



INNOVATION IN MODERN SCIENCE

Book 20.
PART 2

MONOGRAPHIC SERIES «EUROPEAN SCIENCE»



Obodovych O.M., Dobrovolska O.V., Lukin V.V., Kravchuk S., Kovalenko O.A., Malinovskiy Y.A. et al.

INNOVATION IN DER MODERNEN WISSENSCHAFT
INNOVATIVE TECHNOLOGIE, INFORMATIK, ARCHITEKTUR, LANDWIRTSCHAFT
INNOVATION IN MODERN SCIENCE
INNOVATIVE TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, ARCHITECTURE, AGRICULTURE

Monographic series «European Science»
Book 20. Part 2.

In internationalen wissenschaftlich-geometrischen Datenbanken enthalten
Included in International scientometric databases

MONOGRAPHIE
MONOGRAPH

ScientificWorld-Net Akhat AV
Karlsruhe 2023

Monographic series «European Science»

Authors:

Malinovskiy Y.A. (1), Tkachenko A.S. (1), Bondarets A.A. (1), Vlasenkov D.P. (1),
Oliinyk S.Y. (1), Rybak D.P. (1), Obodovych O.M. (2), Sydorenko V.V. (2),
Tselen B.Y. (2), Stepanova O.E. (2), Dobrovolska O.V. (3), Lukin V.V. (4),
Ieremeiev O.I. (4), Abramova V.V. (4), Abramov S.K. (4), Rubel O.S. (4),
Okarma K. (4), Lech P. (4), Fastowicz J. (4), Vetoshko I. (5), Kravchuk S. (5),
Kharchenko K. (6), Losieva Y. (6), Kovalenko O.A. (7)

Reviewers:

Gorobets Valeriy Hryhorovych, Dr.Sci., Professor, National university of life and
environmental sciences of Ukraine (2)
Shutko Volodymyr Mykolayovych, Professor, Doctor of Technical Science, National Aviation
University, Kyiv (4)

Innovation in der modernen Wissenschaft: Innovative Technologie,
Informatik, Architektur, Landwirtschaft. Monografische Reihe «Europäische
Wissenschaft». Buch 20. Teil 2. 2023.

Innovation in modern science: Innovative technology, Computer
science, Architecture, Agriculture. Monographic series «European
Science». Book 20. Part 2. 2023.

ISBN 978-3-949059-91-9

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-20-02

Published by:

ScientificWorld-NetAkhatAV

Lußstr. 13

76227 Karlsruhe, Germany

e-mail: editor@promonograph.org

site: <https://desymp.promonograph.org>

Copyright © Authors, 2023

Copyright © Drawing up & Design. ScientificWorld-NetAkhatAV, 2023



ÜBER DIE AUTOREN / ABOUT THE AUTHORS

1. *Malinovskiy Yurii Oleksandrovych*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Separate structural unit «Kryvyi Rih professional college of the National Aviation University» - *Chapter 1 (co-authored)*
2. *Tkachenko Andrii Serhiiiovych*, Kryvyi Rih National University - *Chapter 1 (co-authored)*
3. *Bondarets Andrii Oleksandrovych*, Senior Lecturer, Kryvyi Rih National University - *Chapter 1 (co-authored)*
4. *Vlasenkov Dmytro Petrovych*, Senior Lecturer, Separate structural unit «Kryvyi Rih professional college of the National Aviation University» - *Chapter 1 (co-authored)*
5. *Oliinyk Svitlana Yuriivna*, Senior Lecturer, Kryvyi Rih National University - *Chapter 1 (co-authored)*
6. *Rybak Dmytro Petrovych*, Senior Lecturer, Separate structural unit «Kryvyi Rih professional college of the National Aviation University» - *Chapter 1 (co-authored)*
7. *Obodovych Oleksandr Mykolaiovych*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Engineering Thermophysics of National academy of Sciences of Ukraine - *Chapter 2 (co-authored)*
8. *Sydorenko Vitalii Volodymyrovych*, Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Institute of Engineering Thermophysics of National academy of Sciences of Ukraine - *Chapter 2 (co-authored)*
9. *Tselen Bohdan Yaroslavovych*, Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Institute of Engineering Thermophysics of National academy of Sciences of Ukraine - *Chapter 2 (co-authored)*
10. *Stepanova Olesya Evgeniivna*, Candidate of Technical Sciences, Institute of Engineering Thermophysics of National academy of Sciences of Ukraine - *Chapter 2 (co-authored)*
11. *Dobrovolska Olena Volodymyrivna*, Doctor of Economic Sciences, Professor, Dnipro State Agrarian and Economic University - *Chapter 3*
12. *Lukin Volodymyr Vasilyovych*, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute” - *Chapter 4 (co-authored)*
13. *Ieremeiev Oleg Igorovych*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute” - *Chapter 4 (co-authored)*



14. *Abramova Victoriya Valeriyivna*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute - Chapter 4 (co-authored)
15. *Abramov Sergiy Klavdiyovych*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute - Chapter 4 (co-authored)
16. *Rubel Oleksii Sergiyovych*, Candidate of Technical Sciences, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute - Chapter 4 (co-authored)
17. *Okarma Krzysztof*, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie - Chapter 4 (co-authored)
18. *Lech Piotr*, Candidate of Technical Sciences (PhD), Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie - Chapter 4 (co-authored)
19. *Fastowicz Jaroslaw*, Candidate of Technical Sciences (PhD), Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie - Chapter 4 (co-authored)
20. *Vetoshko Ivan*, graduate student, Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute - Chapter 5 (co-authored)
21. *Kravchuk Serhii*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute - Chapter 5 (co-authored)
22. *Kharchenko Kateryna*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture - Chapter 6 (co-authored)
23. *Losieva Yelyzaveta*, student, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture - Chapter 6 (co-authored)
24. *Kovalenko Oleh Anatoliiovych*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Mykolaiv National Agrarian University - Chapter 7



Inhalt / Content

CHAPTER 1 FEATURES OF CALCULATION OF RESISTANCE TO TRAFFIC OF CONVEYOR TRAINS

Introduction	7
1.1. General Provisions	7
1.2. Method for determining the main specific resistances of mine trains	9
1.3. Determination of the main resistance to movement and practical recommendations for choosing the parameters of conveyor trains of various designs.....	24
Conclusions	32

CHAPTER 2 WASTEWATER TREATMENT USING CAVITATION EFFECTS

Introduction	35
2.1. Disinfection of wastewater by cavitation treatment.....	35
2.2. Hardware design of technological schemes with the introduction of a cavitation water treatment unit.....	37
2.3. Cavitation as one of the phenomena of discrete-impulse energy input	40
Conclusions	42

CHAPTER 3 DIGITALISATION OF THE AGRICULTURAL SECTOR AS A PROMISING MODEL FOR THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF UKRAINE'S AGRICULTURAL SECTOR

Introduction	43
3.1. Special features of the development of the digital economy	44
Conclusions	50

CHAPTER 4 METHODS OF INTELLECTUAL IMAGE AND VIDEO PROCESSING BASED ON VISUAL QUALITY METRICS FOR EMERGING APPLICATIONS

Introduction	51
4.1. A method of robust metrics' combining for RS systems.....	53
4.2. Combined metrics using neural networks.....	64
4.3. 3D printed surface quality assessment using combined metrics.....	87
Conclusions	98



CHAPTER 5 FEATURES OF THE RRC RADIO RESOURCE MANAGEMENT PROTOCOL IN THE 5G NETWORK

Introduction	99
5.1. Stack of control plane protocols (5G control plane)	99
5.2. States of RRC connections	100
5.3. Basic procedures implemented by RRC	104
Conclusions	108

CHAPTER 6 FEATURES OF THE FORMATION OF A COMFORTABLE ARCHITECTURAL LIVING SPACE

Introduction	109
6.1. Study of the impact of the environment on city residents	110
6.2. Aspects of creating a comfortable living environment	112
6.2.1. <i>Provide a hierarchical theory of needs. Maslow's pyramid of needs</i>	112
6.2.2. <i>Environmental Friendliness of Space and Greening</i>	113
6.2.3. <i>Types and components of ergonomics</i>	114
6.2.4. <i>Innovative architecture</i>	115
6.2.5. <i>Universal design</i>	115
Conclusions	116

CHAPTER 7 CULTURE OF CHICKPEA: ELEMENTS OF CULTIVATION UNDER IRRIGATION CONDITIONS OF THE SOUTHERN STEPPE OF UKRAINE

Introduction	118
7.1. Research conditions and methodology	123
7.2. Results of research with chickpea culture	126
Conclusions	135

References	137
------------------	-----



KAPITEL 1 / CHAPTER 1¹

FEATURES OF CALCULATION OF RESISTANCE TO TRAFFIC OF CONVEYOR TRAINS

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-20-02-008

Вступ.

