize an object, it is necessary for the stabilizer to be able to respond quickly to changes in motion and deflection, and an electric motor with a high response speed can help achieve this goal.

- **Positioning accuracy:** An electric motor can have various control systems, such as encoders or position sensors, that allow the exact position of an object to be determined. This is important for the stabilizer, as it must accurately determine and



control the position of the object to avoid its unwanted movement.

- **Energy efficiency:** The level of energy efficiency affects the consumption of electricity and the duration of operation of the stabilizer. More efficient electric motors allow you to reduce energy losses and provide longer autonomous operation of the stabilizer, which is especially important for portable or mobile devices.

- **Control and programming:** Some models of electric motors support different operating modes, parameter settings and other functions that allow the stabilizer to be flexible and adapt to different conditions and requirements.

In general, the properties of electric motors, such as torque, response speed, positioning accuracy, energy efficiency and control capabilities, directly affect the performance of the stabilizer. High-quality and optimally selected electric motors help to achieve more accurate, stable and effective stabilization of a moving object.

The task of this work is to consider the main parameters of electric motors of stabilizers and to provide appropriate recommendations for improving these parameters.

Presentation of the main research material. To evaluate the time constants of electric motors used in stabilizers, experimental studies of EDM20M, EDM02, and EDM20 engines were carried out [3].

It was found that in order to increase the speed, it is necessary to use electric motors with smaller electromagnetic and electromechanical constants and increased starting and nominal torques compared to the previously used motors.

It is advisable to increase the nominal torque to (2.6-3) Nm, and the power to (800-1000) W [2.3]. Technical characteristics of electric motors are given in Table 1 [3].

Table 1 - Comparative characteristics of electric motors [3]

Engine parameters	ЕДМ03	ЕДМ20	ЕДМ20М	ЕДМ14	ЕДМ600	БДПТ
Supply voltage	23 В	23 В	23 В	23 В	23 В	-
Bias voltage in idle mode, V	2,0	-	-	-	0,7	-
Permanent E.M.F., Vs/rad	0,052	0,053	-	0,056	0,069	-
Winding resistance, Ohm	0,22	0,125	0,125	0,45	0,07	0,067
Anchor time constant, p	$0,32 \cdot 10^{-3}$	$0,26 \cdot 10^{-3}$	-	-	$0,49 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$
Moment of inertia of the anchor, kgms ²	$3,15 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	-	-
Moment of resistance, Nm	1,3	1,3	1,3	0,57	1.9	2,0
Constant load moment on the shaft, Nm/A	0,052	0,054	-	0,056	0,069	-



Continuation of Table 1						
Engine parameters	ЕДМ03	ЕДМ20	ЕДМ20М	ЕДМ14	ЕДМ600	БДПТ
Starting moment, Nm	9,33	7,5	7,48	-	13,6	-
Power, W	470	400	432	180	650	800
Rotational frequency, rev/min	3500	3000	3000	3000	3700	4000
Starting current, A	130	180	131	60	240	270
Nominal current, A	31	-	25,7	-	23,7	-
Electromechanical time constant, p	$9,31 \cdot 10^{-3}$	$26 \cdot 10^{-3}$	$20 \cdot 10^{-3}$	-	-	-
Electromagnetic time constant, p	$0,32 \cdot 10^{-3}$	-	$0,26 \cdot 10^{-3}$	-	-	-
Overheating in nominal mode °C	113	-	133	-	104	-

Experimental studies have revealed the possibility of reducing the inductance of chokes in LC filters of power amplifiers while maintaining an acceptable level of pulsations created by power bridge commutators working on the active-inductive load of the armature windings of electric motors [3].

As a result of these studies, the time constant of the power amplifiers was reduced to 0.3 ms compared to 8 ms.

These refinements were introduced in the corresponding stabilizer blocks produced in series, as well as in the block working with the EDM600 engine of increased power [2, 3].

The use of collectorless DC motors [1-3] has a number of advantages over conventional collector motors:

- more validity period than collector ones;
- high speed and dynamics, positioning accuracy;
- higher efficiency;
- fast dialing of the maximum rotation speed;
- greater power;
- does not require additional cooling;
- there is no spark;
- a wide range of rotation frequency changes;
- non-contact and lack of nodes requiring maintenance;
- increased service life, high reliability and increased service life due to the absence of sliding electrical contacts;
- low overheating of the electric motor when working in modes with possible overloads;
- lower level of electromagnetic noise.



At the same time, some disadvantages of brushless DC motors should be noted:

- high cost;
- it is not possible to use them without a driver;
- problematic repair, especially when rewinding the engine.

Conclusions. Experimental studies of electric motors used in stabilizers to estimate the time constants of electric motors have been carried out.

It was established that to increase the speed, it is necessary to use electric motors with smaller electromagnetic and electromechanical constants and increased starting and nominal torques compared to the previously used motors.

It is advisable to increase the nominal torque to (2.6-3) Nm, and the power to (800-1000) W.

Experimental studies have revealed the possibility of reducing the inductance of chokes in LC filters of power amplifiers while maintaining an acceptable level of pulsations created by power bridge commutators.

As a result of these studies, the time constant of the power amplifiers was reduced to 0.3 ms compared to 8 ms. These improvements are introduced in the corresponding blocks.

It is proposed to use direct current collectorless motors, which have significant advantages over conventional collector motors.

Literature:

1. Bezvesilna O.M. Increasing the accuracy of stabilizers of weapons of light armored vehicles//O.M. Bezvesilna, V.G. Tsyruk, M.V. Ilchenko, Yu.V. Kyrychuk//XIV MNPC "Scientific opinion of the information age 2018" Poland, Przemysł. 07–15.03.2018. – P.3–8.

2. Bezvesilna O.M. Weapon guidance and stabilization systems. / Bezvesilna O.M. V.P. Kvasnikov, V.G. Tsyruk, V.V. Chikovani // Monograph. - NGO "Priority". – Kyiv. – 2014. – 176 p.

3. Bezvesilna O.M., Ilchenko M.V. Methods and means of improving the accuracy characteristics of the instrument system for measuring mechanical parameters and stabilization. - KPI named after Igor Sikorsky. Kyiv: SE "Editorial of the newsletter" Official Gazette of the President of Ukraine". With the seal of KPI named after Igor Sikorskyi, 2020 - Kyiv: 208 p.

Анотація. Робота присвячена опису експериментальних досліджень двигунів, що використовують у стабілізаторах.

Ключові слова: двигун, стабілізатор, швидкодія, рухомий об'єкт, підсилювач потужності.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Безвесільна О.М.

Стаття відправлена: 26.05.2023 р.

© Безвесільна О.М., Нечай С.О., Толочко Т.О.



УДК 681.7

ANALYTICAL REVIEW OF AUTOMATED STABILIZATION
COMPLEXES

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АВТОМАТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Bezvesilna O.M. / Безвесільна О.М.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-6951-1242

Nechai S.O. / Нечай С.О.

s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-0056-6341

Tolochko T.O. / Толочко Т.О.

senior lecturer / старший викладач

ORCID: 0000-0002-2346-0419

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Peremogy Avenue, 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського", Київ, проспект Перемоги, 37, 03056*

Abstract. The article provides an analytical overview of automated stabilization complexes, which systematizes the following principles of construction of modern stabilizers: by stabilization object, by the number of stabilization planes, by the type of measured coordinate, by the function of the gyroscope, by the type of executive drive, by the type of regulation, by the type of schematic technical performance.

The principle of operation of the digital stabilization complex is explained using the functional and structural diagrams of the channel of the automated stabilization complex.

Key words: stabilizer, stabilization complex.

Introduction.

Precision automated stabilization complexes can be used in modern moving objects (MO), performing the functions of speeding up the search, determining the coordinates of moving objects in extreme conditions; surveillance of ground, air and surface targets. It is also promising to use automated stabilization complexes in aviation gravimetry for the exhibition of sensitivity axes of navigation sensitive elements (gravimeters).

The analysis of the instrument composition, structure and dynamic parameters of blocks of well-known automated digital stabilization complexes [1-5] showed that there are no reserves for increasing stabilization accuracy and speed. Therefore, the requirements for the accuracy of the means and methods of measuring the mechanical values of the stabilizers defined above have become much higher.

Achieving high accuracy of such complexes became possible thanks to the high quality of modern elements of gyroscopic technology and significant development of the theory of gyroscopic devices developed by A.N. Krylov, B.A. Bulgakov, O.Y. Ishlinskyi, Y.M. Roitenberg, S.S. Rivkin, Pavlov V.A., E.H. Popov, A.I. Lurie, V.V. Solodovnikov and etc. The theory of linear and nonlinear guidance systems was developed by V.V. Solodovnikov, B.K. Chemodanov, N.A. Lakota. The theory of digital tracking drives was developed by V.A. Besekersky, S.M. Fedorov. The theory of gyroscopic stabilization complexes was developed by M.A. Pavlovsky,



D.Z. Pelpor, A.O. Odintsov, B.B. Samotokin, G.F. Bublyk, O.M. Bezvesilna, O.V. Zbrutsky, L.M. Ryzhkov, P.M. Bondar, S.S. Ryvkin, Y.N. Roitenberg, E.A. Fabrikant, P.I. Saidov. The theory of optimal control systems - by R. Bellman, V.G. Polyansky, R. Grammer, V.I. Gostiov, D.I. Yeskov and etc. [1-4].

However, there are not enough works in the literature devoted to the analytical review of modern automated stabilization complexes (SC), which would solve the problems of increasing their accuracy and speed.

Therefore, **the purpose of this article** is to conduct an analytical review of modern automated stabilization complexes, which have significantly greater accuracy and speed than the known ones.

A characteristic feature of the development of modern technology is the improvement of the technical characteristics of all instrument complexes that are part of the control system of the moving objects, including the SC.

This process is due to the transition to a digital element base, the use of new information sensors, new optical and electronic devices for surveying the terrain and the development of new schematic and technical solutions for the construction of equipment, which, in turn, increases the level of speed of the equipment and its maneuverability due to a higher level of control automation.

On the other hand, the requirements for accuracy and speed of stabilization complexes are constantly increasing, which requires their improvement.

At the same time, it is necessary to take into account that modern moving objects have significantly higher speeds, they are subject to significantly higher overloads and uncontrolled mechanical disturbances: shocks, vibrations (table 1 [1]).

Table 1 - Average parameters of oscillations of the moving objects body during movement at a speed of up to 20 km/h

Types of oscillations	Angular oscillations		
	Amplitude, degrees	Speed, %s	Frequency, Hz
Longitudinal	2,5	8,25	1,1
Horizontal	1,2	1,6	0,6
Transverse	1,8	6.3	0,8

Therefore, the requirements for the accuracy of the means and methods of measuring the above-defined mechanical values of SC have become stricter.

Scientific and technical progress in the field of automated SC requires the improvement of the components of the elemental base of SC, the use of modern digital devices for measuring angular velocities to improve the tactical and technical characteristics of SC, which should replace analog modifications.

In many scientific publications [1-3], separate directions of the principles of construction of SC are given. To understand the principles of construction, we present the main principles of their classification (Figure 1):

1) by object of stabilization:

- stabilizers of the main devices,
- stabilizers of additional devices,
- stabilizers of special devices;



- 2) by the number of stabilization planes:
 - single-plane (stabilizers only in one, as a rule, vertical plane),
 - two-plane (stabilizers in two vertical and horizontal planes),
 - three-plane (stabilizers in the vertical, horizontal and roll angles);
- 3) by type of measured coordinate:
 - positional (stabilizers of this type remember the given position (position) and measure the angular deviation of the horizontal and vertical channels from the given position with gyroscopic angle sensors);
- 4) by gyroscope function:
 - force (with a stabilizing moment necessary to stabilize the object),
 - indicator (with a gyroscopic device that performs the function of a deviation indicator),
 - high-speed (stabilizers of this type measure only the absolute angular velocity of the moving objects being stabilized using a gyroscopic absolute angular velocity sensor – a gyrotachometer);

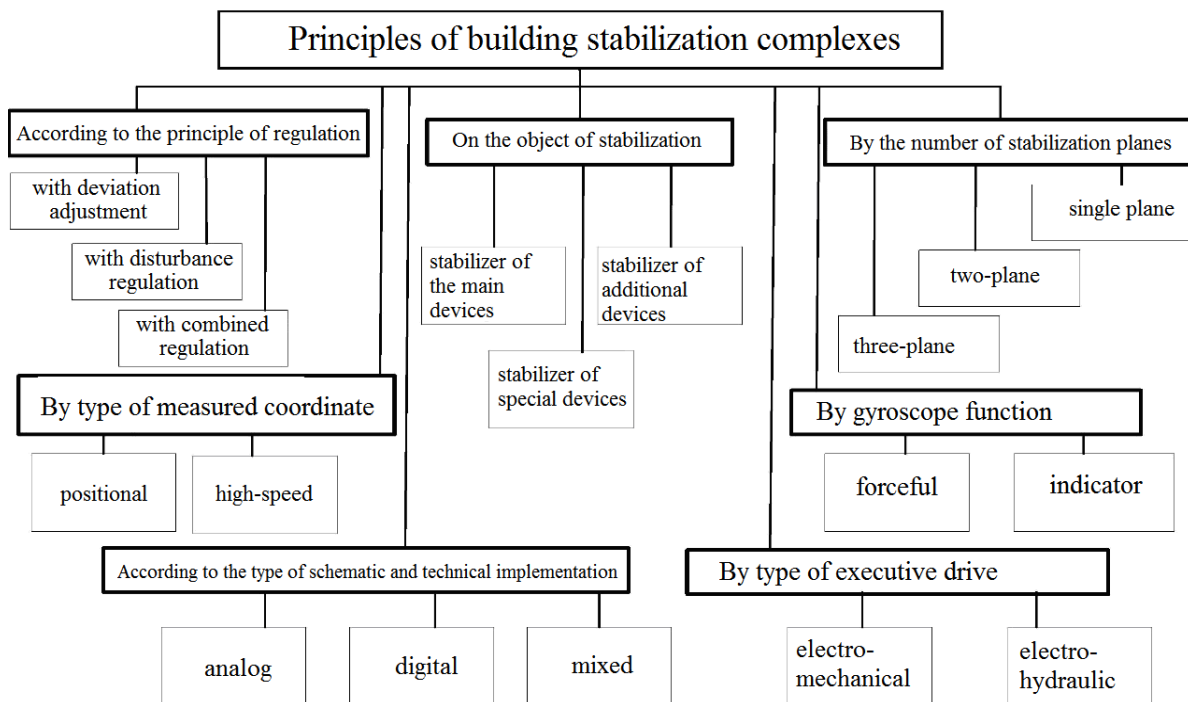


Figure 1 - Classification of automated SC

- 5) by type of executive drive:
 - electric machines (with a stabilizing moment created by an electric motor),
 - hydraulic (use a stabilizing moment that creates a hydraulic drive);
- 6) by type of regulation:
 - by deviation,
 - by perturbation,
 - combined;
- 7) according to the type of scheme – technical execution:
 - analog (made on transistors, resistors, diodes),
 - digital (built on digital microprocessors with the possibility of



- reprogramming without hardware modification of the equipment),
- combined (in which there are digital and analog circuit elements).

In addition, there is a separate type – field of vision stabilizers, which are divided into stabilizers with:

- joint stabilization (or “dependent”), in which the unit being stabilized is connected (rigidly or through kinematics) to the terrain observation device,
- autonomous stabilization (or “independent”). In them, a device with a stabilized field of view (SFV) or a stabilized line of sight (SLS) is introduced into the product management system (PMS).

Stabilizers, as objects of automatic regulation [3,4], are built according to the classical scheme, which includes the object of regulation and the regulator (Figure 2).

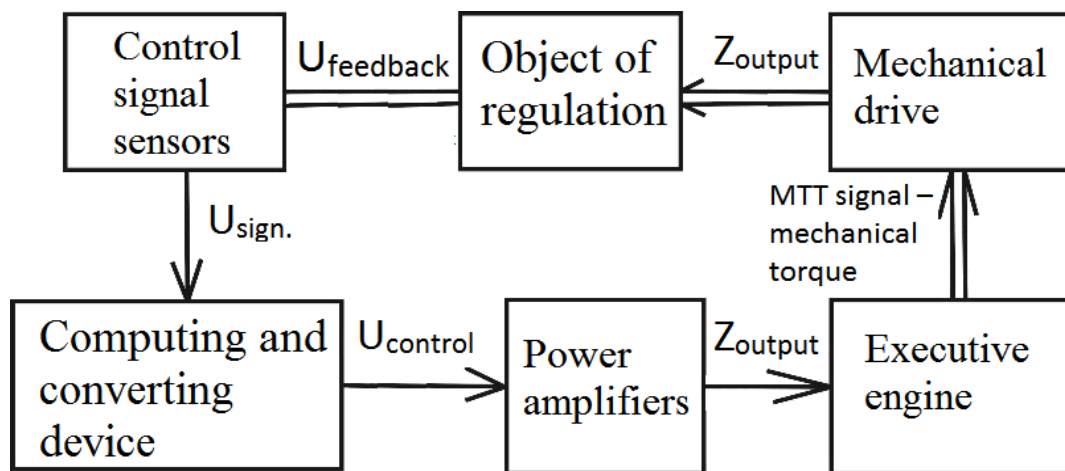


Figure 2 - Schematic diagram of the channel of the automated stabilization complex

Based on the scheme in Figure 2, let's consider how the main elements of this scheme are reflected in the schematic diagram of the digital SC (Figure 3).

Signal $U_{\text{sign.}}$ – signal from information sensors for the automated stabilization complex. This is the signal from the angular velocity sensors on the vertical guidance channel AVS-VG (GT46) and from the AVS-HG (GT46-01) on the horizontal guidance channel.

Signal U_{control} – control signal from the stabilizer computer. This is a signal from the BU1022-04 control unit (Figure 3), which is sent to the BKD14-02 GN (VN) engine control units.

Signal Z_{output} – signal at the engine input. This is the signal coming from the BKD14-02 to the EDM20M GN(VN) engines.

MTT signal – mechanical torque transmitted from the engine shaft to the mechanical drive – turning mechanism (elevating mechanism) to eliminate the angle between the set position and the current position of the stabilization object.

The U_{feedback} signal is a current or voltage feedback signal. Both current and voltage signals are used simultaneously in the stabilizer (Figure 3).

It follows from the above that the regulator is a complex of devices, sensors and mechanisms that works according to a given program and automatically compensates for mechanical effects on the moving objects. Moving objects regulation is a



mechanism (unit of guidance on the vertical guidance channel and unit of guidance on the horizontal guidance channel) in which the initial characteristics of the outputs are constantly adjusted.

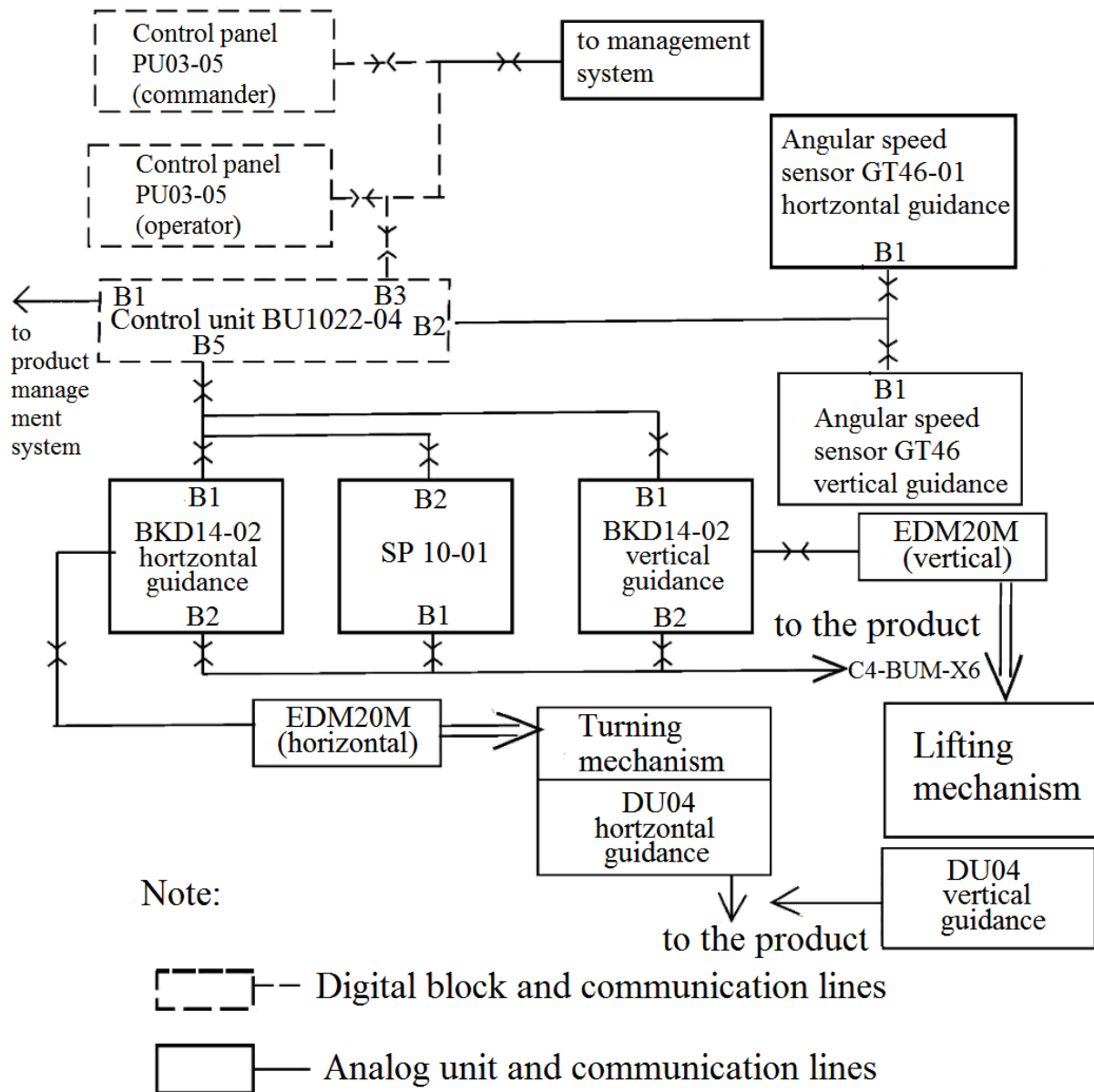


Figure 3 - Schematic diagram of a digital SC

Conclusions: on the basis of the above, we can say that a detailed analysis and classification of automated stabilization complexes has been carried out and the principles of modern stabilizer construction have been systematized. The principle of operation of the digital stabilization complex is explained using the basic functional and structural diagrams of the channel of the automated stabilization complex.

Literature:

1. Lepeshinsky I.Yu. Automatic weapon control systems / I.Yu. Lepeshinsky, P.M. Varlakov, D.N. Zakharov, O.I. Chikyrev [Electronic resource] // Teaching manual. – Omsk. – 2010. Retrieved from <http://mslstaryussia.ru/forum/dowland/life.php?id=36773>.



2. Bezvesilna O.M. Scientific, technological, organizational and implementation bases for the creation of a new stabilizer complex for weapons of light armored vehicles / O.M. Bezvesilna, V.G. Tsiruk // Monograph. - NGO "Priority", Kyiv with the seal of ZHTU. – 2015. – P. 176.

3. Bezvesilna O.M. Optimization, identification, algorithmic processing of parameters of sensitive elements of the stabilizer of light armored vehicles / O.M. Bezvesilna, V.G. Tsiruk, S.P. Malyarov, L.O. Chepyuk // Monograph. – Zhytomyr: Zhdtu. – 2015. – P. 217.

4. Bezvesilna O.M. Weapon guidance and stabilization complexes. / O.M. Bezvesilna, V.P. Kvasnikov, V.G. Tsiruk, V.V. Chikovani // Monograph. – NGO "Priorities", Kyiv: ZhDTU. – 2014. – P.176.

5. Bezvesilna O. Devising and introducing a procedure for measuring a dynamic stabilization error in weapon stabilizers / O. Bezvesilna, O. Petrenko, V. Halytskyi, M. Ilchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system. – Kharkiv. – 2020. – No. 1/9(103). – PP. 39-45.

Анотація. У статті наведено аналітичний огляд автоматизованих комплексів стабілізації, який систематизує наступні принципи побудови сучасних стабілізаторів: за об'єктом стабілізації, за кількістю площині стабілізації, за видом вимірюваної координати, за функцією гіроскопа, по типу виконавчого приводу, по типу регулювання, по типу схематичного виконання.

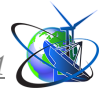
Викладено принцип дії цифрового комплексу стабілізації за допомогою функціональної і структурної схем каналу автоматизованого комплексу стабілізації.

Ключові слова: стабілізатор, комплекс стабілізації.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Безвесільна О.М.

Стаття відправлена: 1.06.2023 г.

© Безвесільна О.М., Нечай С.О., Толочко Т.О.



УДК 536.22

EXPERIMENTAL THERMAL CONDUCTIVITY DETERMINATION OF LIQUIDS AND SUBSTANCES WITH A PHASE TRANSITION**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ РІДИН ТА РЕЧОВИН З ФАЗОВИМ ПЕРЕХОДОМ****Sklyarenko E.V. / Скляренко Є.В.***Ph.d. / к.т.н.*

ORCID : 0000-0003-3952-6520

Ivanov S.O. / Іванов С.О.*Ph.d. / к.т.н.*

ORCID : 0000-0002-2722-7323

Dekusha L.V. / Декуша Л.В.*Dsc, s.r. / д.т.н., с.н.с.*

ORCID : 0000-0003-1881-0880

Vorobiov L.Y. / Воробйов Л.Й.*Dsc, s.r. / д.т.н., с.н.с.*

ORCID : 0000-0001-7958-6996

SPIN: 6154-2069

*Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, 2a, M. Kapnist Str., Kyiv
Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, вул. М. Капніст, 2а, Київ*

Анотація. Стаття присвячена проблемі експериментального визначення теплопровідності рідин та речовин з фазовим переходом. Запропоновано шлях подальшого розвитку методу визначення теплопровідності у плоскому шарі в пристрої з двома тепломірами, для чого запропоновано у вимірjuвальній комірці розмістити горизонтальне оребрення на боковій стінці поза центральною зоною; передбачити резервуар для рідини, яка розширюється при нагріванні, та забезпечити підвищення тиску рідини у комірці. Це дозволяє позбутися впливу конвективного теплообміну вздовж бокової стінки комірки, розширити температурний діапазон вимірювань за рахунок підвищення температури кипіння, а також проводити дослідження як рідких, так і твердих матеріалів. Розроблено вимірjuвальний прилад для реалізації зазначеного методу.

Ключові слова: теплопровідність, рідини, речовини з фазовим переходом, теплообмін.

Вступ. В різноманітних технічних установках та технологічних процесах застосовують теплообмінні пристрої та теплоносії. Аналіз показує, що вагомим фактором удосконалення теплообмінних процесів є пошук і залучення нових матеріалів для теплоносіїв, які мають відповідні теплофізичні властивості. Визначення достовірних значень цих властивостей, зокрема, робочого діапазону температури, теплопровідності, температуропровідності і питомої теплоємності, є важливим фактором підвищення ефективності теплообміну в різних технічних пристроях і процесах. Так, знаючи дані про теплоємність та теплопровідність рідкого теплоносія можна проводити інженерні розрахунки нових теплообмінних систем, а також забезпечити надійність та безперебійність роботи таких систем.

Станом на сьогодні не знайдено універсальних теоретичних моделей, які б дозволяли розраховувати теплофізичні властивості різних матеріалів в реальних умовах їх експлуатації, тому найбільш раціональним шляхом отримання даних про властивості рідких матеріалів та матеріалів з фазовим



перетворенням є експериментальні методи.

Якщо для визначення теплоємності широкого кола досліджуваних матеріалів існують готові технічні рішення, що реалізують різні методи дослідження, то визначення теплопровідності матеріалів регламентовано стандартами лише для твердих зразків [1, 2].

Необхідно зазначити, що експериментальні методи визначення теплопровідності рідин існують. Серед них найбільш часто застосовуються методи лінійного джерела теплоти (гарячого дроту або нагрітої нитки) [3...5], метод 3ω [6], метод коаксіальних циліндрів [7, 8], тощо, проте кожен з них має свої обмеження та недоліки. Разом із цим, відсутність доступних універсальних засобів, які б дозволяли досліджувати теплопровідність рідин та речовин з фазовим переходом в широкому температурному діапазоні вказують на необхідність розробки та створення спеціалізованого засобу вимірювання для визначення теплопровідності теплоносіїв, які застосовуються у різноманітних апаратах і пристроях.

Серед вимог до такого засобу вимірювання можна виділити універсальність у дослідженні зразків різної в'язкості та з можливістю компенсації перепадів об'єму зразка при фазових переходах, низький вплив конвективної складової теплообміну при дослідженні, широкий діапазон визначення теплопровідності та температури експлуатації. Значення коефіцієнту теплопровідності для рідин займають проміжне місце між значенням для твердих тіл та газів, і знаходиться в межах $\lambda = 0,09 \dots 0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, що ілюструє рисунок 1 [8, 9].

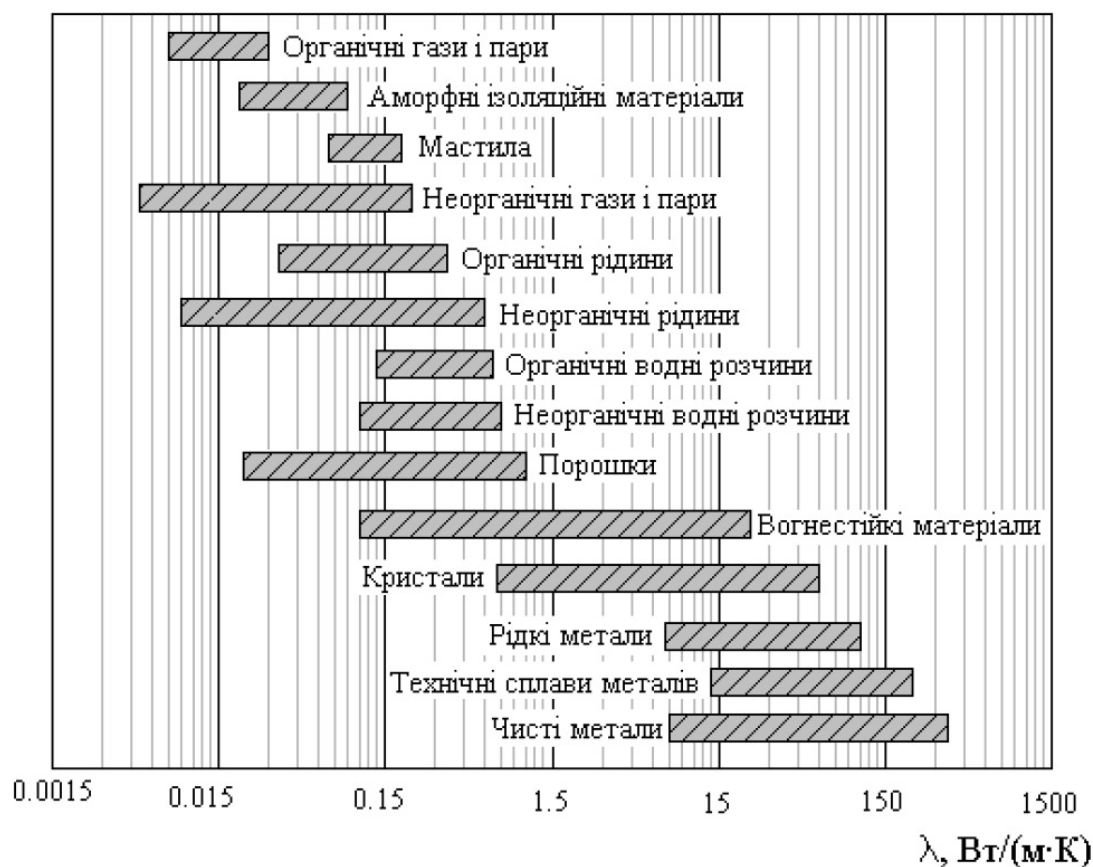


Рисунок 1 - Діапазон значень теплопровідності різних матеріалів [8, 9].



Доволі широкі межі теплопровідності матеріалів обумовлені впливом різноманіття їх структури, хімічного складу, наявності домішок (зокрема вологості), термодинамічних параметрів та інших факторів.

Так, з підвищенням температури, для більшості рідин (за винятком рідин з водневими зв'язками) коефіцієнт теплопровідності зменшується. У рідин же з водневими зв'язками, спостерігається додаткове перенесення теплоти за рахунок утворення цих зв'язків, що супроводжується виділенням чи поглинанням теплоти. Тому рідини з водневими зв'язками мають більшу густину, питому теплоємність, та більшу температуропровідність і теплопровідність [8].

Основний текст.

За результатами аналізу методів дослідження теплопровідності рідин зроблено висновок про те, що одним з найбільш перспективних методів визначення теплопровідності рідких матеріалів та матеріалів з фазовим переходом є відомий стаціонарний метод пластини з використанням двох тепломірів [2], який потребує адаптації для дослідження рідких зразків. Серед його ключових переваг – можливість отримувати дискретні значення теплопровідності з плином часу, що дозволяє відслідковувати зміну теплопровідності зразка при фазовому переході, можливість суттєво знизити вплив конвективної складової теплообміну на результат вимірювання та можливість проведення калібрування приладу за стандартними (еталонними) зразками твердих матеріалів.

Метою роботи є розвиток стаціонарного методу вимірювання теплопровідності з двома тепломірами та розроблення засобу вимірювання теплопровідності рідин.

В основі стаціонарного методу вимірювання теплопровідності з двома тепломірами лежить забезпечення проходження через досліджуваний зразок з плоскими паралельними поверхнями стаціонарного теплового потоку, що направлений перпендикулярно до плоских поверхонь зразка. Якщо відомо густину теплового потоку, який проходить через зразок, температуру поверхонь зразка та його товщину, теплопровідність зразка можна визначити за формулою:

$$\lambda = \frac{h_{zp}}{\Delta T / q} \quad (1)$$

де: h_{zp} - товщина досліджуваного зразка; ΔT - різниця температур на поверхнях зразка; q - густину теплового потоку, що проходить через поверхні зразка.

Густину теплового потоку визначають за допомогою перетворювачів теплового потоку (тепломірів), які встановлені з двох сторін зразка, причому їх поверхні перпендикулярні тепловому потоку. Густину теплового потоку для кожного з тепломірів визначають за формулою:

$$q = k \cdot E \quad (2)$$

де: k - коефіцієнт перетворення тепломіра (визначається шляхом градування); E – сигнал тепломіра.



Незважаючи на методичну простоту експерименту, на практиці метод стикається з певними труднощами створення одномірного температурного поля в дослідному зразку і визначенні ізотермічних перерізів, в яких з достатньою точністю, можливо визначити температурний градієнт та проникаючий питомий тепловий потік. Для спрощення цієї проблеми вимірювання проводять в стаціонарному тепловому режимі. Крім того, недоліком стаціонарного методу є тривалість встановлення в зоні вимірювання стаціонарного теплового режиму.

Будова приладу. Для створення засобу дослідження теплопровідності рідин та матеріалів з фазовим переходом, який би реалізовував метод вимірювання теплопровідності з двома тепломірами та задовольняв встановлені вище вимоги, було розроблено узагальнений концепт приладу, схему якого наведено на рисунку 2.