Актуальність питання.

Конвеєрні поїзди являють собою сукупність одновісних вагонеток, встановлених на рейковій колійній структурі, пов'язаних між собою шарнірними зчіпками. Для того щоб конвеєрний поїзд на колійній структурі був системою, що кінематично не змінюється, зазвичай передня вагонетка складу виконується двовісною. Рух таких рухомих складів здебільшого здійснюється за допомогою приводів, стаціонарно встановлених на колійній структурі. Така транспортна система зручна у використанні, тому що виключає наявність контактної мережі. При встановленні приводного двигуна у спеціальному або вибухобезпечному виконанні конвеєрні поїзди можуть бути застосовані на горизонтальних або похилих трасах як вугільних, так і рудних шахт, а також як спеціальний транспорт глибоких кар'єрів.

1.1. Загальні положення

Як відомо [1], [2], [3], [4] основний опір переміщення рухомого складу рейкового транспорту може бути представлений у формі

$$W_0 = W_6 + W_{\text{Т.КОЧ.}} + W_{\text{Т.КОВ.}} + W_{\text{д}} + W_{\text{ПС}} + W_{\text{СТ}} + W_{\text{В}}, \quad (1)$$

де W_6 – опір від тертя шийок осей у буксових підшипниках;

$W_{\text{Т.КОЧ.}}$ – опір від тертя кочення коліс по рейках;

$W_{\text{Т.КОВ.}}$ – опір від тертя ковзання коліс по рейках;

$W_{\text{д}}$ – опір дисипації (розсіювання) енергії рейкового шляху, що залежить від осьового навантаження, конструкції та фізико-механічних властивостей рейкового шляху;

$W_{\text{ПС}}$ – опір від дисипації (розсіювання) енергії рухомих складом, що виникає в результаті коливання надресорної будови від нерівностей шляху та ударів на

¹Authors: Malinovskiy Y.A., Tkachenko A.S., Bondarets A.A., Vlasenkov D.P., Oliynyk S.Y., Rybak D.P.



стиках;

$W_{\text{ст}}$ – опір від розсіювання енергії будовою шляху внаслідок втрати енергії від ударів коліс рухомого складу на стиках;

$W_{\text{в}}$ – опір повітряного середовища.

Величини опорів $W_{\text{ст}}$ і $W_{\text{в}}$ пропорційні квадрату швидкості руху рухомого складу, значення $W_{\text{пс}}$ також є функцією швидкості руху, а опори $W_{\text{б}}$, $W_{\text{тк}}$, $W_{\text{тс}}$ і $W_{\text{д}}$ залежать від конструктивних параметрів візків рухомого складу, конструкції ходових коліс, їх розташування щодо візка, а також від конструкції та стану рейкової колії.

Основний питомий опір руху, тобто опір руху віднесений до маси рухомого складу матиме вигляд:

$$w_0 = w_{\text{б}} + w_{\text{тк}} + w_{\text{тс}} + w_{\text{д}} + w_{\text{пс}} + w_{\text{ст}} + w_{\text{в}}. \quad (2)$$

Де індексація питомих опорів відповідає індексації формули (1).

При оцінці та розгляді складових опорів руху рухомого складу конвеєрних поїздів з урахуванням їх конструктивних особливостей та характеру руху значеннями $W_{\text{пс}}(w_{\text{пс}})$ і $W_{\text{в}}(w_{\text{в}})$ можна знехтувати.

Однак на практиці часто немає можливості теоретично розраховувати величину кожної складової основного питомого опору руху, найбільш точною та достовірною величиною опору руху можна вважати опори, визначені експериментальним шляхом. Однак і вони відрізняються один від одного, через одержання їх за різних умов експлуатації і мають часковий характер, оскільки відносяться до конкретної конструкції конвеєрного поїзда.

Як впливає з аналізу виразів $w_{\text{б}}$, $w_{\text{т.коч.}}$, $w_{\text{т.ков.}}$, $w_{\text{д}}$, $w_{\text{ст}}$ [1, 4, 5] питомий опір руху конвеєрного поїзда можна надати (за аналогією з існуючою загальною формулою визначення питомого опору руху складу залізничного транспорту) або квадратичною формою швидкості руху конвеєрного поїзда:

$$w_0 = a + bU + cU^2. \quad (3)$$

Або спрощеним виразом

$$w_0 = a + bU. \quad (4)$$

Величезний досвід експлуатації як вагонів рухомого складу залізничного транспорту МПС, так і вагонеток шахтного рейкового транспорту дозволив отримати емпіричні формули визначення питомого опору руху кожного типу вагона або вагонеток [2, 5, 6], що дозволяє здійснювати тягові розрахунки розтягнутих рухомих складів рейкового транспорту.



1.2. Методика визначення основних питомих опорів шахтних поїздів

2.1. Конвеєрні поїзди зі стаціонарними двигунами, що відносяться до рейкового транспорту, характеризуються наявністю стаціонарно встановлених приводів на колійній структурі, які в процесі руху рухомого складу відносно приводу ділять потяг на дві зони – розтягнуту та стислу, співвідношення довжин яких постійно змінюється у часі.

При цьому рухомий склад конвеєрного поїзда складений з великої кількості візків, з'єднаних між собою шарнірними зв'язками (зчіпками), представляє багатомасову механічну систему при русі якої характерні складні динамічні процеси, обумовлені безперервною зміною кількості візків, що знаходяться в розтягнутій і стиснутій частинах. Причому за час проходження рухомого потягу з приводу сили опору руху змінюються в широких межах, що викликано безперервною зміною функції $m_p = f(t)$, $l_p = f(t)$, $m_c = f(t)$, $l_c = f(t)$, де m_p, l_p – маса та довжина розтягнутої частини складу, а m_c, l_c – маса та довжина стиснутої частини потягу.

Однак, не зважаючи на наявність перехідних режимів, завжди можна чітко виділити розтягнуту і стислу зони рухомого складу, при цьому сумарний основний опір руху дорівнює:

$$W_0 = G_T \cdot w_p \cdot K + \int_k^n G_T \cdot w_c(x) dx, \quad (5)$$

де w_p – основний питомий опір руху розтягнутої частини складу, що перебуває в режимі тяги, Н/кН;

w_c – основний питомий опір руху стиснутої частини складу, що перебуває у режимі штовхання, Н/кН;

k – кількість візків розтягнутої частини складу;

n – кількість візків у складі;

G_T – маса візка, кг.

Основний питомий опір руху розтягнутої частини рухомих складів рейкового транспорту розглядається як рух в режимі тяги, що встановився, має постійну величину ($w_p = const$) і визначається відомими способами [1, 2, 4, 6].

Основний питомий опір руху стиснутої частини складу характеризує режим штовхання та його величина $w_c \neq w_p$.

2.2. Розглянемо режим штовхання як характерний режим роботи конвеєрних поїздів. Стаціонарно встановлений привід обумовлює наявність



режиму штовхання, коли кількість візків рухомого складу, що штовхаються, змінюється від одиниці до n_{max} . З початкового моменту режиму штовхання відбувається втрата поздовжньої стійкості візка з наступною вибіркою проміжків між ходовими колесами наступних візків і бічними поверхнями рейкових або інших напрямних.

Подальший рух візків у режимі штовхання супроводжується наявністю їх перекосів щодо один одного та прямолінійної осі шляху. Розворот візків рухомого складу призводить до підвищення основного питомого опору руху в режимі штовхання і його величина досягає максимуму, тоді як весь рухомий склад знаходиться в стислому стані. ($l_n = l_c$) при цьому $\sum w_0^{max} = \sum_{i=1}^n w_c$.