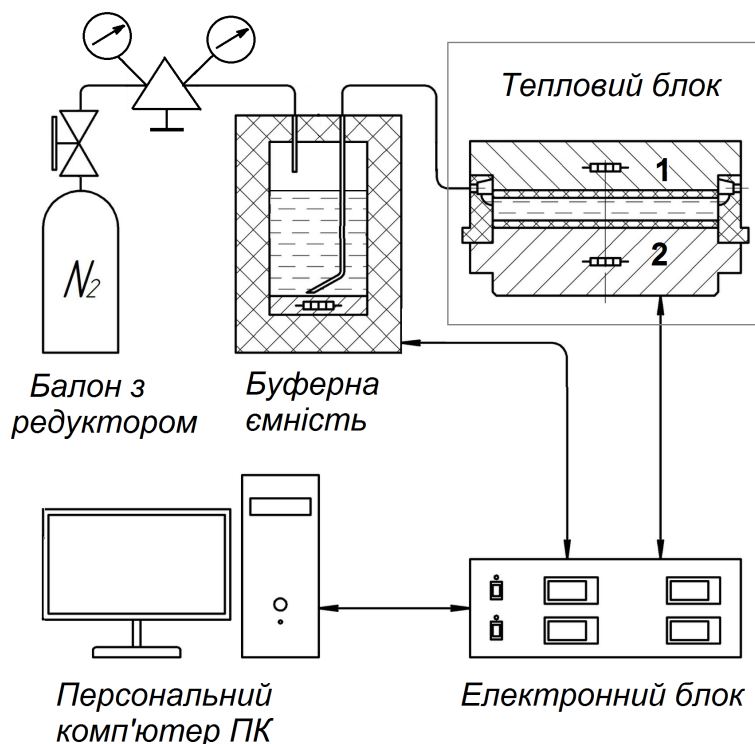


Рисунок 2 - Узагальнена схема приладу для дослідження теплопровідності рідин та речовин з фазовим переходом.

Робоча камера теплового блоку приладу утворена трьома основними елементами: нагрівником (1), холодильником (2) та боковою стінкою, що утворюють порожнину, яка заповнюється досліджуванним зразком. Додатковими елементами на схемі показано заповнений газом (азотом) балон з редуктором та манометрами і буферну ємність, які забезпечують встановлення необхідного тиску у робочій камері шляхом подачі в буферну ємність інертного газу, що дає можливість вимірювати теплопровідність при температурі вищій, ніж температура кипіння при атмосферному тиску, компенсує зміну об'єму зразка в робочій камері за зміни температури дослідження. Якщо зміна об'єму незначна, або відсутня – пристрій може працювати без буферної ємності при атмосферному тиску. Крім того, прилад оснащено також електронним блоком та персональним комп'ютером. Електронний блок забезпечує регулювання



(підтримання) заданих значень температури усіх елементах теплового блоку та перетворення показів первинних перетворювачів температури та теплового потоку у послідовний код, який передається на персональний комп'ютер для оброблення інформації.

Будову робочої камери приладу показано на рисунку 3 (а).

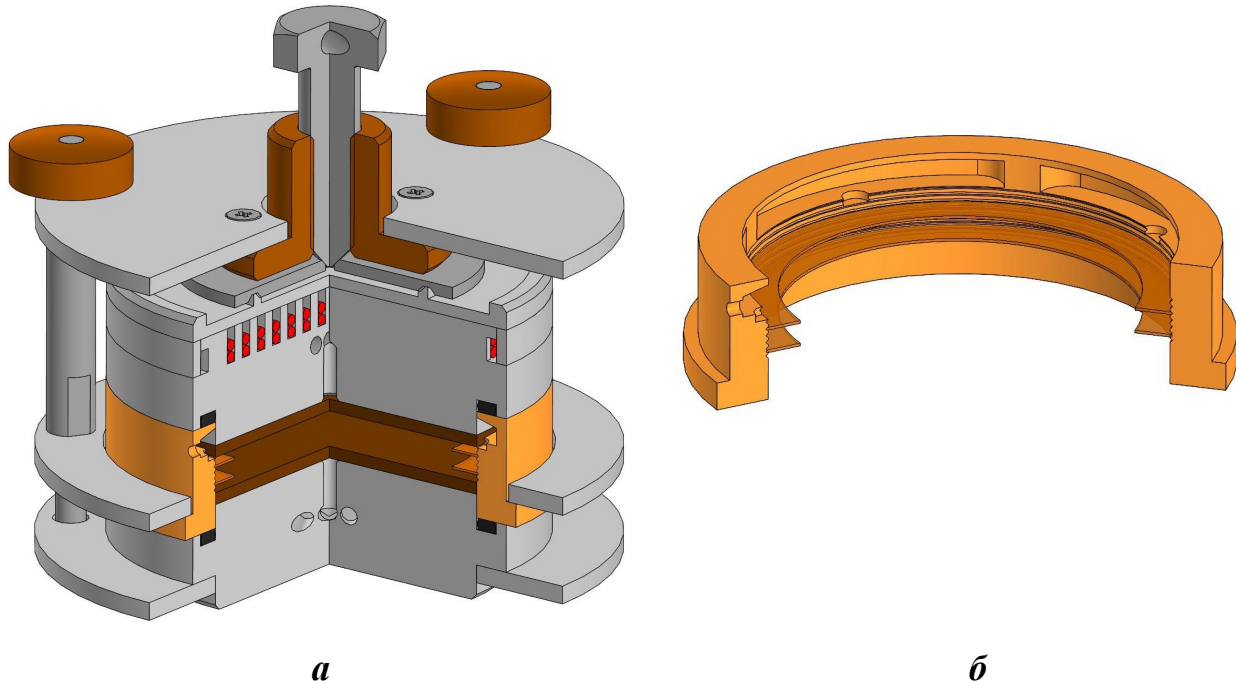


Рисунок 3 - Робоча камера приладу (а) та її бокова стінка (б).

Нагрівник розташований у верхній частині робочої камери та виготовлено з високотеплопровідного матеріалу. До його складу входять, власне, сам електронагрівник з незалежним регулюванням температури, термометр опору для регулювання температури нагрівника, та перетворювач теплового потоку типу допоміжної стінки [10] з охоронною зоною (далі ПТП) в поверхню якого вмонтовано термопару для контролю температури верхньої поверхні зразка. Нагрівник виконано достатньо масивним, щоб забезпечити рівномірне температурне поле в зоні розташування ПТП.

Холодильник (2) знаходиться в нижній зоні робочої камери. Холодильник оснащено ПТП з вмонтованою термопарою, при чому геометричні, теплові та метрологічні характеристики ПТП нагрівника та холодильника максимально схожі. Протилежна поверхня холодильника має шліфовану поверхню, яка в робочому положенні контактує з нагрівником системи регулювання температури холодильника, яка буде описана нижче.

Бічна стінка рисунок 3 (б) виконана як окремий елемент робочої камери та слугує для забезпечення паралельності поверхонь нагрівника та холодильника, а також задає висоту робочої камери. Використання бічних стінок різної висоти дозволяє змінювати конфігурацію робочої камери та розширити коло досліджуваних матеріалів. Бічна стінка виконана з низькотеплопровідного матеріалу для забезпечення одномірного вертикального теплового потоку, має отвір для подачі досліджуваного зразка, а у внутрішній її частині передбачено декілька порожнин, які компенсують зміну об'єму зразка при вимірюванні. На внутрішній



поверхні бічної стінки в зоні безпосереднього контакту зі зразком виконані проточки в яких можна розмістити тонкі кільця з поліімідної плівки, які суттєво знижують конвекцію в комірці та сприяють зниженню впливу крайових ефектів на результат вимірювання. Кільця виконані таким чином, щоб їх внутрішній діаметр був за межами чутливої зони ПТП, а кількість кілець визначається висотою бічної стінки та в'язкістю зразка.

Нагрівник, холодильник та бічна стінка збираються таким чином, щоб ПТП нагрівника та холодильника безпосередньо контактували з досліджуваним зразком, та утворювали окрему герметичну робочу камеру, яка утримується зібраною затискним пристроєм (рис.3 а), що складається з трьох стійок та центрального затискного гвинта. Разом із затискним пристроєм робоча камера може бути вилучена з теплового блоку для обслуговування або заміни зразка без відключення інших елементів теплового блоку приладу.

Більш детально будову теплового блоку показано на рисунку 4.

Крім, власне, робочої камери, тепловий блок складається з нижньої бази та кришки. На нижню базу блоку встановлюється холодильник робочої камери приладу. База має вигляд масивної високотеплопровідної колони циліндричної форми, в проточках якої вмонтовано електронагрівник з незалежним регулюванням температури та контрольні перетворювачі температури.

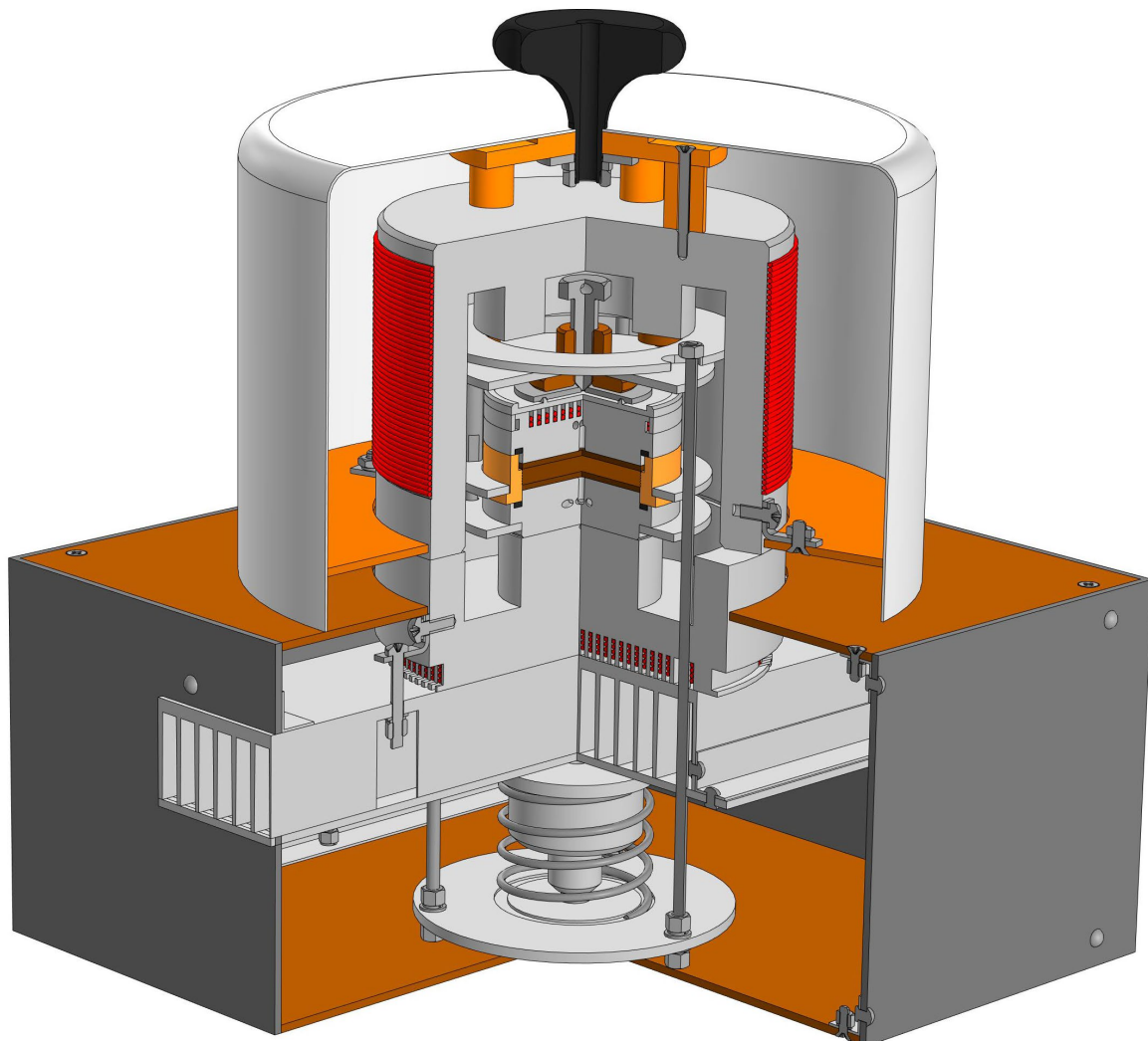


Рисунок 4 - Тепловий блок приладу.



Для зменшення контрастного теплового опору холодильник робочої камери встановлюється на базу з використанням додаткових теплопровідних мастил (термопаста, кремній-органічне мастило, тощо).

Механічно база зв'язана з масивним радіатором, ребра якого виходять за межі корпусу бази, що забезпечує ефективне охолодження всього блоку та підвищує ефективність термостабілізації робочої камери. В окремих випадках для швидкого зниження температури бази передбачено окремий блок активного охолодження у вигляді навісної батареї вентиляторів, які протягують повітря через ребра радіатора.

Під радіатором знаходиться підпружинена вісь з трьома направляючими. За допомогою неї робоча камера встановлюється на базу та утримується на ній під нормованим тиском, що гарантує надійний тепловий контакт з базою. Така конструкція дозволяє вивільнити робочу камеру для обслуговування чи заміни зразка вручну без застосування інструментів.

Порожнини між базою та зовнішнім корпусом заповнені теплоізолятором.

Кришка теплового блоку виконана у вигляді масивного високотеплопровідного циліндра з порожниною, в якій знаходиться робоча камера. Зовнішня поверхня циліндра оснащена електронагрівником з незалежним регулюванням, який виконує роль активної теплової ізоляції та забезпечує одномірний тепловий потік. Порожнина між циліндром та зовнішнім корпусом кришки заповнена теплоізолятором, а кріплення зовнішнього корпусу кришки виконано з використанням теплових бар'єрів.

Методика підготовки та вимірювань.

За допомогою затискного пристрою робочої камери закріплюються холодильник та бічна стінка, утворюючи комірку для заповнення досліджуванним зразком. Висота досліджуваного зразку визначається висотою обраної бічної стінки. На бічну стінку встановлюються поліімідні кільця, а сама комірка заповнюється зразком з врахуванням зміни об'єму протягом вимірювання. після чого зверху комірки встановлюється нагрівник та вся камера затискається центральним гвинтом затискача до герметичного стану.

Робоча камера зі зразком встановлюється на базу теплового блоку та фіксується на ній пружинним механізмом, після чого база з робочою камерою закривається верхньою кришкою з активною теплоізоляцією.

На регуляторах температури нагрівника та холодильника задається обрані значення температури, а на захисному нагрівнику встановлюється температура, яка є середнім значенням між температурою нагрівника та холодильника, що мінімізує втрати теплоти через бокові стінки робочої камери та зменшує вплив зовнішніх факторів на результат вимірювання [11]. Різниця температури між нагрівником та холодильником, зазвичай, складає 5...10 К.

Час встановлення стаціонарного теплового стану в робочій камері контролюється за показами ПТП, які мають залишатися незмінними щонайменше 30 хвилин.

Після встановлення стаціонарного режиму реєструються покази ПТП та термопар, які визначають температуру поверхонь зразка та тепловий потік, який проходить крізь зразок. Теплопровідність визначається за формулою:



$$\lambda = \frac{h_{zp}}{\frac{2 \cdot (T_v - T_n)}{(q_v + q_n)} - R_k} \quad (3)$$

де h_{zp} - висота зразка, як визначається боковою стінкою, [м]; T_v і T_n - температури верхньої і нижньої поверхонь зразка відповідно [К]; q_v і q_n - поверхнева густина теплового потоку, який проходить через верхню і нижню поверхні зразка, відповідно, [Вт/м²]; R_k - контактний тепловий опір між спаєм термопари та поверхнею зразка [К·м²/Вт], значення якого визначається при градуванні приладу.

Виміряні дані будуть актуальними для температури віднесення, яка визначається як середнє значення між температурою верхньої та нижньої поверхонь зразка.

Після проведення вимірювань на нагрівниках теплового блоку встановлюються параметри температури для наступної точки дослідження. Результатом вимірювання буде графік залежності теплопровідності матеріалу від температури.

Визначення метрологічних характеристик приладу може відбуватись шляхом дослідження еталонної речовини з попередньо відомими параметрами теплопровідності. Еталонною речовиною може виступати круглий зразок кварцового скла марки КВ з паралельними плоскими гранями та діаметром, що відповідає діаметру комірки.

Таким чином, розвинуто теоретичні засади побудови засобів вимірювання теплопровідності рідких теплоносіїв та речовин, які змінюють фазовий стан, а саме запропоновано у вимірювальній комірці приладу, який працює за методом плаского шару з двома тепломірами, розмістити горизонтальне оребріння на боковій стінці поза центральною зоною, передбачити резервуар для рідини, яка розширюється при нагріванні, та забезпечити підвищення тиску рідини у комірці. Це дозволяє позбутися впливу конвективного теплообміну вздовж бокової стінки комірки, розширити температурний діапазон вимірювань за рахунок підвищення температури кипіння, а також проводити дослідження як рідких, так і твердих матеріалів, що забезпечує можливість калібрування приладу за твердими еталонними зразками теплопровідності.

Станом на сьогодні проводяться випробування та дослідження характеристик приладу для вимірювання теплопровідності рідких матеріалів та речовин з фазовим переходом.

Висновки.

Запропоновано подальший розвиток стаціонарного методу вимірювання теплопровідності у пласкому шарі з двома тепломірами для дослідження теплопровідності рідин та речовин з фазовим переходом. Розроблено рекомендації до створення спеціалізованого засобу вимірювання теплопровідності рідин та запропоновано конструктивне рішення для створення приладу, що реалізує адаптований метод та може бути застосований в

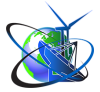


теплоенергетиці для дослідження параметрів теплоносіїв і теплоаккумулюючих матеріалів.

Література

1. ДСТУ Б В.2.7-105-2000. Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.
2. ISO 8301:1991. Thermal insulation. Determination of steady-state thermal resistance and related properties. Heat flow meter apparatus.
3. Salim S.G.R. Thermal conductivity measurements using the transient hot-wire method: a review/ Measurement Science and Technology, V. 33, N. 12. DOI 10.1088/1361-6501/ac90df.
4. Подледнева Н. А., Краснов В.А., Магомадов Р.С. Определение коэффициентов теплопроводности и температуропроводности за один опыт методом линейного источника теплоты постоянной мощности. / Вестник АГТУ №2(56), 2013. - с.50-55.
5. Alcocer G. Determination of the Thermal Conductivity by Using the Hot Wire Method: Theory, Simulation and Experiment/ Mediterranean Journal of Basic and Applied Sciences (MJBAS) Volume 4, Issue 3, Pages 110-135, July-September 2020
6. Thermal Conductivity Measurements Using the 3-Omega Technique: Application to Power Harvesting Microsystems / David de Koninck; Thesis of Master of Engineering, McGill University, Montréal, Canada, 2008. – 106 с.
7. Цедерберг, Н.В. Теплопроводность газов и жидкостей. — М. : Госэнергоиздат, 1963. — 470 с.
8. Калінчак В.В., Орловська С.Г., Черненко О.С. Фізика теплопровідності та експериментальні методи визначення коефіцієнту теплопровідності речовин. Одеський національний університет імені І.І.Мечникова, Одеса, 2012 – 52с.
9. Гільчук А.В., Халатов А.А. Теорія теплопровідності. Частина 1. Навчальний посібник. К: НТУУ «КПІ ім. Сікорського», 2017 – 86 с.
10. Теплометрия: теория, метрология, практика: монография в 3 книгах. / Т.Г. Грищенко, Л.В. Декуша, Л.И. Воробьев (и др.); под. ред. Т. Г. Грищенко Кн.1: Методы и средства измерения теплового тпотока ; Киев: ИТТФ НАН Украины, 2017.- 438 с.
11. Теплометрия: теория, метрология, практика. Монография в трех книгах. / Т.Г. Грищенко, Л.В. Декуша, Л.И. Воробьев (и др.); под ред. .Г. Грищенко. Кн. 3: Теплометрическая аппаратура для решения прикладных задач : в 2 томах. Том 1. – К.: ИТТФ НАН Украины, 2018.– 433с.

Abstract. The article is devoted to the problem of experimental determination of thermal conductivity of liquids and substances with a phase transition. A way of further development of the method of determining thermal conductivity in a flat layer in a device with two thermometers is proposed, for which it is proposed to place horizontal ribs on the side wall outside the central zone in the measuring cell; to provide a reservoir for the fluid that expands when heated and to provide an increase in fluid pressure in the cell. This allows you to get rid of the influence of convective heat exchange along the side wall of the cell, to expand the temperature range of measurements due



to the increase in the boiling point, and also to conduct research on both liquid and solid materials. A measuring device has been developed for the implementation of the specified method.

Key words: *thermal conductivity, liquids, substances with a phase transition, heat exchange.*

Стаття підготовлена в рамках наукової роботи №: 1.7.1.896 "Розвиток методів та засобів підвищення екологоенергетичної ефективності в газотурбобудуванні та теплоенергетиці"

Стаття відправлена: 06.06.2023 г.



УДК 621.311.001.57

SIMULATION OF SOLAR POWER PLANT OPERATION IN CONDITIONS OF PARTIAL SHADING**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В УМОВАХ ЧАСТКОВОГО ЗАТІНЕННЯ****Glad I.V. / Гладь І.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8247-655X

Batsala Y.V. / Бацала Я.В.*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4964-407X

Fedenko V. Y. / Феденько В.Я.*assistant/ асистент*

ORCID: 0009-0009-8907-683X

Kiianiuk O. I. / Кіянюк О.І.*assistant/ асистент*

ORCID: 0000-0001-9959-5822

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

Анотація. У статті наведено процес моделювання сонячної електростанції у програмному середовищі Simulink, модель базується на масиві декількох послідовно з'єднаних фотопанелей. Одним з способів підвищення ефективності фотоелектричних станцій є забезпечення оптимальних вхідних параметрів, а також обмеження затінення і забруднення фотомодулів. Для проведення оцінки зниження вихідних значень масиву в умовах часткового затінення задаються різні значення параметру сонячної інсоляції фотопанелі. На основі вихідних значень моделі будуються характеристики залежностей $I-V$ та $P-V$ враховуючи паспортні дані фотопанелей задані в модель. З отриманих кривих визначаються точки максимальної вихідної потужності та розраховується втрата ефективності через затінення.

Ключові слова: сонячна електростанція, моделювання, затінення фотопанелей, зниження ефективності через затінення, комп'ютерне моделювання.

Вступ. Ефект часткового затінення є поширеною проблемою, яка безпосередньо впливає на зниження ефективності та продуктивності сонячної електростанції. У випадку затінення однієї чи декількох панелей може знижуватись загальна вихідна потужність, це пов'язано з тим що панелі на електростанціях з'єднуються між собою послідовно та паралельно, формуючи при цьому необхідну встановлену потужність.

Причинами затінення можуть бути різні фактори, зокрема: затінення від об'єктів які знаходяться поруч; затінення від інших масивів фотопанелей; затінення через тимчасове забруднення тощо.

Основний текст. Важливою перевагою комп'ютерного моделювання є те, що воно дозволяє перевіряти гіпотези та досліджувати ідеї в безпечному та контрольованому середовищі. У Процесі моделювання можна маніпулювати змінними та спостерігати за результатами, не ризикуючи пошкодити фактичну(фізичну) систему.



В роботі використано програмний продукт Matlab, який містить вбудоване середовище для моделювання Simulink. Однією з ключових особливостей Simulink є його бібліотека наявних блоків, які можна використовувати для побудови моделей широкого діапазону систем, включаючи механічні, електричні та гідравлічні системи.

Електрична еквівалентна модель фотоелектричного елемента складається з джерела струму та діода, з'єднаних паралельно. Джерело струму I_L являє собою генерування носіїв заряду в напівпровідниковому шарі фотоелемента під дією падаючого випромінювання. Шунтуючий діод I_D являє собою рекомбінацію цих носіїв заряду при напрузі прямого зсуву. Шунтуючий резистор R_{sh} відображає шляхи струму через напівпровідник уздовж механічних дефектів матеріалу. Послідовний резистор R_s враховує опір у зовнішніх областях напівпровідника, головним чином на межі напівпровідника та металевих контактів.

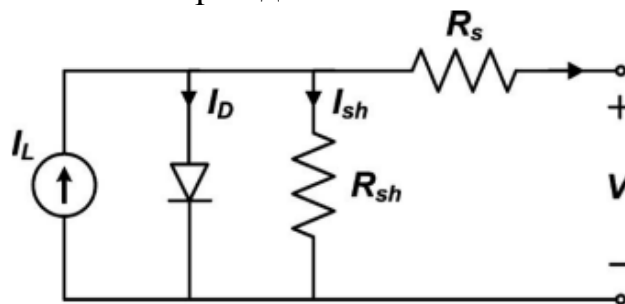


Рисунок 1 – Еквівалентна схема фотоелемента

Рівняння що описує модель має вигляд:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\left(\frac{q \cdot V_{pv} + I_{pv} R_s}{n k T} \right)} - 1 \right) - \left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \right) \quad (1)$$

Однак, основною проблемою при використанні фотоелектричних джерел є їхні нелінійні характеристики, які змінюються залежно від величини температури та сонячного випромінювання. Вихідні характеристики ускладнюються, якщо увесь фотоелектричний масив не отримує рівномірного опромінення, як наприклад, в умовах часткової хмарності (затіненості). Дуже важливо прогнозувати фотоелектричні вихідні характеристики для того, щоб ефективно використовувати фотоелектричний масив за будь-яких умов.

Запропонована модель складається з чотирьох послідовно з'єднаних фотопанелей, паралельно кожній панелі під'єднані байпасні(обхідні) діоди. Обхідний діод – це тип діода, який використовується в сонячних панелях для захисту панелі від пошкоджень, спричинених частковим затіненням або виходом із ладу елемента. Коли сонячна панель частково затінена, обхідний діод стає зміщеним в іншу сторону, дозволяючи струму протікати через нього та обходити затінені панелі. Це допомагає запобігати втраті потужності через несправність окремої фотопанелі.

Використані блоки “current measurement” та “voltage measurement” з бібліотеки елементів Sensors and Measurements дозволяють вимірювати вихідні значення струму та напруги послідовно з'єднаних фотопанелей.



Таблиця 1 – Параметри фотопанелі що використовується в моделі

Найменування параметра	Значення параметра
Тип фотомодуля	SunPower SPR-X20-250-BLK
Потужність	250 Вт
Напруга холостого ходу	51 В
Струм короткого замикання	6,2 А
Температурний коефіцієнт(по напрузі)	-0,291 %/°C
Температурний коефіцієнт(по струму)	0,013 %/°C

Щоб отримати можливість змінювати параметри сонячної інсоляції кожної окремої панелі використовується блок “Constant” в якому задається параметр постійних значень вихідного сигналу для кожної окремої комірки послідовно. З допомогою цього блоку моделюємо параметри сонячної інсоляції та температури фотомодуля, які безпосередньо впливають на генерування електроенергії кожним фотомодулем.

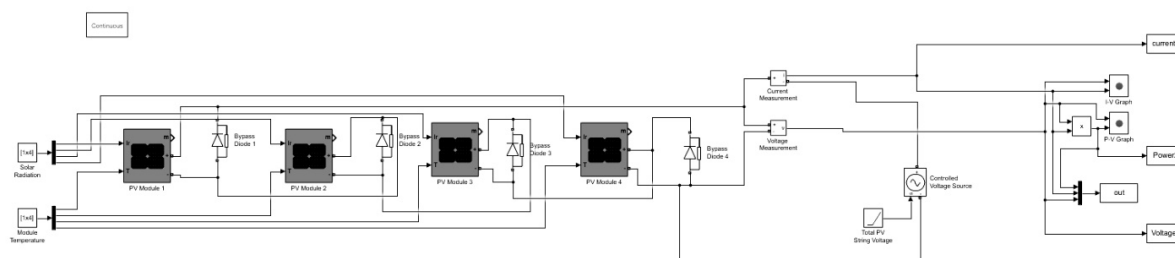


Рисунок 2 – Simulink модель для дослідження параметрів

В процесі моделювання проведемо експериментальні дослідження при різних значеннях сонячної інсоляції що падає на панель. Для початку моделюємо найкращі умови для роботи фотомодуля при температурі 25°C, та інсоляції 1000 Вт/м²

Таблиця 2 – Результати моделювання при рівномірному освітленні панелей

Дослід 1				
№ панелі	PV 1	PV 2	PV 3	PV 4
Значення інсоляції Вт/м ²	1000	1000	1000	1000
Значення максимальної потужності	1000 Вт			

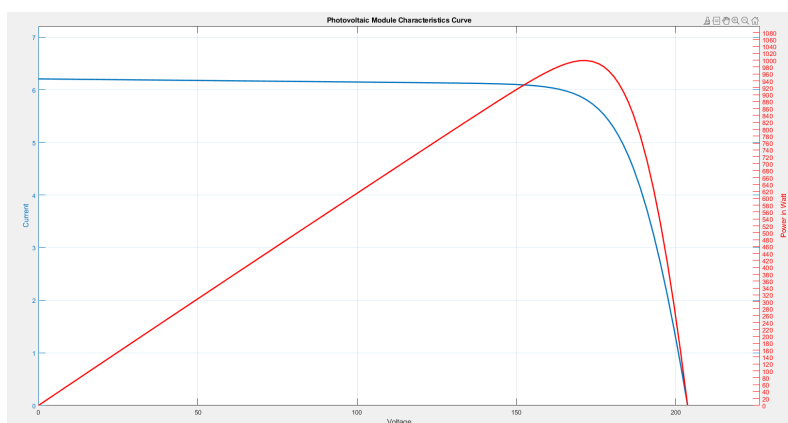


Рисунок 3 – Графіки вихідних значень фотопанелі



При частковому затінненні частина фотопанелей отримує менше сонячного світла, ніж інші. Коли сонячна панель частково затінена, окремі комірочки не виробляють електричний струм, це призводить до зменшення загальної вихідної потужності панелі, а також зміни характеристик I-V та P-V фотопанелі.

Таблиця 3 – Дослідні результати моделювання при різних ступенях затіннення

№ панелі		PV 1	PV 2	PV 3	PV 4	Значення максимальної потужності, Вт
Дослід 1	Значення інсоляції Вт/м2	1000	1000	1000	1000	1000
Дослід 2		1000	1000	500	500	536
Дослід 3		1000	500	1000	500	536
Дослід 4		800	600	600	600	799
Дослід 5		800	500	500	500	647
Дослід 6		800	800	600	700	613
Дослід 7		750	750	520	480	518

На основі дослідних даних будемо суміщені графіки P-V та I-V характеристик

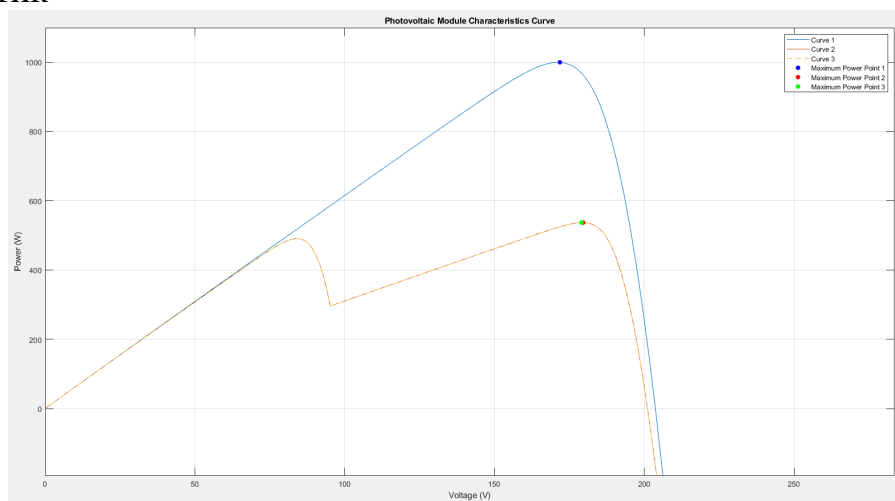


Рисунок 4 – Суміщені графіки P-V характеристик для 1-3 дослідів

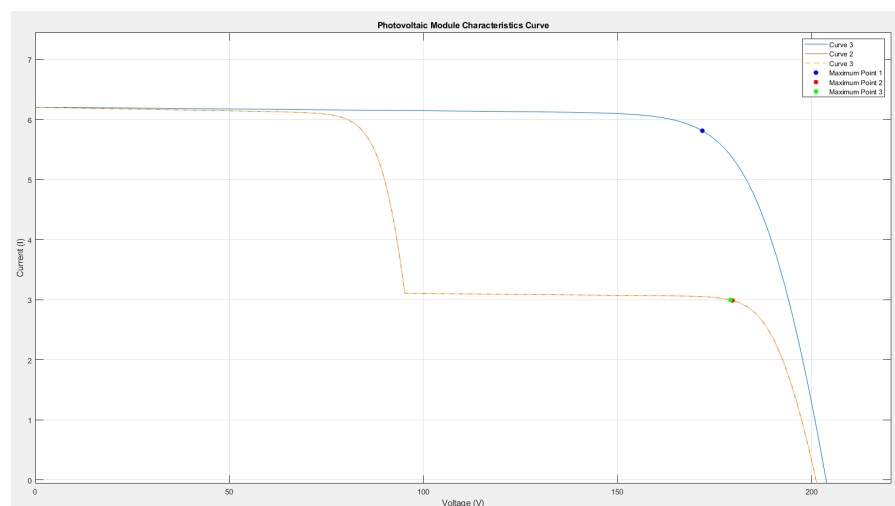


Рисунок 5 – Суміщені графіки I-V характеристик для 1-3 дослідів

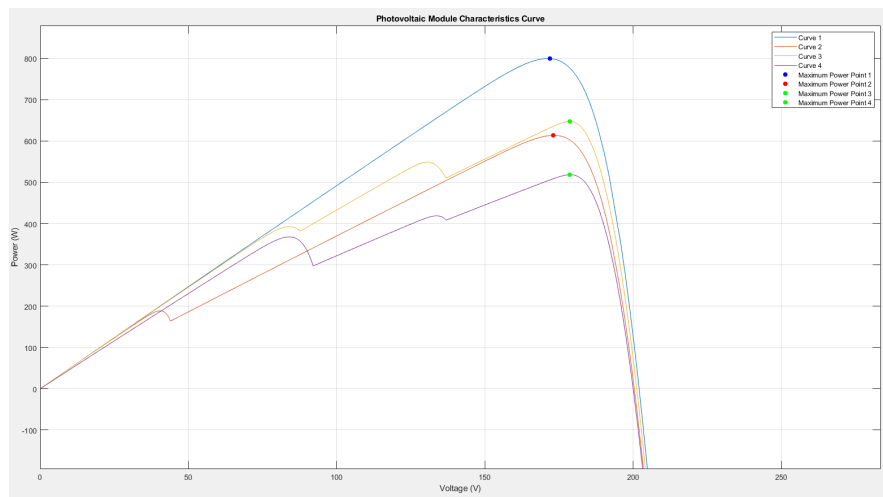
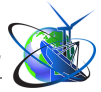


Рисунок 6 – Суміщені графіки P-V характеристик для 4-7 дослідів

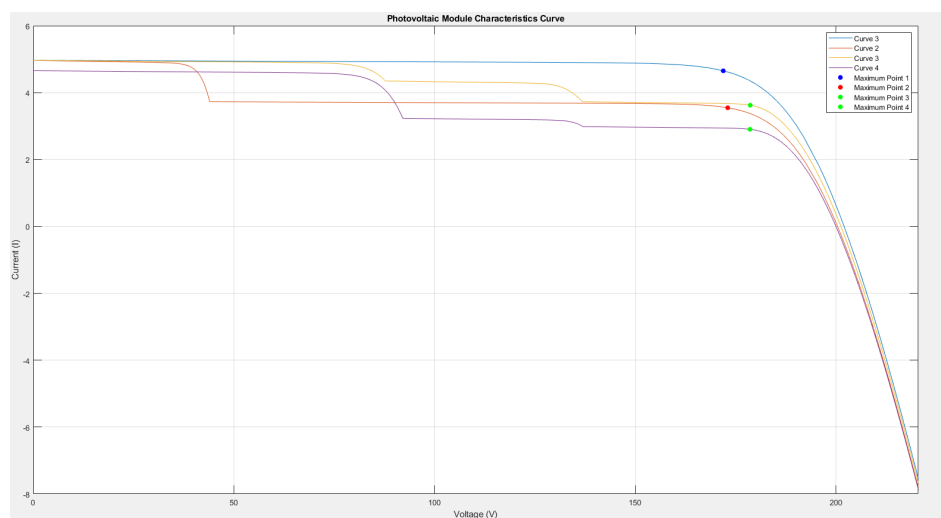


Рисунок 7 – Суміщені графіки I-V характеристик для 4-7 дослідів

Отримані криві свідчать про суттєве зниження вихідної потужності у випадку тимчасового затінення окремих панелей.