Тому виконання тягових розрахунків (визначення потужності приводу або приводних станцій) необхідно наводити для режиму штовхання, оскільки в цьому випадку спостерігається максимальний опір руху.

2.3. Розглянемо особливості визначення основного питомого опору руху візків конвеєрного поїзда для обох режимів руху (тяги та штовхання).

Так як формула (3) є загальною для всіх випадків руху рейкового транспорту і найбільш повно відображає суть основного питомого опору руху, то для i -ого візку рухомого складу конвеєрного поїзда та будь-якого режиму його руху можна визначити в наступному вигляді:

$$w_i = a_{ij} + bU + cU^2, \quad (6)$$

де a_{ij} – безрозмірний постійний коефіцієнт, що у загальному випадку залежить від розташування візка у складі та режиму його руху;

i – порядковий номер візка ($1 \leq i \leq n$);

j – номер, що відповідає режиму руху візка (1, 3 – тяга; 2, 4 – штовхання);

b, c – постійні коефіцієнти, відповідно пропорційні першому і другому ступеням швидкості руху рухомого складу, що залежать від конструкції рухомого складу та шляху, с/м, с²/м²;

U – швидкість руху рухомого складу, м/с.

У наведеному виразі (6) постійний коефіцієнт a_{ij} набуває різних значень залежно від конструкції рухомого складу.

У свою чергу рухомий склад може бути складений як із двовісних візків, так і одновісних. Застосування останніх спрощує ходову частину візка та покращує маневреність всього рухомого складу.

У практиці відомо [7, 8], що застосування конвеєрних поїздів з



відхиляючими роликами, встановленими на рухомому складі та центруючою рейкою, змонтованій на колійній структурі. Така система, що стабілізує, дозволяє використовувати безребордні ходові колеса або виключити взаємодію реборд ходових коліс з рейками при існуючій колійній структурі рейкового транспорту.

2.4. Розглядаючи рух рухомого складу в режимі тяги, значення a_{ij} може бути визначено

а) для рухомого складу без стабілізуючої системи згідно з [1, 4] за формулою:

$$a_{i_1} = \mu \frac{d}{D} + \frac{2K}{D} + f \sin \delta, \quad (7)$$

де μ – наведений до діаметру осі коефіцієнт опору в підшипниках ходових коліс;

d – діаметр осі ходового колеса, м;

D – діаметр ходового колеса, м;

K – коефіцієнт тертя кочення колеса по рейці, м;

f – коефіцієнт тертя обода колеса по рейці;

δ – кут перекосу осі візка при вилянні рухомого складу (зазвичай $\delta = \delta_{\max}$), град.

Отже, для режиму тяги значення a_{i_1} пропорційно тертю шийок коліс у підшипниках, тертю кочення коліс по напрямних та поперечному ковзанню при вилянні візка.

б) для рухомого складу зі стабілізуючою системою за формулою:

$$a_{i_3} = \mu \frac{d}{D} + \frac{2K}{D} + \frac{R}{G_T} \left(\mu' \frac{d'}{D'} + \frac{2K'}{D'} \right), \quad (8)$$

де μ , d , D , K – позначення за формулою (7);

μ' – коефіцієнт опору тертя шийки осі в підшипниках роликів, що відхиляють;

d' – діаметр осі відхиляючих роликів, м;

D' – діаметр відхиляючого ролика, м;

K' – коефіцієнт тертя кочення відхиляючого ролика по центруючій рейці, м;

R – бічне зусилля, що виникає при вилянні рухомого складу в режимі тяги, Н. Згідно [1, 2]

$$R = F_{\text{тр}} = \mu \frac{G_T}{2}$$



G_T – маса візка, кг.

2.5. Розглянемо рух рухомого складу у режимі штовхання. У цьому режимі руху значення коефіцієнта a_{ij} визначатиметься так:

а) для конвеєрних поїздів без стабілізуючої системи за формулою:

$$a_{i_2} = \mu \frac{d}{D} + \frac{2K}{D} + \frac{R\delta_i}{G_T} \cdot f_p \frac{2h}{D} + f \sin \delta_{max}, \quad (9)$$

б) для конвеєрних поїздів зі стабілізуючою системою

$$a_{i_3} = \mu \frac{d}{D} + \frac{2K}{D} + \frac{R\delta_i}{G_T} \left(\mu' \frac{d'}{D'} + \frac{2K'}{D'} \right), \quad (10)$$

де μ, d, D, K, f – позначення за формулою (7);

μ', d', D', K', G_T – позначення за формулою (8);

δ_{max} – максимальний кут розвороту візка рухомого складу в режимі штовхання, град;

f_p – коефіцієнт тертя реборди ходового колеса по рейці;

h – плече сили тертя в точці торкання реборди ходового колеса і рейкою щодо миттєвого центру обертання, м.

Згідно [4], величину h можна обчислити за формулою:

$$h = \sqrt{\frac{[r_n^2 C + R(2r_n + R) \cos^2 \delta] \cos^2 \theta \cdot (\sin^2 \delta) \cdot c}{(\sin^2 \theta - \sin^2 \delta) \cos^2 \delta} + \frac{r_n^2 C^2}{\cos^2 \delta}} \quad (11)$$

Або визначити за запропонованою залежністю $h = f(\delta)$ для діаметрів ходових коліс 300, 350, 400 мм (рис. 1).

У формулі (11):

r_n – радіус закруглення кромки напрямної або рейки, м;

C – геометричний параметр

$$C = \cos^2 \delta - \sqrt{\cos^2 \delta - \cos^2 \theta}; \quad (12)$$

R – радіус катання ходового колеса (див. рис. 1), м;

θ – кут нахилу реборди (див. рис. 1), град;

δ – максимально можливий кут перекосу осі візка при штовханні, град

$$\delta = \frac{2S}{l_0};$$

$2S$ – максимальний зазор між ребордою колеса та напрямною (рейкою), м;

l_0 – жорстка база візка, м.

Значення h для ходових коліс діаметром 0,3 м, 0,45 м, 0,4 м та різних кутів перекосу наведені в табл. 1.

Для виконання попередніх розрахунків для малих кутів перекосу



($\delta < 3^\circ$) можна приймати під час руху поїзда по прямим шляхах $h = r_H$, а при русі по криволінійних шляхах

$$h = \frac{\sqrt{D_p^2 - (D - r_H)^2}}{2}, \quad (13)$$

де D_p – зовнішній діаметр реборди колеса, м;

$D = 2R$ – діаметр ходового колеса, м.