Висновки.

В процесі дослідження Simulink моделі, що складається з чотирьох послідовно з'єднаних фотопанелей, проведено аналіз впливу часткового затінення на вихідну потужність цілого масиву фотопанелей; досліджено, що при однаковій величині затінення незалежно від фотомодуля, ефективність залишається на тому ж рівні, що ілюструє дослід 2,3. При інших значеннях часткового затінення спостерігається значна втрата вихідної потужності, яка негативно впливає на ефективність сонячної електростанції.

Література:

1. Vishwakarma, Satyendra. (2017). Study of Partial shading effect on Solar Module Using MATLAB. International Journal of Advanced Research in Electrical Electronics and Instrumentation Engineering. 6. 5303-5308. 10.15662/IJAREEIE.2017.0607011.
2. Бацала Я. В., Яремак І. І., Феденько В. Я. (2020). Застосування середовища Arduino для трекерних систем фотопанелей. Вісник КрНУ імені



Михайла Остроградського. Випуск №3/2020(122), с. 126-132. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.3.126-132

3. Boyd, Matthew & Klein, Sanford & Reindl, Douglas & Dougherty, Brian. (2011). Evaluation and Validation of Equivalent Circuit Photovoltaic Solar Cell Performance Models. Journal of Solar Energy Engineering. 133. 10.1115/1.4003584.

4. Інтернет ресурс lightingequipmentsales.com режим доступу: <https://lightingequipmentsales.com/how-to-calculate-solar-panel-tilt-angle.html>

5. Nguyen, X.H. Matlab/Simulink Based Modeling to Study Effect of Partial Shadow on Solar Photovoltaic Array. Environ Syst Res 4, 20 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40068-015-0042-1>

Abstract. The article describes the process of modeling a solar power plant in the Simulink software environment; the model is based on array of several series-connected photovoltaic panels. One of the ways to increase the efficiency of photovoltaic power plants is to provide optimal input parameters, as well as to limit shading and contamination of PV modules. For modeling the reduction in the output values of the array under partial shading conditions, different values of the solar insolation parameter of the PV panel are set. Based on the initial values of the model, the characteristics of the I-V and P-V dependencies are built, taking into account the passport data of the PV panels specified in the model. From the obtained curves, the points of maximum output power are recognized and the efficiency loss due to shading is calculated.

Key words: solar power plant, modeling, shading PV, reduction efficiency, computer simulation.

Стаття відправлена: 06.06.2023 р

© Феденько В.Я.



UDC 669.01(07)

IMPROVING THE CORROSION RESISTANCE OF HOT-ROLLED STEEL PIPES**ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ СТАЛЬНИХ ГАРЯЧЕКАТАНИХ ТРУБ****Bohdan D.A. / Богдан Д.О.***head of technical management. / начальник технічного управління*

ORCID: 0000-0003-2954-3140

LLC "INTERPIPE NIKO TUBE", Dnipro, Kashtanova, 35, 49000

ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКО ТЬЮБ», Дніпро, Каштанова, 35, 49000

Balakin V.F. / Балакін В.Ф.*d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0003-0876-7516

Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Lazaryan, 2, 49000

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000

Balakhanova T.V. / Балаханова Т.В.*s.t.s., senior researcher / к.т.н., ст.н.с.*

ORCID: 0000-0003-2493-218x

Institute of Ferrous Metallurgy named after Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine,

Dnipro, Starodubova, 1, 49050

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України,

Дніпро, Стародубова, 1, 49050

Kuznetsov Ye.V. / Кузнєцов Є.В.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-4326-8539

Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Lazaryan, 2, 49000

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000

Nykolayenko Yu.M. / Николаєнко Ю.М.*senior lecturer/ старший викладач*

ORCID: 0000-0002-1559-9584

Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Lazaryan, 2, 49000

Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000

Abstract. Purpose. Substantiation of the use of surface plastic and dynamic surface deformation (SPD, DSD) combined with anticorrosion inhibitory treatment of general-purpose carbon steel pipes to increase wear resistance of pipelines.

Methodology. Samples of hot-formed steel taken from test pipe fragments were subjected to various modes of surface plastic and dynamic surface deformation using corrosion inhibitors. Plastic deformation was carried out with a brush tool with different values of brush pressing against the pipe and processing time. Studies of the protective ability of inhibitors were carried out by an accelerated method with periodic moisture condensation according to DSTU ISO 6270-2:2015. A comparative metallographic study of the metal structure of pipes subjected to PPD and DPD with inhibitors was carried out.

Results. The results of experimental studies of the surface corrosion resistance and metallographic structure of 139x5 mm pipes made of steel grade 20 using three types of inhibitors and various modes of dynamic plastic deformation are presented.

Scientific novelty. The dynamic surface deformation of metal, which refines its grain structure, creates conditions for formation of "penetration channels" for the inhibitor into the metal structure. The use of DPD makes it possible to reduce the grain size in the surface layer, which suggests possibility of controlling the depth of the inhibitor penetration and, as a result, the corrosion resistance of pipes, depending on the operational requirements.



Practical value. It has been established that the use of dynamic surface deformation in combination with a certain inhibitor makes it possible to increase the corrosion resistance by 11–19 times.

Key words: hot-rolled pipe, general corrosion, inhibitor, plastic deformation, penetration channel, microstructure.

Introduction.

Existing technologies for the production of hot-rolled pipes result in the formation of scale and coarse-grained decarburized layers on their surfaces. This contributes to the corrosion process of the pipe metal and leads to a decrease in its load-bearing strength, thereby increasing the likelihood of accidents during pipeline operation.

Metal failure due to corrosion is a significant problem in most industrial sectors, and its control and prevention must strike a balance between effectiveness and cost-effectiveness. Growing concern about environmental damage has greatly influenced this field, as corrosion protection must comply with waste management regulations in different regions [1]. The problem is exacerbated by the placement of pipeline routes in soil. On one hand, this hinders the monitoring of the pipeline's condition, while on the other hand, it causes environmental damage [1, 2].

Formulation of the problem.

Corrosion processes occur both on the surfaces and inside the walls of the pipe. Surface corrosion often occurs locally, but its progression can lead to premature failure of the entire structure. Internal corrosion poses an equally significant danger. Spreading across the pipe's cross-section, it can cause failure even though the pipe's surface remains visually undamaged [3].

The chemical composition of the steel significantly influences the corrosion rate. This influence is noticeable even in the case of closely related carbon steels [6].

Samples of hot-rolled pipes and Grade 20 steel were selected as the research materials. Although Grade 20 steel is widely used in pipeline construction, it does not possess high corrosion resistance. For this reason, galvanic coatings such as chrome, zinc, etc., are typically applied to it for operation in aggressive environments.

Depending on the chemical composition and production processes, a different structural state and its determining parameters are formed in steel products. The type of structure, its morphology (for example, the texture of hot-rolled and cold-rolled products), defects, grain size, dislocation density, which affect the limits of application of the selected material [5, 7].

The authors [5] conducted a detailed review of the influence of various structural states on corrosion resistance. However, there is no clear consensus on this matter. Nevertheless, it has been demonstrated that a coarse-grained structure contributes to increased corrosion resistance. Formation of a fine-grained structure is a very ambiguous factor affecting the degree of corrosion resistance. It has been shown in [8] that the small size of crystallites and the high density of dislocations accelerate dissolution of Fe in CO₂ medium.

It has been shown [5] that the size and spatial distribution of the cementite phase are an important aspect of corrosion, since the more noble cementite acts as cathodic centers, thereby affecting the corrosion resistance of the material.



One aspect of corrosion research is the study of texture in relation to the corrosion resistance of materials. It has been established that the activation energy of the dissolution of a close-packed surface is higher than that of a loose-packed one. When evaluating the texture and its role in corrosion, dislocation effects must be considered. Dislocations are understood as one-dimensional defects in materials and are closely related to development of the texture, since the high density of dislocations caused by tensile deformation causes weakening of the crystallographic orientation. This phenomenon is closely related to corrosion, as high corrosion rates have been obtained at locations where dislocations cross the surface.

The lower corrosion resistance of cold-rolled steel compared to that of hot-rolled steel is due to the high surface energy in the direction $\{100\}$ since the plane with low surface energy provides a slow dissolution rate of atoms due to its closed atomic packing and results in high corrosion resistance.

As soon as the use of inhibitors to prevent corrosion of carbon steels is often the most economical option, it is of considerable interest to the industry to determine the limits of application of film-forming corrosion inhibitors. Commercial formulations of inhibitors almost never use a single molecule due to observed synergistic effects that increase their effectiveness.

It follows from the previous discussion that both external corrosion and internal corrosion are hazardous to pipeline systems. While in relation to external corrosion certain measures have been developed to combat it, this cannot be said in relation to corrosion occurring inside the pipe wall. The task is to increase the corrosion resistance of pipes.

One of the directions of the search is to find ways of anticorrosion inhibitory treatment of structural crystalline surfaces along the thickness of the pipe wall, which can be achieved by introducing the inhibitor to the crystalline structures.

A prerequisite for the possibility of the inhibitor introduction into crystalline structures is the very fact of the occurrence of corrosion, developing according to the type of electrochemical corrosion, that is, with participation of an electrolyte – an aqueous medium. Electrochemical corrosion refers to the type of heterogeneous corrosion, with participation of two phases – liquid (water) and solid; the surfaces of the elements of crystalline structures inside the bulk of the material act as a solid phase. Only one molecular layer of moisture can act as an aqueous medium [9]. Therefore, there are mechanisms for ingress of moisture into the monolith of the material, and, so, inhibitors can also enter it in a similar way to provide anti-corrosion inhibitory treatment.

Main part.

From practice, examples of penetration and movement of atoms and molecules inside monolithic bulks of materials are known. The phenomenon of segregation is also known, which consists in "instantaneous" movement of atoms of some elements in the bulk of metal to the surfaces [10]. In the practice of a number of processes, cutting fluids (coolants) are successfully used in the areas with extreme conditions. So, for example, during cutting, the pressure in the cutting center develops up to 50 MPa, and the temperature can locally rise to several tens of thousands of degrees. The positive effect is associated with the ability of the active principle of the coolant –



polarized dipole molecules of surface-active substances (surfactants) to penetrate into foci with extreme conditions. To ensure penetration into a zone with extreme conditions, "penetration channels" and driving forces are needed to ensure movement of surfactant molecules. Creation of "penetration channels" is provided by surface plastic deformation, its implementation options – roller, roller deformation with adjustable slip, dynamic deformation with brushes. In addition, the penetrating ability is affected by surface microroughness, its mechanical and chemical properties [11]. The driving forces are electric forces, the presence of electric dipoles in surfactant molecules, the presence of electric charges on the walls of microcracks. In [10], the fact of detecting charges on the walls of microcracks inside the material mass is noted. It can be assumed that this is due to formation of double electrical layers, which is typical for breaking any contacts. Some identified features of the use of coolant – the mechanisms of movement along the "penetration channels" can be taken as a basis for developing the task.

Previous studies conducted by the authors on the surface treatment process using a hydro-abrasive jet under pressure with the introduction of an inhibitor into the hydro-abrasive suspension have allowed the establishment that the anti-corrosion effect was absent when the surface was solely treated with the inhibitor outside of the hydro-abrasive treatment. This led to the conclusion that the anti-corrosion effect is associated with the surface deformation-induced strengthening effect of the hydro-abrasive jet on the surface. Simultaneously, the appearance of intense luminescence during the treatment was noted, which was attributed to the occurrence of electrostatic discharges from double electric layers upon contact breaking between abrasive particles and the material [12]. The use of high-frequency deformation treatment and its effect on the corrosion properties of materials are most often considered [13] in terms of the impact of vibration on the weld pool, which contributes to development of a fine-grained structure, suppression of the formation of fine dispersed particles, especially at the grain boundaries of the final microstructure. Improvement of the corrosion characteristics of welded joints is probably associated with suppression of the formation of intermetallic compounds, due to mechanical vibration during solidification of the weld [14].

The relationship between vibration of the solid metal material is shown in [15]. The positive effect of the use of vibration during hardening of steel 35CrMoV on its properties, including corrosion resistance, is shown.

It has been suggested that the increased anti-corrosion effect is associated with the external deformation effect of the surface layer, which leads to refinement of the grain structure.

It is advisable to use inhibitors having a relatively simple chemical formula and minimal molecular sizes. For example, the inhibitor NaNO_2 has a molecular weight of 68 g/mol, which is comparable to the molecular weight of water of 18 g/mol. Comparable dimensions create the same conditions for penetrating power. At the same time, it has been found that the same corrosion inhibitor can exhibit a different protective effect for different steel grades of pipes, which may be due to high sensitivity of the reagent to the nature of metal [16].

Identification of "penetration channels" can be carried out on the basis of



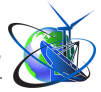
modern ideas about the structures of nanomaterials and nanotechnologies. It has been established that during crystallization there is a mismatch in orientation of the crystallographic planes of neighboring crystal lattices, which reaches 5° in conventional materials [17]. In nanomaterials, the mismatch can reach several tens of degrees [9]. Significant disorientation also takes place during grain grinding by traditional deformation methods (PPD, DPD, etc.).

If there are mismatches in the placement of the crystallographic planes of the neighboring crystals being formed, appearance of free volumes at the junctions of the surfaces of neighboring crystalline formations is inevitable. This causes appearance of some residual porosity, free volumes, and in conventional materials with a small degree of mismatch up to 5° it significantly increases for nanostructures due to significant increase in mismatch up to several tens of degrees. In nanomaterials, the amount of free volume significantly increases due to the increase in lattice mismatch by several tens of degrees. Under these conditions, there is no dense contact between the surfaces of contacting crystal elements, and the formation of free volumes is inevitable. As a result, grain boundary pores are located along the grain boundaries (GBs) and their clusters, and the majority of excess (free) volume is concentrated there [18]. In coarse-grained polycrystals, the free volume manifests as point defects, dislocation nuclei, and with grain size reduction, additional free volume in the form of imperfect GBs is added to them [12].

They are almost always group [18], which also predisposes possibility of movement of inhibitors in ionic form in the bulk of the material.

But, in addition to the free volumes in the structures, the near-border area directly adjacent to the GBs, which have a special structure and properties, deserves special attention. Grain boundaries "are the sources of dislocations and sinks for them". It is also noted that nanomaterials are distinguished by exceptionally high diffusion mobility of atoms, which is 5-6 orders of magnitude higher than that of conventional materials. In [18], the phenomenon of segregation is described, which consists in "instantaneous" movement of atoms of some elements in the bulk of metal to the surfaces. The "instantaneity" of movements should be linked to the extremely high rapidity of microlevel processes, which is 10^{-6} – 10^{-11} s [17], and to the presence of "free volumes" in the structures that came into view only in connection with development of nanomaterials.

The noted features are key in the issue related to deformational refinement of grains and the behavior of inhibitor ions – the possibility of their penetration into the bulk of material. It can be seen from the foregoing that during plastic deformation of the surface layer with crushing of grains, conditions are created for the formation of "penetration channels" in the material from the complex of free volumes present in the bulk in combination with free volumes of movable deformable layers. From the practice of surface hardening treatment by deformation, examples are known when the deformation effect extends to the depth of up to 35–40 mm [19]. This corresponds to the wall thicknesses of hot-rolled pipes, therefore, the existing experience can be used for anti-corrosion treatment of pipes in the bulk of material throughout the entire thickness of the walls. Equipment for similar processing of external and internal surfaces of pipes has been developed. As a result, the pipe wall can be processed



from two sides.

Considering the high brevity of micro-level processes (10^{-6} – 10^{-11} s), the time of crushing-grinding of grains, corresponding to the direct crushing effect, is incommensurably large (it can be taken, in the first approximation, within 0.01–1 s). This exceeds the duration of microlevel processes by several orders of magnitude and means that during the time of deformation impact on the material, a large number of acts can occur for penetration of inhibitor ions into the bulk of material, their transportation through the "penetration channels", and formation of protective passivating films on the elements of the crystal structure. In addition to transportation of inhibitor ions along the "penetration channels", the previously noted diffusion conduction along grain boundaries can be carried out, where, due to misorientation of crystal lattices, interlayers of 1–5 nm with the high content of dislocations are formed along the grain boundaries (see above). These interlayers, in conditions of mobility and vibrational phenomena of a wide range of vibrations, can also contribute to solving the problem. The noted ultra-high diffusion permeability of nanomaterials should be associated with grain refinement, which can be compared with the common practice of hardening treatment with grain crushing [20].

Experimental studies of corrosion resistance of pipes.

The purpose of the experiment was to establish, on the basis of a previously conducted theoretical analysis, effectiveness of the use of inhibitors in combination with dynamic surface deformation by brush treatment to increase the corrosion resistance of pipes, as well as structural changes in the thickness of the pipe wall.

The specific feature of the work of brush tools is the high-speed impact of an elementary tool – a wire, followed by a deformation-cutting effect and the same high-speed separation from the surface to be treated. It should be noted that the type of action of the wire has common features with the type of action during hydroabrasive processing, where intense electrical phenomena are observed.

Hot-rolled pipes 139x5 mm in size made of steel grade 20 were subjected to dynamic brushing. Three types of inhibitors and their modifications were studied. Dynamic surface plastic deformation was carried out at the rate of movement of the brushes relative to the pipe surface of 9 m/s.

The speed mode and processing time were chosen in accordance with the results of studies [10, 21]. The brush feed in relation to the pipe surface was regulated in the range from 1.5 mm to 6 mm. The time for processing the pipe section, corresponding to the width of the brush tool, did not change – 15 sec.

Accelerated tests of the protective ability of conservation compositions in combination with surface dynamic deformation were carried out with periodic moisture condensation according to DSTU ISO 6270-2:2015.

The results of tests with periodic moisture condensation for 24 hours are presented in Figures 1–4.

Analysis of the results of the corrosion resistance of pipes presented in the figures allows us to draw the following conclusions:

- the type of inhibitor used (up to 2 times), affects the degree of corrosion damage. It is possible that other types of inhibitors, in contrast to those used, can improve this indicator;



- the degree of corrosion damage (up to 3 times) depends on the intensity of DPD, carried out by changing the brushes feed and has pronounced minimum;
- dilution of the inhibitor leads to decrease in its protective properties by several times. The best result is achieved when using the inhibitor at 100% concentration;
- the depth of surface defects increases the degree of corrosion damage. The initial surface preparation during descaling and the optimal value of DPD should be carried out almost simultaneously;
- the result shown in Fig. 4 indicates a certain optimum degree of brush feed, i.e. pressed against the surface of the pipe. Increase in feed leads to increase in the depth of surface defects and, as a result, deterioration in the corrosion properties of the surface;
- the presented dispersion field of the average size of ferrite grains on the surface indicates the absence of relationship with the degree of corrosion. At the same time, the trend line suggests possible decrease in corrosion damage with decrease in grain size.

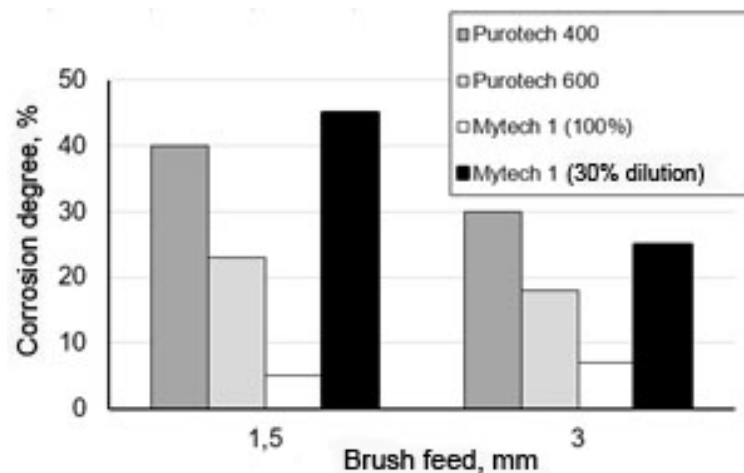


Figure 1 - Effect of the inhibitor type and brush feed on corrosion degree

Author's development

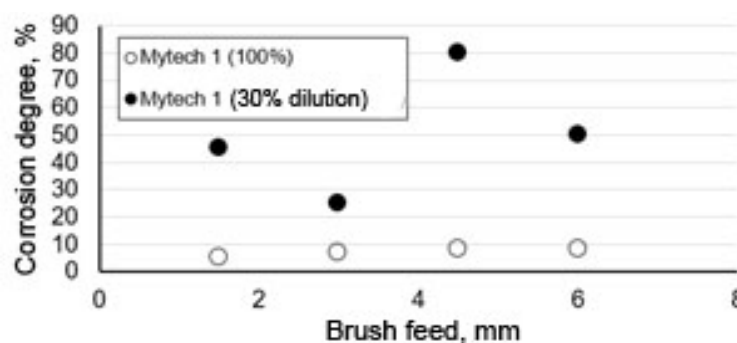


Figure 2 - Dependence of the degree of damage to corrosion on brushes feed and the degree of inhibitor dilution

Author's development

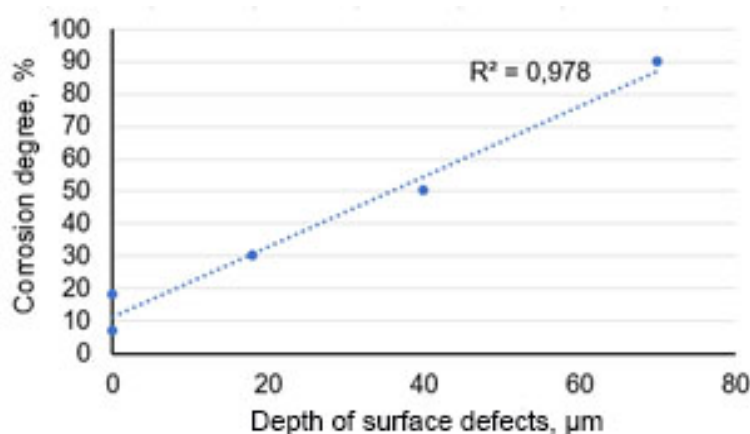


Figure 3 - Dependence of the degree of corrosion damage on the depth of surface defects

Author's development

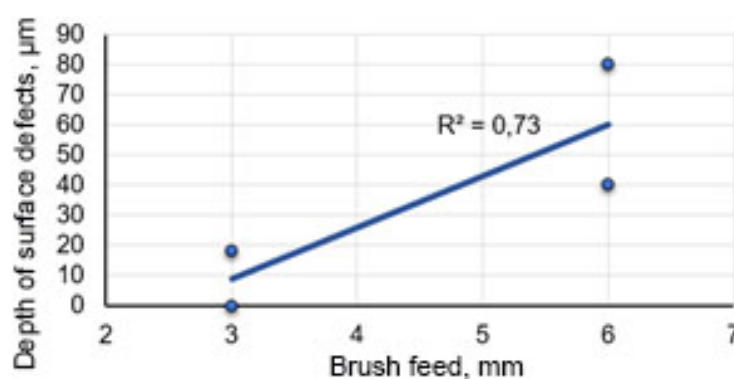


Figure 4 - Dependence of the depth of defects on the feed of brushes and processing time (15 s action)

Author's development

Study of the structure of pipes subjected to surface plastic deformation with inhibitors. Based on the results of corrosion tests, 6 samples of hot-rolled pipes were selected according to the results for each type of inhibitor.

The structure of all presented samples is identical and is characterized by an elongated ferrite-pearlite structure. In this case, the ferrite grains are equiaxed, and the pearlite grains are elongated (banding score on the inside of pipes is 4, according to GOST 5640). Herewith, decrease in banding of the structure is observed with approaching the outer surface of the pipe. Closer to the outer surface, the degree of pearlite grains deformation decreases, and at $\frac{1}{2}$ of the wall thickness an equiaxed ferrite-pearlite structure is observed.

The outer surface of the pipe is somewhat decarburized and consists of extremely fine grains of ferrite.

It can be assumed that after cooling immediately after hot deformation, the pipes or pipe fragments were subjected to thermal action from the outside, which led to development of primary and collective recrystallization processes.

A typical cross-sectional structure of samples is shown in Figure 5.

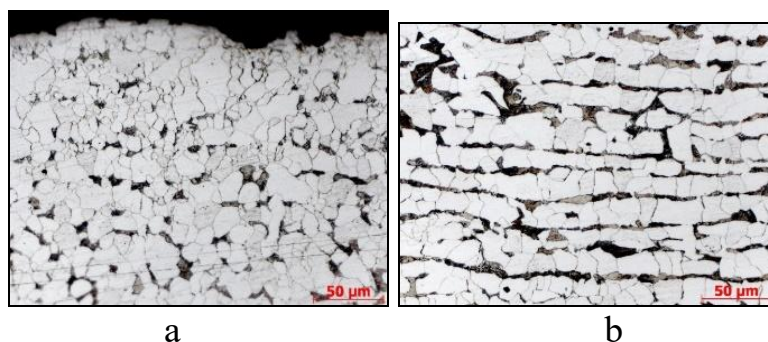


Figure 5 - Structure of hot-rolled pipes: *a* – outer surface; *b* – cross-section structure close to the inside surface

Author's development

The depth of defects on the outer surface of the pipe reaches 65-75 μm . The average grain size on the surface (decarburized layer) is 5.4 μm (Figure 6).

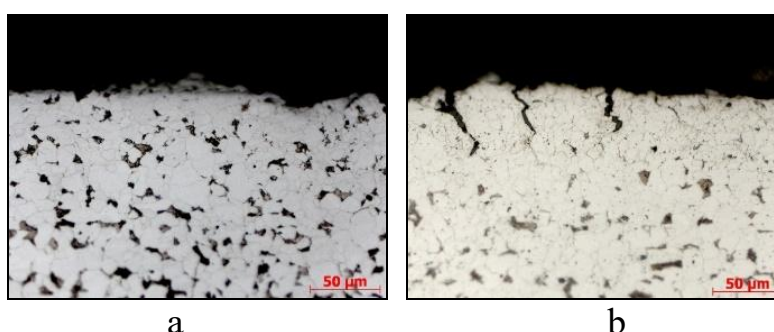


Figure 6 - Structure of the outer surface of hot-rolled pipes: *a* – sample 4; *b* – sample 5

Author's development

The results of corrosion resistance tests and studies of the metallographic structure of pipe samples are presented in Table 1.

Table 1 - Corrosion resistance and average grain size depending on the type of inhibitor and processing mode

Sample No.	Inhibitor type	Feed, mm/ Processing time, sec	Depth of surface defects, μm	Average grain size, μm	Corrosion damage degree, %
1	Without inhibitor	2/30	65 ÷ 75	5.4	95
2	Purotech 400	3/15		7.2	30
3	Purotech 600	3/15		7.8	18
4	M1	3/15		4.3	5
5	M1	6/15		3.8	8
6	M1 (30%)	6/15		5.2	50

Author's development

Steel 20 is not a corrosion resistant material, therefore the effect of using a corrosion inhibitor can be seen most clearly.



The use of brush deformation in the specified ranges will obviously not affect the microstructure of the material. This treatment creates residual compressive stresses on the surface that improve the fracture potential. As shown by the results given in the table, the use of brushes contributed to deeper penetration of the inhibitory reagent to the juvenile steel surface. Intensive brushing may have a reverse defect – the corrosion rate, as well as the depth of damage to the material, may increase. Presumably, this is due to the fact that having a sufficiently low strength, steel is deformed, with formation of the smallest surface defects. It is these small areas that turned out to be with a high level of stress and structural defects. As is known, the high density of dislocations and the level of stress contribute to development of oxidation processes in oxidizing and corrosive environments.

However, the use of brush surface treatment in some power and time intervals contributes to increase in corrosion resistance. The effect of brushing will be especially noticeable when processing hot-rolled material. Since hot-rolled steel is always covered with a small layer of scale (the thickness and composition of the scale varies depending on the deformation temperature, the initial material, the rate and degree of deformation, and subsequent processing). Application of an inhibitory layer to areas with scale without the use of additional treatment or the effect increasing the inhibitor penetration into the metal surface, in fact, leaves the so-called "white spots", i.e. such scale microsites, which, when the material enters the corrosive medium, are primarily the channels for penetration of the destructive medium deep into the material to the juvenile surface, which is direct consequence of pitting corrosion appearance.

The use of brush processing of the material does not completely remove the scale microlayer, it is like a kind of "stuffing" of the inhibitor on the surface of the material. It allows to fill all voids in the scale layer with an inhibitor, since scale is a fairly loose product by its nature.

Attention should be paid to the negative result of brushing. Decrease in the positive impact of the effect can also be considered in terms of reducing the surface roughness. Decrease in surface roughness not only improves mechanical properties, such as fatigue characteristics, but also, according to [22], increases corrosion resistance.

And at the same time, later studies [23] showed that the quality of the surface in relation to its corrosion resistance is not stable. Roughness removal does improve corrosion resistance, however, polished specimens tend to show lower resistance results compared to the original condition. Therefore, in the future, it is necessary to conduct additional studies on the dependence of duration, frequency and intensity of brushing, taking into account the nature of the material, mechanical properties, surface quality and other factors, the degree of steel aging.

Based on the study, it can be assumed that the use of brush-packed application of an inhibitor on a clean, cold-rolled metal surface may not have such pronounced results, since there is no scale.

The study showed that there are prospects for further research in this area.

The use of brushing allows the surface treatment to be carried out simultaneously with application of the inhibitor.



Brush processing allows increasing the level of compressive stresses, which, to a certain level, contribute to increase in corrosion resistance. In addition, in the process of vibration processing, particles of Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeO , formed on the surface under the influence of high temperatures during production of rolled products, are removed.

1. The low corrosion resistance of transport lines made of hot-rolled pipes is associated with the technological features of their production – the presence of scale on the surfaces and coarse-grained decarburized layers on the surfaces. Improvement in performance can be achieved by careful removal of scale, surface plastic deformation combined with inhibitor treatment of the pipe surface, the penetration depth of the inhibitor can be significantly increased if the preparation reaches a juvenile (scale-free) metal surface.

2. Surface-plastic deformation, which refines the grain structure, creates conditions for formation of "penetration channels" of the inhibitor in solution to the elements of the crystal structure of the material

3. The use of surface dynamic deformation in combination with an inhibitor makes it possible to increase the corrosion resistance of pipes by 11...19 times.

4. The type of inhibitor used significantly affects the corrosion resistance (up to 8 times with these types).

References:

1. Khan M. A. A., Irfan O. M., Djavanroodi F., Asad M. Development of Sustainable Inhibitors for Corrosion Control // Sustainability. - 2022. - Vol. 14, Iss. 15. - p. 1 - 17. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14159502>.

2. Golikov N. I., Litvinczev N. M. Izmenenie mekhanicheskikh svojstv i ostatochny'kh napryazhenij pri remontnoj svarke konstrukcij, e'kspluatiruyushhikhsya v usloviyakh Severa // Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. - 2015. - # 12. - S. 60 - 65.

3. Zapevalov, D.N. Ocenka korrozionny'kh uslovij i reshenij po zashhite morskikh ob'ektov ot vnutrennej korrozii / D.N. Zapevalov, R.K. Vagapov, R.A. Mel'sitdinova // Nauchno-tehnicheskij sbornik Vesti gazovoj nauki. - 2018. - T. 36. - # 4. - S. 79 - 86.

4. Verma Ch., Quraishi M. A. Nanotechnology in the Service of Corrosion Science: Considering Graphene and Derivatives as Examples // The International Journal of Corrosion Processes and Corrosion Control - 2022. - Vol. 57, Iss. 6. - P. 580 - 597. DOI: <https://doi.org/10.1080/1478422X.2022.2093690>.

5. Dwiledi. D., Lepková K., Becker Th. Carbon Steel Corrosion: A Review of Key Surface Properties and Characterization Methods // The Royal Society of Chemistry Advances. - 2017. - Iss. 8. - P. 4580 - 4610. DOI: 10.1039/C6RA25094G.

6. Belostockij M. A., Korolenok A. M. E'ksperimental'noe obosnovanie skorosti korrozii trubnoj stali // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov. - 2021. - # 4. - S. 407 - 411. DOI: 10.28999/2541-9595-2021-11-4-407-411.

7. Paolinelli L. D., Pérez T., Simison S. The Effect of Pre-Corrosion and Steel Microstructure on Inhibitor Performance in CO_2 Corrosion // Corrosion Science. - 2008. - Vol. 50, Iss. 9. - P. 2456 - 2464. DOI:



<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.06.031> .

8. Gupta K. K., Haratian S., Gupta S., Mishin O. V., Ambat R. The Effect of Cooling Rate-Induced Microstructural Changes on CO₂ Corrosion of Low Alloy Steel. // Corrosion Science. - 2022. - Vol. 209. - P. 110769 - 110785. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110769> .

9. Pinchuk S. I., Chigirinecz E. E`. Khimiya tvyordogo tela. – Kiev: Izd.dom ArtEk, 2018. - 124 s.

10. Buckley D. H. Surface Effects in Adhesion, Friction, Wear and Lubrication // Tribology Series, 5. - Amsterdam - Oxford - New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1981. - 630 p. (Перевод: Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии / Под ред. А. И. Свириденка. - М.: Машиностроение, 1986. - 360 с.).

11. Cherepashkin S. E. Nekotory`e faktory`, vliyayushhie na e`ffektivnost` primeneniya inhibitorov korrozii // Problemy` sbora, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov. - 2017. - #3 (109). - S. 165 - 172. DOI: <https://doi.org/10.17122/ntj-oil-2017-3-165-172>.

12. Kuzneczov E. V., Kuzneczov V. E., Vitovtov K. M. O poverkhnostny`kh yavleniyakh pri gidroabrazivnoj obrabotke. // Materialy` 14-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferenczii "Tekhnologii uprochneniya, naneseniya pokry`tij i remonta: teoriya i praktika", Sankt-Peterburg, 17 - 20 aprelya 2012 g. - Chast` 2. - S.-Pb.: Izd-vo S.-Pb. politekhnicheskogo un-ta, 2012. - S. 212 - 219.

13. Bai D., Liu F., Zhang H., Liu J. Study on Corrosion Behavior of High-Nitrogen Steel Welded Joint Assisted by Ultrasonic Vibration // Materials Letters. - 2022. - Vol. 317, Iss. 15, 132101. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.132101>.

14. Ilman M. N., Widodo A., Triwibowo N. A. Metallurgical, Mechanical and Corrosion Characteristics of Vibration Assisted Gas Metal Arc AA6061-T6 Welded Joints // Journal of Advanced Joining Processes. - 2022. - Vol. 6, 100129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2022.100129> .

15. Jiang X., Zhou Y. Effects of Ultrasonic Vibrations during Quenching on Corrosion of 35crmov Steel in Different Environments // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 452, Issue 2, 022126. DOI: [10.1088/1757-899X/452/2/022126](https://doi.org/10.1088/1757-899X/452/2/022126) .

16. Khajdarova G. R., Tyusenkov A. S., Bugaj D. E. Mekhanizm zashhitnogo dejstviya inhibitorov na osnove chetvertichny`kh ammonievyy`kh soedinenij // Bashkirskij khimicheskij zhurnal. - 2017. - # 24 (3). - S. 85 - 88.

17. Ionov V. P., Selivanov V. V. Dinamika razrusheniya deformiruемого tela. - М.: Mashinostroenie, 1987. - 272 s.

18. Kurzina I. A., Kozlov E`. V., Sharkeev Yu. P., Fortuna S. V., Koneva N. A., Bozhko N. A., Kalashnikov M. P. Nanokristallicheskie intermetallidny`e i nitridny`e struktury`, formiruyushhiesya pri ionno-luchevom vozdejstvii / pod red. N. N. Kovalya. - Ros. akad. nauk, Sib. otd-nie. In-t fiziki prochnosti i materialovedeniya; Tomskij gos. arkhitekturno-stroito. un-t. - Tomsk: Izd-vo NTL, 2008. - 322 s.

19. Odinczov L. G. Uprochnenie i otdelka detalej poverkhnostny`m plasticheskim deformirovaniem: Spravochnik. - М.: Mashinostroenie, 1987. - 328 s.



20. Gusev A. I. Nanomaterialy`, nanostruktury`, nanotekhnologii. - M.: FIZMATLIT, 2009. - 416 s.

21. Bohdan D., Balakin V., Shtoda M., Nykolayenko Yu. Mathematical Model of Force and Deformation Interaction of Strip and Rolls During Rolling with Intense Plastic Deformation // System technologies. - 2021. - Vol. 6, No. 137. - p. 72 - 84. DOI: 10.34185/1562-9945-6-137-2021-08

22. Brytan Z. The Passivation Treatment of Stainless Steel Surface Studied by Electrochemical Impedance Spectroscopy // The 2016 World Congress on Advances in Civil, Environmental and Materials Research (ACEM16) Proceedings, Jeju Island, Korea. http://www.i-asem.org/publication_conf/acem16/6.ICAM16/M4F.2.MR358_1162F1.pdf.

23. Prochaska S., Hildreth O. Effect of Chemically Accelerated Vibratory Finishing on the Corrosion Behavior of Laser Powder Bed Fusion 316L Stainless Steel // Journal of Materials Processing Technology. - 2022. - Vol. 305, 117596. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117596>

Abstract. Ціль. Обґрунтування застосування поверхневої пластичної та динамічної поверхневої деформацій (ППД, ДПД) суміщених з антикорозійною інгібіторною обробкою сталевих вуглецевих труб загального призначення для підвищення зносостійкості трубних магістралей.

Методика. Зразки гаряче деформованої сталі, відібрані від тестових фрагментів труб, були схильні до різних режимів поверхневої пластичної та динамічної поверхневої деформацій з використанням інгібіторів корозії. Пластичну деформацію здійснювали щітковим інструментом з різною величиною притискування щіток до труби та часу обробки. Дослідження захисної здатності інгібіторів проводили прискореним методом під час періодичної конденсації вологи ДСТУ ISO 6270-2:2015. Проведено порівняльне металографічне дослідження структури металу труб, підданих ППД та ДПД з інгібіторами.

Результати. Представлені результати експериментальних досліджень поверхневої корозійної стійкості та металографічної структури труб 139x5 мм із сталі марки 20 при використанні трьох типів інгібіторів та різних режимів динамічної пластичної деформації.

Наукова новизна. Динамічна поверхнева деформація металу, що подрібнює зеренну структуру, створює умови для утворення "каналів проникнення" інгібітора в структуру металу. Застосування ДПД дозволяє зменшити розмір зерен у поверхневому шарі, що дозволяє припустити можливість управління глибинним проникненням інгібітора і, як наслідок, корозійної стійкості труб залежно від експлуатаційних вимог.

Практичне значення. Встановлено, що застосування динамічної поверхневої деформації у комплексі з певним інгібітором дозволяє збільшити корозійну стійкість у 11 – 19 разів.

Ключові слова: гарячекатана труба, міжкристалітна корозія, піттингова корозія, інгібітор, пластична деформація, канал проникнення, мікроструктура

Стаття відправлена: 19.06.2023 р.

© Николаєнко Ю.М.



УДК 664.664.2

**INNOVATIVE CRAFT BAKERY TECHNOLOGIES
ІННОВАЦІЙНІ КРАФТОВІ ХЛІБОБУЛОЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ****Semko T.V. / Семко Т.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1951-5384>**Pahomska O.V. / Пахомська О.В.**ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3573-9422>*Vinnitsia Institute of Trade and Economics, Faculty of Trade, Marketing and Services,
Vinnitsia, Soborna, 87, 21050,**Вінницький торговельно-економічний інститут, Вінниця, вул. Соборна, 87, 21050*

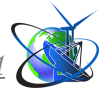
Анотація. Хлібобулочні вироби і технологія їх приготування для багатьох народів світу є синонімом національного багатства і добробуту, спрадавна їх справедливо називають свяติною і символом життя. Більш того, хліб і базові поняття про нього – це один з пунктів національної ідентифікації, невід'ємна частина етнічності і традицій, що відрізняє культури різних народів.

Хлібобулочні вироби за своїми особливостями технології, хімічного складу, біохімічних характеристик сировини є продуктами з високим природним потенціалом у коректуванні харчового статусу українців. Тому зусилля вітчизняних науковців та виробників спрямовуються на удосконалення асортименту, розробку і впровадження технологій покращеної харчової цінності, зі скоригованими фізіологічними властивостями. Зростають вимоги й до безпечності продукції, вмісту синтетичних добавок та алергенів, пріоритети споживачів зміщуються до смачних й ароматних виробів, отриманих за класичними технологіями без застосування поліпшувачів.

Ключові слова: інновації, хліб, крафтові технології, борошно, свиняче сало, вітаміни.

Вступ

Харчова цінність хліба залежить від виду і сорту борошна, технології виготовлення і вологості виробу. На відміну від багатьох інших продуктів, хлібні вироби здатні забезпечувати організм людини значною кількістю енергії та майже усіма життєво необхідними речовинами: білками, вуглеводами, вітамінами, мінеральними речовинами, а булочні вироби ще й жирами. Так, у хлібобулочних виробах із пшениці вищого ґатунку міститься близько 50% вуглеводів, 5 -8% білків та близько 1% жирів. Енергетична цінність: 100 г продукту містить 220...250 ккал. Крім того, хлібобулочні вироби з пшениці – важливий постачальник до організму людини деяких вітамінів групи В (тіамін, рибофлавін, ніацин) та мінеральних речовин (калій, кальцій, за лізо, магній, фосфор). Основним компонентом хліба є вуглеводи, які складають 30–40% від маси хліба. Хліб містить значну кількість не засвоюваних організмом вуглеводів, таких як клітковина і геміцелюлози. Так, у пшеничному хлібі з цілого зерна вміст клітковини досягає 2%, а в пшеничному хлібі з борошна II ґатунку – лише 0,4%. Водночас у житньому хлібі кількість клітковини досягає 1,1%. Вміст геміцелюлоз у хлібі коливається у межах 2–4%. Хліб містить певну кількість власних жирів (1,0- 1,3%), які багаті на поліненасичені жирні кислоти, що складають приблизно 50% від загальної кількості жирних кислот. Хліб є важливим джерелом деяких мінеральних речовин [3].



Хлібобулочні вироби є джерелом вітамінів групи В – тіаміну (В1), рибофлавіну (В2), ніацину (РР), але вітамін В2 міститься в недостатній кількості (0,08-0,11 мг/100г), а у виробах із сортового борошна мало вітаміну В1 (0,15-0,23 мг/100г). В середньому щоденно людина споживає 250–350 г хліба та біля 100 г булочних виробів, що складає 1/3 енергетичної цінності добового раціону харчування дорослої людини. Засвоюваність хімічних речовин хлібобулочних виробів організмом людини висока: білків – на 70–90%, вуглеводів – на 94–98%, жирів – на 92–95%.

Основний текст.

Серед стратегічних напрямів інноваційного розвитку нами виділяються наступні: введення нового методу виробництва; введення нового продукту у виробництво; створення нового ринку послуг або товарів або пошук привабливого сегменту ринку; використання нового виду сировини або напівфабрикатів; модернізація і модифікація існуючого продукту; форми і технології співробітництва зі споживачами; реорганізація системи збуту і постачання; реорганізація структури управління, націленої на підвищення якості.

Основні напрями продуктових інновацій підприємств хлібопекарної промисловості представлено на рис.1.

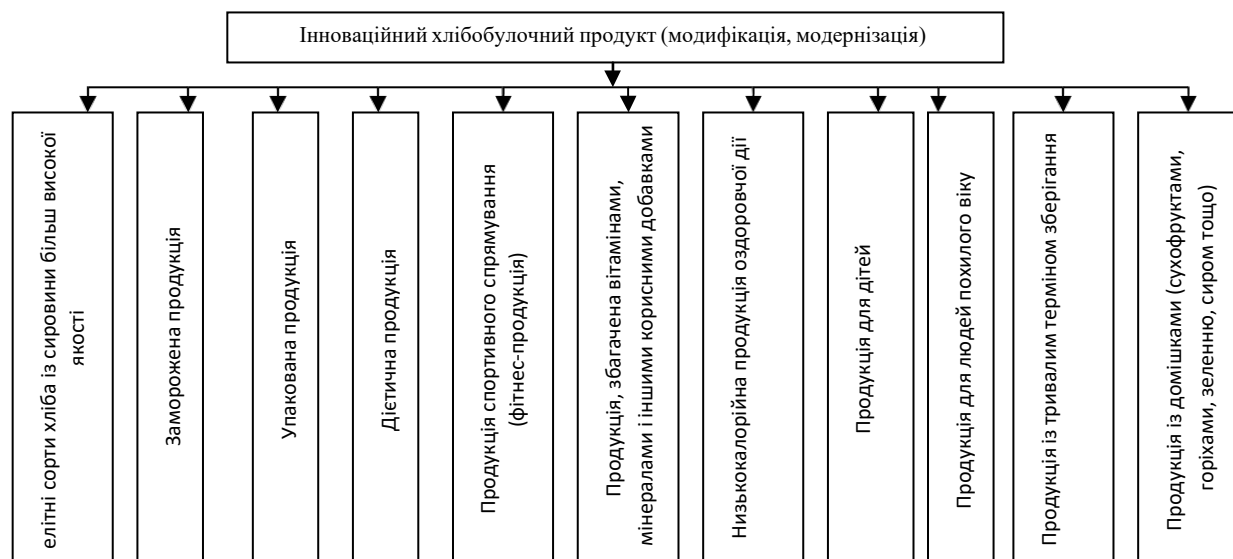
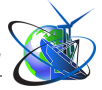


Рисунок 1 – Основні напрями продуктових інновацій в хлібопекарній промисловості

В Україні виробляють широкий асортимент хлібобулочних виробів, що відрізняються за складом сировини, формою, масою, способом випікання. Відповідно до номенклатури групового асортименту виробів хлібопекарної промисловості гатунки виробів об'єднані в 14 груп.

Укрупнена номенклатура хліба та хлібобулочних виробів має кілька масових, традиційно популярних у населення груп: хліб із пшеничного борошна; хліб із житнього борошна; хліб із суміші житнього і пшеничного борошна; булочні, здобні, бараночні та сухарні вироби. Але на кожному хлібопекарному підприємстві є власна асортиментна програма.



Введення нового продукту у виробництво означає проведення досліджень, розробку, впровадження і вихід на ринок радикально нової інноваційної продукції. За рівнем новизни продукції згідно статистичних спостережень за інноваційною діяльністю промислових підприємств України, інноваційну продукцію розподіляють на нову для підприємства і нову для ринку. Продукція, що є новою для даного підприємства взагалі може бути не інноваційною, тобто не задовольняє критеріям інноваційності.

Згідно зі законодавством, хліб та хлібобулочні вироби, що виробляють в Україні, мають відповідати встановленим показникам якості та безпеки, які розробляє і затверджує центральний орган виконавчої влади з питань аграрної політики разом із центральним органом виконавчої влади у сфері технічного регулювання та споживчої політики. Вимоги до якості та безпеки хліба і хлібобулочних виробів після затвердження підлягають обов'язковому опублікуванню у засобах масової інформації центрального органу виконавчої влади з питань технічного регулювання та споживчої політики.

Одним із перспективних напрямів підвищення якості, безпечності, харчової цінності та засвоювання, розширення асортименту, збагачення нутрієнтами хліба є використання нових нетрадиційних видів тваринної сировини, яка містить збалансований комплекс мінеральних речовин, вітамінів та інших цінних сполук, а також характеризується високими поживними, смаковими та іншими властивостями. Водночас важливе значення мають органолептичні властивості крафтових виробів, що отримані за новими рецептурами.

Сьогодні наш споживач чує про шкоду хліба, оскільки для виготовлення використовують борошно з вмістом глютену (клейковини), для бродіння – дріжджі, але нами в статті поетапно описані деталі виготовлення хліба, на прикладі крафтового хліба «Козацький з салом».

Для збагачення хлібобулочних виробів та підвищення їх харчової цінності пропонується використовувати вінницьке свиняче сало. Як аналог використовували хліб з пшеничного борошна. Зовнішній вигляд вінницького свинячого сала представлено (рисунок 2).



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд вінницького свинячого сала.



Сало є смачним та висококалорійним продуктом харчування. У ньому містяться багато життєво-необхідних вітамінів: А, В1, В2, В3, В6, В12, D, Е й мінерали: кальцій, магній, цинк, залізо, фосфор, селен та інші. З усіх мінералів особливе значення для людини має селен – мікроелемент, який сприяє зміцненню імунної системи та печінки, покращує репродуктивні та антиканцерогенні функції.

Сучасні наукові дослідження, довели, що вживання сала не тільки не шкодить, а навпаки корисне, навіть хворим шлунково-печінковими хворобами. Арахідонова кислота, що міститься у сирому салі, знижує рівень холестерину в крові. Рецепт хліба «Козацького з салом» представлена (таблиця 1).

Таблиця 1 – Рецепт хліба Козацького з салом

№ п/п	Назва сировина	Брутто, г	Нетто, г
1.	Борошно пшеничне в/г	500	500
2.	Сіль	5	5
3.	Вода	260	260
4.	Дріжджі	10	10
5.	Сало	25	25
6.	Вихід напівфабрикату	800	800
7.	Вихід готового виробу		733

Авторська розробка

У діжу тістомісильної машини додають рідину $t=8^{\circ}\text{C}$, дріжджі, просіяне борошно, розчин солі і замішують тісто $\tau=600-900\text{с}$. Готове тісто розробляють, додають пересмажені шматочки свинячого сала, формують вироби, які викладають у форми і ставлять у тепле місце на $\tau=1200\text{с}...1800\text{с}$ для вистоювання.

Зовнішній вигляд напівфабрикату хліба «Козацького з салом» зображено (рисунок 3).



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд напівфабрикату хліба «Козацького з салом»

Випікають вироби при $t=220^{\circ}\text{C}$, протягом $\tau=2400\text{с}...3000\text{с}$. Готові вироби охолоджують. Зовнішній вигляд крафтового хліба Козацький з салом зображено (рисунок 4,5).

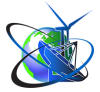


Рисунок 4 – Крафтовий хліб готовий до випікання



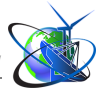
Рисунок 5 – Зовнішній вигляд крафтового хліба «Козацький з салом»

Заключення і висновки.

Були розглянуті проведені дослідження по внесенню свинячого сала у рецептуру хлібобулочних виробів. Отримані результати підтвердили перспективність збагачення хліба харчовими волокнами, вітамінами та мінералами. Такі хлібобулочні вироби мають підвищену харчову цінність, добрі смакові якості. В ході роботи описана рецептура крафтового хліба «Козацький з салом», який допоможе крафтовим виробникам розширити інноваційний асортимент хлібобулочних виробів функціонального призначення.

Література :

1. Крафтова продукція, що це. URL://istalcogolya.com/other/kraftovaya-produktsiya-chto-eto.html (дата звернення: 12.05.2023).
2. ДСТУ 7517:2014 Хліб із пшеничного борошна. Загальні технічні умови. URL: //online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77546 (дата звернення: 12.05.2023).



звернення: 10.05.2023).

Abstract. Bakery products and the technology of their preparation for many peoples of the world are synonymous with national wealth and well-being, since ancient times they are rightly called a shrine and a symbol of life. Moreover, bread and basic concepts about it are one of the points of national identification, an integral part of ethnicity and traditions that distinguish the cultures of different peoples.

Bakery products, due to their technological features, chemical composition, and biochemical characteristics of raw materials, are products with a high natural potential in correcting the nutritional status of Ukrainians. Therefore, the efforts of domestic scientists and manufacturers are directed to the improvement of the assortment, the development and implementation of technologies of improved nutritional value, with adjusted physiological properties. Demands for the safety of products, the content of synthetic additives and allergens are increasing, the priorities of consumers are shifting to tasty and aromatic products obtained by classical technologies without the use of improvers.

Key words: innovations, bread, craft technologies, flour, lard, vitamins

Стаття відправлена: 22.05.2023 г.

© Семко Т.В.



UDC 664.87

FOOD ADDITIVES IN INDUSTRY

Mariana Bondar

assistant

ORCID ID (0000-0001-8154-0612)

Department of food technologies and microbiology

Vinnytsia national agrarian university

Sonyachna str., 3. Vinnytsia, Ukraine, 21008

Abstract. *In the production of dairy products in the modern food industry, various food additives are used, the purpose of which is primarily to extend the shelf life of the product, to improve organoleptic and physicochemical indicators.*

At this stage, there are already about 45 technological classes of food additives, which requires an additional level of classification. Food additives, like any chemical compound added to a food product, can have a toxic effect, so special attention is paid to food safety. All nutritional supplements are under constant supervision. When using any food supplement, it is necessary to withstand their exact dosage and conditions of introduction. When the conditions of use change and new scientific information is available, the status of the food supplement may be changed.

Key words: *food additives, antioxidants, moisturizing agents, thickeners, preservatives, dyes, acidifiers (acids), acidity regulators, emulsifiers, fillers.*

The purpose of research.

The development of the food industry, the modern level of scientific research, the growth of food production volumes and the expansion of their assortment contribute to the dynamic development of the country's food market and determine the increasingly widespread use of food additives in food technology. In the production of dairy products in the modern food industry, various food additives are used, the purpose of which is primarily to extend the shelf life of the product, to improve organoleptic and physicochemical indicators.

The research was carried out in the problem laboratory for monitoring the quality of food products of the Department of Food Technologies and Microbiology of the Vinnytsia National Agrarian University. The work used methods of organoleptic research, food legislation "On the safety and quality of food products".

Research results. The modern attitude to nutrition is the result of centuries-old observations and research, which collectively created a considered scientific theory of nutrition. In recent years, mankind has paid considerable attention to the problems of the usefulness of everyday food products for health.

Food additives are a voluminous list of materials with different characteristics that are added to food products to solve certain technological tasks. With their help, food safety increases, shelf life is extended, taste, aromatic qualities, consistency, appearance, etc. are preserved and improved.

In Europe, food additives are indicated by a numerical code preceded by the letter E. It notifies that the additive, after passing a specially developed procedure for evaluating the harmfulness/harmlessness, has been approved and allowed for use in the food industry in the European Union. This designation allows you to avoid long and unclear names that do not fit on the label. The labeling system using the letter E has increased the convenience of informing the consumer many times over. As for



the numbers, they indicate that the additive is included in a specific group of substances.

All food additives are divided into substances of natural and synthetic origin. The first are made from products that can serve as a source of food. These are, in particular, agar-agar (E406) and carrageenan (E407), extracted from seaweed. It is also pectin (E440), the source of which is fruit, gelatin, which is obtained from animal raw materials present at meat processing plants (E441), etc.

Synthetic additives, in turn, belong to one of two groups:

- 1) synthesized. Chemicals are produced. by way, but is also part of natural sources. For example, ascorbic acid (E300), which is an antioxidant, sorbic acid (E200) and benzoic acid (E210) are preservative additives;
- 2) artificial Substances that do not have natural analogues, for example, the antioxidant butylhydroxyanisole (E320), food azo dyes and others.

Classification of food additives by application

The indicated chemical name. compounds scares many, due to the incompleteness of the picture regarding this product category. It has been used in the food segment for thousands of years. Of course, we are not talking about the most complex chemicals. complex materials that appeared relatively recently. They mean elementary substances familiar to everyone: table salt, or sodium chloride, acetic acid (E260), lactic acid (E270), citric acid (E330), all kinds of spices, seasonings, etc. (yes, they similarly belong to this category of products). Carmine (E120), a natural dye obtained from insects, has been used in the kitchen since ancient times. With its help, food acquires an interesting purple color.

Until the beginning of the last century, products whose characteristics were determined by naturalness were widely used. But with new discoveries in food chemistry, the majority of natural materials have been replaced by artificial ones. Various quality and taste improvers of food were put into mass production. Today, since food additives are both natural and artificial, both options are in demand.

Food additives (their classification by application) are:

- dyes (E100-E199);
- preservatives (E200-E299);
- antioxidants, or antioxidants (E300-E399);
- stabilizers that preserve the density of food (E400-E499);
- emulsifiers, leavening agents, anti-caking agents, pH regulators (E500-E599);
- flavorings and flavor enhancers (E600-E699);
- antibiotics (E700-E799);
- reserve substances (E800-E899);
- waxes, glazing agents, defoamers and foaming agents, sweeteners, gases for packaging and ingredients for improving flour culinary products (E900-E999);
- additional substances, such as biocatalysts, enzymes, modified starches, solvents (E1000-E1999) (Table 1).

Food additives are used frequently and everywhere in Ukraine. Before buying nutritional supplements in bulk, we advise you to thoroughly understand what each group of them is, why this or that item may be needed, and what the specifics of its use are.

**Table 1 - Classification of food additives according to the E index**

Index E	Hazva of the class of food supplements	Index E	Hazva of the class of food supplements	Index E	Hazva of the class of food supplements
There are 100 and more	Dyes	There are 600 and more	Flavor and aroma enhancers	There are 1100 and more	Enzymes
There are 200 and more	Preservatives	There are 700 and more	Spare indexes	There are 1200 and more	Spare indexes
There are 300 and more	Antioxidants	There are 800 and more	Spare indices	There are 1300 and more	Spare indices
There are 400 and more	Stabilizers	There are 900 and more	Anti-caking substances	There are 1400 and more	Modified starch
There are 500 and more	Emulsifiers	There are 1000 and more	Glazing agents	There are 1500 and more	Alcohols

Dyes

A group of food additives, the main purpose of which is to color food products. They restore the color that was lost during technological processing, intensify it, give food products the desired color, thereby making them more attractive and tastier. They are powdery and liquid. In practice, both natural and synthetic materials are used. One of the most popular is calcium carbonate (E170).

Various vegetable (root crops, berries, fruits, leaves, flowers) and animal raw materials serve as sources of dyes of natural origin. They are obtained by physical means. impact on the specified materials. In the composition of natural additives (carotenoids, lycopene, flavonoids, carmine, sugar color, etc.) - bioactive and taste-aromatic components that positively affect the appearance of food.

Synthetic dyes are used even more often, due to their main advantages: increased concentration, brightness of color, increased stability, as well as an extended storage period. These organic substances do not occur in the natural environment, they are obtained in laboratories by various chemical methods. reactions The most common of them are sodium salts, which dissolve well in water, and therefore facilitate production processes. Among the insoluble ones, aluminum varnishes and pigments are popular.

The huge demand for artificial dyes was influenced by their low price. But here it is worth understanding that mostly a natural supplement is better than a synthetic one, because some of the latter can have a lot of negative effects that provoke a deterioration in health. These are, in particular, additives that are prohibited for use in the food industry: amaranth (E123), red 2G (E128), erythrosine (E127), aluminum (E173), green S (E142), etc.

Preservatives



Designed to suppress the functioning and reproduction of microorganisms, thereby extending the shelf life of food products. They also prevent the appearance of mold, taste and aroma characteristics that are unpleasant for humans, and prevent the formation of harmful toxic compounds characteristic of the vital activity of microbes.

Preservatives have been used in the food industry for thousands of years. From the very first: salt, alcohol, vinegar, etc. Among the most popular today: ethanol, acids (ethanoic, benzoic, sorbic and sulfuric), as well as formic acid (E236), potassium sorbate (E202), sodium benzoate (E211), sodium pyrosulfite (metabisulfite) (E223), urotropin (E239), sodium nitrite (E250), sodium acetate (E262). In addition, antibiotics can be used for this purpose: nisin, biotycin, nystatin.

Nowadays, both natural and synthetic preservatives are used. The popularity of the latter is higher for obvious reasons (maximization of efficiency, reduction of production costs). But it should be taken into account that it is not allowed to introduce them into some mass-produced culinary products. These include, in particular, flour, bread, milk, fresh meat and baby food.

Antioxidants

The purpose of the additives belonging to it is easily determined by the name of this group. Antioxidants, or antioxidants, are designed to fight unwanted oxidation processes in food. They prevent fats from spoiling prematurely, becoming bitter and, accordingly, protect the products containing them from becoming bitter. In addition, they inhibit the souring of wine, beer and non-alcoholic beverages, prevent fruits, vegetables and fruit and vegetable products from darkening prematurely.

Among the antioxidants popular in the food industry: vitamin C (E300), α -, β -, γ - and δ -tocopherols (E306-E309), succinic acid (E363). They are not only not dangerous, but also useful. If we talk about synthetic substances that can harm health, then these are E310-E312 and E320-E321.

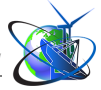
The following antioxidants are also introduced into culinary products: sodium isoascorbate (E316), sodium citrate (E331), tartaric acid (E334), orthophosphoric acid (E338). Most often, not one supplement is used, but several types at the same time in order to maximize the result of use.

Thickeners

The purpose of involvement is to preserve and improve the structure of food products. With their help, it is easy to achieve the desired consistency. The functional duties of emulsifiers include ensuring plasticity and viscosity. Thanks to them, bakery products do not go stale any longer.

Almost all thickeners, which are allowed for use, have a natural etymology. These are the agar, pectin and gelatin already mentioned above. These are also starches obtained from potato, pea and corn raw materials. This includes lecithin - an additive made from vegetable fats, which, in addition, acts as an antioxidant. Another natural emulsion former is egg white. Here it is worth mentioning such thickeners as guar gum (E412) and xanthan gum (E415).

By the way, over time, synthetic emulsifiers are used more often in the food industry. An example of such an additive with a zero level of danger can be sodium tripolyphosphate (E451), which additionally regulates acidity, fixes color, acts as an antioxidant and complexing agent.



Flavor enhancers

To make the finished product as tasty as possible, special additives are added to it, which enhance the taste parameters. How do flavor enhancers work? Take at least fresh vegetables, meat, fish. They have intense taste-aromatic characteristics, due to the fact that they contain a lot of nucleoside phosphates - components that intensify the perception of taste and stimulate the termination of the corresponding receptors. During storage and processing, the volume of nucleoside phosphates declines, because of this, it is advisable to introduce them, synthesized artificially. Examples of such additives are maltol and ethyl maltol. They increase the perception of creamy, fruity and some other smells. Thanks to them, mayonnaise, yogurt, ice cream with a low calorie content seem fatter than they actually are. Potassium acesulfame (E950), sodium cyclamate (E952), saccharin (E954), glucose, fructose are used for sweetening.

Almost everyone has heard of such an additive that enhances taste characteristics, such as monosodium glutamate (E621). Today it can often be seen in sauces, stock cubes, semi-finished products, potato chips, croutons, etc. Ribotide flavor enhancer is also in great demand, the components of which are Na inosinate (E631) + Na guanylate (E627). It is widely used in chips, fast food, and seasonings.

Flavorings

Additives that are added to food to improve taste and aroma properties. They are natural, identical to them, and artificial. The former contain only natural aromatics of plant origin (components of volatile materials separated during distillation, water-alcohol extracts, dry aggregates and essences). Others are isolated both from natural raw material sources and by chemical means. synthesizing They contain compounds that are characteristic of plant and animal raw materials. The third category includes additives that contain at least one artificial element, as well as possible inclusion of natural and identical aromatic substances.

Flavoring food additives can be produced in the form of powder, liquid or paste. Flavoring components, as a rule, make up to 20%. The rest falls on the carrier (solvent), which determines the form of the material (powder or liquid).

Allowed in Ukraine

Every manufacturer of the specified industry should know which food additives are allowed for use in the food industry of Ukraine. And not just to know, but to use this information in practice. The Cabinet of Ministers of Ukraine, by Resolution No. 12 dated 01/04/1999, established an exhaustive list of food additives that can be used. Everything that is not on this list is prohibited to be used on the territory of our country at the legislative level. Otherwise, the violator faces punishment for illegal actions, namely a fine, the amount of which is determined by the Law of Ukraine «On the Protection of Consumer Rights» (Article 23).

There is one more document that must be followed. These are the Sanitary Rules and Regulations for the Use of Food Additives, approved by Order of the Ministry of Health No. 222 of July 23, 1996. It describes in detail the procedure for using food additives permitted by Ukrainian legislation. According to it, it is permissible to introduce new additives into food (or change the conditions of introduction) only when it is not possible to solve the task by other technological methods, with the aim



of achieving the following goals:

- preservation of natural properties and nutritional value. It is permissible to reduce the last parameter only if it is provided for by the production technology, and for special dietary food;

- extension of the shelf life, maximization of quality parameters and stability, as well as improvement of organoleptic properties. It is important to observe the following conditions: the essence of the product must not change, the consumer cannot be misled, and the health risks must not increase compared to the exposure of the previous components;

- improving processes such as preparation, processing, packaging and other production steps, plus packaging, transportation and storage. At the same time, innovations cannot be aimed at hiding the defects of raw materials or negative changes in food, which are manifested due to non-compliance with technical regulations and sanitary standards at any of the specified stages.

It is forbidden to use food additives in order to hide from the consumer the deterioration of the product, its improper use or the use of low-quality raw materials.

In addition, sanitary rules and regulations describe which additives and in what amounts can be introduced into various foods. They also provide a procedure for obtaining permission for the use of certain types of additives at food enterprises.

The use of food additives, namely the legislative side of the issue, is far from ideal. Contradiction is mass. Of course, there are substances whose safety cannot be doubted among those allowed. This is, for example, citric acid or beeswax. But there are also those (in particular, tartrazine) that can have a negative effect on health and provoke various diseases. Therefore, it is extremely important to adhere to dosages and all technological points in order to reduce any risks as much as possible.

Will the manufacturer be penalized if a food additive included in his product harms the consumer? This is a specific question that cannot be answered immediately with «yes» or «no». First, the plaintiff will need to establish a cause-and-effect relationship that the health has worsened precisely as a result of the use of the supplement, and to confirm this med. conclusion It is also necessary to provide a receipt that confirms the purchase of products.

If there are suspicions that the purchased and/or used product contains additives prohibited for use, it is also possible to review the case with further punishment of the unscrupulous manufacturer. But in this case, the prohibited additive as an ingredient of the finished product is unlikely to be indicated on the label. Then the consumer will need to conduct an examination on his own.

Useful food supplements

Many people have a very negative attitude to the phrase «food supplements», and it does not matter what substances we are talking about. E-shki is bad, period. In fact, there are not only those supplements that have certain risks for human health, but also those that are considered harmless. There are also useful nutritional supplements. Yes, yes, those that can have a positive effect on the body are also involved in cooking and are marked with codes with the letter E.

If you store food correctly, if you follow basic requirements for packaging, do not exceed the permissible amounts of additives, the latter do not cause any harm in



most cases. It is another thing if the rules of use are neglected, if incompatible ingredients are combined. In this case, even harmless additives can lead to a toxic effect.

Useful

So, the list of food additives that are considered useful is small, but it is there. You need to know about these substances (and they are present in different groups) so that when you see their designation on the package, you can be completely calm. Here they are:

- ✓ curcumin (E100). Bright yellow dyes of natural origin, extracted from turmeric. Effective against inflammations, tumors, have an antioxidant effect;
- ✓ riboflavin, or vitamin B2 (E101). Improves the condition of the skin, hair, nail plates and thyroid gland, promotes the formation of antibodies, erythrocytes and regulates reproductive function. Since it cannot be accumulated in the body, products containing this additive-dye must be present in the diet. It is noteworthy that even when consuming large amounts of food with riboflavin, no toxic effect is observed;
- ✓ sodium salt of vitamin B2 (E106). Another dye used to give food a yellow color. The benefit is the same as the previous supplement;
- ✓ carotenes (E160a). Orange pigment, vital element, low-toxic antioxidant;
- ✓ lutein (E161b). Additive-dye that improves vision. It is also recommended for stroke and rheumatoid arthritis. Excellent preventive material for people who are at the computer for a long time;
- ✓ ascorbic acid/vitamin C (E300). Antioxidant food supplement. It has a positive effect on the functioning of connective and bone tissues, serves as a regenerator and coenzyme in some metabolic processes, significantly increases immunity;
- ✓ tocopherols/vitamins E (E306-E309). Antioxidants are important for the human body;
- ✓ pectins (E440). Food additive from the category of thickeners. Lowers the level of cholesterol in the blood, helps in cleansing the intestines and facilitates the removal of slag formations;
- ✓ L-leucine and 2,6-diaminohexanoic acid (E641, E642). Useful aminocarboxylic acids;
- ✓ calcium and potassium iodates (E916, E917). Among the functional possibilities is the saturation of culinary products with iodine.

Harmless or neutral

The list of harmless additives is even longer when compared with the previous ones. These are all acidifiers and substances that regulate acidity, as well as some emulsifying components and positions from other functional groups. Important: although they are considered neutral in terms of impact on the human body, it is necessary to use them in food products and consume such food carefully. Remember: dosage and combination with other compounds are important.

The harmlessness of such additives is a relative concept. Adults and children react differently to them. If for adults the risks of using, say, salt, vanilla, etc., are minimal, then the children's body may react negatively. In addition, an indirect and



side effect of supplements is possible. Some of them are able to bind vitamins or valuable protein components, as a result of which they are removed from the body. If this happens on a regular basis, the child may feel the lack of certain elements. Allergic manifestations are also no exception.

Harmless additives include the following:

- dyes (chlorophyll and its copper complexes with chlorophyllin, sugar colors, coal, beet red, anthocyanins, chalk, tannins);
- preservatives (potassium sorbic acid, carbon dioxide, acetic, lemon and milk types);
- acidity regulators (hydroxybutanedioic acid, fumaric acid);
- antioxidants (synthetic alpha- and gamma-tocopherols, lecithin);
- stabilizers (agar-agar, hydrochloric acid);
- sweeteners (sorbitol);
- leavening agents (baking soda);
- other additives (wax, in particular wool wax, petrolatum, paraffin, benzoic acid, ortho-sulfobenzoic acid imide + its sodium/potassium/calcium salts, as well as sucralose).

Harmful food additives

Of course, there are also unhealthy food additives, and there are a lot of them. Most of them have permission to use, so caution should be in the first place. Substances harmful to the body carry the risk of allergies (they act differently on different people), can aggravate chronic diseases. What else are harmful food additives? Able to provoke diseases of the gastrointestinal tract, cause skin diseases, pressure disorders, have a carcinogenic effect. It is forbidden to use the most harmful food additives in the food industry. About this - a little below.

The main thing is to understand that you can minimize risks by avoiding excessive use of harmful substances. Almost each of them has a daily rate of consumption, which cannot be exceeded. After all, this is the main reason for the appearance of negative consequences.