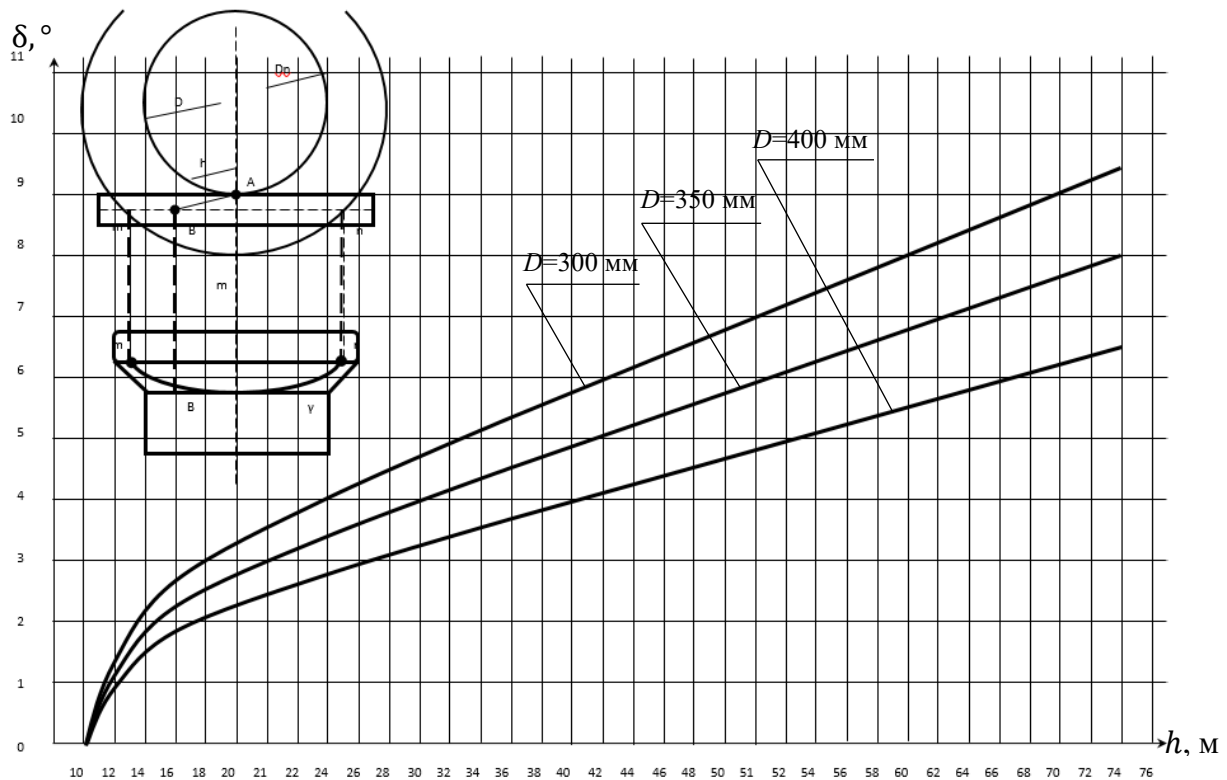


Рисунок 1 – Графік визначення плеча сил тертя h в залежності від кута перекосу δ та діаметру ходового колеса

Формула (10) характеризує кочення ходових та відхиляючих коліс при русі візка, тому у виразі не фігурують доданки, зумовлені тертям реборд коліс про рейку та поперечним рухом при перекосі (9), так як для рухомого складу, що складається з візків з відхиляючими роликами та переміщуваних по напрямних, що містять центруючу рейку, зазор в штовхаючому режимі руху вибирається між центруючою рейкою і відхиляючими роликами.

Зазначимо, що у виразах (9) та (10) $R_{\delta i}$ – невідоме реактивне зусилля, що виникає при перекосах у процесі руху, що призводить до виникнення реактивних зусиль у шарнірах зчіпок R_i^w та реакцій R_i .

У технічній літературі з механіки конвеєрних поїздів не відображено зв'язок між зусиллям штовхання F , бічними зусиллями R_i та реакціями у зчіпках R_i^w .



Встановлення такої залежності важливо при обчисленні опору руху кожного візка рухомого складу в штовханні, оскільки ці значення, як зазначалося раніше, не рівні між собою і залежать від місцезнаходження візка у складі щодо приводу.

Таблиця 1 – Плече сили третя h (м) для різних діаметрів ходових коліс

	0,30 м	0,35 м	0,40 м
0,50°	$1,037 \cdot 10^{-3}$	$1,054 \cdot 10^{-3}$	$1,072 \cdot 10^{-3}$
1,00°	$1,178 \cdot 10^{-3}$	$1,233 \cdot 10^{-3}$	$1,294 \cdot 10^{-3}$
1,50°	$1,381 \cdot 10^{-3}$	$1,487 \cdot 10^{-3}$	$1,599 \cdot 10^{-3}$
2,00°	$1,625 \cdot 10^{-3}$	$1,784 \cdot 10^{-3}$	$1,950 \cdot 10^{-3}$
2,50°	$1,896 \cdot 10^{-3}$	$2,110 \cdot 10^{-3}$	$2,329 \cdot 10^{-3}$
3,00°	$2,186 \cdot 10^{-3}$	$2,454 \cdot 10^{-3}$	$2,728 \cdot 10^{-3}$
3,50°	$2,491 \cdot 10^{-3}$	$2,813 \cdot 10^{-3}$	$3,141 \cdot 10^{-3}$
4,00°	$2,809 \cdot 10^{-3}$	$3,185 \cdot 10^{-3}$	$3,567 \cdot 10^{-3}$
4,50°	$3,138 \cdot 10^{-3}$	$3,569 \cdot 10^{-3}$	$4,005 \cdot 10^{-3}$
5,00°	$3,478 \cdot 10^{-3}$	$3,965 \cdot 10^{-3}$	$4,457 \cdot 10^{-3}$
5,50°	$3,829 \cdot 10^{-3}$	$4,373 \cdot 10^{-3}$	$4,921 \cdot 10^{-3}$
6,00°	$4,192 \cdot 10^{-3}$	$4,794 \cdot 10^{-3}$	$5,400 \cdot 10^{-3}$
6,50°	$4,567 \cdot 10^{-3}$	$5,229 \cdot 10^{-3}$	$5,895 \cdot 10^{-3}$
7,00°	$4,957 \cdot 10^{-3}$	$5,681 \cdot 10^{-3}$	$6,407 \cdot 10^{-3}$

Формула (10) характеризує кочення ходових та відхиляючих коліс при русі візка, тому у виразі не фігурують доданки, зумовлені тертям реборд коліс про рейку та поперечним рухом при перекосі (9), так як для рухомого складу, що складається з візків з відхиляючими роликами та переміщуваних по напрямних, що містять центруючу рейку зазор в режимі руху, що штовхає, вибирається між центруючою рейкою і відхиляючими роликами.

Зазначимо, що у виразах (9) та (10) $R_{\delta i}$ – невідоме реактивне зусилля, що виникає при перекосах у процесі руху, що призводить до виникнення реактивних зусиль у шарнірах зчіпок R_i^w та реакцій R_i .

У технічній літературі з механіки конвеєрних поїздів не відображено зв'язок між зусиллям штовхання F , бічними зусиллями R_i та реакціями у зчіпках R_i^w . Встановлення такої залежності важливо при обчисленні опору руху кожного візка рухомого складу в штовханні, оскільки ці значення, як зазначалося раніше,



не рівні між собою і залежать від місцезнаходження візка у складі щодо приводу.

З метою встановлення такого взаємозв'язку нами використано розрахункову схему конвеєрного поїзда у вигляді n – опорного стрижня з $(n - 1)$ проміжними шарнірами, що знаходиться в рівновазі під дію зусилля штовхання F та сил опору руху W_i (рис. 2).

2.6. Невідомі реактивні зусилля для n – опор та $(n - 1)$ проміжних шарнірів визначаємо шляхом послідовного розгляду рівноваги кожного елемента стрижня (візка) [8, 10].

Отримавши рекурентні співвідношення, що дозволяють обчислювати реакцію в шарнірі зчипки будь-якого (i -ого) одновісного візка, якщо відома реакція в шарнірі $(i - 1)$ візки після ряду перетворень [10] отримуємо невідоме реактивне зусилля, віднесене до маси візка $\frac{R_{\delta i}}{G_T}$

$$\frac{R_{\delta i}}{G_T} = A_i - B_i w - D_i, \quad (14)$$

де $A_i = F_{1i}(F_G, \delta, l_0, l_2)$ – функція тяги (штовхання) приводу, віднесена до ваги візків, що штовхаються, кута розвороту та геометричних параметрів візка:

$$A_i = 2F_G \delta \left[\frac{l_0}{l_2} + \frac{l_2}{l_2} + \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^2 + \frac{l_0 l_2}{l_2^2} + \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^3 + \frac{l_2 l_0^2}{l_2^3} + \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^4 + \frac{l_2 l_0^3}{l_2^4} + \dots + \right. \\ \left. + \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^{n-1} + \frac{l_2 l_0^{n-2}}{l_2^{n-1}} + \frac{1}{2} \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^n + \frac{1}{2} \frac{l_2 l_0^{n-1}}{l_2^n} \right]; \quad (15)$$

$B_i = F_{2i}(\delta, l_0, l_2)$ – функція кута розвороту та геометричних параметрів візка:

$$B_i = \delta \left[(2n - 3) \frac{l_0}{l_2} + (2n - 1) \frac{l_0}{l_2} + (2n - 5) \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^2 + \right. \\ (2n - 3) \frac{l_0 l_2}{l_2^2} + (2n - 7) \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^3 + (2n - 5) \frac{l_0^2 l_2}{l_2^3} + (2n - 9) \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^4 + \\ \left. (2n - 7) \frac{l_0^3 l_2}{l_2^4} + \dots + 1 \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^{n-1} - 3 \frac{l_2 l_0^{n-2}}{l_2^{n-1}} + \frac{1}{2} \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^n + \frac{1}{2} \frac{l_2 l_0^{n-1}}{l_2^n} \right]; \quad (16)$$

$D_i = F_{3i}(M^w, G_T, l_0, l_2)$ – функція моменту тертя в шарнірі, ваги та геометричних параметрів візка:

$$D_i = \frac{4M^w}{G_T l_2} \left[1 + \frac{l_0}{l_2} + \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^2 + \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^3 + \dots + 1 \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^{n-3} + \right. \\ \left. \frac{3}{4} \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^{n-2} + \frac{1}{4} \left(\frac{l_0}{l_2} \right)^{n-1} \right]. \quad (17)$$

A_i, B_i, D_i для будь-якого візка рухомого складу конвеєрного поїзда можна визначити за формулами (15, 16, 17) з підстановкою коефіцієнтів при відповідних відхиленнях довжин. Для зручності виконання розрахунків ці



коефіцієнти зведено у табл. 2, 3, 4.

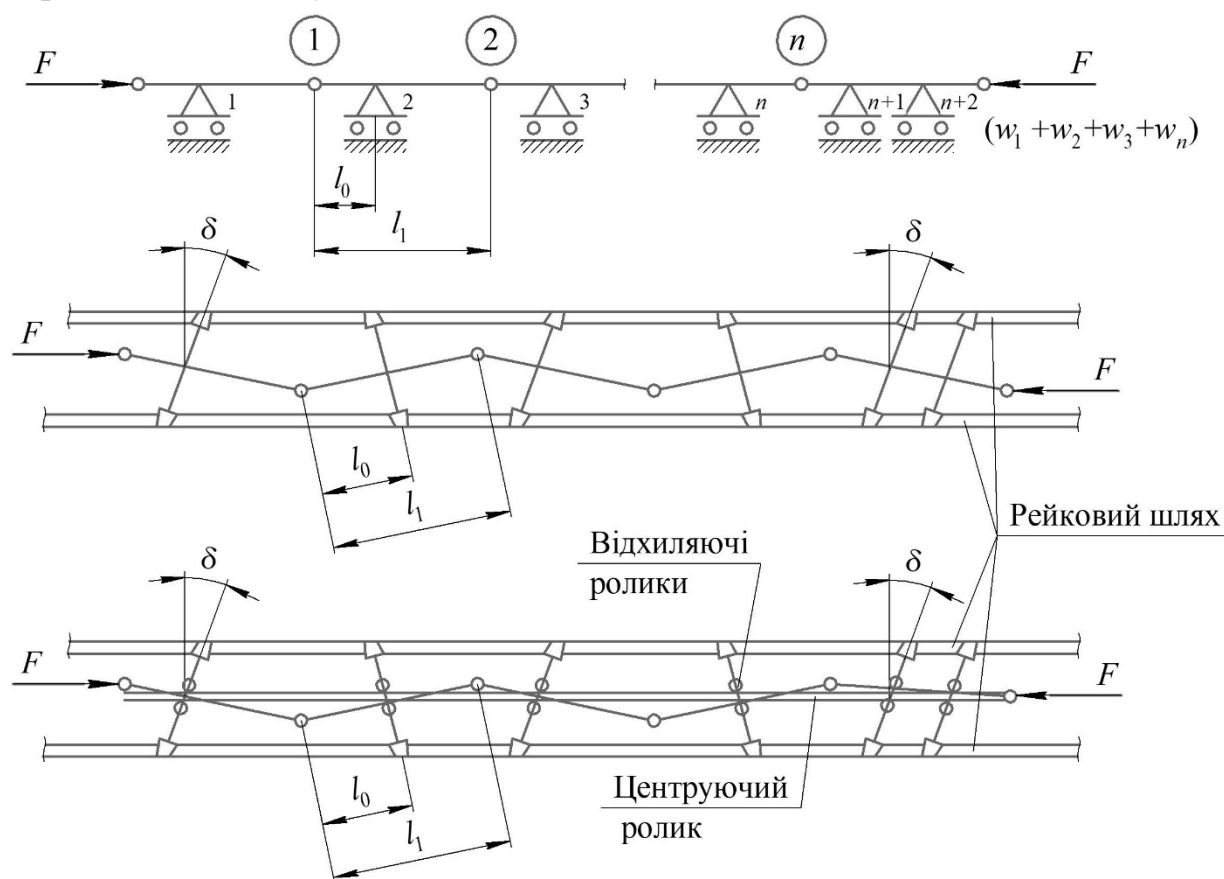


Рисунок 2 – Розрахункова схема конвеєрного потягу, складеного із одновісних візків без урахування стабілізуючої системи та з нею

Таблиця 2 – Числові значення коефіцієнтів при відношенні $\left(\frac{l_0}{l_2}\right)$ для визначення A_i

$$A_i = 2F_G \delta \left[\frac{l_0}{l_2} + \frac{l_2}{l_2} + \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^2 + \frac{l_0 l_2}{l_2^2} + \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^3 + \frac{l_2 l_0^2}{l_2^3} + \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^4 + \frac{l_2 l_0^3}{l_2^4} + \dots + \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^{n-1} + \frac{l_2 l_0^{n-2}}{l_2^{n-1}} + \frac{1}{2} \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^n + \frac{1}{2} \frac{l_2 l_0^{n-1}}{l_2^n} \right]$$

	$\frac{l_0}{l_2}$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^2$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^3$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^4$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^{n-1}$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^n$	$\frac{l_2}{l_2}$	$\frac{l_0 l_2}{l_2^2}$	$\frac{l_2 l_0^2}{l_2^3}$	$\frac{l_2 l_0^3}{l_2^4}$	$\frac{l_2 l_0^{n-2}}{l_2^{n-1}}$	$\frac{l_2 l_0^{n-1}}{l_2^n}$
A_1	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	0	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	0
A_2	1	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	1	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
A_3	1	1	$\frac{1}{2}$	0	0	0	1	1	$\frac{1}{2}$	0	0	0
$4A_1$	1	1	1	$\frac{1}{2}$	0	0	1	1	1	$\frac{1}{2}$	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
A_n	1	1	1	1	1	$\frac{1}{2}$	1	1	1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$



Таблиця 3 – Числові значення коефіцієнтів при відношенні $\left(\frac{l_0}{l_2}\right)$ для визначення B_i

$$B_i = \delta \left[(2n-3) \frac{l_0}{l_2} + (2n-1) \frac{l_2}{l_2} + (2n-5) \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^2 + (2n-3) \frac{l_0 l_2}{l_2^2} + (2n-7) \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^3 + (2n-5) \frac{l_0^2 l_2}{l_2^3} + (2n-9) \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^4 + (2n-7) \frac{l_0^3 l_2}{l_2^4} + \dots + 1 \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^{n-1} - 3 \frac{l_2 l_0^{n-2}}{l_2^{n-1}} + \frac{1}{2} \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^n + \frac{1}{2} \frac{l_2 l_0^{n-1}}{l_2^n} \right]$$

	$\frac{l_0}{l_2}$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^2$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^3$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^4$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^{n-1}$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^n$	$\frac{l_2}{l_2}$	$\frac{l_0 l_2}{l_2^2}$	$\frac{l_2 l_0^2}{l_2^3}$	$\frac{l_2 l_0^3}{l_2^4}$	$\frac{l_2 l_0^{n-2}}{l_2^{n-1}}$	$\frac{l_2 l_0^{n-1}}{l_2^n}$
B_1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
B_2	1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0
B_3	3	1	0	0	0	0	5	3	1	0	0	0
B_4	5	3	1	0	0	0	7	5	3	1	0	0
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
B_n	$(2n-3)$	$(2n-5)$	$(2n-7)$	$2(n-9)$	1	1	$(2n-1)$	$(2n-3)$	$(2n-5)$	$(2n-7)$	3	

Таблиця 4 – Числові значення коефіцієнтів при відношенні $\left(\frac{l_0}{l_2}\right)$ для визначення D_i

$$D_i = \frac{4Mw}{G_T l_2} \left[1 + \frac{l_0}{l_2} + \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^2 + \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^3 + \dots + 1 \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^{n-3} + \frac{3}{4} \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^{n-2} + \frac{1}{4} \left(\frac{l_0}{l_2}\right)^{n-1} \right]$$

	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^0$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^1$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^2$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^3$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^4$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^{n-2}$	$\left(\frac{l_0}{l_2}\right)^{n-1}$
D_1	$\frac{1}{4}$	0	0	0	0	0	0
D_2	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	0	0	0	0	0
D_3	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	0	0	0	0
D_4	1	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	0	0	0
	...	...	...	...	...	...	...
D_{n-1}	1	1	1	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	0
D_n	1	1	1	1	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$

Для виконання практичного розрахунку величини реактивного зусилля зупинимося на визначенні кута розвороту, геометричних параметрів візків, характеристики приводу та моменту тертя у шарнірі.