Food additives are harmful. Here is the list:

- very dangerous (amaranth E123, ammonium chloride E510, sulfuric acid E513, ammonium hydroxide E527);

- dangerous (acid yellow E102, «sunset» E110, carmine E120, bright red 4R E124, erythrosine E127, Allura Red E129, Brown HT E155, ruby lithol BK E180, sodium salt of sorbic acid E201, sulfuric anhydride E220, sodium bisulfite E222, sodium metabisulfite E223, potassium pyrosulfite E224, potassium hydrosulfite E228, thiabendazole E233, dimethyl dicarbonate E242, alginate E400, alginates Na, K, NH₄⁺, Ca and propylene glycol E401, E402, E403, E404, E405, potassium carbonate E501, E502, ammonium carbonate E503, glutamate E620, maltol E636 and ethyl maltol E637);

- carcinogenic (Patent Blue V E131, Food Green S E142, charcoal E153, benzoic acid E210, benzoates K and Ca E212, E213, ethyl ether of para-hydroxybenzoic acid E214 and its sodium salt E215, propyl-4-hydroxybenzoate E216);



- those that lead to stomach problems (orthophosphoric acid E338, Na, K, Ca phosphates E339, E340, E341, magnesium phosphate E343, sodium pyrophosphates E450, methyl, ethyl, hydroxypropyl and methylethyl cellulose ethers E461, E462, E463, E465, KMC E466);
- those that provoke skin diseases (Brilliant Black BN E151, carotenes E160, orthohydroxydiphenyl E231, sodium orthophenylphenol E232, urotropin E239, octyl gallate E311, dodecyl gallate E312, BHA E320, poly-1-decene hydrogenated E907, L-aspartame-L-phenylalanine E951, lysozyme E1105);
- which are the cause of intestinal diseases (Chocolate Brown FK E154, guanylate E626, disodium guanylate E627, 5'-guanylates K and Ca E628, E629, inosine monophosphate E630, sodium salt of inosine E631, disubstituted potassium inosiate E632, Calcium 5'-inosinate E633, 5'-ribonucleotides Ca and Na E634, E635);
- additives that have a bad effect on pressure (Brown FK E154, sodium nitrite E250, potassium nitrate E252);
- those that pose a danger to children (lactate E270);
- prohibited (alkanet E103, yellow acidic G E105, alpha-naphthol orange E111, Citrus Red 2 E121, amaranth E123, ponso SX E125, ponso 6R E126, blue solanthrene FF E130, black 7984 E152);
- suspicious (Acid Yellow 3 E104, azorubin E122, chlorophyll copper complexes E141, titanium dioxide E171, aluminum E173, bakout resin E241, ethers of PG and fatty k-lots E477).

Dangerous food additives

Everyone decides for himself whether to use nutritional supplements that are dangerous for health or to refuse them. The manufacturer is obliged to put information about them on the packaging, in case of use in the manufacture of his products. A consumer who cares about his health should carefully study the composition before buying a particular product.

Preservatives, sugar substitutes, flavor enhancers... All this is not uncommon among the ingredients of modern food, which is present on store shelves. The most dangerous food additives are also allowed for use. Therefore, you need to know about them, and whether or not to use products with their content is everyone's business.

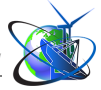
Another point is prohibited food additives. We listed them above. They mainly provoke malignant tumors, contribute to the appearance and development of allergies. Their manufacturers do not have the right to introduce them into food products.

There is also a list of additives that have not received official permission for use, because the mechanism of their action on humans has not been fully studied. There is enough information on such substances (which belong here and how they can be dangerous) on the Internet. Get to know her. It is important.

Natural food supplements

We have already said above that food additives can be natural and synthetic. Now we want to focus a little on the first group.

Additives of natural origin are substances that are created by nature. Their use in the food segment has been going on for thousands of years. Although, for the sake of fairness, it is worth noting that progress and current technologies have greatly



increased the list of these materials.

All natural supplements that can be eaten are divided into three groups:

1. Additives of plant origin. Produced from plants and algae. There are many such products. What can be counted here? Usually, natural dyes, flavoring additives, etc. Materials contained in plant organisms, their fruits in their pure form. Lemon juice (E330) is present in citrus fruits, carotene (E160) and lactoflavin (E101) in tomatoes, and sodium alginate (E400) in seaweed.

They can enter the body naturally - together with plant food. Their overwhelming number has a positive effect on people: it reduces the risk of a number of diseases, strengthens the immune system, etc. But some herbal supplements can lead to allergies and other ailments, especially if we are talking about entering the body in large quantities.

2. Supplements of animal origin. The raw materials of this category are living organisms and their components (various animal fats or pigment cells). Emulsifiers are made from fats, and dyes are made from pigments. An example can be cochineal (E120), which is obtained from insects that produce a persistent pigment of a bright red color. Animal supplements, as a rule, do not pose a danger to humans. But their designation on the package is of great importance, first of all, for vegetarians.

3. Additives-minerals. Substances obtained from various earth minerals. This includes, first of all, salts, metal oxides and alkalis: chalk (calcium carbonate), sodium bicarbonate (sodium hydrogen carbonate), etc. With the development of chemical science, many additives that were previously produced only from minerals began to be created synthetically. In this way, it was possible to reduce the cost of finished products, since the extraction of minerals is quite expensive.

Is it possible to use only natural materials? In some cases it is possible, in other situations - not. Modern production aspects are so different that a wide variety of additives may be needed to improve the properties of food products. And some food could not exist at all without the use of auxiliary ingredients.

If there is an opportunity to use a natural substance instead of a synthetic one, is it better to do so? Maybe. But one should not forget that natural additives (a priori perceived as safe, harmless) can sometimes be more dangerous than chemically synthesized ones. by. The key here is the dosage. If increased volumes are used, then almost any substance can be toxic. If compliance with dosages is implemented, then it can be said with almost 100% certainty that such natural, permitted food additives are not harmful.

How do food additives affect the body?

Everything is individual. There is no unequivocal answer to this question. Food additives, their impact on the human body, cannot be described briefly and precisely. Each person reacts differently to different supplements and their different amounts. It is clear that all supplements affect health to one degree or another. Allergic reactions, aggravation of ailments, deterioration of condition are observed somewhere. In other cases, the functioning of individual organs and systems improves, as well as the human condition in general. The pros and cons of nutritional supplements are like two sides of a coin. If we talk about health benefits, then we should, first of all, consider the useful supplements that were discussed above. Anti-inflammatory, anti-



tumor, antioxidant and other positive effects on the body of some supplements have been proven. Some of them improve the skin, hair, and nails, others have a good effect on reproduction, and others have a good effect on vision. Some improve the work of the immune system, others saturate the body with iodine, others remove waste products from it, etc.

As for the disadvantages, the entire list of food additives gives a considerable list of negative points. These are, in particular:

- allergies;
- inflammation;
- respiratory tract problems;
- increase in cholesterol level;
- hepatic colic;
- fatigue;
- headaches;
- nausea;
- numbness of fingers and toes;
- redness of the face;
- influence on the psycho-emotional state of a person;
- carcinogenic effect.

To balance the positive and negative sides, we do not get tired of repeating it, allows compliance with the rules and regulations for the use of food additives. Substances that are allowed and in the quantities specified in regulatory documents are the only correct way to use additives together with culinary products.

Another important aspect that cannot be ignored when considering food additives is storage conditions.

Additives, as well as food products of which they are a part, must be packaged and packaged in such a way that safety is achieved and the consumer properties specified by the manufacturer are ensured throughout the shelf life, subject to compliance with the necessary conditions.

Prescriptions in the storage plan concern, first of all, temperature, contact with sunlight, moisture. The best place for most supplements is a dark, dry room that is relatively cool. The container must always be tightly closed. Also, children, animals and outsiders should have limited access.

The materials used for packaging dyes and flavorings must meet the requirements of technical regulation in the area of safety of packaging that comes into contact with food. When packing dyes, it should be taken into account that most of them react with metals, in particular with aluminum and galvanized iron. Accordingly, such packaging is not suitable for them. But food plastic is what is needed.

According to the regulations, labeling must also be carried out. Correct storage conditions declared by the manufacturing company on the basis of technical documentation. requirements must also be followed during transportation.

Expiry date of dye, flavoring or other. additives depends on various factors and is specified by the manufacturer. It must be taken into account in food production.

Natural dyes do not last long. They are affected by the environment, which leads



to gradual destruction. As a rule, their storage period is no more than one year. Artificial ones, thanks to preservatives, are able to keep their properties for three years. In order for the natural dye not to spoil as long as possible, it should not be frozen, and it is impossible to exceed the storage temperature more than 16 °C. It is also important to maintain optimal humidity, it should not be high. In the case of artificial dye, it is worth taking care of the lack of contact with sunlight and also monitor the storage.

Conclusions.

It has been established that the main types of food additives used in the dairy industry do not have a beneficial effect on the human body, but without them, unfortunately, modern production cannot compete in the food market. A complete rejection of the use of food additives would also lead to the disappearance from store shelves of a number of popular products, the production of which is impossible without the use of a mixture of preservatives (usually a combination of sodium benzoate (E211) and potassium sorbate (E202), sulfur dioxide (E220), which prevent food from spoiling. Also, they have a big role in the technology of traditional food products of the future. Therefore, when you see the letter «E» on the product label, you should treat food additives wisely.

References

1. Solomon A.M., Vishtak I.V., Voytsytska O.M., Bondar M.M. Food supplements and their functional role. Agrarian science and food technology. 2018. Issue 4 (103). C. 147-157.
2. Lastukhin Yu.O. Nutritional supplements. E-codes. Building Obtaining. Properties. Education manual. Lviv. Center of Europe. 2009. 836 p.
3. Solomon AM, MM Bondar. Fermenting cultures in the dairy industry. Agrarian science and food technology. 2017. Issue 5 (99). P. 128-135.
4. Food supplements. Compiled by: V.S. Tymoshenko; general ed. V.L. Ivanova. Lviv. 2002. 144 p.
5. Solomon A.M., Bondar M., Dyakonova A. Development of technological sour – milk dessert enriched with bifidobacteria. EUREKA Life Sciences. 2019. No. 2. R. 20-25.
6. Law of Ukraine «On Safety and Quality of Food Products» dated September 6, 2005. Document 2809-1. Voice of Ukraine. 2005. No. 220. 69 p.
7. Vlasenko V.V., Bondar M.M., Semko T.V., Solomon A.M. Functional food products with fillers. Technology, energy, transport of agricultural industry. 2016. No. 3 (95). P. 106-109.
8. DSTU 4518:200 «Food products. Labeling for consumers. General rules» (with amendments and Amendment No. 1) Kyiv. State consumer standard of Ukraine. 2010. 41 p.
9. Vlasenko V.V., Bondar M.M., Solomon A.M., Semko T.V. Sourdough starters and their types in cheese production. Food technologies. Lviv. 2016. Vol. 18. No. 2 (68). P.157-160.



THE INFLUENCE OF MATERNAL NUTRITION ON THE DURATION OF INTRAUTERINE DEVELOPMENT OF CALVES

ВПЛИВ ЖИВЛЕННЯ МАТЕРІ НА ТРИВАЛІСТЬ ВНУТРІШНЬОУТРОБНОГО РОЗВИТКУ ТЕЛЯТ

Prylipko T.M. / Приліпко Т.М.,
d.a.s., prof. / д.с.н., проф.

ORCID: 0000-0002-8178-207X

Publons: AAF-5445-2019

Koval T.V., / Коваль Т.В.

s.a.s., as.prof. / к.с.н., доц.

ORCID: 0000-0002-7132-5887

Higher education institution « Podolsk State University»,

Kamianets-Podilskyi, Shevchenko, 13, 32300

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Abstract. Heifers of the black-spotted breed with a prolonged duration of embryonic development at the age of 20 and 90 days had the lowest live weight, the highest indicator was with an average, intermediate - with a short duration of embryogenesis. Animals with prolonged intrauterine development probably lagged behind representatives of other groups in terms of mass. The same sequence was preserved in their 6-month-old age. The low level of nutrition of females had the greatest impact on parts of the body of the fetus that develop late - the lumbar region, pelvis, chest, and least of all on the parts of the body that develop early - the head, legs. The greatest yield (4111 ± 127 kg) was obtained from Simmentals with an average duration of intrauterine development (286-296 days). At the same time, animals in which this indicator exceeded 295 days, transferred for 6 days - (the average became 289.7 ± 0.95), the weight was 2997 ± 231 kg. On animals of the Dutch breed, it was established that their productivity was directly dependent on the degree of use of feed nutrients at an early age, and the latter was inversely proportional to the duration of embryonic development. The weight of cows with an average duration of embryogenesis (266 days) was 5060 kg with a fat content in milk of 4.1%, and with its duration of 277 days - 4705 kg and 4.16%, respectively. The importance of the duration of fetal development is estimated by scientists in different ways.

Key words: productivity, animals, hope, nutrients, embryonic development

The size of newborn calves is related to the length of their embryonic period and, thus, to the amount of nutrients received from the mother during the embryonic period. The author [2,4] established that in Simmental and Lebedin cattle, the embryonic period lasted 281-292 days in calves with a relative weight of 5.5% to the mother's weight, with a weight of 5.6-4% - 285-295 days, and with a weight of more than 6.5% - 289-299 days.

To find out the role of mother's nutrition on the size of calves born, a special experiment was conducted in which three groups of similar cows of the black-and-spotted breed were fed at different levels during the calving period. It was established that larger calves were born to cows that were fed ad libitum.

Heifers of the black-spotted breed with a prolonged duration of embryonic development at the age of 20 and 90 days had the lowest live weight, the highest indicator was with an average, intermediate - with a short duration of embryogenesis. Animals with prolonged intrauterine development probably lagged behind representatives of other groups in terms of mass. The same sequence was preserved in their 6-month-old age.



Table 1 - The influence of the level of feeding of mother cows on the size of calves at birth

Level feeding cows	Gender of calves	Number calves	Mass at births, kg
Full feeding	bulls	10	47,2
	heifers	5	43,6
Average feeding	bulls	4	43,2
	heifers	11	37,4
Underfeeding	bulls	7	39,7
	heifers	7	37,1

The author [3] reports that there is a rather complex relationship between the duration of fruiting of mothers and the live weight of calves at birth. Up to a certain limit, it is direct, and after that it even goes in reverse.

However, researchers [7,8] come to the conclusion that indicators of fetal development do not provide a basis for predicting the growth rate of an animal in subsequent periods of life.

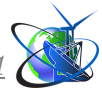
Studies in riding and trotting horses have shown that poor nutrition increases the time to fruiting and that old mares carry a fetus longer than young mares and have more premature and stillborn foals. In mares with a strong constitutional type, fertility is increased (10-11 foals in a lifetime) and a longer foal-carrying period. It is this type of mares that gives the strongest and fastest offspring. Record-breaking horses, as a rule, had a relatively long (more than 340 days) period of fetal development, that is, they were all born normally [4].

The low level of nutrition of females had the greatest impact on parts of the body of the fetus that develop late - the lumbar region, pelvis, chest, and least of all on the parts of the body that develop early - the head, legs. This conclusion once again confirmed the law of Chirvinsky-Manigonov that insufficient nutrition at one or another stage of development delays the growth and development of those organs and tissues that grow most intensively at this stage.

When evaluating an animal at birth, it is necessary to take into account its relative size to the mother's weight and the duration of embryonic development. The heredity of the features of growth energy is manifested in the fact that transferred animals, small from birth, grow slowly, while relatively large ones at birth, with a short period of embryonic development, are often fast-growing. Thus, the maturity of a newborn animal depends both on the features of the fetal period of nutrition and on the prematurity that follows.

According to other authors [2], the greatest yield (4111 ± 127 kg) was obtained from Simmentals with an average duration of intrauterine development (286-296 days). At the same time, animals in which this indicator exceeded 295 days, transferred for 6 days - (the average became 289.7 ± 0.95), the weight was 2997 ± 231 kg. The authors note the curvilinear nature of the relationship between milk yield and the duration of fetal development.

Researchers [9] report a negative improbable relationship ($r = 0.190 \pm 0.2430$) between milk yield and length of gestation period. Cows with a short duration of embryogenesis (270-280 days) turned out to be the most milky.



In the experiments [6] it was shown that for the duration of the intrauterine development of animals up to 280 days, 3538 kg of milk was obtained from them for the first lactation, at 281-290 days - 3169 kg, at 291-300 days - 3058 kg. On animals of the Dutch breed, it was established that their productivity was directly dependent on the degree of use of feed nutrients at an early age, and the latter was inversely proportional to the duration of embryonic development. The weight of cows with an average duration of embryogenesis (266 days) was 5060 kg with a fat content in milk of 4.1%, and with its duration of 277 days - 4705 kg and 4.16%, respectively.

To consider the relationship between the duration of embryonic development and live weight, it is proposed [1,7] to determine the index of embryonic precociousness (the ratio of the duration of embryogenesis to live weight at birth). When comparing the index with milk yield, the author observed a negative correlation between them. Similar data were obtained in other experiments. A number of authors [8] believe that the determination of its speed, i.e., the ratio of live weight at birth to the duration of intrauterine development, can give a certain idea about the peculiarities of the growth of an organism in the embryonic period. It was established that Simmental animals with an average daily embryonic growth rate of more than 0.17 kg/day had the highest yield (4750 kg), and the productivity of those whose growth rate was less than 0.10 kg/day was 2880 kg. Growth rate in the embryonic period was directly correlated with future milk productivity ($r = 0.530$).

The question of the influence of the duration of embryonic development of heifers on their reproductive capacity is of considerable interest. According to the authors, the physiological maturity of heifers of the black and spotted breed with a shortened period of embryonic development reached 15.4 months, in heifers with an average duration of embryonic development - in 16.7 months, and in animals with an extended duration - 17.8 months.

Conclusion. Thus, scientists evaluate the value of the duration of fetal development in different ways.

References

1. Antipin S.L., Bobrytska O.M., Yugai K.D. Ethology of farm animals: teaching manual. Kh.: KhDZVA, 2010. 136 p.
2. Bogdanov G. O., Melnychuk D. O. Actual issues of feeding agricultural animals. Scientific Bulletin of NAU. 2004. No. 74. P. 21–30.
3. Bomko V. S., Babenko S. P., Moskalyk O. Yu. Feeding of agricultural animals. Kyiv: Agrarian Education, 2010. 278 p.
4. Gnoeviy I.V. Feeding and breeding of farm animals in Ukraine. Kharkiv: Magda Ltd., 2006. 400 p.
5. Honcharenko V. Animal health formula. Agrarian week. Ukraine. 2013. No. 8–9. P. 20.
6. Handbook on complete feeding of agricultural animals / edited by I. Ibatullin, O. M. Zhukorskyi. K.: Agrarian. science, 2016. 336 p.
7. Prylipko T.M., Kalinka A.K., Manchenko T.O. Productivity of young beef cattle under different ration models in the conditions of the Carpathian foothills. Modern achievements in animal husbandry and poultry: materials of VIII All-



Ukrainian. science and practice conf. of young scientists, Kharkiv, October 16-17, 2014. Kharkiv, 2014. P. 57–60.

8. Prylipko T.M., Koval T.V. Neurohumoral regulation of metabolism in the case of indigestion in ruminants. Taurian Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences. Kherson State Agrarian and Economic University. Kherson. Helvetica Publishing House. 2022. Issue 123. P. 187–192.

9. Prylipko T.M., Kostash V.B., Koval T.V. Alimentary improvement of the reproductive function of cattle: monograph. Kamianets-Podilskyi. Vit'ADruk, 2022. 390 p.

Анотація. Телички чорно –рябої породи з подовженою тривалістю ембріонального розвитку у 20 і 90-добовому віці мали найнижчу живу масу, найвищий показник був з середньою, проміжний – з короткою тривалістю ембріогенезу. Тварини з подовженим утробним розвитком за масою вірогідно відставали від представників інших груп. Така ж послідовність збереглась і в їх 6-місячному віці. Низький рівень живлення самиць більше за все впливав на частки тулуба плоду, які пізно розвиваються – поперекову область, таз, груди і менше всього впливав на частки тіла, що рано розвиваються – голову, ноги. Найбільший надій (4111 ± 127 кг) одержано від сименталів з середньою тривалістю утробного розвитку (286-296 діб). У той же час тварини, у яких цей показник перевищував 295 діб, переношених на 6 діб – (середня стала $289,7 \pm 0,95$), надій складав 2997 ± 231 кг. На тваринах голландської породи встановлено, що продуктивність їх знаходилася в прямій залежності від ступеня використання поживних речовин корму в ранньому віці, а останній зворотно пропорційний тривалості ембріонального розвитку. Надій корів з середньою тривалістю ембріогенезу (266 діб) складав 5060 кг з умістом жиру в молоці 4,1%, а при його тривалості 277 діб – відповідно 4705 кг і 4,16%. Значення тривалості утробного розвитку вченими оцінюється по-різному.

Ключові слова: продуктивність, тварини, надій, поживні речовини, ембріональний розвиток



УДК: 639.313: 664-4

**STANDARDS OF PRODUCT MARKETING TRACEABILITY
FISHERY****СТАНДАРТИ ПРОСТЕЖУВАНOSTІ ТОВАРОПРОСУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ
РИБНОГО ПРОМИСЛУ****Prylipko T.M. / Приліпко Т.М.,**
d.a.s., prof. / д.с.н., проф.

ORCID: 0000-0002-8178-207X

Web of Science ResearcherID: AAF-5445-2019

Fedoriv V.M. / Федорів В.М.*Ph.D in Engineering, Asc. Prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-4499-0910

Web of Science ResearcherID: ADN-4203-2022

Higher educational institution «Podillia State University»,

Kamianets-Podilskyi, Shevchenko, 12, 32316

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет,
Кам'янець-Подільський, Шевченка 12, 32316

Abstract. Currently, for European countries, the issue of organization, implementation and control of integrated multi-year monitoring plans developed in accordance with the requirements of Regulation of the Parliament and the Council of the EU No. 882/2004 is extremely relevant. The principles of tracking (tracking) products as a tool in the system of control and certification of food products are regulated by the requirements of CAC/GL 60–2006. The key elements of the traceability system are: an exclusive list of suppliers; accepting information at the entrance and keeping records (supplier, supplier batch code, operator batch code); separation of batches during processing and storage when batches of incoming raw materials change (batch coding of the final product); sending accompanying records (consignee, supplier batch code; storage of records and return (minimum period). It was established that the mass fraction of lead in the investigated samples of fish products that entered the market of Chernivtsi from the Dnistrovsky district was 0.131 mg/kg (norm - 1.0 mg/kg), cadmium – 0.030 mg/kg (0.2 mg/kg), arsenic – 0.97 mg/kg (5.0 mg/kg), mercury – 0.011 mg/kg (0.5 mg/kg). The content of HCCG α -isomers - < 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg), HCCG β -isomers - < 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg), HCCG γ -isomers - 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg); 4,4-DDT – 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg) 4,4-DDE – 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg); 4,4-DDD – 0.001 mg/kg (0.2 mg/kg). The indicated indicators were somewhat lower in fish products that came from the Vyzhnytsky district of the Chernivtsi region. The number of mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms (KMAFAnM) was 30×10^3 CFU/g (norm - 1×10^5 CFU/g), BGCP (coliforms) in 0.001 g, pathogenic microorganisms (including salmonella), *Listeria monocytogenes* in 25 g and *Staphylococcus aureus* in 0.01 g - not isolated. The content of radionuclides Cs137 was < 6.7 Bq/kg for the norm of no more than 130 Bq/kg, Sr90 – < 4.2 Bq/kg (the norm is no more than 100 Bq/kg).

Key words: monitoring, tracing, fish products, food products, xenobiotics.**Introduction.**

Control and supervision of products of animal origin ensures the safety of all food products during their production, transportation, storage, processing and circulation, suitability for consumption, compliance with the requirements for their safety and quality indicators [1], guarantees compliance with labeling rules in accordance with DSTU 4518– 2008 «Food products. Labeling for consumers», which entered into force in Ukraine on November 1. 2008 and regulates clear requirements for product packaging and labeling [2].



Food safety is a priority at all stages of the food chain – «from farm to table». According to the Law of Ukraine «On the Safety and Quality of Food Products», producers and companies of the food chain are responsible for the safety of products of animal origin [1; 3; 4]. Food safety risk assessment has the following steps: hazard identification; hazard characteristics; expectation assessment; risk characteristics. The level of development of society and the awareness of nutrition problems have turned food safety into an international problem. WHO and other international structures have been intensively dealing with these issues for more than 40 years.

Today, our country also monitors the content of various toxicants in food products. The state monitoring program defines groups of pollutants that are subject to control. Dangerous toxicants that can accumulate in food products include pesticides, radionuclides, heavy metals, etc. Control bodies must fully fulfill the tasks assigned to them to ensure safety and reduce risks associated with the consumption of food products [5].

Research methodology.

The purpose of the work was to determine the content of some pollutants of chemical (heavy metals, pesticides, radionuclides) and biological (microbiological indicators) origin in live commercial fish and compare the obtained indicators with the requirements of current domestic documents. The material for the study was live commercial fish (crucian carp, carp, crucian carp), grown in various private fish farms. The results of studies of the content of toxic elements showed that the studied fish samples contained more arsenic, less lead, cadmium and mercury.

Research results.

It is known that there are about 6 mln. chemical compounds, 90% of which are of synthetic origin. The vast majority of them are xenobiotics [6]. The introduction of xenobiotics into the environment is primarily related to the anthropogenic burden on ecosystems - the increase in the volume of industrial production, the use of environmentally dangerous technologies in production, the accumulation of dangerous toxic waste, the chemicalization of agriculture, etc. In the environment, xenobiotics undergo transformation processes, as a result of which their physicochemical properties, migration ability, and toxicity to living organisms change. In most cases, the mechanisms of self-regulation of ecosystems are insufficient for the complete transformation of toxic substances into non-toxic compounds, which has negative environmental consequences [4].

The transformation of xenobiotics in the environment greatly complicates the environmental regulation of various pollutants. The negative impact of xenobiotics on living organisms is due to both their direct toxic effect and their accumulation on various links of the trophic chain, resulting in a sharp increase in the concentration of dangerous substances in living organisms [13]. Xenobiotics can affect almost all body systems: cardiovascular, nervous, excretory, respiratory, reproductive, gastrointestinal tract and hematopoietic organs. Among xenobiotics there are substances capable of inhibiting the synthesis of DNA and RNA, and those with mutagenic, teratogenic and carcinogenic properties [3].

Traceability provides information on the suitability, history and source of food products and does not make them safe, but is a management tool that allows for



safety and enables action to be taken if raw materials or products are found to be unsafe (e.g. recall or recall) [9;14] .

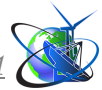
The standards of traceability of fishery and aquaculture products are: three standards developed by the Norwegian Institute of Fisheries and Aquaculture on the basis of consensus for registration and exchange of information about traceability in the seafood network (standard of farmed fish in aquaculture, standard of caught fish and technical standard); CEN(EKC) TraceFood (TraceCore XML – electronic traceability data exchange) [7; 8].

The purpose of traceability is to identify the responsible organizations in the food chain, to maintain the safety and/or quality objectives of fishery and aquaculture products, to meet the technical conditions of the customer, to establish their origin or source, to facilitate the verification of specific information about the products, to provide information to relevant interested participants and customers, to comply any local, regional, national or international legislative or regulatory documents, when appropriate - improving the efficiency, productivity and profitability of the organization, facilitating the removal or recall of products [10; 11; 12].

According to Directive 96/23 dated 29.04. 1996 regarding measures to control certain substances and their residual amounts in live animals and products of animal origin, an important part of food quality and safety control for the vast majority of EU countries is the monitoring of the residual amount of xenobiotics in objects of the external environment (soil, water, agricultural product). According to its results, allowable levels and frequency of detection of contaminant residues are established. Such an analysis makes it possible to make changes in the policy of export and import of food products. Monitoring programs are based on the principles of such European documents as EU Regulation No. 178/2002 and No. 882/2004, Council Directive 86/363/EEC, provisions of the EC Commission Recommendation No. 2006/26, which provide for the coordination of its programs aimed at establishing compliance with the maximum - acceptable levels (MDR) of agricultural products. Currently, for European countries, the issue of organization, implementation and control of integrated multi-year monitoring plans developed in accordance with the requirements of EU Parliament and Council Regulation No. 882/2004 [7] is extremely relevant.

The implementation of the traceability system provides for the possibility at any specified stage of the food chain from production to sale to identify the origin of raw materials and the place of its processing, in accordance with the objectives of inspection and certification of fishery and aquaculture products. The responsibility of a certain market operator is foreseen at each stage of the food chain [13; 15; 16].

The need for traceability involves: fulfilling the requirements of the specific conditions of EU food safety, in accordance with Art. 18 of Council Regulation 178/2002 dated 18.01.2002 «On the establishment of general principles and requirements of legislation on food products ...», namely, the traceability of «food, feed, animal feed and any other substance that must be or may be included in food or feed must be established at all stages of production, processing and distribution»; other EU conditions regarding traceability requirements in accordance with Annex III, Chapter VII of Regulation (EC) No. 853/2004 «On establishing special hygiene



rules for foodstuffs of animal origin» (requirements applicable to operators who catch, distribute bivalve molluscs, gastropods, etc.) and Article 12 of Regulation 1005/2008 «Establishment of an EU system for the prevention, deterrence and elimination of illegal, unaccountable and unregulated fishing» (requirement for fishing certification for EU trade in fishery products from January 1, 2010); voluntary certification schemes related to production conditions, creation of a «chain of responsibility» (global GAP - Good Aquaculture Practice; Marine Stewardship Council; Aquaculture Stewardship Council; Earth Islands Institute); application of the most important tools to determine the source of food safety problems (incident management - traceability, withdrawal and product recall; control of the implementation of the pollutant residue monitoring program; risk management through the application of control «from the farm to the table») [4].

The principles of tracking (tracking) products as a tool in the system of control and certification of food products are regulated by the requirements of CAC/GL 60–2006. The key elements of the traceability system are: an exclusive list of suppliers; accepting information at the entrance and keeping records (supplier, supplier batch code, operator batch code); separation of batches during processing and storage when batches of incoming raw materials change (batch coding of the final product); dispatch of supporting records (consignee, supplier lot code; record retention and return (minimum period). In relation to any fishery and aquaculture consignment, the operator must ensure a management and record-keeping process to maintain, as far as is practicable, the integrity of the information provided to the operator by the supplier of fish products; transfer of shipment information to the consignee, which subsequently allows the operator to identify the supplier and any traceability information provided to the operator by the supplier.

Conclusions.

It was established [8] that the mass fraction of lead in the studied samples of fresh-frozen fish products was 0.132mg/kg (norm – 1.0mg/kg), cadmium – 0.031mg/kg (0.2mg/kg), arsenic – 0.98mg/kg (5.0mg/kg), mercury – 0.012mg/kg (0.5mg/kg). The content of HCCG α -isomers - <0.001mg/kg (0.2mg/kg), HCCG β -isomers - <0.001mg/kg (0.2mg/kg), HCCG γ -isomers - 0.001mg/kg (0.2mg /kg); 4,4-DDT – 0.001mg/kg (0.2mg/kg) 4,4-DDE – 0.001mg/kg (0.2mg/kg); 4,4-DDD – 0.001mg/kg (0.2mg/kg).

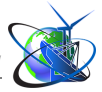
The number of mesophilic aerobic and facultatively anaerobic microorganisms (KMAFAnM) was 30x10³CFU/g (norm - 1x10⁵CFU/g), BGCP (coli-forms) in 0.001g, pathogenic microorganisms (including salmonella), *Listeria monocytogenes* in 25g and *Staphylococcus aureus* in 0,01 g - not highlighted. The content of radionuclides Cs137 was <6.7Bq/kg for the norm of no more than 130Bq/kg, Sr90 – <4.2Bq/kg (the norm is no more than 100Bq/kg) [10].

References

1. Anders, S. und A. Moeser (2008): Using retail scanner data to assess the demand for value-based ground meat products in Canada. 12th Congress of the.
2. European Association of Agricultural Economists – EAAE 2008, 26.–29. August, Ghent, Belgien.



3. Environmental labeling and declarations. Environmental self-declarations (environmental labeling type II): DSTU ISO 14021:2002 (ISO 14021:1999, IDT). K., State Consumer Standard of Ukraine. 2002. 8 p.
4. Environmental labeling and declarations. General principles: DSTU ISO 14020:2003 (ISO 14020:2000, IDT). K., Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2003. 7 p.
5. Food safety management systems. Requirements: DSTU 4161–2003. K., Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2003. 13 p.
6. Food safety management systems. Requirements for any food chain organizations: DSTU ISO 22000:2007 (ISO 22000:2005, IDT). K., Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2007. 30 p.
7. Hitska O.A. Risk-based food safety system: analysis of international and national legislation. Collection of scientific works of the Kharkiv State Veterinary Academy Problems of zooengineering and veterinary medicine. Veterinary sciences. Kharkiv. Vol. 35. Part 2, Volume 3. 2018. P. 102–106.
8. Piddubniy, V., Tarasiuk, H., Chahaida, A. Youth nutrition knowledge and food security. Modern Engineering and Innovative Technologies, 1(24-01) .–2022.– P.41-46.
9. Prylipko T.M., Kostash V.B., Fedoriv V.M. Modern aspects of healthy eating and state regulation of compliance with food safety and quality requirements. Modern Engineering and Innovative Technologies, – Issue №17, Part 1,– Karlsruhe.– 2021.–P.49-58.
10. Prylipko, T.M., Prylipko, I.V. Task and priorities of public policy of Ukraine in food safety industries and international normative legal bases of food safety. Proceedings of the International Academic Congress «European Research Area: Status, Problems and Prospects. Latvian Republic, Rīga, 01–02 September 2016. 2016. S.85-89.
11. Prylipko, T., Fedoriv, V., Kostash, V. Development of modern methods for assessing the quality and safety of raw materials and foodstuffs in accordance with eu standards and regulations. Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences, (1), 2022. – P.113-124. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.1.13>
12. Stadnyk, I., Piddubniy, V., Krasnozhan, S., Kraevska, S. A scientific approach to the creation of food products with increased nutritional value. Modern Engineering and Innovative Technologies, 1(23-01) .–2022.–P.36-43.
13. Tetiana Prylipko, Volodymyr Kostash, Viktor Fedoriv, Svitlana Lishchuk, Volodymyr Tkachuk. Control and Identification of Food Products Under EC Regulations and Standards. International Journal of Agricultural Extension. Special Issue (02) 2021. p.83-91.
14. Yatsenko I.V., Bondarevskyi M.M., Kamyanskyi V.V., Bilyk R.I., Biben I.A., Golovko N.P., Senenko E.O. International requirements for the safety and quality of food products and prospects for their introduction in Ukraine. Collection of sciences. Proceedings of the Kharkiv State Zooveterinary Academy. Problems of animal engineering and veterinary medicine. Veterinary sciences. Kharkiv. Vol. 25. Part 2. 2012. P. 241–254.
15. Приліпко Т. М., Косташ В. Б., Федорів В. М. Вплив режимів стерилізації на динаміку окислення жиру при виробництві і зберіганні



консервів. Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки.– 2022.– № 31. – С. 126–131. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2022-31-16>

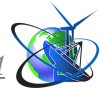
16. Приліпко Т.М., Косташ В.Б., Федорів В.М., Семенов О.М., Підлісний В.В. Аналіз методів експертизи якості, ідентифікації та виявлення фальсифікації харчової продукції і сировини : Монографія – Вінниця : ТВОРИ, 2023. 416 с

Анотація. Нині для європейських країн надто актуальним є питання щодо організації, впровадження та контролю інтегрованих багаторічних планів моніторингу, розроблених відповідно до вимог Регулювання Парламенту та Ради ЄС № 882/2004. Принципи відслідковування (відстеження) продуктів, як інструменту у системі контролювання та сертифікації харчових продуктів, регламентовані вимогами САС/GL 60–2006. Ключовими елементами системи простежуваності є: ексклюзивний список постачальників; прийняття інформації на вході та ведення обліку (постачальник, код партії постачальника, код партії оператора); розділення партій під час обробки та зберігання, коли змінюються партії надходження сировини (паketне кодування кінцевого продукту); відправка супровідних записів (вантажоодержувач, код партії постачальника; зберігання записів та повернення (мінімальний період). Встановлено, що масова частка плюмбуму в досліджуваних зразках рибної продукції, яка поступала на ринок м. Чернівців з Дністровського району становила 0,131 мг/кг (норма – 1,0 мг/кг), кадмію – 0,030 мг/кг (0,2 мг/кг), арсену – 0,97 мг/кг (5,0 мг/кг), меркурію – 0,011 мг/кг (0,5 мг/кг). Уміст ГХЦГ α -ізомерів – < 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг), ГХЦГ β -ізомерів – < 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг), ГХЦГ γ -ізомерів – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг); 4,4-ДДТ – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг) 4,4-ДДЕ – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг); 4,4-ДДД – 0,001 мг/кг (0,2 мг/кг). Деяко нижчими вказані показники були в рибній продукції яка поступала з Вишницького району Чернівецької області. Кількість мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ) склала 30×10^3 КУО/г (норма – 1×10^5 КУО/г), БГКП (коліформи) в 0,001 г, патогенних мікроорганізмів (у тому числі сальмонел), *Listeria monocytogenes* у 25 г та *Staphylococcus aureus* у 0,01 г – не виділено. Уміст радіонуклідів Cs137 становив < 6,7 Бк/кг за норми не більше 130 Бк/кг, Sr90 – < 4,2 Бк/кг (норма – не більше 100 Бк/кг).