Умовимося вести нумерацію візків рухомого складу від приводу у бік штовхання, причому перший візок не знаходиться на приводі, а є найближчим, потім другий, третій і так далі до останнього « n » найбільш віддаленого від приводу, тобто головного візка (див. рис. 2).

2.7. Конструктивно рухомий склад конвеєрного поїзда виконаний з одновісних візків. Однак, для того, щоб він не був системою, що кінематично змінюється, головний візок необхідно виконувати двовісним. Розворот цього візка визначається кутом γ цього візка і не може бути більше, ніж

$$\operatorname{tg} \gamma \approx \gamma_{\max} = \frac{2S}{l_g}, \quad (18)$$

де S – зазор між ребордою і рейкою (центруючою рейкою і колесом, що відхиляє);

$2S$ – сумарний зазор;

l_g – жорстка база двовісного візка.

З іншого боку [9] кут розвороту візків δ обмежений взаємним розворотом двовісного та одновісного візків

$$\operatorname{tg} \delta \approx \delta = \frac{2S}{m}, \quad (19)$$

де m – довжина прямої ділянки реборди колеса, що примикає до рейки (див. рис. 1).

Однак максимальний кут розвороту всіх наступних візків [9] $\delta_i = \frac{4S}{l_0}$ оскільки $\frac{2S}{m} > \frac{4S}{l_0}$ рекомендується визначати максимальний кут розвороту $\delta_{\max}$ за формулою (19).

При цьому $l_0, l_1, l_2 = l_1 - l_0$ – геометричні параметри одновісного візка (див. рис. 2).

2.8. Момент опору в шарнірах між візками M_w залежить від застосовуваної конструкції зчіпних пристроїв рухомого складу.

В даному випадку зчіпки є зосередженими включеннями другого типу, що входять до згинальної жорсткості стрижня. До них відносяться ідеальні та пружні шарніри 1 і 2 роду [2], які розглядаються як деформовані зв'язки, що підтверджує прийняту дискретну розрахункову схему. Дана схема дозволяє мати деяку жорсткість у міжтелечному зв'язку $EI(x)$, яке не перешкоджає подоланню радіусу повороту.

У практиці конвеєрних поїздів найчастіше реалізація моменту опору в



зчіпних пристроях здійснюється такими способами:

а) примусово створений пружний момент при реалізації зазорів між колісною парою та напрямними (рис. 3, а)

при цьому M_w^y визначається за формулою:

$$M_w^y = c\delta_3 \quad (20)$$

де c – еквівалентна крутильна жорсткість пружного елемента зчіпки визначається відомими способами як жорсткість балки при її закручуванні на кут в один радіан, Нм/рад;

δ_3 – кут закручування пружного елемента при реалізації зазорів ($\delta_3 = \delta_{max}$), рад.

Таким чином, примусово створений пружний момент M_w^y має постійну величину та не залежить від величини реакції,

б) примусово створений момент сил тертя (рис. 3, б) перешкоджає розвороту візка, оскільки містить пристрій у зчіпці, який створює додатковий момент за рахунок сили тертя

тоді

$$M_w^T = f \cdot Q \cdot \frac{d}{2} \quad (21)$$

де f – коефіцієнт тертя між поверхнями притискання;

Q – сила притискання додаткового пристрою, Н;

d – діаметр обертальної пари, м.

Оскільки сила притискання Q – величина постійна і залежить від зовнішніх сил, те й момент опору зчіпного пристрою, що розглядається, як і в першому випадку буде постійний для всього складу ($M_w^T = const$).

Однак застосування зчіпних пристроїв конструкції а) та б) вимагає їх ретельного регулювання, щоб уникнути заклинювання складу на складних криволінійних ділянках траси при роботі конвеєрного поїзда в режимі штовхання.

Тому візки рухомого складу з'єднуються між собою за допомогою осей (шкворнів), що дозволяють здійснювати вільний поворот візків відносно один одного.

в) природний момент тертя (рис. 3, в)

в даному випадку M_w^{et} є функцією від сили штовхання величина якої на зчіпному пристрої кожного візка має своє значення. У загальному випадку



$$M_w^{\text{ет}} = f' \cdot F_i \cdot \frac{d}{2}, \quad (22)$$

де f' – зведений коефіцієнт тертя [12]

$$f' = \frac{4}{\pi} \cdot f \quad (23)$$

f – коефіцієнт тертя обертальної пари;

D – діаметр осі (шкворня), м;

F_i – зусилля штовхання i -ого візка, Н.

($F_1 > F_2 > F_3 > \dots > F_n$). Необхідно відмітити, що $M_w^{\text{ет}} \max = f' \cdot F_{\max} \cdot \frac{d}{2}$ у будь-якому випадку буде менше $M_w^{\text{т}}$ та $M_w^{\text{у}}$.

У формулі (15) величина тяги (штовхання) F приводу, віднесеного до ваги візка ($F_G = \frac{F}{G}$) є питомим тяговим зусиллям і може використовуватися в практичних розрахунках як характеристика приводу.

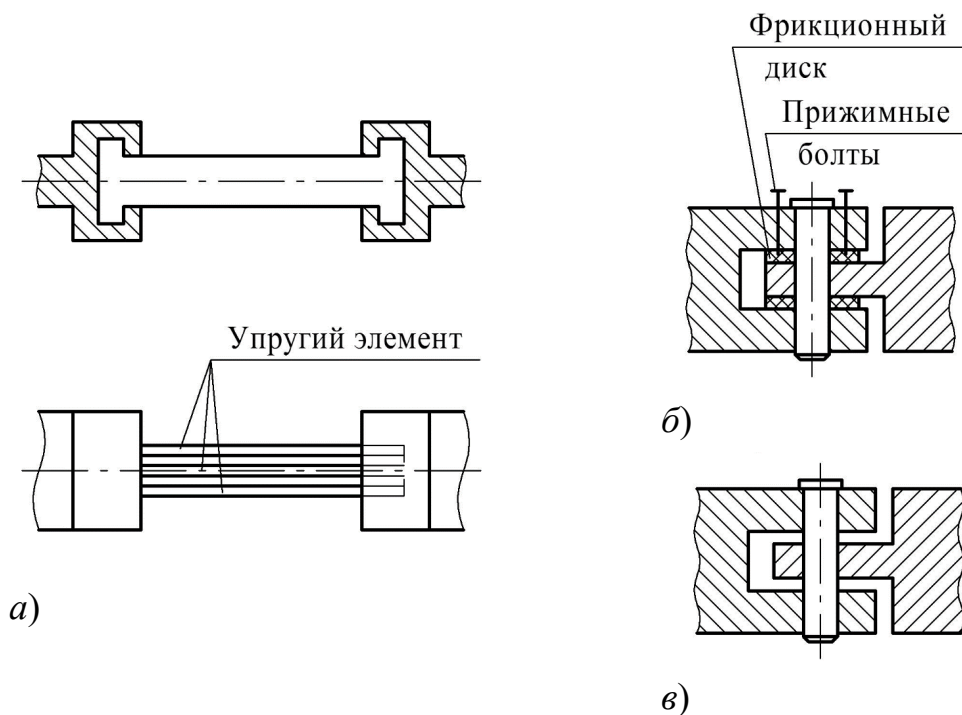


Рисунок 3 – Зчіпні пристрої для з'єднання візків рухомого складу конвеєрного поїзда

- а) зчіпка з пружним елементом;
- б) зчіпка з примусово створеним моментом тертя;
- в) зчіпка з природним моментом тертя.