Ключові слова: моніторинг, простежування, рибна продукція, харчові продукти, ксенобіотики.

Стаття відправлена: 14.06.2023 р.

© Федорів В.М.



УДК 004.4

RESEARCH OF CANVAS TECHNOLOGY IN WEB-APPLICATIONS

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ CANVAS У WEB-ДОДАТКАХ

Terentyev O.O. / Терентьев О.О.

d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-6995-1419

Gorbatyuk Ie.V. / Горбатюк Є.В.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-8148-5323

Lototskyi A.V. / Лотоцький А.В.

Ph.D. degree / здобувач ступеня доктора філософії

Kyiv National University of Construction and Architecture,

Kyiv, Povitroflotsky Avenue, 31, 03037

Київський національний університет будівництва і архітектури,

Київ, Повітрофлотський проспект, 31, 03037

Анотація. Останнім часом освітня сфера зазнає поступових змін у підходах до неї та ставленні всіх її учасників до процесу навчання. Швидка цифровізація разом із глобальними життєвими викликами, такими як пандемія Covid-19, дозволяє використовувати технології разом із традиційними засобами освіти, щоб задовольнити потреби сучасних учнів не лише безболісно, але й сприятливо. У статті розглядається необхідність модернізації традиційного навчального процесу та оптимізації його для тих, хто займається за індивідуальним планом або у форматі вимушеного дистанційного навчання, також спричиненим пандемією. Реалізація сучасних змін може бути здійснена за допомогою спеціалізованих додатків та веб-систем, зокрема платформи онлайн-курсів «Канвас» (Canvas), яка знаходиться в центрі уваги нашої статті. У статті розкрито технічні можливості та особливості системи «Канвас», представлено дослідження її відповідності сучасним потребам студентів шляхом аналізу її переваг та недоліків, а також описано її плюси та мінуси не лише з точки зору студентів, які вважаються представниками основної категорії користувачів платформи, але також враховуючи досвід викладачів та їхні враження від платформи як основної чи допоміжної освітньої системи онлайн-курсів. Читачі цієї статті можуть ознайомитися з основними елементами структури платформи «Канвас», дізнатися про їхні характеристики та вирішити, чи схвалювати таку альтернативу застарілому відвідуванню курсів. Підсумовуючи, ми надаємо читачам статті загальний висновок про платформу, її відповідність вимогам освітньої системи, зокрема потребам учнів.

Ключові слова: WEB-розробка, растрова графіка, браузер.

Вступ.

У сучасному світі веб-додатки використовуються в різних галузях, таких як графіка, візуалізація даних, анімація та інтерактивність. Одним з ключових інструментів для розробки таких додатків є технологія HTML-CANVAS, яка дозволяє створювати графічні елементи на веб-сторінках за допомогою скриптів JavaScript.

Мета. Дослідити технології SVG та HTML5-Canvas. При порівнянні цих двох технологій, обереться більш продуктивна та швидкодійна.

Аналіз технології HTML5-Canvas.

Canvas (холст) – елемент HTML5 для створення растрового двомірного зображення [1-4]. Зазвичай використовується спільно з Javascript.



Використовується в основному для відображення графіків та ігрових елементів в браузерних іграх, вставок відео, створення повноцінного плеєра. Canvas також використовується в WebGL для апаратного прискорення 3D-графіки. В результаті можна створювати навіть 3D-ігри, які працюють у вікні браузера. Компанія Google випустила JavaScript бібліотеку `explorercanvas`, яка дозволяла працювати з Canvas в браузерах IE7 та IE8. Canvas може ускладнити завдання роботам по розпізнаванню Капчі. При використанні canvas з сервера завантажується не картинка, а набір точок (або алгоритм промальовування), за якими браузер промальовує картинку (капчу). Canvas дозволяє розмістити на полотні: зображення, відео, текст. Залити все це суцільним кольором, або обвести контури чи навіть додати градієнт. Додавання тіней схожих на властивості `css3 box-shadow` і `text-shadow`. І, нарешті, побудова фігур за допомогою вказівки контрольних точок. Причому можна змінювати ширину ліній, так і кисть малювання ліній, стиль з'єднань ліній [5].

Порівняння Canvas з іншими графічними технологіями.

Основна перевага використання HTML-CANVAS полягає у тому, що вона дозволяє розробникам створювати складні графічні об'єкти, які можуть бути анімовані, перетворюватися та інтерактивні. На відміну від інших технологій, таких як SVG або CSS, HTML-CANVAS забезпечує повний контроль над кожним пікселем об'єкта та його поведінкою, що дозволяє створювати більш складні та динамічні графічні ефекти.

Застосування HTML-CANVAS відкриває безліч можливостей для розробки веб-додатків. Зокрема, вона дозволяє створювати ігри, діаграми, графіки та інші складні візуальні елементи. HTML-CANVAS є дуже популярним серед розробників графічних додатків, таких як Photoshop або Illustrator, оскільки вона надає можливість створювати графіку в режимі реального часу [6].

Застосування HTML-CANVAS дозволяє створювати інтерактивні елементи на веб-сторінках. Наприклад, розробники можуть створювати різні ефекти при наведенні курсору миші на об'єкти, анімувати рухи миші, створювати рухомі фони та багато іншого. Це дозволяє збільшити рівень інтерактивності та залучення користувача до веб-додатку, що є важливим чинником успішності проекту.

Однією з ключових переваг використання HTML-CANVAS є те, що вона дозволяє створювати візуалізації даних в режимі реального часу. Наприклад, можна створювати графіки, що демонструють зміни в показниках даних у реальному часі, що дозволяє користувачам отримувати актуальну та оперативну інформацію.

Незважаючи на всі переваги, використання HTML-CANVAS має деякі обмеження. Одним з них є необхідність в ручному програмуванні графічних елементів, що може забирати багато часу та зусиль розробника. Також, HTML-CANVAS може бути не найкращим варіантом для розробки веб-додатків, які мають велику кількість текстового контенту, оскільки HTML-CANVAS використовується головним чином для створення графіки.

Загалом, застосування технології HTML-CANVAS у веб-додатках є важливим елементом розробки сучасних веб-додатків. Вона дозволяє



створювати складні та динамічні графічні елементи, покращує інтерактивність та зручність використання додатку, дозволяє створювати візуалізації даних у режимі реального часу та баг ато інше. Однак, розробка графічних елементів використовуючи HTML-CANVAS може займати багато часу та зусиль, і не завжди є оптимальним варіантом для всіх типів веб-додатків.

Основними перевагами HTML-CANVAS є:

- Можливість створювати складні та динамічні графічні елементи.
- Покращення інтерактивності та зручності використання додатку.
- Можливість створювати візуалізації даних у режимі реального часу.

Однак, використання HTML-CANVAS має деякі обмеження:

- Необхідність в ручному програмуванні графічних елементів, що може забирати багато часу та зусиль розробника.
- Не є найкращим варіантом для розробки веб-додатків з великою кількістю текстового контенту.

Застосування технології HTML-CANVAS у веб-додатках дозволяє створювати більш динамічний та інтерактивний досвід користувача, забезпечуючи більшу зручність та привабливість додатку. Використання HTML-CANVAS також дозволяє розробникам створювати візуалізації даних в режимі реального часу, що може бути корисним для багатьох видів веб-додатків. Однак, використання HTML-CANVAS має деякі обмеження, такі як необхідність в ручному програмуванні графічних елементів та неоптимальність для додатків з великою кількістю текстового контенту.

Незважаючи на обмеження, використання HTML-CANVAS є корисним та важливим елементом розробки веб-додатків у сучасному світі. Розробники можуть використовувати HTML-CANVAS для створення привабливих та інтерактивних графічних елементів, таких як анімації, графіки, графіки залежності, діаграми та інші візуальні елементи, які можуть допомогти користувачам краще розуміти та сприймати дані.

Одним з прикладів використання HTML-CANVAS є створення візуалізацій даних в режимі реального часу. Наприклад, це може бути корисним для фінансових додатків, які дозволяють користувачам переглядати зміни в цінах акцій у реальному часі. Використання HTML-CANVAS дозволяє створити графік, який оновлюється автоматично з новими даними, що дозволяє користувачам бути в курсі останніх змін.

Ще одним прикладом використання HTML-CANVAS є створення інтерактивних елементів, таких як малюнки, які реагують на кліки користувача. Наприклад, це може бути корисним для ігрових додатків, де користувачі можуть взаємодіяти з графічними елементами за допомогою кліків миші або натискання на екран мобільного пристрою [7].

HTML-CANVAS також може бути використаний для створення анімацій, які можуть допомогти залучити увагу користувачів та покращити їх досвід взаємодії з додатком. Наприклад, анімації можуть бути використані для показу процесу завантаження сторінки або для демонстрації роботи додатку.

Однак, розробники повинні також враховувати обмеження HTML-CANVAS при розробці веб-додатків. Одне з головних обмежень полягає у тому,



що HTML-CANVAS не підтримує текст, що обрізається, що означає, що розмір графічного елемента може бути обмеженим, що може привести до некоректного відображення на різних пристроях.

Крім того, розробники повинні також враховувати навантаження на процесор при використанні HTML-CANVAS, оскільки велика кількість графічних елементів може спричинити збільшення часу завантаження сторінки та зниження продуктивності.

Незважаючи на ці обмеження, використання HTML-CANVAS веб-додатках може допомогти покращити їх візуальний дизайн та забезпечити більш інтерактивний досвід для користувачів. Для розробки додатків з використанням HTML-CANVAS розробники повинні мати розуміння як працює ця технологія та як її можна використовувати для створення різних ефектів та візуалізацій.

Крім того, важливо враховувати сумісність з різними браузерами та пристроями при розробці додатків з використанням HTML-CANVAS. Розробники повинні тестувати додатки на різних пристроях та браузерах, щоб переконатися в тому, що вони працюють коректно та відображаються правильно.

Висновки.

Результатом даної роботи є аналіз особливостей та ефективності використання HTML5 Canvas для вирішення задачі відображення різних типів мультимедіа. Були досліджені основні аналоги, які на сьогоднішній день представлені на ринку, виділені їх основні переваги та недоліки. HTML5-тег Canvas грає центральну роль при створенні додатків на базі браузерів. Він надає практичну середовище малювання, що базується на технології JavaScript і обмежену лише уявою розробника. Це середовище не дуже складне для освоєння. Крім того, в Інтернеті є безліч інструментів підтримки, що полегшують навчання і підготовку, включаючи інструкції щодо використання, блоги, онлайн статті, відео-та текстові посібники, типові програми. Зміст і головна функція canvas полягають в тому, що його зміст можна динамічно оновлювати, відрисовуючи нові елементи у відповідь на дії користувача. Можливість змінювати тексти та зображення в візуальному режимі і імітувати рух робить Canvas виключно цінним інструментом. В будь-якому випадку Canvas є найважливішим компонентом можливостей, що надаються специфікацією HTML5.

Література:

1. David M. Geary. (2012). Core HTML5 Canvas: Graphics, Animation, and Game Development. Pearson PTR; 1st edition, 729.
2. Дэвид Флэнаган. (2022). Характеристики JavaScript. Полное руководство, 7-е издание. Київ. Науковий Світ, 722.
3. BIM-Concept for Design of Engineering Networks at the Stage of Urban Planning / T. Honcharenko, O. Terentyev, O. Malykhina, I. Druzhynina, I. Gorbatyuk. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. Vol. 11 (2021) No. 5, 2021. P. 1728-1735. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.11.5.13687>.



4. Honcharenko T., Terentyev O., Gorbatyuk I. (2022). Mathematical Modeling of Information System Designing Master Plan of the Building Territory Based on OLAP Technology. Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 344. Springer, Cham. P. 3–15. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89902-8_1.

5. Eric Rowell. (2011). HTML5 Canvas Cookbook Paperback – November 25, 2011 Packt Publishing, 348.

6. Итан Браун. (2017). Веб-разработка с применением Node и Express. Полноценное использование стека JavaScript, PDF, 336.

7. Дженнифер Роббинс. (2022). Характеристики HTML5: карманный справочник, 5-е издание. Київ. Науковий Світ. 192.

Abstract. *Recently, the educational sphere has undergone gradual changes in the approaches to it and the attitude of all its participants to the learning process. Rapid digitization along with global life challenges such as the Covid-19 pandemic allows technology to be used alongside traditional means of education to meet the needs of today's learners not only painlessly but also favorably. The article examines the need to modernize the traditional educational process and optimize it for those who work according to an individual plan or in the format of forced distance learning, also caused by the pandemic. The implementation of modern changes can be carried out with the help of specialized applications and web systems, in particular, the online course platform "Canvas", which is the focus of our article. The work also briefly mentions previous research by colleagues who worked with similar platforms and/or with Canvas itself. The article also reveals the technical capabilities and features of the "Canvas" system, presents a study of its compliance with the modern needs of students by analyzing its advantages and disadvantages, and also describes its pros and cons not only from the point of view of students, who are considered representatives of the main category of users of the platform, but also taking into account the experience of teachers and their impressions of the platform as a main or auxiliary educational system of online courses. Readers of this article can also familiarize themselves with the main elements of the Canvas platform structure, learn about their characteristics and decide whether or not to approve this alternative to the old-fashioned course attendance. In addition, the study includes a survey conducted among 50 students who have already used the platform according to the requirements of the curriculum, so share their impressions, starting with joining the system and ending with a general overview of this online course cell. In summary, we provide readers of the article with a general conclusion about the platform, its compliance with the requirements of the educational system, in particular, the needs of students.*

Key words: WEB-development, raster graphics, browser.

Стаття відправлена: 07/05/2023

© Терентьев О.О., Горбатюк Є.В., Лотоцький А.В.



UDC 62.95:681.5

MATHEMATICAL MODELING OF THE LOW-TEMPERATURE SEPARATION PROCESS**Horbiychuk M.I. / Горбійчук М.І.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas**Івано-Франківський Національний Технічний Університет Нафти і Газу***Yednak I.S. / Єднак І.С.***Master's student/студент магістр**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas**Івано-Франківський Національний Технічний Університет Нафти і Газу***Skrypka O.A. / Скріпка О.А.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.**Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas**Івано-Франківський Національний Технічний Університет Нафти і Газу*

Annotation. The gas extracted from the well contains impurities - oxygen, nitrogen, hydrogen sulfide, as well as condensate, heavy hydrocarbons, butane, propane and their derivatives. Before the gas is sent to consumers, it is cleaned. The gas purification process proceeds in two stages; at the first of them, mechanical impurities are removed, and at the second stage, water, heavy carbohydrates and condensate are removed from the gas.

In the case when gas under high pressure (not less than 14 MPa) comes out of the well, an effective method of its purification is low-temperature separation.

A condition for the effectiveness of the low-temperature separation process is compliance with the technological regulations, which are provided by means of local automation, which performs the functions of stabilizing the parameters of the technological process. Existing automatic stabilization systems are single-circuit and do not take into account the presence of cross-connections between technological parameters, which significantly reduces the efficiency of the low-temperature separation process.

Therefore, the goal of the work was to create a mathematical model of the low-temperature separation process, which made it possible to identify objectively existing relationships between technological parameters, which is the methodological basis for the synthesis of an effective control system for the separation process.

of the low-temperature separation process in terms of "input-output" were obtained on the basis of the law of conservation of the amount of matter and the laws of exchange of substances between the liquid and gas phases. The linearization of the mathematical model of the dynamics of the low-temperature separation process was performed, and on its basis, the matrix transfer function of the object was obtained, which made it possible to formalize the channels of internal interactions between input and output values.

Key words: low-temperature separation, mathematical model, linearization, transfer functions, structural diagram.

Introduction

The gas extracted from the borehole, contains mechanical particles, water, as well as accompanying substances - oxygen, nitrogen, hydrogen sulfide, as well as condensate, heavy hydrocarbons, butane, propane and their derivatives. Therefore, the gas is pre-cleaned before it is sent to consumers. Gas purification takes place in



two stages. In the first stage, the gas is cleaned of mechanical impurities, and in the second stage, water, condensate and heavy carbohydrates are removed from the gas. In the case when the extracted gas comes under high pressure (at least 14 MPa), low-temperature separation (LTS) is used for gas purification.

The effectiveness of the NTS process depends on the proper support of the technological regulation, which is defined for the low-temperature separator. As a result of the change in the conditions of the NTS process, there is a deviation of the mode parameters from those defined by the technological regulations. Therefore, to maintain the technological parameters at the set values, automatic stabilization systems are used, which are mostly single-circuit and do not take into account the presence of internal connections between the technological parameters, which impairs the efficiency of the separation process, and also leads to the loss of such valuable components as condensate and heavy hydrocarbons.

Analysis of literary sources

A feature of the NTS process is the change in the state of the gas flow as it passes through technological devices, which complicates its mathematical description.

The gas entering the NTS installation is throttled, which causes a turbulent flow of gas, and after entering the separator, the flow changes to a uniform state [1]. Depending on the nature of the flow - subcritical or supercritical, flowing through the throttle device, the gas consumption is calculated according to various formulas [2]. When passing gas under high pressure through the throttle, the Joule-Thomson effect occurs, which causes a decrease in temperature and pressure. When the pressure decreases by 1 MPa, the gas temperature decreases [3] by 5.5 °C.

Mathematical modeling of the low-temperature separation process itself is based on the use of regularities that occur in the vapor-liquid system. If the vapor-liquid system is in an equilibrium state, then there is a process of mass exchange between the liquid and gas phases. The driving force of such a process is the chemical potential. For the first time, the concept of chemical potential was introduced by Gibbs during the study of equilibrium conditions between the liquid and gas phases [4]. The equilibrium state of the "liquid-gas" system is characterized by a certain temperature T and pressure P . Let's assume that the "liquid-gas" system, which is in equilibrium, consists of i components. Then the condition of thermodynamic equilibrium is given by the following equality [5]:

$$f_i^{(V)} = f_i^{(L)},$$

where f - fugitiveness (volatility); V – liquid; L – steam

When modeling the process of low-temperature separation, one of the main tasks is to identify the relationship between the composition of the mixture and the fugitives $f_i^{(V)}$ and $f_i^{(L)}$.

Fugacity is a measure of the deviation of the real liquid-gas system from the ideal (ideal gas, ideal solution) and determines the pressure of the real system that exerts the same effect on the environment as the ideal system. As the real state of the gas (real liquid) approaches the ideal $f \rightarrow P$. It follows from the last condition that fugacity is measured in units of pressure. The degree of deviation of the properties of



the real "liquid-gas" system from the ideal is characterized by the fugacity coefficient $\gamma f/P$. If the composition of the mixture is expressed in mole fractions Y (dimensionless units), then $\gamma = \frac{1}{Y}$. For a mixture of ideal gases $\gamma_i f_i/P_i = 1$.

The fugacity i -of the component depends on the temperature, pressure and composition of the mixture. It should be noted that there is no analytical dependence for determining the fugacity as a function of the listed parameters. Therefore, the determination of fugacity is a rather difficult task, which is based on experimental studies.

For a gas system, the following relationship [5] holds:

$$PY_i = X_i f_i(T) \gamma_i,$$

where Y_i , X_i - mole fractions of gas and liquid i -of the component in the mixture.

The value PY_i is called partial pressure.

The vast majority of mathematical models of the NTS process are oriented towards solving technological problems. Mathematical models in terms of "input-output" are necessary for the synthesis of automatic control systems. Models of this type partially obtained in works [1] and [6] .

Single-circuit systems of automatic regulation of pressure, liquid level and temperature are used to stabilize the technological parameters of the NTS [7].

Thus, the mathematical description of the low-temperature separation process is mostly focused on the synthesis of single-loop control systems [8] . As the analysis of literary sources shows, there are internal connections between the input values in the separators of both the first and second stages of separation of the gas mixture extracted from gas boreholes. Failure to take into account internal connections deteriorates the quality of the management process.

The purpose of the work. The purpose of the work is to increase the efficiency of the low-temperature separation process by creating mathematical models and synthesizing automatic control systems, taking into account the internal cross-connections that exist between the technological parameters of the process.

The set goal required solving the following tasks in the work:

- on the basis of physical regularities inherent in the process of low-temperature separation, create its static model;
- identify the input and output values of the control object, form basic assumptions and create a mathematical model of the low-temperature separation process in "input-output" terms;
- linearize the mathematical model of the dynamics of the low-temperature separation process and determine the matrix transfer functions and their properties;
- synthesize a system of automatic control of the low-temperature separation process taking into account the internal relationships between technological parameters and choose a method of calculating the parameters of the regulator setting, as well as evaluate the quality of the control process.

Mathematical model of the low-temperature separation process

The schematic functional scheme of the NTS installation is shown [6] in Fig. 1.



The gas extracted from the borehole goes to the complex gas preparation unit (UCPG). After UKGP, natural gas is pre-throttled (or without throttling) and fed to the inlet of separator C-1 (Fig. 1). In the C-1 separator, the droplet liquid is separated. Further, the gas through the T1 heat exchanger enters the C-2 separator through a fitting or an ejector. In the T1 heat exchanger, the gas is cooled with the help of a coolant (gas), which is fed into the intertube space of the T1 heat exchanger. From the outlet of the C-2 separator, the dried gas enters the heat exchanger, where it is heated and, after measurement, is fed to the gas collector. To prevent water formation diethylene glycol (DEG) is added to the gas inlet in front of the C-2 separator. Due to the difference in the densities of the condensate and DEG, the liquid phases are gravitationally separated and the separated DEG falls into containers P_1 and P-2 (Fig. 1).

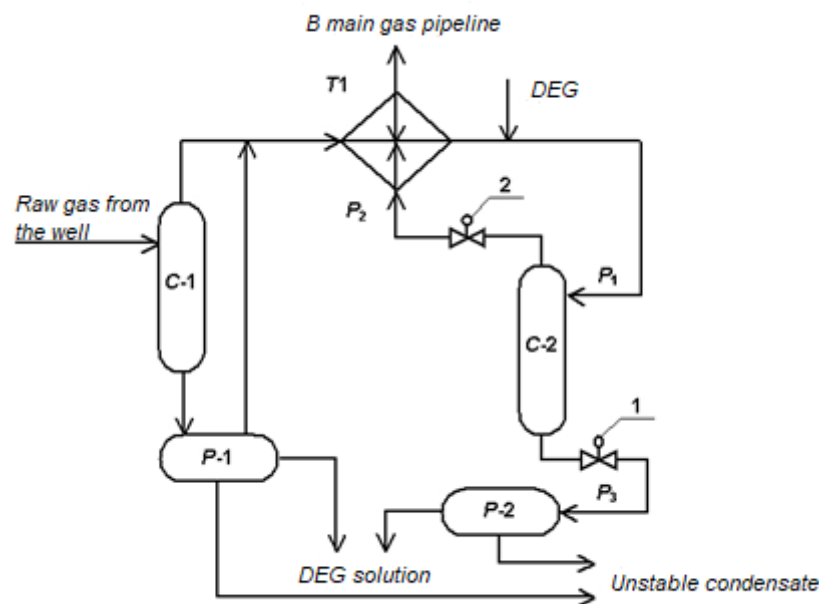


Figure. 1. Simplified functional diagram of the NTS installation

The mathematical model of the NTS process was developed under the following assumptions [5]:

- the temperature regime in the C-2 separator (Fig. 1) is maintained unchanged;
- the density of the liquid phase in the separator is constant;
- the known chemical composition of the gas entering the separation and mole fraction of $\mu_{0i,s}$ its components;
- the mole fraction of gas in the mixture at the entrance to the C-2 separator is known and remains unchanged during the observation period;
- gas and condensate obey the laws of ideal solutions.

Based on the analysis of the low-temperature separation process as an object of automatic control, we will adopt the following variable models:

- *initial values* – gas pressure P and liquid phase level H in the separator;
- *input values* – degree of opening U_1 and U_2 executive bodies 1 and 2, which are installed at the outlet and inlet of separator C-2 (Fig. 1);



• *disturbances* – pressures in the pipelines P_1 (at the inlet to the C-2 separator), P_2 (at the outlet from the C-2 separator) and P_3 (at the liquid drain from the C-2 separator, Fig. 1).

In the conditions of the equilibrium state, the low-temperature separation proceeds as an exchange between the liquid and gas phases. The driving force of such a process is the chemical potential. Quantification of chemical potential is called volatility. This estimate was introduced by Gypsum to characterize general equilibrium conditions.

Volatility is some function of pressure and shows that a real system exerts the same effect on the environment as an ideal system (ideal gas, ideal solution). Volatility is a measure of the deviation of an ideal system from a real one under constant external conditions and is measured in units of pressure.

Size

$$\chi_i = \frac{f_{i,s}}{\mu_{i,s} f_{0i,s}} \quad (1)$$

is called the activity coefficient, a

$$\varphi_i = \frac{f_{i,g}}{\mu_{i,g} f_{0i,g}} \quad (2)$$

called the volatility coefficient.

In formulas (1), the following designations are adopted: $\mu_{i,s}$ - mole fraction i -of the i th component in the solution; $f_{0i,s}$ - volatility i -of the pure component; $f_{i,s}$ volatility i -of the component in the liquid mixture at constant atmospheric pressure. The physical quantities in formula (2), which are assigned the index " g ", have the same meaning as in formula (1).

In the case when the vapor-gas system is in equilibrium, there is equality $f_{i,s} = f_{i,g}$. If the values and are $f_{i,g}$ determined from formulas (1) and (2) $f_{i,s}$, then the last equality will be as follows:

$$\chi_i \mu_{i,s} f_{0i,s} = \varphi_i \mu_{i,g} f_{0i,g} \quad (3)$$

It is assumed that the pure component is in ideal gas conditions. In this case $f_{0i,g} = P$. Taking into account the last assumption, the relation (3.4) will be as follows:

$$\chi_i \mu_{i,s} f_{0i,s} = \varphi_i \mu_{i,g} P.$$

From the last equation we find

$$\mu_{i,g} P = \frac{\chi_i \mu_{i,s} f_{0i,s}}{\varphi_i} \quad (4)$$

The value $\mu_{i,g} P$ is called partial pressure.

and $f_{0i,s} = P_{pp}^{(0)}$ an ideal solution is used to describe the equilibrium state of a vapor-liquid system, then the following $f_{i,g} = P$ relations $P_{pp}^{(0)}$ hold P : pairs over this component.

Under such conditions, Dalton's law for the gas phase holds

$$P_i = \mu_{i,g} P$$



and Raoult's law for the liquid phase

$$P_i = \mu_{i,s} P_{pp}^{(0)},$$

where P_i is the partial pressure; $P = \sum_{i=1}^n P_i$ n – the number of components that make up the vapor gas system.

When the steam-gas system is in an equilibrium state, then the following relationship holds:

$$\mu_{i,g} P = \mu_{i,s} P_{pp}^{(0)}. \quad (5)$$

If we introduce a function $f_i(T) = \frac{f_{0i,s}}{\varphi_i}$ that determines the relationship between the pressure and the boiling temperature of the pure i – component, then formula (4) will be as follows:

$$\mu_{i,g} P = \chi_i \mu_{i,s} f_i(T). \quad (6)$$

It follows from the comparison of formulas (5) and (6) that for the equilibrium state of the vapor-gas mixture, the following relationship holds: $f_i(T) = P_{pp}^{(0)}$.

For non-ideal systems, relation (6) is not fulfilled due to the influence of the mixture components on the activity coefficient of each component. This means that

$$\chi_i = \chi_i(\mu_{1,s}, \mu_{2,s}, \dots, \mu_{n,s}).$$

Thus, in the case of an ideal vapor-gas system, its state is described by formula (5), and for a non-ideal vapor-gas system, it is necessary to take into account that the activity coefficient χ_i is not a constant value, but a function of the mole fraction i – of those components in the system.

Let's assume that the inlet of the C-2 separator (Fig. 1) receives a gas mixture consisting of M moles. Denote by M_{con} and M_g the number of moles of condensate and gas in the total flow of the gas mixture. Relation

$$f_d = \frac{M_{con}}{M} \quad (7)$$

determines the mole fraction of condensate, and

$$1 - f_d = \frac{M_g}{M} \quad (8)$$

the total part of the gas in the mixture that entered the C-2 separator.

Knowing mole fractions $\mu_{i,s}$ and $\mu_{i,g}$ condensate and liquid phase i – of those components in the gas mixture, we will formulate the material balance equation for i – the component

$$M \mu_{0i,s} = M_{con} \mu_{i,s} + M_g \mu_{i,g}.$$

If we now take into account (3.8) and (3.9), the last equation will be as follows:

$$\mu_{0i,s} = f_d \mu_{i,s} + (1 - f_d) \mu_{i,g}. \quad (9)$$

For an ideal vapor-liquid system between $\mu_{i,s}$ and $\mu_{i,g}$ there is the following relationship [4]:

$$P \mu_{i,g} = \mu_{i,s} f_i(T).$$



We determine from the last formula

$$\mu_{i,g} = \frac{\mu_{i,s} f_i(T)}{P}$$

and substitute the obtained value $\mu_{i,g}$ in (3.10). Then

$$\mu_{i,s} = \frac{\mu_{0i,s}}{f_d + (1 - f_d) f_i(T) P^{-1}}.$$

Since the assumption is made that the temperature regime in the C-2 separator (Fig. 1) is maintained constant, then $f_i(T) = f_i = \text{const}$. Ago

$$\mu_{i,s} = \frac{\mu_{0i,s}}{f_d + (1 - f_d) f_i P^{-1}}. \quad (10)$$

The known value $\mu_{i,s}$ allows you to determine the number of moles i -th component of the condensate in the liquid phase

$$M_{con,i} = M_{con} \mu_{i,s}.$$

In accordance with formula (3.8) $M_{con} = M f_d$. Therefore $M_{con,i} = M f_d \mu_{i,s}$. In the last expression, we $\mu_{i,s}$ substitute its value from (10). As a result, we get

$$M_{con,i} = M f_d \frac{\mu_{0i,s}}{f_d + (1 - f_d) f_i P^{-1}}. \quad (11)$$

If the condensate contains N_{con} components, then at the exit from the C-2 separator (Fig. 1), we will have the following total number of moles of condensate

$$M_{con}^{(out)} = \sum_{i=1}^{N_{con}} M_{con,i}.$$

After taking into account the value $M_{con,i}$ determined by formula (11), we obtain

$$M_{con}^{(out)} = M f_d \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s}}{f_d + (1 - f_d) f_i P^{-1}}. \quad (12)$$

It is obvious that the number of moles of gas at the outlet of separator C-2 is the difference between the total number of moles of the gas mixture and the number of moles of condensate, i.e.

$$M_g^{(out)} = M - M_{con}^{(out)}.$$

Since the value $M_{con}^{(out)}$ is calculated by formula (12), then

$$M_g^{(out)} = M \left(1 - f_d \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s}}{f_d + (1 - f_d) f_i P^{-1}} \right).$$

Denote by the η_i weight concentration of each component of the mixture entering the C-2 separator. Let the $\mu_{w,i}$ molar mass of i -th component of the mixture. Then the mass of i -th component in the mixture will be as follows:

$$G_i = \eta_i G_c, \quad (13)$$

where G_c - the total mass of the mixture entering the C-2 separator (Fig. 1), and the



total number of moles i – of the component in the mixture can be calculated as follows:

$$M_i = \frac{G_i}{\mu_{w,i}}. \quad (14)$$

If N_c the number of components in the mixture entering the C-2 separator, then the total number of moles will be as follows:

$$M = \sum_{i=1}^{N_c} M_i.$$

Taking into account what is M_i calculated by formula (14), we will have

The value M_i can be found using formula (14). Then the last ratio will be:

$$M = \sum_{i=1}^{N_c} \frac{G_i}{\mu_{w,i}}.$$

Since G_i can be found by formula (3.14), then

$$M = G_c \sum_{i=1}^{N_c} \frac{\eta_i}{\mu_{w,i}}. \quad (15)$$

By analogy with formula (12), we can claim that

$$M_{con}^{(in)} = M f_d \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s}}{f_d + (1-f_d) f_i P^{-1}}, \text{ but in this case the total number of moles should}$$

be calculated according to (3.16). So,

$$M_{con}^{(in)} = G_c f_d \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\eta_j}{\mu_{w,j}} \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s}}{f_d + (1-f_d) f_i P^{-1}}.$$

Now we will find the amount of condensate entering separator 4 (Fig. 3.1)

$$G_w^{(in)} = G_c f_d \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\eta_j}{\mu_{w,j}} \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s} \mu_{w,i}}{f_d + (1-f_d) f_i P^{-1}}. \quad (16)$$

Let's move from the total amount of condensate to mass consumption. For this purpose, we introduce the following designations: m_{con} - the mass of condensate entering the C-2 separator per unit of time; m_{mix} - mass flow rate of the mixture at the inlet of the C-2 separator. Then, based on formula (16), we can write

$$m_{con} = m_{mix} f_d \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\eta_j}{\mu_{w,j}} \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s} \mu_{w,i}}{f_d + (1-f_d) f_i P^{-1}}. \quad (17)$$

the following relationship exists $m_{mix} = m_{con} + m_g$ between the mass flow rates of the mixture m_{mix} and gas: m_g , then $m_g = m_{mix} - m_{con}$, or, taking into account (3.18), we have

$$m_g = m_{mix} (1-f_d) \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\eta_j}{\mu_{w,j}} \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s} \mu_{w,i}}{f_d + (1-f_d) f_i P^{-1}}. \quad (18)$$

There is a certain amount of water in the gas mixture that enters the C-2 unit for separation (Fig. 1). Its maximum amount is characterized by moisture content. This indicator depends on the dew point of the mixture. The dew point is determined by the temperature at which the gas becomes saturated at a given pressure. If the system (gas mixture) is in an equilibrium state, then the moisture content of the gas is calculated according to the Bukachek's formula



$$b_{mc} = a_{m,1} / P + a_{m,2},$$

where $a_{m,1}$ and $a_{m,2}$ are empirical coefficients.

mass of water that entered the separator can be determined by the known value of the moisture content b_{mc}

$$m_w = b_{mc} m_{mix}^{(v)},$$

where $m_{mix}^{(v)}$ is the volume flow of water in the initial mixture. Since it is massive m_{mix} and voluminous $m_{mix}^{(v)}$ costs are related by the ratio $m_{mix}^{(v)} = m_{mix} / \rho_{mix}$, where ρ_{mix} is the density of the initial gas mixture, then

$$m_w = b_{mc,1} m_{mix} / \rho_{mix}. \quad (19)$$

The density ρ_{mix} is calculated according to the following formula:

$$\rho_{mix} = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_c} \mu_{0i,s} \mu_{w,i},$$

where N_A is Avogadro's number.