Розглянувши всі складові формул (15, 16, 17) визначення безрозмірного



коефіцієнта a_{i_2} и a_{i_4} для режиму штовхання можна виконувати за такими формулами:

а) для конвеєрного поїзда без стабілізуючої системи:

$$a_{i_2} = \mu \frac{d}{D} + \frac{2K}{D} + (A_i - B_i \omega_0 - D_i) f_p \frac{2h}{D} + f \cdot \sin \delta \quad (24)$$

б) для конвеєрного поїзда зі стабілізуючою системою:

$$a_{i_4} = \mu \frac{d}{D} + \frac{2K}{D} + (A_i - B_i \omega_0 - D_i) \left(\mu' \frac{d'}{D'} + \frac{2K'}{D'} \right), \quad (25)$$

де ω_0 – питомий опір руху візка в режимі тяги, Н/Кн.

Його значення може бути отримано експериментальним шляхом, або прийнято за даними [2, 6] для аналогічних конструкцій ходових частин візків з урахуванням їх експлуатаційних режимів (вантажопідйомності та швидкості руху).

Остаточно формули визначення питомого опору руху у режимі штовхання матимуть вид:

а) для конвеєрного поїзда без стабілізуючої системи:

$$\omega_{i_2} = \mu \frac{d}{D} + \frac{2K}{D} + (A_i - B_i \omega_0 - D_i) f_p \frac{2h}{D} + f \cdot \sin \delta + bU + cU^2 \quad (26)$$

б) для конвеєрного поїзда зі стабілізуючою системою:

$$\omega_{i_4} = \mu \frac{d}{D} + \frac{2K}{D} + (A_i - B_i \omega_0 - D_i) \left(\mu' \frac{d'}{D'} + \frac{2K'}{D'} \right) + f \cdot \sin \delta + bU + cU^2 \quad (27)$$

Опір руху конвеєрного поїзда доцільно обчислювати на ЕОМ з бажаним ступенем точності.

Програму обчислень наведено на рис. 4. Дана програма дозволяє визначити величину бічних сил, реакції в зчіпках, питомі опори руху кожного візка та їх суму під час руху конвеєрного поїзда в режимі штовхання.

Таким чином, розроблена методика дозволяє визначити опір руху кожного візка конвеєрного поїзда як зі стабілізуючою системою, так і без неї, що рухаються в режимі штовхання з урахуванням впливу кутових зсувів візків щодо один одного та осі руху, а також з урахуванням моментів опору, що виникають у зчіпних пристроях.



1		входные данные						
2	Lo	длина рычага тележки				40 см		
3	L2	длина тележки				100 см		
4	Fg	характеристика привода				0,17		
5	δ	угол разворота				2 град	0,034889	
6	n	количество тележек в составе				20		
7	Mw	момент трения в сцепке, Нм				20 Нм		
8	Gт	вес тележки				1000 кг		
9	w _о	величина основного удельного сопротивления в режиме тяги				0,013		
10	μ	приведенный к диаметру оси коэффициент сопротивления в г				0,003		
11	μ'	коэффициент сопротивления трения шейки оси в подшипника				0,003		
12	d	диаметр оси ходового колеса, м				0,055 м		
13	d'	диаметр оси отклоняющего колеса, м				0,04 м		
14	D'	диаметр отклоняющего колеса стабилизирующей системы, м				0,2 м		
15	D	диаметр ходового колеса, м				0,3 м		
16	K	коэффициент трения качения колеса по рельсам				0,005		
17	K'	коэффициент трения качения отклоняющего ролика по центри				0,005		
18	U	скорость движения подвижного состава				5 м/с		
19	f	коэффициент трения обода колеса о рельс				0,17		
20	f _p	коэффициент трения реборды колеса о рельс				0,15		
21	c	крутильная жесткость упругого элемента сцепки, Нм/рад				0,015 Нм/рад		
22	r _н	величина радиуса закругления кромки рельса, м				0,0015 м		
23	b	коэффициент сопротивления скорости движения подвижного				0,12 с/м		

[illegible][illegible]

**Рисунок 4 – Програма обчислень питомих опорів руху конвеєрних поїздів
різної конструкції**

Слід зазначити, що вплив перекосів особливо великий для рухомих складів конвеєрних поїздів не укомплектованих стабілізуючою системою, а застосування роликів, що відхиляють, і центруючої рейки помітно знижують опір руху конвеєрного поїзда.



Встановлено взаємозв'язок між зусиллям штовхання рухомого складу F_T , бічними зусиллями R_i та реакціями у зчіпках $R_i^{\text{ш}}$. Це дозволило визначити опір руху кожного візка та всього рухомого складу значної довжини ($n > 100$) під час роботи в режимі штовхання. Величина бічних зусиль залежить від розташування візка у складі щодо приводу та кута розвороту візка. Визначення їх необхідно при обмеженні довжини складу виходячи з умови випирання найбільш навантаженого візка в штовханні, а також для виконання розрахунків міцності.

Запропонована методика дозволяє розрахувати опір руху кожного візка та рухомого складу при штовханні його на криволінійній ділянці. При цьому максимальний кут розвороту візків, що знаходяться на кривій, виражається кутом вписування $\delta_{\text{кр}}^{\text{max}}$ візки рухомого складу у криву. Величина питомого опору руху візків, що знаходяться на кривій, збільшиться на величину питомого опору руху, що залежить від кривизни шляху ($w_{\text{кр}}$) та наявності відцентрової сили [1, 2].

Наведений аналіз формул щодо визначення питомих опорів руху (26, 27) дозволив встановити залежність величини цих опорів від геометричних та конструктивних параметрів візків рухомого складу, їх ваги, конструкції застосовуваних зчіпних пристроїв, режиму роботи (тяга або штовхання), швидкості його руху, а також від характеристики застосовуваного приводу.

Збільшення діаметрів ходових коліс, підвищення точності виготовлення візків та колійної структури, застосування стабілізуючої системи є одними з ефективних способів зниження загального опору руху, що дозволить знизити встановлену потужність приводних станцій та покращити експлуатаційні показники конвеєрних поїздів. Аналіз формул (15, 16, 17) показав, що розміщення осі ходових коліс візка якомога ближче до осі повороту візків у горизонтальній площині ($l_0 \rightarrow 0$) зменшить вплив перекосів візків у режимі штовхання на опір руху.

Дана методика дозволяє розрахувати загальний опір руху поїздів та може бути використана для виконання тягових розрахунків з видачею рекомендації щодо вибору оптимальної встановленої потужності приводної станції та конструкції вузлів колійної структури та рухомого складу не тільки конвеєрних поїздів, але й інших видів транспорту, що працюють у режимі штовхання. .



1.3. Визначення основних опорів руху та практичні рекомендації щодо вибору параметрів конвеєрних поїздів різної конструкції

Для розрахунку основних опорів руху конвеєрних поїздів використовуємо розроблену програму (рис. 4) і зробимо обчислення за допомогою ЕОМ.

Вихідні дані:

R_i – реактивне зусилля, що виникає при перекосі візків;

$\sum W_2, \sum W_4$ – сума опорів руху всього рухомого складу конвеєрного поїзда без стабілізуючої системи та з нею.

Значення вхідних величин приймаються відповідно до розглянутої конструкції конвеєрного поїзда і даними довідкової літератури [1, 2, 4, 6, 12].

Розглянемо рухомий склад конвеєрного поїзда, складеного з одновісних візків із наступними геометричними розмірами (див. табл. 5).

Таблиця 5 – Геометричні параметри ходової частини візка конвеєрного поїзда

Найменування величини	Позначення	Значення
Діаметр ходового колеса, м	D	0,30
Діаметр відхиляючого колеса стабілізуючої системи, м	D'	0,20
Діаметр осі ходового колеса, м	d	0,055
Діаметр осі колеса, що відхиляє, м	d'	0,04
Коефіцієнт тари	K_T	0,4

Слід зазначити, що в основному діаметр ходових коліс конвеєрних поїздів знаходиться в межах 300-450 мм, з кутом нахилу реборди $Q = 20^\circ$.