To prevent water formation, glycol (Fig. 1) is supplied to separator 4 in quantity

$$m_{gl} = \frac{\Delta m_w z_2}{z_1 - z_2}, \quad (20)$$

where z_1 , are z_2 the relative units of the amount of glycol at the inlet of the heat exchanger T1 and at the outlet of the separator C-2 (Fig. 1).

Under the influence of glycol in the gas flow at the exit from separator 4, the amount of moisture changes by the following amount:

$$\Delta m_w = m_w - m_w^{(2)},$$

where $m_w^{(2)}$ is the amount of moisture in the gas at the exit from the separator, per unit of gas.

value $m_w^{(2)}$ using a formula similar to (19), i.e

$$m_w^{(2)} = b_{mc,2} m_{mix} / \rho_{mix}. \quad (21)$$

After taking into account formulas (19) and (21), we get

$$\Delta m_w = (b_{mc,1} - b_{mc,2}) m_{mix} / \rho_{mix},$$

or

$$\Delta m_w = \Delta b_{mc} m_{mix} / \rho_{mix}, \quad (22)$$

where $\Delta b_{mc} = b_{mc,1} - b_{mc,2}$

Knowing Δm_w , we can calculate

$$m_{gl} = \frac{\Delta b_{mc} m_{mix} z}{\rho_{mix}}, \quad (23)$$

where $z = \frac{z_2}{z_1 - z_2}$

The obtained values m_{mix} , m_w and m_{gl} , make it possible to calculate the mass flow rate of the mixture entering the inlet of the C-2 separator



$$m = m_{mix} + m_w + m_{gl}.$$

After taking into account the components m_w and m_{gl} , included in the last formula, we get

$$m = m_{mix} \left(1 + \frac{1}{\rho_{mix}} (b_{mc,1} + \Delta b_{mc} z) \right).$$

From here

$$m_{mix} = m \left(1 + \frac{1}{\rho_{mix}} (b_{mc,1} + \Delta b_{mc} z) \right)^{-1}.$$

Taking into account that $b_{mc,1} = a_{m,1}^{(1)} / P_1 + a_{m,2}^{(1)}$ and $b_{mc,2} = a_{m,1}^{(2)} / P + a_{m,2}^{(2)}$, we introduce the following notation: $\theta(P, P_1) = \left(1 + \frac{1}{\rho_{mix}} (b_{mc,1} + \Delta b_{mc} z) \right)^{-1}$. Then

$$m_{mix} = m \theta(P, P_1). \quad (24)$$

Formula (24) determines the material balance for the gas mixture entering the C-2 separator.

In fig. 2 shows the scheme of material flows of the installation of the second stage of separation, from which it follows that $m_g^{(2)} = m_g + m_w^{(g)}$

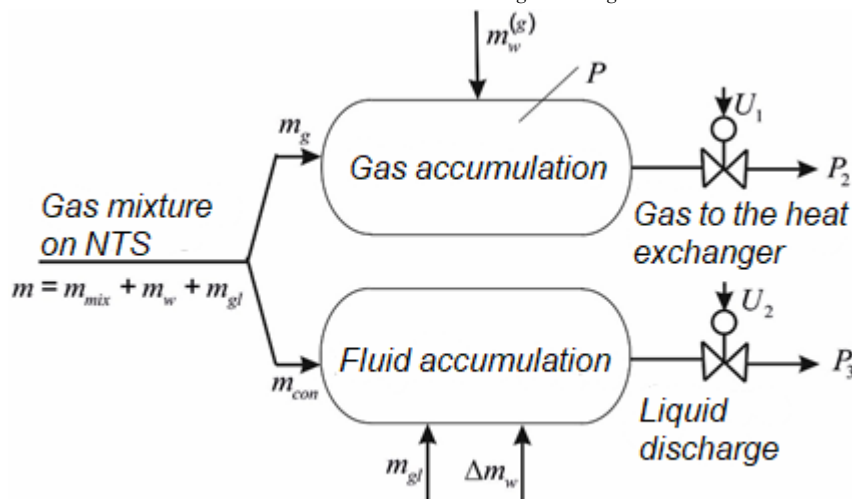


Figure. 2. Scheme of material flows of the NTS installation

The gas obtained as a result of separation in quantity m_g per unit of time should be calculated according to formula (18). By analogy with formula (19), we find

$$m_w^{(g)} = \frac{m_{mix} b_{mc,2}}{\rho_{mix}}.$$

Since it m_g is calculated according to formula (18), then

$$m_g^{(2)} = m_{mix} \left((1 - f_d) \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\eta_j}{\mu_{w,j}} \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s} \mu_{w,i}}{f_d + (1 - f_d) f_i P^{-1}} + \frac{b_{mc,2}}{\rho_{mix}} \right).$$

Considering formula (22), we have



$$m_g^{(2)} = \theta(P, P_1) \left((1 - f_d) \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\eta_j}{\mu_{w,j}} \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s} \mu_{w,i}}{f_d + (1 - f_d) f_i P^{-1}} + \frac{b_{mc,2}}{\rho_{mix}} \right) m. \quad (25)$$

Let's enter the following notation:

$$\varepsilon_g(P, P_1) = \theta(P, P_1) \left((1 - f_d) \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\eta_j}{\mu_{w,j}} \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s} \mu_{w,i}}{f_d + (1 - f_d) f_i P^{-1}} + \frac{b_{mc,2}}{\rho_{mix}} \right).$$

Then (25) will take the following form:

$$m_g^{(2)} = \varepsilon_g(P, P_1) m. \quad (26)$$

The value $\varepsilon_g(P, P_1)$ is called the gas separation coefficient [5].

The amount of liquid phase formed as a result of separation is determined by analogy to formula (26). Therefore, (Fig. 2),

$$m_{lq}^{(2)} = m_{con} + m_{dl} + \Delta m_w.$$

The components placed on the right side of the last equation are determined by formulas (17), (22) and (23). Ago

$$m_{lq}^{(2)} = m_{mix} \left(f_d \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\eta_j}{\mu_{w,j}} \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s} \mu_{w,i}}{f_d + (1 - f_d) f_i P^{-1}} + \frac{\Delta b_{mc}(z+1)}{\rho_{mix}} \right).$$

After taking formula (24) into account, we get

$$m_{lq}^{(2)} = \theta(P, P_1) \left(f_d \sum_{j=1}^{N_c} \frac{\eta_j}{\mu_{w,j}} \sum_{i=1}^{N_{con}} \frac{\mu_{0i,s} \mu_{w,i}}{f_d + (1 - f_d) f_i P^{-1}} + \frac{\Delta b_{mc}(z+1)}{\rho_{mix}} \right) m.$$

We write the last formula in the following form:

$$m_{lq}^{(2)} = \varepsilon_{lq}(P, P_1) m, \quad (27)$$

where is the coefficient of separation of water from gas [5].

Equations (26) and (27) describe the equilibrium state of the low-temperature separation process, provided that the temperature regime in the separator is unchanged.

The mathematical model of the low-temperature separation process is based on the material balance equation.

If M_{sb} the mass of the substance that is in the container, a m_{ci} mass flow fed into the container or leaving it, then

$$\frac{dM_{sb}}{dt} = \sum_{i=1}^n m_{ci}. \quad (28)$$

In formula (28), the value m_{ci} must be taken with a "plus" sign when the flow is directed into the container and with a "minus" sign if the flow leaves the container.

Let's write equation (28) for the liquid in separator C-2 (Fig. 2). We will calculate the value according to the following formula: M_{sb}

$$M_{sb} = V_{lp} \rho_{lp},$$

where ρ_{lp} is the average density of the liquid phase.

The liquid volume V_{lp} is a function of the liquid level H in the container and its appearance depends on the spatial location of the C-2 separator (Fig. 1). Let V_0 the



full volume of the separator. Denote by the v degree of separator filling [9]

$$v(H) = \frac{V_{lp}(H)}{V_0}.$$

Then

$$M_{sb} = V_0 v(H) \rho_{lp}. \quad (29)$$

The flow of raw materials at the entrance to the C-2 separator (Fig. 1) contains gas, condensate, and moisture, which, as a result of separation, pass into the liquid phase. Formula (3.3) provides a quantitative estimate of the liquid phase.

The consumption of raw materials at the entrance to the C-2 separator (Fig. 1), which is in a gaseous state, will be calculated according to the following formula:

$$m = \alpha \sqrt{K_g (P_1 - P) P_1}, \quad (30)$$

where α is the flow rate.

The coefficient K_g can be calculated using the following expression:

$$K_g = (514C)^2 \frac{\rho_g}{T},$$

where C is a constant value; ρ_g - gas density at $t = 20^\circ \text{C}$; $\rho_g = 0,7 \text{ kg} / \text{m}^3$; T - gas temperature in K.

Therefore, the arrival of the flow to the separator will be as follows:

$$m_{c1} = \varepsilon_{lq}(P, P_1) m,$$

We will calculate the total mass flow rate according to formula (30). Then

$$m_{c1} = \alpha \varepsilon_{lq}(P, P_1) \sqrt{K_g (P_1 - P) P_1}. \quad (31)$$

The flow leaving the separator is characterized by mass flow m_{c1} , which can be calculated using the formula

$$m_{c2} = \alpha_2(U_2) \sqrt{g \rho_{lp} H + P}, \quad (32)$$

where $\alpha_2(U_2)$ is the cost factor, which is a function of the position of the regulatory body.

Taking into account formulas (29) – (32), expression (28) will be as follows:

$$\frac{dv(H)}{dt} = \frac{1}{V_0 \rho_{lp}} \left(\alpha \varepsilon_{lq}(P, P_1) \sqrt{K_g (P_1 - P) P_1} - \alpha_1(U_1) \sqrt{g \rho_{lp} H + P - P_3} \right). \quad (33)$$

Let's find the mass of gas in separator C-2. For a real gas that occupies a volume of V_g , the ratio is valid

$$PV_g = z_{gc} M_g R_g T, \quad (34)$$

where V_g is the gas volume in the separator; z_{gc} - compressibility coefficient; R_g - gas table; T - gas temperature.

The calculation of the compressibility coefficients of natural gas z_{gc} was carried out using the Benedict-Webb-Ravin equation [10] at the gas density under normal conditions [11] $\rho_{st} = 0,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



From equation (34) we find $M_g = \frac{PV_g}{z_{gc}R_gT}$.

The gas in the C-2 separator occupies only a part of the total volume V_0 , i.e. $V_g = V_0 - V_{lp}$. Taking into account the value of $V_{lp} = V_0 v(H)$, we get $V_g = V_0(1 - v(H))$

Taking into account the value of V_g , we find the mass of gas in the C-2 separator

$$M_g = \frac{PV_0(1 - v(H))}{z_{gc}R_gT}. \quad (35)$$

The gas flow into the C-2 separator can be calculated using formula (26), i.e.

$$m_{g1} = \varepsilon_g(P, P_1)m,$$

where m is calculated by formula (30).

So,

$$m_{g1} = \alpha \varepsilon_g(P, P_1) \sqrt{K_g(P_1 - P)P_1}. \quad (36)$$

Gas consumption from the C-2 separator to the pipeline will be as follows:

$$m_{g2} = \alpha_1(U_1) \sqrt{K_g(P - P_2)P}, \quad (37)$$

where $\alpha_1(U_1)$ is the cost factor, which is a function of the position of the regulatory body.

Formulas (36) – (37) make it possible to obtain a mathematical model for the gas fraction, i.e.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{PV_0(1 - v(H))}{z_{gc}R_gT} \right) = \alpha \varepsilon_g(P, P_1) \sqrt{K_g(P_1 - P)P_1} - \alpha_1(U_1) \sqrt{K_g(P - P_2)P}.$$

We assume that z_{gc} , R_g and T - constant quantities. Then

$$\frac{d(P(1 - v(H)))}{dt} = \gamma_g \left(\alpha \varepsilon_g(P, P_1) \sqrt{K_g(P_1 - P)P_1} - \alpha_1(U_1) \sqrt{K_g(P - P_2)P} \right), \quad (38)$$

where $\gamma_g = \frac{z_{gc}R_gT}{V_0}$ -

The degree of filling of the separator depends on the shape of the separator and its position in space.

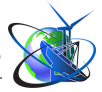
In equation (33), we calculate $\frac{dv(H)}{dt} = \frac{\partial v(H)}{\partial H} \cdot \frac{dH}{dt}$. Given the formula

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{V_0 \rho_{lp} q_p(H)} \left(\alpha \varepsilon_{lq}(P, P_1) \sqrt{K_g(P_1 - P)P_1} - \alpha_2(U_2) \sqrt{g \rho_{lp} H + P} \right), \quad (39)$$

where $q_p(H) = \frac{\partial v(H)}{\partial H}$.

Now let's calculate $\frac{d(P(1 - v(H)))}{dt} = (1 - v(H)) \frac{dP}{dt} - P \frac{dv(H)}{dt}$. On the other

hand, $\frac{d(P(1 - v(H)))}{dt}$ this is the right-hand side of equation (38). Ago



$$(1 - v(H)) \frac{dP}{dt} = P \frac{dv(H)}{dt} + \gamma_g \left(\alpha_{\varepsilon_g}(P, P_1) \sqrt{K_g(P_1 - P)P_1} - \alpha_1(U_1) \sqrt{K_g(P - P_2)P} \right).$$

Instead $\frac{dv(H)}{dt}$, let's substitute its value from equation (33), i.e

$$(1 - v(H)) \frac{dP}{dt} = \frac{P}{V_0 \rho_{lp}} \left(\alpha_{\varepsilon_{lq}}(P, P_1) \sqrt{K_g(P_1 - P)P_1} - \alpha_2(U_2) \sqrt{g \rho_{lp} H + P} \right) + \gamma_g \left(\alpha_{\varepsilon_g}(P, P_1) \sqrt{K_g(P_1 - P)P_1} - \alpha_1(U_1) \sqrt{K_g(P - P_2)P} \right).$$

We write the obtained differential equation in the following form:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{1 - v(H)} \left(\gamma_g \left(\alpha_{\varepsilon_g}(P, P_1) \sqrt{K_g(P_1 - P)P_1} - \alpha_1(U_1) \sqrt{K_g(P - P_2)P} \right) + \frac{P}{V_0 \rho_{lp}} \left(\alpha_{\varepsilon_{lq}}(P, P_1) \sqrt{K_g(P_1 - P)P_1} - \alpha_2(U_2) \sqrt{g \rho_{lp} H + P} \right) \right). \quad (40)$$

Differential equations (39) and (40) form a mathematical model of the low-temperature separation process.

Mathematical models (39) and (40) are nonlinear with respect to input and output values. We assume that the means of automation provide small deviations of the regulated values from the given (established) values. In such a case, the nonlinear functions included in models (39) and (40) can be expanded into a Taylor series, keeping only the linear terms of the expansion.

We will mark fixed values of input and output values with superscripts "0". Let $H = H^{(0)} + \Delta H$, $P = P^{(0)} + \Delta P$, $U_1 = U_1^{(0)} + \Delta U_1$, $U_2 = U_2^{(0)} + \Delta U_2$, $P_1 = P_1^{(0)} + \Delta P_1$, $P_2 = P_2^{(0)} + \Delta P_2$

system of differential equations (39) and (40) in vector form

$$\frac{d\bar{X}}{dt} = \bar{\varphi}(\bar{X}, \bar{U}, \bar{\zeta}), \quad (41)$$

where $\bar{X} = \begin{bmatrix} H \\ P \end{bmatrix}$ is the vector of initial values; $\bar{U} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$ - vector of control actions;

$\bar{\zeta} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix}$ - disturbance vector; $\bar{\varphi}(\bar{X}, \bar{U}, \bar{\zeta}) = \begin{bmatrix} \varphi_1(\bar{X}, \bar{U}, \bar{\zeta}) \\ \varphi_2(\bar{X}, \bar{U}, \bar{\zeta}) \end{bmatrix}$ - the vector function of the

right parts of the system of differential equations (39) and (40).

If the nonlinear function $\bar{\varphi}(\bar{X}, \bar{U}, \bar{\zeta})$ is expanded into a Taylor series, limiting itself only to the linear terms of the expansion, then

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = A\bar{x} + B\bar{u} + \Gamma\bar{\zeta}, \quad (42)$$

$$\bar{y} = C\bar{x}, \quad (43)$$

where $A = J_{\varphi x}(\bar{X}^{(0)}, \bar{U}^{(0)}, \bar{\zeta}^{(0)})$, $B = J_{\varphi u}(\bar{X}^{(0)}, \bar{U}^{(0)}, \bar{\zeta}^{(0)})$, $\Gamma = J_{\varphi \zeta}(\bar{X}^{(0)}, \bar{U}^{(0)}, \bar{\zeta}^{(0)})$ -



matrices of partial derivatives (Jacobi matrices) ; $\bar{x} = \Delta \bar{X}$; $x_1 = \Delta H$; $x_2 = \Delta P$; $\bar{u} = \Delta \bar{U}$; $u_1 = \Delta U_1$; $u_2 = \Delta U_2$; $\bar{\zeta} = \Delta \bar{\zeta}$; $\zeta_1 = \Delta P_1$; $\zeta_2 = \Delta P_2$; $\bar{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$ - vector of state variables; $\bar{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$ - vector of control actions; $\bar{\zeta} = \begin{bmatrix} \zeta_1 \\ \zeta_2 \end{bmatrix}$ - disturbance vector; $\bar{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$ - vector of initial values; C - unit matrix.

Equations (42) and (43) are a linearized mathematical model of the low-temperature separation process, in which the elements of the matrices A , B and Γ are calculated at fixed values $\bar{X} = \bar{X}^{(0)}$, $\bar{U} = \bar{U}^{(0)}$ and $\bar{\zeta} = \bar{\zeta}^{(0)}$ _

Since the differential equations are written in increments of relatively constant values, the initial conditions are zero.

The calculation of the parameters of the linearized mathematical model was carried out with the following input data: the total flow of gas entering the separation - $m = 2.3576 \text{ kg/s}$; the amount of condensate released $m_{con} = 1.1574 \text{ kg/s}$; gas pressure before the C-2 separator (Fig. 1) $P_1 = 13.6 \text{ MPa}$; pressure in separator C-2 $P = 5.3 \text{ MPa}$; pressure at the entrance to the third stage of separation $P_2 = 1.2 \text{ MPa}$; gas temperature at the inlet to the separator C-2 $T_{in} = 17^\circ \text{C}$; temperature in separator C-2 $T = -21^\circ \text{C}$; the dew point of the gas in terms of humidity at a pressure of 4 MPa no more than 4°C ; the diameter of the low-temperature separator $d_s = 1.0 \text{ m}$; condensate level in the separator $H^{(0)} = 0.6 \text{ m}$.

following relationship exists between the diameter of the separator and its length $d_s [12]: \frac{L_s}{d_s} = 3$ Since the pressure in separator 4 is 5.3 MPa , the gas behavior in the separator will be determined by formula (34). Using the software created in the MatLab environment, the gas compressibility coefficient was calculated: $Z = 0.8150$.

The moisture content of the gas will be determined by the Byukachek formula. The coefficients a_{m1} and a_{m2} according to [13] are as follows:

$$a_{m1} = \frac{0,457}{1,42} \cdot \exp(0,0735t - 0,27 \cdot 10^{-3} t^2),$$

$$a_{m2} = 0,0418 \cdot \exp(0,054t - 0,2 \cdot 10^{-3} t^2),$$

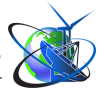
where is t - the temperature $^\circ \text{C}$

will a_{m2} determine by known coefficients a_{m1}

$$\theta(P, P_1) = \left(1 + \frac{1}{\rho_{mix}} (b_{mc,1} + \Delta b_{mc} z) \right)^{-1},$$

$$\text{where } b_{mc,1} = \frac{a_{m1}^{(1)}}{P_1} + a_{m2}^{(1)} - \Delta b_{mc} = \frac{a_{m1}^{(1)}}{P_1} - \frac{a_{m1}^{(2)}}{P} + a_{m2}^{(1)} - a_{m2}^{(2)}.$$

We accept [5] : $z = 0,2$;



The chemical composition of the gas entering the low-temperature separation is borrowed from the work [14], using these data, the molar mass of the gas was determined by the formula: $q_M = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{n_M} \mu_{q,i} v_{q,i}$, where $\mu_{q,i}$ is the molar mass of the i -th component of the gas, kg/kmol; $v_{q,i}$ - volume fractions of gas components, %. After calculations, we got: $q_M = 20.0221 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$. The density of natural gas under normal

physical conditions will be as follows [11]: $\rho_0 = \frac{q_M}{22,4}$. Taking into account the obtained value q_M , we find that $\rho_0 = 0.8325 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. The gas density for separation conditions can be calculated using the formula [15]: $\rho_g = \rho_0 \frac{273P}{0,1013 \cdot (273 + T)}$, where P is the gas pressure in the separator, MPa; T - the temperature of the gas in the separator, °C. Taking into account the values of P and T , we get: $\rho_g = 47.1871 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

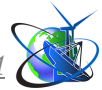
The consumption of gas leaving the separator is defined as the difference between the total consumption m and the condensate consumption m_{con} , i.e. $m_g = m - m_{\text{con}}$. Taking into account the values m and m_{con} obtained: $m_g = 1.2202 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$. We determine the number of moles (per second) that went to separation $M = \frac{m}{q_M}$.

After substituting numerical values into m the q_M last formula, we obtained: $M = 0.1177 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$. Number of moles of gas formed as a result of separation: $M_g = \frac{m_g}{q_M}$. Since the numerical values of m_g and are known q_M , then: $M_g = 0.0609 \frac{\text{kmol}}{\text{s}}$. From formula (3.9) we find: $f_d = 1 - \frac{M_g}{M}$.

According to the known values M_g , M the following result was obtained: $f_d = 0.4824$.

Formula (39) can also be written for the mass flow rate of the m gas mixture: $M = m \sum_{i=1}^{N_c} \frac{\eta_i}{\mu_{w,i}}$, where M - is the number of moles per second. From the last equation we determine $\sum_{i=1}^{N_c} \frac{\eta_i}{\mu_{w,i}} = \frac{M}{m}$. After substituting the corresponding values in the last formula, we get $q_f = \sum_{i=1}^{N_c} \frac{\eta_i}{\mu_{w,i}} = 0.0499 \frac{\text{kmol}}{\text{kg}}$.

Gas condensate is a liquid that is separated from natural gas in the process of low-temperature separation, and is a mixture of hydrocarbons that contain more than



4 carbon atoms.

It was assumed that the mixture of gases and condensate obey the laws of ideal solutions. Ago

$$\frac{f_i}{P} = 1.$$

Taking into account the assumption made, the formula for determining ε_{lq} , will take the following form:

$$\varepsilon_{lq}(P, P_1) = \theta(P, P_1) \left(f_d q_f \sum_{i=1}^{N_{con}} \mu_{0i,s} \mu_{w,i} + \frac{\Delta b_{mc}(z+1)}{\rho_{mix}} \right).$$

Let's introduce the following notation:

$$S_\mu = \sum_{i=1}^{N_{con}} \mu_{0i,s} \mu_{w,i}.$$

Taking into account the accepted notation, we will have

$$\varepsilon_{lq}(P, P_1) = \theta(P, P_1) \left(f_d q_f S_\mu + \frac{10^{-3} \cdot \Delta b_{mc}(z+1)}{\rho_{mix}} \right). \quad (44)$$

After the calculations, we got the following value:

$$S_\mu = 78,862 \frac{kg}{kmol}.$$

Since the moisture content, which is calculated according to Bukachek's formula, has a dimension of g / m^3 , then in order to reconcile the dimension of the moisture content b_{mc} with the dimension of the density ρ_{mix} in formula (44) the multiplier is entered 10^{-3} . Then the moisture content will have the dimension $\frac{kg}{m^3}$.

We will obtain a similar formula for determining the gas separation coefficient

$$\varepsilon_g(P, P_1) = \theta(P, P_1) \left((1 - f_d) q_f S_\mu + \frac{10^{-3} \cdot b_{mc,2}}{\rho_{mix}} \right). \quad (45)$$

Now let's move on to the determination of the numerical values of the values of the models of the dynamics of the separation process.

Let's write equation (30) for the steady state (superscripts "0" denote values of values in the steady state). We have $\alpha \sqrt{K_g (P_1^{(0)} - P^{(0)}) P_1^{(0)}} = m$:

$$\text{From the last equation we find: } \alpha_K = \alpha K_g^{1/2} = \frac{m}{\sqrt{(P_1^{(0)} - P^{(0)}) P_1^{(0)}}}.$$

Taking into account the numerical values of the corresponding quantities, we will have: $\alpha_K = 0.1906 \frac{kg}{s \cdot MPa}$.

Static characteristics of regulatory bodies $\alpha_i(U_i), i=1, 2$ approximate by linear dependences $\alpha_i(U_i) \approx \alpha_{U,i} U_i, i=1, 2$. Formula (32) and (37) will be written for the



steady state

$$m_{g2} = \alpha_1 \left(U_1^{(0)} \right) K_g^{1/2} \sqrt{\left(P^{(0)} - P_2^{(0)} \right) P^{(0)}}, \quad (46)$$

$$m_{c2} = \alpha_2 \left(U_2^{(0)} \right) \sqrt{g \rho_{lp} H^{(0)} + P^{(0)}}, \quad (47)$$

From equation (46) we find

$$\alpha_G = \alpha_1 \left(U_1^{(0)} \right) K_g^{1/2} = \frac{m_{g2}}{\sqrt{\left(P^{(0)} - P_2^{(0)} \right) P^{(0)}}}.$$

We assume that $U_1^{(0)} = 0,06 \text{ MPa}$.

Taking into account the linear dependence of the static characteristic of the regulatory body, we obtain the following equation: $\alpha_G = \alpha_{U,1} U_1^{(0)}$. From here we find

$$\alpha_{U,1} = \frac{\alpha_G}{U_1^{(0)}}.$$

Taking into account the corresponding numerical values, we will have:

$$\alpha_{U,1} = 4.3626 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot (\text{MPa})^2}.$$

Let's solve equation (3.24) with respect to $\alpha_{con} = \alpha_2 \left(U_2^{(0)} \right) = \frac{m_{c2}}{\sqrt{g \rho_{lp} H^{(0)} + P^{(0)}}}.$

Since $\alpha_{con} = \alpha_{U,2} U_2^{(0)}$, then $\alpha_{U,2} = \frac{\alpha_{con}}{U_2^{(0)}}$. We accept: $U_1^{(0)} = U_2^{(0)} = 0.06 \text{ MPa}$

The density of condensate is as follows [14]: $\rho_{lp} = 743,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$

After taking into account the corresponding numerical values, the following result was obtained: $\alpha_{U,2} = 8.2005 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot (\text{MPa})^2}.$

Now let's find the numerical value γ_g , which is calculated according to the following formula: $\gamma_g = \frac{z_{gc} R_g T}{V_0}$. Since the container has a cylindrical shape,

then $V_0 = \pi r_s^2 L_s$.

So, $\gamma_g = 33,0448 \text{ 1/(m} \cdot \text{s}^2 \text{)}.$

After the assumptions made and the notations entered, the mathematical model of the dynamics of the low-temperature separation process will be as follows:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{V_0 \rho_{lp} q_p(H)} \left(\alpha_K \varepsilon_{lq}(P, P_1) \sqrt{(P_1 - P) P_1} - \alpha_{U,2} U_2 \sqrt{g \rho_{lp} H + P} \right); \quad (48)$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{1 - v(H)} \left(\gamma_g \left(\alpha_K \varepsilon_g(P, P_1) \sqrt{(P_1 - P) P_1} - \alpha_{U,1} U_1 \sqrt{(P - P_2) P} \right) + \right.$$



$$+ \frac{P}{V_0 \rho_{lp}} \left(\alpha_K \varepsilon_{lq}(P, P_1) \sqrt{(P_1 - P) P_1} - \alpha_{U,2} U_2 \sqrt{g \rho_{lp} H + P} \right), \quad (49)$$

where $\varepsilon_{lq}(P, P_1) = \theta(P, P_1) \left(f_d q_f S_\mu + \frac{10^{-3} \cdot \Delta b_{mc}(z+1)}{\rho_{mix}} \right) -$

$$\varepsilon_g(P, P_1) = \theta(P, P_1) \left((1 - f_d) q_f S_\mu + \frac{10^{-3} \cdot b_{mc,2}}{\rho_{mix}} \right).$$

Mathematical models (48) and (49) were linearized relative to the established values of $H^{(0)}$, $P^{(0)}$, $P_1^{(0)}$, $P_2^{(0)}$, $U_1^{(0)}$ and $U_2^{(0)}$. For this, we used a program created in the MatLab environment. After calculations, we got the following result:

PARAMETERS OF THE LINEARIZED MATHEMATICAL MODEL

Elements of matrix A

$$\begin{aligned} a11 &= -1.8075e-02 & a12 &= 5.5433e-05 \\ a21 &= 1.1670e+03 & a22 &= -4.9400e+01 \end{aligned}$$

Elements of matrix B

$$\begin{aligned} b11 &= 0.0000e+00 & b12 &= 2.4836e-01 \\ b21 &= 1.9944e+03 & b22 &= 4.3962e+00 \end{aligned}$$

Elements of the Gama matrix

$$\begin{aligned} gm11 &= 6.4585e-05 & gm12 &= 0.0000e+00 \\ gm21 &= 3.8864e+01 & gm22 &= 1.4593e+01 \end{aligned}$$

Let's find the matrix transfer functions of the low-temperature separation process. To do this, let's transform the linearized mathematical model (42) and (43) according to Laplace with zero initial conditions. So,

$$\bar{Y}(p) = C(Ip - A)^{-1} (B\bar{U}(p) + \Gamma\bar{\zeta}(p)). \quad (50)$$

Analysis of expression (50) shows that the dynamic properties of the separator, as an object of automatic control, is characterized by two matrix transfer functions: relative to the vector of control actions

$$W_{yu}(p) = C(Ip - A)^{-1} B \quad (51)$$

and relative to the perturbation vector

$$W_{y\zeta}(p) = C(Ip - A)^{-1} \Gamma.$$

If the matrix transfer function is known $W_{yu}(p)$, then

$$Y(p) = W_{yu}(p)U(p).$$

Since C is a unit matrix, then

$$W_{yu}(p) = (Ip - A)^{-1} B. \quad (52)$$

From the matrix equation (52), we find



$$w_{11}(p) = \frac{b_{11}p + a_{12}b_{21} - a_{22}b_{11}}{\Delta(p)}, \quad w_{12}(p) = \frac{b_{12}p + a_{12}b_{22} - a_{22}b_{12}}{\Delta(p)},$$

$$w_{21}(p) = \frac{b_{21}p + a_{21}b_{11} - a_{11}b_{21}}{\Delta(p)}, \quad w_{22}(p) = \frac{b_{22}p + a_{21}b_{12} - a_{11}b_{22}}{\Delta(p)}.$$

Based on the found transfer functions $w_{ij}(p)$, we will $i, j=1,2$ determine the value of the output values of the separator relative to the control actions

$$Y_1(p) = w_{11}(p)U_1(p) + w_{12}(p)U_2(p), \quad (53)$$

$$Y_2(p) = w_{21}(p)U_1(p) + w_{22}(p)U_2(p). \quad (54)$$

Taking into account the numerical data, the following transfer functions of the low-temperature separator were obtained:

$$w_{11}(p) = \frac{0.1106}{p^2 + 49.42p + 0.8282}; \quad w_{12}(p) = \frac{0.2484p + 12.27}{p^2 + 49.42p + 0.8282};$$

$$w_{21}(p) = \frac{1994p + 36.05}{p^2 + 49.42p + 0.8282}; \quad w_{22}(p) = \frac{4.396p + 289.9}{p^2 + 49.42p + 0.8282}.$$

Based on equations (53) and (54), a structural diagram of the separator as an object of automatic control was created (Fig. 3), from which it can be seen that there are cross-connections between inputs and outputs, which negatively affect the quality of the control process.

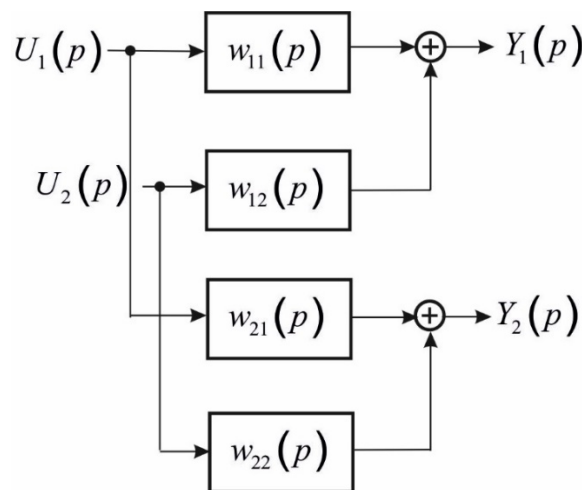


Figure. 3. Structural diagram of a low-temperature separator

Thus, the separator, as an object of automatic control, belongs to the class of multidimensional objects with internal cross connections, which complicates the task of automatic control of such an object. Therefore, the task of further research is the synthesis of an autonomous control system, which will make it possible to compensate for cross-connections and thereby significantly improve the quality of the control process.



Conclusions

1. On the basis of the law of conservation of the amount of matter, a mathematical model of the low-temperature separation process in terms of "input-output" was created, which is suitable for control purposes.
2. The linearization of the mathematical model of the low-temperature separation process was carried out under the condition that the deviations of the output values from the established values are insignificant, which made it possible to obtain the transfer functions of the controlled object and, based on their analysis, the presence of cross-connections between the input and output values was revealed, which is the basis for the synthesis of an automatic control system for the low-temperature separation process.

References

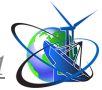
1. Kulinchenko G. V., Leontiev P. V., Lyaposhchenko O. O. Identification of a model of the process of low-temperature separation of natural gas. // Computer-integrated technologies: education, science, production. Lutsk, 2014. Vol. 14. P. 149–154.
2. Abramovich G. N. Applied gas dynamics. M.: Science. 1969. 824 p.
3. Savchenko O.O., Balinskyi O.S. Heating of natural gas using an energy separator at an operating gas distribution station // URL : <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/35d71acb-c02b-487f-860a-28eb2f95134b/content> . 2004. P. 169 – 173.
4. Reed R., Prausnitz J., Sherwood T. Properties of gases and liquids: trans. with English Leningrad: Chemistry, 1982. 592 p.
5. Gorbiychuk M. I. Modeling of objects and control systems in the oil and gas industry. Part 2. Ivano-Frankivsk: IFDTUNG, 1999. 226 p.
6. Gorbiychuk M. I., Kulinin N. L. Mathematical model of the low-temperature separation process // Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. – 2006. - No. 1 (13). - P. 88 - 92.
7. Lazuta I.V., Sukharev R.Yu. Technological processes, equipment and automation of oil and gas production: учеб. allowance Omsk: SybADI, 2015. 160 p.
8. Leontiev P.V. Automated control system for complex preparation of gas for transportation: autoref. thesis ... candidate technical Sciences: spec. 05.13.07. Kharkiv, 2021. 27 p.
9. Gorbiychuk M.I., Povarchuk D.D. Mathematical model of the control system of the two-stage oil separation process // Methods and devices of quality control. 2017. No. 2 (39). P. 107 - 116.
10. Compressor stations. Control of thermotechnical and environmental characteristics of gas pumping units: SOU 60.03-30019801-011:2004. officer kind. K.: DK "Ukrtransgaz", 2004. 117 p.
11. Susak O. M., Kasperovych V. K., Andriyshyn M. P. Pipeline gas transport: a textbook. Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2013. 345 p.
12. Kaspariyats K. S., Kuzin V. I., Grigoryan L. G. Processes and apparatuses for oil and gas field treatment facilities. Moscow: Nedra, 1977. 254 p.
13. Paranuk A. A. Development of methods for early detection of hydrate



formation in main gas pipelines and technological pipelines of compressor stations: author. dis. ... cand. tech. sciences: spec. 05/02/13. Krasnodar, 2014. 23 p.

14. Lyaposhchenko O. O. Theoretical foundations of the processes of inertial-filter separation: dis. ... Dr. tech. Sciences: 05.17.08. Sumi, 2016. 435 p.

15. L. M. Milshtein, S. I. Boyko, and E. P. Zaporozhets, Oil and Gas Separation Equipment. Reference manual. M.: Nedra, 1992. 236 p.



UDC 519.683.2

DEVELOPMENT FEATURES OF MOBILE APPS IN THE CONTEXT OF USER EXPERIENCE

Kutelmakh R.K.

c.i.s.,

ORCID: 0009-0008-6499-1161

Lviv Polytechnic National University, St. Bandery str. 12, Lviv, 79013

Abstract. A method of creating a UX pyramid for the unification of mobile app development in the context of user experience is proposed. The UX pyramid includes 5 levels - app mission, business goals, capabilities, capacity, users. This provides a basis for development strategies a user-friendly interface. The process of developing a user interface includes the stages of creating a persona, user stories, and scenarios. Such a user interface will clearly reflect the main functions of the mobile app and will meet the basic requirements for the design of interactive systems.

Key words: mobile app, UX, use-case, user interface, digital product, design, software, mobile platform, UX-pyramid, user story, persona, scenario

Introduction

Mobile devices surround us everywhere: at work, at home, in public transportation, educational, medical and sports institutions. This is a rapidly developing industry, and software development for mobile platforms is becoming more popular and accordingly, in demand every year. Today it is difficult to imagine life without a smartphone with applications for watching news on the Internet, editing documents, games and multimedia applications. Mobile devices with applications running on them make us mobile. Mobile platform is an operating system running on a mobile device such as a tablet or smartphone. The basic idea of a mobile operating system is the same as that of a conventional operating system. The main developers of mobile platforms and mobile devices are Google, Apple, Samsung, Xiaomi, Huawei.

Mobile apps

Today mobile apps are used not only for entertainment, but also for educational, medical, sports and corporate purposes. Mobile apps development is a process by which software is developed for portable devices. The software can be installed during development, downloaded by the user using various platforms for software distribution or be a Web application processed on the client or server side.

App store is a mobile application distribution platform often provided as a component of the operating system on a computer, smartphone or tablet. The app store usually takes the form of an online store where users can view different categories and genres, download and install them on their devices. Most app stores are controlled by their owners where app verification is required for compliance with certain requirements (for example, for quality and content), as well as a sales commission if the application is a paid one.

The key differences and problems that arise in the development of software for mobile platforms:

- designing user-friendly interface;
- creating tools and techniques that can:



- a) accelerate time of software product launch;
- b) provide application support in a rapidly changing environment.

The development of software products for mobile platforms today has a broad applicability of user experience combining elements of user psychology, business modeling, advertisement and design with the method of iterative prototyping of the user interface [1] with a gradual clarification of the requirements for the program product as a whole [2]. It is very important to identify the main criteria for combining technology, business goals and human values. With such an ‘overlap’, a product that harmoniously combines all the aspects, will be innovative.

Human-centered design

According to Human-centered design [2] methodology, the process of developing any interactive product, including software consists of the following gradual processes: Planning, Usage Context Definition, Requirements Definition, Prototyping, Evaluation. Figures 1 and 2 show diagrams of these processes according to ISO 9241-210:2010 “Human-centered design for interactive systems”.

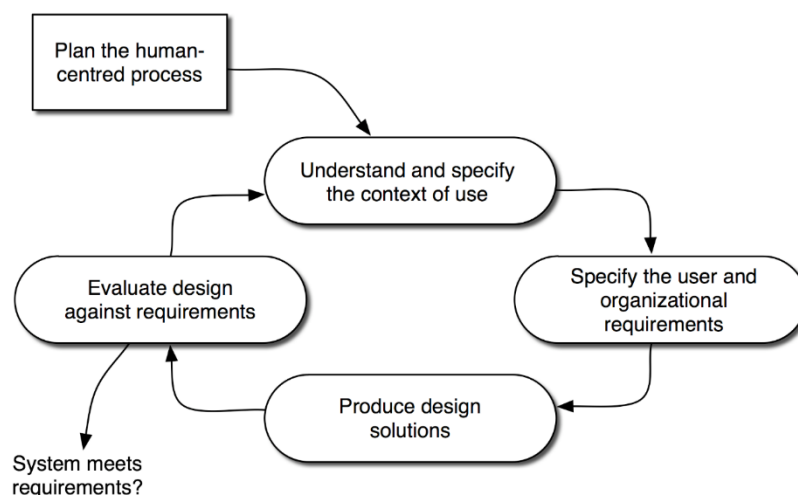


Figure 1 – Interactive program development diagram according to ISO 9241-210

The process of developing a digital product is carried out in the following sequence:

- market research;
- product design;
- UX design;
- visual design.

At the stage of market research, a study of analogues, markets, reviews, generation of ideas, discussion with the target audience, search for problems arising in the industry is carried out. At the stage of product design, a description is made - which functions will potentially be included in the product, which will not be included, which should be noted down. At the UX design stage, a UX pyramid (described below), scenarios, personas, use cases, user stories, interface solutions, wireframes, animation options, quick animated prototypes for testing, and visual design tasks are created. The last stage is visual design. It provides a visual presentation of the entire product; in the case of a successful design - the transition to the development phase.

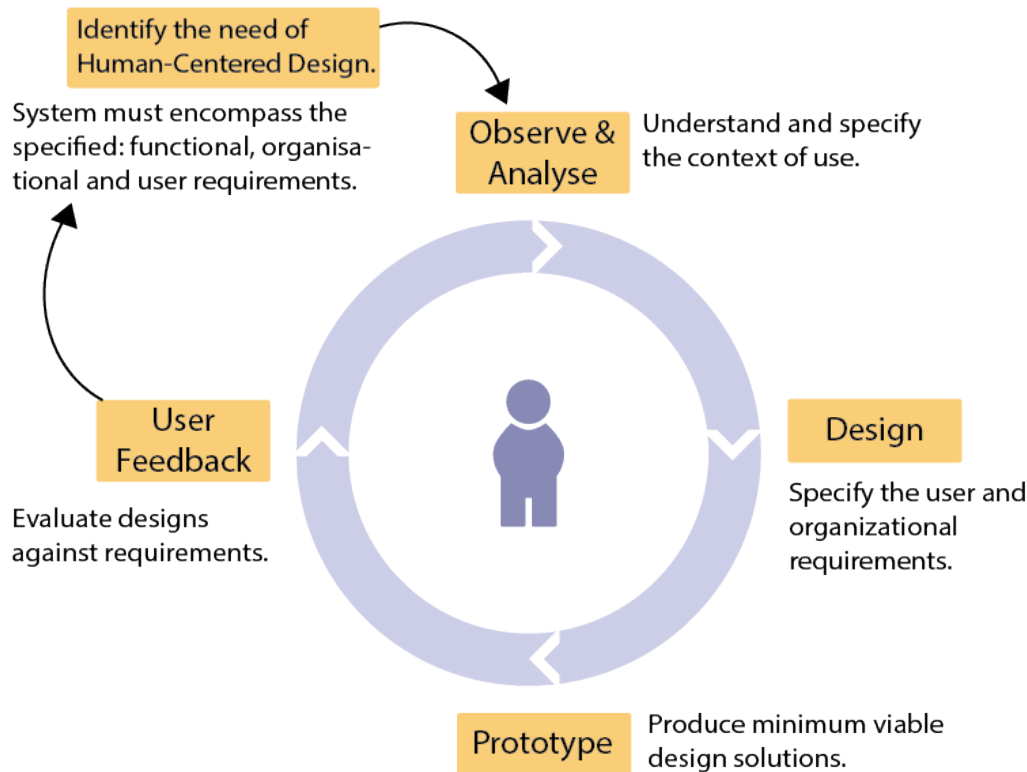


Figure 2 – Stages of developing an interactive product

Definition of the need to develop a new software product can be formulated according to the goals of a particular organization (commercial or non-commercial) based on its business goals, so called developed innovative ‘intentions’ [3] etc. Defining the context of use involves a detailed study of the behavior of the main target audience. Based on the studies, the initial requirements for the system are formulated and a minimum working (‘viable’) prototype is created. The next important stage is presenting it to the target audience or further improvement. The process continues iteratively until the product is launched on the market – the context of use may be specified, requirements may change.

An important characteristic of the user interface is convenience. Usability is the degree of efficiency, productivity and satisfaction, with which the product can be used by certain users to complete certain tasks in a certain context [2]. In turn, user experience is feelings and reaction of a person as a result of a particular product, system or service. When determining UX-requirements for a digital product, the rule of ‘People-Tasks-Context-Product’ is applied.

The concept of the user interface is closely related to the concept of design. The main conditions for a good mobile app design are:

- clarity and certainty of the goals;
- constant feedback when performing tasks;
- complexity of the tasks must correspond to the skills and abilities;
- full concentration on the goal and involvement in the tasks performed.

As tasks are completed in the mobile app, the user must constantly feel his approach to the goal. The interface must at each moment of time give an understanding that the user is on the right track and pursues the goal, and if it’s not



like that, how to return to that track. The content of the system screens should be such as to concentrate the user's attention rather than scatter it. For the user to get quality experience, the product should tell a story that is in harmony with the history of his life and will become something really important for him.

Iterative prototyping

According to the method of iterative prototyping of the user interface [1], the process is divided into three parts – 1) prototype development; 2) research on potential users; 3) analysis of results and evaluation of the current version. Prototyping is done to test interface ideas, save time and money on software development and get new ideas (make the user experience of the application better). The process is iterative – at the end of stage 3, stage 1 begins and this continues until the final version of the user interface is developed. At the stage of prototype development, it makes sense to ask the question – what should be real in the prototype? What could be artificial? In what context will users use it? The prototype has to have real ideas that will look real on the screen in your hands. Photos, texts, icons may be artificial. Users will use the app on the street on their iPhone. At the research stage of potential users, it is a good idea to ask the question – do you know how to perform such an action? Is it easy to perform such an action? How can we improve this? At the stage of analyzing the results, it is reasonable to ask the question – what works? What does not work? What new ideas does this give us? The prototype is shown exclusively to users for whom this product is intended. When communicating with potential users, it is not recommended to argue, defend ideas or reject them. Figure 3 shows the process of iterative prototyping.

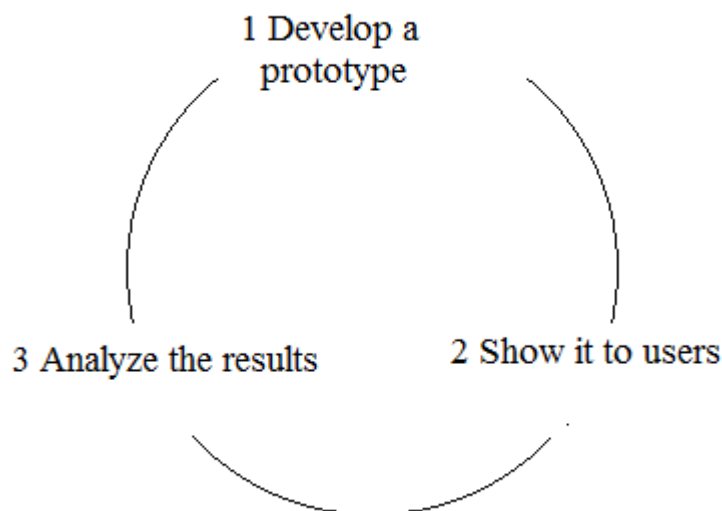


Figure 3 – Iterative prototyping

For the prototype, images, animations, interactive elements can be used. Efficient iterative prototyping allows you to minimize coding and reduce the total cost of developing a mobile application.

Proposed method

According to the methodology of user experience, the process of developing a prototype of mobile app includes:

- developing the mission, goals, capabilities, capacity of the product;



- research of potential users;
- creating a persona;
- writing scripts and contextual situations for a persona;
- designing interface solutions.

One of the effective approaches is to create a UX-pyramid (Fig. 4).

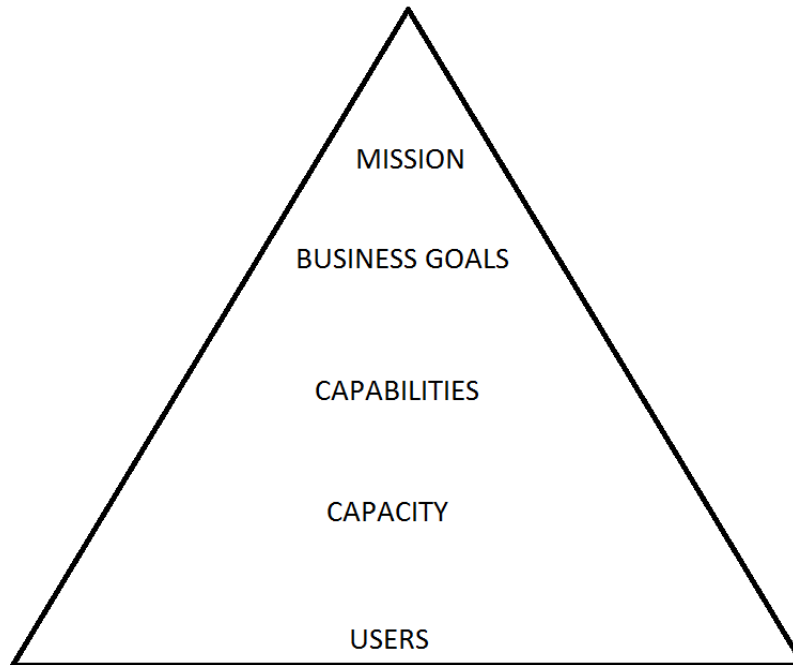


Figure 4 – UX-pyramid

Mission – For what bigger reason does this product exist?

Business goals – Why does it exist?

Capabilities – What will human being gain due to the functions of the product?

Capacity – What basic functions is it able to essentially perform?

Users – Who is our user?

It is very important at the stage of creating a mobile application to know well the characteristics of the target audience (TA). If we study it in detail, we can come to the conclusion that typical roles can be distinguished among the main segments of TA. The description of the roles so far does not say much about what the product should be. As a result, we understand that we should know more about real people and thus fix this knowledge. To that end, the persona technique is used. Personas are imaginary people who are the archetypes of our users for every important segment of the target audience and include all necessary behavioral characteristics.

Advantages of using persons:

- a good way to understand the target audience;
- constant focus on the main user;
- characteristics of several people are much simpler than applying the results of studies during product development;
- empathy. By focusing on specific people, we can feel their needs, fears and emotions better, and this increases our level of responsibility for the final result.



Recommended template of a persona:

- name, education, age, occupation;
- character features;
- place of residence, family, income;
- global goals;
- goals in using the product;
- basic use cases (briefly);
- fears and stimuli;
- how will they find out about the product;
- expectations from the product;
- context of the use;
- social life;
- hobbies;
- social media;
- how do they use their mobile phone.

Characteristics directly related to the product:

- fears and stimuli;
- expectations and demands;
- how will they find out about the product;
- motivation in using the product;
- experience with the product and analogues;
- how do they currently manage the tasks that the product will manage later.

These characteristics indicate first of all what we should beware of when designing and vice versa, what to strive to meet expectations. The basic rule of 'good' user experience – 'Expected' = 'Received'.

Conclusions

The UX pyramid method is proposed, which includes the following levels – mission, business goals, capabilities, capacity, users. Based on this method, mobile app design can be done. Further work will be the study of a specific mobile app according to the proposed methodology.

Sources:

1. WWDC 2014 - Prototyping: Fake It Till You Make It (June 2023) URL: <https://developer.apple.com/videos/play/wwdc2014/223/>
2. ISO 9241-210:2019 Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centered design for interactive systems (June 2023) URL: <https://www.iso.org/standard/77520.html>
3. Kumar V. 101 Design Methods: A Structured Approach for Driving Innovation in Your Organization, Wiley .- 2012 .- 336 pp.

Article sent: 20.06.2023

© Kutelmakh R.K.



UDC 004.92

THE OVERVIEW OF NEURAL RENDERING ОГЛЯД НЕЙРОННОГО РЕНДЕРИНГУ

Zavalniuk Ye.K. / Завальнюк Є.К.*PhD student / аспірант*

ORCID: 0009-0005-1202-4653

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

ORCID: 0000-0002-2245-3364

*Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Khmelnytskyi Highway, 95, 21021**Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, 21021***Korobeinikova T.I. / Коробейнікова Т.І.***s.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-2487-8742

*National University "Lviv Polytechnic", Lviv, S. Bandery St., 12, 79013**Національний університет «Львівська політехніка», Львів, вул. Степана Бандери, 12, 79013***Titova N.V. / Тітова Н.В.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-7322-9952

*Odessa Polytechnic National University, Odessa, Shevchenko ave., 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, просп. Шевченка, 1, 65044***Romanyuk S.O. / Романюк С.О.***s.t.s., sen. lect. / к.т.н., ст. викл.*

ORCID: 0000-0002-6400-0021

*Odessa Polytechnic National University, Odessa, Shevchenko ave., 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, просп. Шевченка, 1, 65044*

Abstract. In the article the usage of neural networks for increasing image rendering efficiency was analyzed. The main characteristics of the most popular neural networks architectures are described. The common application areas of neural rendering are analyzed. The example of neural network for triangular mesh generation is examined. The neural implementation of the rendering system in overall is described. The neural networks usage for generating textures from photo and textures style transfer is described. The main features of reflectance models representation in the neural network form are given. The possibility of reflectance model formula learning by the neural network is analyzed. The information about neural networks usage for improving the image quality by anti-aliasing and determining the optimal surface polygon number is provided. The application of reverse neural rendering is examined using the example of object's polygonal reconstruction from the image. The characteristic feature of conducted neural rendering overview is its concentration on separate stages of three-dimensional scenes visualization.

Key words: neural rendering, neural network, BRDF, surface shading, rendering.

Introduction. Neural networks [1] are the models that are used for learning the multi-layer representations of data. The three main neural networks architectures are densely-connected, convolutional and recurrent networks. Densely-connected networks [1] are characterized by the fact that each neuron of the layer is connected with each neuron of previous layer. This architecture is usually used for vector data. Convolutional neural networks (CNN) [1] consist of the series of convolution and pooling layers. They are usually used for the tasks with images and volumes.



Recurrent neural networks (RNN) [1] are based on the usage of hidden state and processing the input data by time steps. RNN are used for the processing of language and time-dependent data. One of the neural networks usage spheres is a computer graphics. The popular directions of neural networks application in computer graphics are direct generation of images and the improvement of three-dimensional rendering stages. For the direct image generation GAN (generative adversarial networks) are often used. GANs include two agents for image synthesis and determining if the image was generated. If the rendering stages include the usage of neural networks, such rendering is called neural [2].

The purpose of the work – to analyze the peculiarities of neural rendering usage for the tasks of computer graphics.

State-of-the-art of Neural Rendering The stage of geometrical transformations [3], that includes the triangulation process, is a preliminary stage before rendering. The triangulation lies in dividing the surface of three-dimensional object into set of triangles. PointTriNet [4] is among the triangulation neural networks. PointTriNet is composed of two neural networks. Both networks are multi-layer perceptrons. The first neural network for the proposed triangle predicts the probability of its belonging to the final mesh of primitives. The input of neural network contains the information about the 64 closest triangles and 64 closest points. One point near triangle is described by six parameters: three coordinates relative to the triangle's normal and edge, three barycentric coordinates of projected point into triangle. The triangle is presented by twelve parameters: the maximal and minimal values are selected from three triangle vertexes representations. The second neural network is used for neighboring figures proposing for each triangle's edge. The probability of triangle formation with the edge is calculated for the closest points. For each edge the determined number of most possible triangles is selected. At the first step of triangulation method the initial set of triangles is formed. The first neural network classifies if these triangles belong to final solution. For the selected triangles the second neural network proposes neighboring triangles. Then the first neural network filters the proposed triangles. After the few iterations the final triangle mesh is created. The training of this neural network belongs to unsupervised learning. The expected Chamfer distance (the distance between the predicted surface and the simplified object's surface (in the form of points set)), overlap kernel loss (used for eliminating the overlaps between triangles), watertight loss (used for eliminating gaps in the triangle mesh) are applied. The another approach to neural triangle mesh creation can lie in using supervised learning. In the training set the points can be used as input data, the target values in this case are created triangle meshes in respect to existing triangulation algorithms.

The rendering of scene is based on the created at the geometrical transformations stage mesh of primitives. The list of main rendering operations [3] includes rasterization, eliminating the hidden surfaces, texture mapping, surface shading [5,6], final image processing.

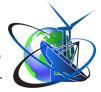
The neural network RenderNet [7] presents the full sequence of three-dimensional rendering stages. At the input of network the voxel grid and the information about the lighting, camera position are given. The transformation from



world to camera coordinates is used. The block of three-dimensional convolution is applied to the three-dimensional data. The next in the architecture is the projection block that is used for the transition to two-dimensional tensor and calculating the visibility of scene components. The block of two-dimensional convolution provides the calculation of object's points colors. During the calculation of error function at the training stage the created and target images were compared. The neural network is capable of learning different shading methods, for example, the Phong shading.

Textures are the images used for mapping at the surfaces of objects. The convolutional neural network VGG-19 is used for texture generation [8] using the input photo. VGG-19 includes 16 convolution layers and 5 sampling layers. The input image is fed to convolution neural network. For each network layer the Gram matrix is formed, it shows the correlation between features maps. The image with white noise is also fed to convolution neural network. Similarly for each layer the Gram matrixes are formed. The error function is calculated using the weighted difference between two sets of Gram matrixes. During the gradient descent the second image is transformed until the Gram matrixes of both images will be similar. In the result, the texture is generated. Another direction of neural network usage is textures style transfer. For example, the painting of artist in particular style is given. The network transform the style of texture to the given one. The textures styles transfer can be implemented using VGG-19 [9]. Then the combined error function combines the error functions between input image, style image and output image.

The shading of geometrical surfaces includes the color intensity calculation for every pixel. One of the color intensity components is a specular component [10]. For its representation the bidirectional reflectance distribution function (BRDF) [11] value is calculated. BRDF can be represented in the form of neural network. For example, NBRDF [12] network is used for replacing the standard BRDF calculation during the rendering. The speed of network is comparable with theoretical reflectance models. NBRDF includes the input layer with six nodes, two hidden layers with 21 node and the output layer with three nodes. The network is fully-connected. The half-vector \bar{H} (between incident and reflected light vector) and difference vector \bar{D} (incident light vector in the coordinate system, where \bar{H} points to northern pole) are fed into neural network input. At the output of neural network we have three values of color channels. In overall, NBRDF includes 675 parameters. The autoencoder was developed by the NBRDF authors in order to compress the information about neural network weights. The logarithm function was used as error function during the network training. The predicted NBRDF values and measured material data from MERL database are compared. The model can be applied to isotropic and anisotropic materials. The neural networks usage also allows to synthesize the BRDF calculation formula. One of the standard approaches to formula synthesis is combining the symbolic regression and genetic algorithms. The disadvantage of approach is a tendency to algorithm overfitting [13]. Therefore, the alternative approach includes neural network usage. The example of approach is general-purpose network EQL [13]. The distinctive feature of EQL is that instead of ordinary usage of one activation function for neuron layer the different mathematical functions and operations are applied. Based on the learned by neural network weight values the formula is



synthesized using the special algorithm.

Anti-aliasing lies in “jaggies” removal from images. One of the applications of M-Net [14] neural network is the images anti-aliasing. M-Net is the variant of MR-Net neural network that is based on dividing the frequencies of input signal into stages depending on the level of detail. The network architecture is divided horizontally depending on the number of stages. The four blocks of layers are used: the first layer, hidden layers, linear layer (these three blocks are sinusoidal multi-layer perceptron), control layer (used for controlling the stages output values). The output of neural network combines the stages values. M-Net is characterized by the fact that the output of hidden layers block is connected with input of the same block at the next stage. Through combining the information about different levels of details the image anti-aliasing is provided. For each pixel (x, y) the level of detail parameter $\lambda(x, y)$ is calculated using the partial derivatives of texture mapping function. The output value of neural network is calculated using the formula [14]

$$f_{\lambda} = \sum_{i=1}^N \lambda_i g_i,$$

where N - number of network stages, g_i - the output value of the i -th stage, λ_i - the weight of the i -th stage value (depends on the value of $\lambda - 1, 0$ or $\lambda - \lfloor \lambda \rfloor$).

The visualized image of scene corresponds to the particular camera and light source positions. After changing these parameters the image should be formed again. The alternative is the generation of image by neural network. The method, developed by B. Mildenhall et al. [15], lies in using neural radiance fields. The three-dimensional set of points is formed using the ray marching through the scene. The color intensity and volume density values are calculated using the neural network relative to points coordinates and their orientation to the viewer. These values form the neural radiance fields, on the basis of which the two-dimensional image is created by volume rendering methods. The neural network training is based on scene images under different views.

Neural networks allow to evaluate the quality of the formed image depending on the used rendering methods. K. T. Lwin et al. [16] have used the neural network for image quality evaluation depending on different resolutions, methods of shading and texture anti-aliasing. For example, the usage of flat shading method, Phong method, Gouraud method with different numbers of surface polygons were compared. For each pair of shading method and triangles number the percent of images for which the neural network correctly predicted the lighting direction was calculated. The best results were got for the Phong shading. Using the calculated percentages for different shading methods the maximum triangles numbers, at which the image quality improves, were determined.

For getting the information about scene lighting, surface geometry the inverse rendering is used. The method SoftRas [17] is used for polygonal mesh generation from the input image. At the first method step the displacement vectors are generated by the neural network, at the basis of which the polygon mesh is reconstructed. At the second method step the developed by authors rasterization method is applied, this



method provides the calculation differentiability. For every triangle in mesh the probability map, that shows the probability of its coverage of particular image pixel, is created. After combining every probability map the mesh silhouette is formed. The silhouette of generated mesh is compared with the reference silhouette. In the result, gradually the mesh reconstruction becomes more accurate.

Summary and conclusions. Besides the direct image generation, neural networks are used at different rendering stages. At the tessellation stage (before rendering) the geometrical primitives mesh creation and the learning of existing tessellation algorithms are possible. The whole rendering process can be represented by neural network. For this at the neural network input the information about surface geometry, camera and the viewer are used, at the output the pixel color intensities are calculated. At the texture mapping stage the texture generation and texture modification to a given style are used. If the lighting directions and material data are set as neural network input values, the learning of BRDF values can be provided. The alternative to BRDF formula learning using symbolic regression is a neural network approach. The simplicity of execution of the reverse rendering and image quality evaluation processes can be increased using neural networks. Also, neural networks make it more easy to synthesize images under different lighting conditions and different camera views. In overall, the intellectual modification of rendering process is provided.

References:

1. Chollet, F. (2018) *Deep learning with Python*. Manning Publications Co.
2. Tewari, A. *et al.* (2020) 'State of the art on neural rendering', *Computer Graphics Forum*, 39(2), pp. 701–727. doi:10.1111/cgf.14022.
3. Romanyuk, O. N. (1999) *Computer Graphics*. VSTU.
4. Sharp, N. and Ovsjanikov, M. (2020) 'PointTriNet: Learned triangulation of 3D point sets', *Computer Vision – ECCV 2020*, pp. 762–778. doi:10.1007/978-3-030-58592-1_45.
5. Romanyuk, O. *et al.* (2022) 'Features of the computational process organization of initial parameters determination for shading', in *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Ruzomberok, Slovakia, pp. 22–26. doi:10.1109/acit54803.2022.9913193.
6. Romanyuk, O. *et al.* (2022) 'The concept and means of adaptive shading', in *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. Ruzomberok, Slovakia, pp. 33–38. doi:10.1109/acit54803.2022.9913105.
7. Nguyen-Phuoc *et al.* (2018) 'RenderNet: a deep convolutional network for differentiable rendering from 3D shapes', in *NIPS'18: Proceedings of the 32nd International Conference on Neural Information Processing Systems*. Montreal, Canada, pp. 7902–7912. doi: 10.48550/arXiv.1806.06575.
8. Gatys, L. A., Ecker, A. S., and Bethge, M. (2015) 'Texture Synthesis Using Convolutional Neural Networks', in *Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems*. Montreal, Canada, pp. 262–270. doi: 10.48550/arXiv.1505.07376.



9. Risser, E., Wilmot, P. and Barnes, C. (2017) 'Stable and controllable neural texture synthesis and style transfer using histogram losses', *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1701.08893> (Accessed: 18 June 2023).
10. Zavalniuk, Y. K. *et al.* (2022) 'The development of the modified Schlick model for the specular color component calculation', *Information technology and computer engineering*, 55(3), pp. 4–12. doi:10.31649/1999-9941-2022-55-3-4-12.
11. Zavalnyuk, E. K. *et al.* (2023) 'Development of a physically correct model of reflection of the second degree', *Optoelectronic Information-Power Technologies*, 44(2), pp. 19–25. doi:10.31649/1681-7893-2022-44-2-19-25.
12. Sztrajman, A. *et al.* (2021) 'Neural BRDF representation and importance sampling', *Computer Graphics Forum*, 40(6), pp. 332–346. doi:10.1111/cgf.14335.
13. Kim, S. *et al.* (2021) 'Integration of neural network-based symbolic regression in deep learning for scientific discovery', *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(9), pp. 4166–4177. doi:10.1109/tnnls.2020.3017010.
14. Paz, H. *et al.* (2022) 'Multiresolution Neural Networks for imaging', *2022 35th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)* [Preprint]. doi:10.1109/sibgrapi55357.2022.9991765.
15. Mildenhall, B. *et al.* (2021) 'Nerf', *Communications of the ACM*, 65(1), pp. 99–106. doi:10.1145/3503250.
16. Lwin, K.T. *et al.* (2008) 'Evaluation of image quality using Neural Networks', *Semantic Scholar*. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-Image-Quality-using-Neural-Networks-Lwin-Myint/6c4aa33b2cd59162efb263f8d9ff6b88409d6c88> (Accessed: 18 June 2023).
17. Liu, S. *et al.* (2019) 'Soft Rasterizer: Differentiable rendering for unsupervised single-view mesh reconstruction', *arXiv.org*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1901.05567> (Accessed: 18 June 2023).

Анотація. У статті проаналізовано використання нейронних мереж для підвищення ефективності рендерингу зображень. Описано основні характеристики найпопулярніших архітектур нейронних мереж. Проаналізовано загальні області застосування нейронного рендерингу. Розглянуто приклад нейронної мережі для генерації сітки трикутників. Описано нейронну реалізацію системи рендерингу в цілому. Описано використання нейронних мереж для генерації текстур із фото та трансферу стилю текстур. Наведено основні особливості представлення моделей відбиття у формі нейронної мережі. Проаналізовано можливість вивчення формули моделі відбиття нейронною мережею. Наведено інформацію про використання нейронних мереж для покращення якості зображення шляхом антиаліазингу та визначення оптимальної кількості полігонів поверхні. Застосування зворотного нейронного рендерингу розглядається на прикладі полігональної реконструкції об'єкта із зображення. Характерною особливістю проведеного огляду нейронного рендерингу є його концентрація на окремих етапах візуалізації тривимірних сцен.

Ключові слова: нейронний рендеринг, нейронна мережа, ДФВЗ, зафарбовування поверхні, рендеринг.

Article sent: ..2023

©Zavalniuk Ye.K., Romanyuk O.N., Korobeinikova T.I., Titova N.V., Romanyuk S.O.



CONTENTS

Mechanical engineering and machinery

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-039> 3

DETERMINATION OF THE MAXIMUM NUMBER OF BRAKED
ROLLER SUPPORTS OF THE CONVEYOR, AT WHICH THERE
IS A RISK OF LOSING THE DRIVE TRACTION CAPACITY

Smirnov A. M., Kiriia R. V.

Mishchenko T. F., Mostovyi B. I.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-041> 11

THE INFLUENCE OF ELECTRIC DISCHARGES ON THE QUALITY
AND CHARACTERISTICS OF HOPS

Zaporozhets Y. V., Burlaka T. V.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-042> 15

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT FACTORS ON
ASSESSING THE INTENSITY OF BITTERNESS OF HOPS EXTRACT

Zaporozhets Y. V., Burlaka T. V.

Electrical engineering

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-043> 19

CALCULATION METHOD OF INDUCED VOLTAGE OF
OVERHEAD POWER LINES

Fedoriv M., Kurlyak P., Batsala I., Mykhailiv I.

Engineering instruments, meters, etc. Industrial instrumentation

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-017> 25

STABILIZER QUALITY INDICATORS

Bezvesilna O. M., Hrynevych M. S., Tolochko T. O.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-018> 29

INCREASING THE SPEED DUE TO THE IMPROVEMENT OF
THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE INSTRUMENT
COMPONENT OF THE STABILIZER

Bezvesilna O. M., Nechai S. O., Tolochko T. O.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-021> 33

ANALYTICAL REVIEW OF AUTOMATED STABILIZATION
COMPLEXES

Bezvesilna O. M., Nechai S. O., Tolochko T. O.



<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-025> 39

EXPERIMENTAL THERMAL CONDUCTIVITY DETERMINATION
OF LIQUIDS AND SUBSTANCES WITH A PHASE TRANSITION

Sklyarenko E.V., Ivanov S.O., Dekusha L.V., Vorobiov L.Y.

Electrical engineering. Electronics. Nuclear engineering

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-027> 49

SIMULATION OF SOLAR POWER PLANT OPERATION IN
CONDITIONS OF PARTIAL SHADING

Glad I.V., Batsala Y.V., Fedenko V. Y., Kiianiuk O. I.

Mining engineering. Metallurgy

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-048> 55

IMPROVING THE CORROSION RESISTANCE OF
HOT-ROLLED STEEL PIPES

*Bohdan D.A., Balakin V.F., Balakhanova T.V.
Kuznetsov Ye.V., Nykolayenko Yu.M.*

Animal products. Cereals and grain. Milling industry

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-013> 68

INNOVATIVE CRAFT BAKERY TECHNOLOGIES

Semko T.V., Pahomska O V.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-016> 74

FOOD ADDITIVES IN INDUSTRY

Mariana Bondar

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-033> 86

THE INFLUENCE OF MATERNAL NUTRITION ON THE
DURATION OF INTRAUTERINE DEVELOPMENT OF CALVES

Prylipko T.M., Koval T.V.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-037> 90

STANDARDS OF PRODUCT MARKETING TRACEABILITY
FISHERY

Prylipko T.M., Fedoriv V.M.

**Industrial engineering. Management engineering**

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-004> 96

RESEARCH OF CANVAS TECHNOLOGY IN WEB-APPLICATIONS

Terentyev O.O., Gorbatyuk Ie.V., Lototskyi A.V.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-009> 101

MATHEMATICAL MODELING OF THE LOW-TEMPERATURE SEPARATION PROCESS

Horbiychuk M.I., Yednak I.S., Skrypka O.A.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-056> 123

DEVELOPMENT FEATURES OF MOBILE APPS IN THE CONTEXT OF USER EXPERIENCE

Kutelmakh R.K.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit27-01-060> 129

THE OVERVIEW OF NEURAL RENDERING

*Zavalniuk Ye.K., Romanyuk O.N.,
Korobeinikova T.I., Titova N.V., Romanyuk S.O.*



International periodic scientific journal

MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und
innovative Technologien

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
high impact factor (ICV: 87.25)

Issue №27
Part 1
June 2023

Development of the original layout - Sergeieva&Co

Signed: June 30, 2023

Sergeieva&Co
Lußstr. 13
76227 Karlsruhe
e-mail: editor@modern techno.de
site: www.moderntechno.de

Articles published in the author's edition





www.moderntechno.de

e-mail: editor@moderntechno.de