Використовуючи як колійну структуру рейкові напрямні визначаємо за відповідними стандартами величину радіуса закруглення кромки рейки (в середньому величина $r_h = 1,3 \cdot 10^{-3}$ м).

Величина основного питомого опору у режимі тяги $W_0 = 0,013$ визначається або експериментальним шляхом, за наявності одного візка, або приймається за даними аналогічних конструкцій рейкового транспорту. Для нашого випадку величина $W_R = 0,013$ отримана експериментально і не відрізняється від значень, прийнятих у літературі [2, 3].



Значення питомої сили тяги приймається з тягово-енергетичних параметрів двигуна. В даному випадку використовується двосторонній лінійний асинхронний двигун (ЛАД) з довгим статором з наступною характеристикою $F_G = 0,17$.

Вихідні дані для розрахунку прийняті такі:

Позначення	Найменування величини	Числове значення	Одиниці виміру
l_0	довжина важеля візка	40	см
l_2	довжина візка	100	см
F_G	характеристика приводу	0,17	
δ	кут розвороту	2	град
n	кількість візків у складі	20	
M_w	момент тертя у зчіпці, Нм	20	Нм
G_T	вага візка	1000	кг
w_0	величина основного питомого опору в режимі тяги	0,013	
μ	наведений до діаметру осі коефіцієнт опору в підшипниках ходових коліс	0,003	
μ'	коефіцієнт опору тертя шийки осі в підшипниках роликів, що відхиляють.	0,003	
d	діаметр вісі ходового колеса, м	0,055	м
d'	діаметр вісі відхиляючого колеса, м	0,04	м
D'	діаметр відхиляючого колеса стабілізуючої системи, м	0,2	м
D	діаметр ходового колеса, м	0,3	м
K	коефіцієнт тертя кочення колеса по рейках	0,005	
K'	коефіцієнт тертя кочення відхиляючого ролика по центруючій рейці	0,005	
U	швидкість руху рухомого складу	5	м/с
f	коефіцієнт тертя обода колеса про рейку	0,17	
f_p	коефіцієнт тертя реборди колеса про рейку	0,15	
c	крутильна жорсткість пружного елемента зчіпки, Нм/рад	0,015	Нм/рад
r_h	величина радіуса закруглення кромки рейки, м	0,0015	м
b	коефіцієнт опору швидкості руху рухомого складу	0,12	с/м

Значення змінних величин прийнято в інтервалах

$$\delta_{min} = 0,5^\circ;$$

$$\delta_{max} = 3^\circ;$$

$$n_{opt} = 50;$$

$$n_{max} = 200;$$

$$\min \frac{l_0}{l_2} = 0;$$

$$\max \frac{l_0}{l_2} = 0,9;$$

$$G_{min} = 1000 \text{ кг};$$

$$G_{max} = 3000 \text{ кг};$$

$$M_{wmin} = 10 \text{ Нм};$$

$$M_{wmax} = 10000 \text{ Нм};$$



Виконані розрахунки показали наступну закономірність: значення питомих поперечних сил R та опорів руху W_2 та W_4 візків змінюються зі зростанням порядку номера візка (нумерація візків у складі прийнята від приводу у бік штовхання, першим візком є найближчий до приводу, а останнім – головний у складі, найбільш віддалений від приводу).

Максимальне значення – поперечна сила R та опір руху W_2 и W_4 досягають при повній вибірці зазорів, зумовлених кутом розвороту візків у складі. При цьому на цей візок з одного боку діє сила штовхання приводу, а з іншого сила опору руху, що знаходяться попереду візків. Номер даного візка при $0,5 > \frac{l_0}{l_2} > 0$ можна визначити за такою формулою:

$$n_{max}^G = 10 \frac{l_0}{l_2} + 2, \quad (28)$$

Якщо $n_{max}^G > 2$, то слід приймати $n_{max}^G = 3$.

Значення R , w_2 , w_4 від n_1 до n_{max} змінюються за квадратичною залежністю, а з n_{max}^G до n_i (при $i = n$) – виражається прямою. При цьому поперечна сили головного візка R_n наближається до 0 ($R_n \rightarrow 0$), а значення w_2 та w_4 до величини w_0 ($w_2 \rightarrow w_0$, $w_4 \rightarrow w_0$).

Значення поперечної сили, що діє на кожен візок рухомого складу, що знаходиться в режимі штовхання R_i при $n_{max}^G = i \geq n$ виражається наступною залежністю:

$$R_i = K(n - 1) \alpha \cdot 10^{-4} m, \quad (29)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від геометричних розмірів візка (l_0 , l_2)

$$K = 19,98 \left(\frac{l_0}{l_2} \right) + 8,68 \left(\frac{l_0}{l_2} \right) + 4,53. \quad (30)$$

Для $0 \leq \frac{l_0}{l_2} \leq 0,5$

n – кількість візків у складі, що беруть участь у штовханні;

i – порядковий номер візка;

m – маса візка, кг.

Визначивши номер максимально навантаженого візка і підставивши його значення формулу (29) отримуємо максимальне значення поперечного зусилля R_{max} . Величину R_{max} необхідно враховувати при виконанні розрахунків на міцність і визначенні максимального значення питомого опору руху w_2 та w_4 . Як зазначено раніше, режим штовхання характеризується збільшенням опору руху залежно від кількості візків, що штовхаються, причому кожен візок у складі



має свій опір руху, що залежить від його розташування щодо приводу. Зміна w_2 та w_4 відбуваються аналогічно до зміни R_i (див. формули 26, 27) і найбільше значення w_2 та w_4 приходить на візок, номер якого визначений за формулою (28).

Однак, в практичних розрахунках немає необхідності визначати питомий опір кожного візка, а потрібне сумарне значення цього опору, у випадку коли увесь рухомий склад знаходиться попереду приводу (найбільш важкий режим – штовхання для якого потрібно визначати зусилля штовхання).

Для конвеєрних поїздів без стабілізуючої системи ($0 \leq \frac{l_0}{l_2} \leq 0,5$) суму питомих опорів $\sum w_2$ можна визначити за номограмою рис. 5. Сума питомих опорів руху конвеєрного поїзда зі стабілізуючою системою $\sum w_4$ для будь-яких значень $\frac{l_0}{l_2}$ можна визначати за номограмою рис. 6.

У свою чергу, визначення необхідного тягового зусилля (суми основних питомих опорів руху візків конвеєрного поїзда), з достатньою точністю можна проводити за формулою:

а) для конвеєрних поїздів без стабілізуючої системи:

$$\sum w_2 = \frac{1}{2} w_0 n \left(1 + \frac{w_2}{w_0} \right); \quad (31)$$

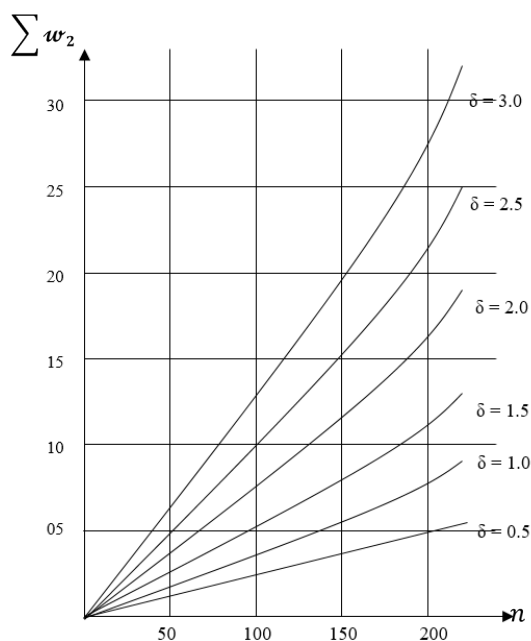
б) для конвеєрних поїздів зі стабілізуючою системою:

$$\sum w_4 = \frac{1}{2} w_0 n \left(1 + \frac{w_4}{w_0} \right), \quad (32)$$

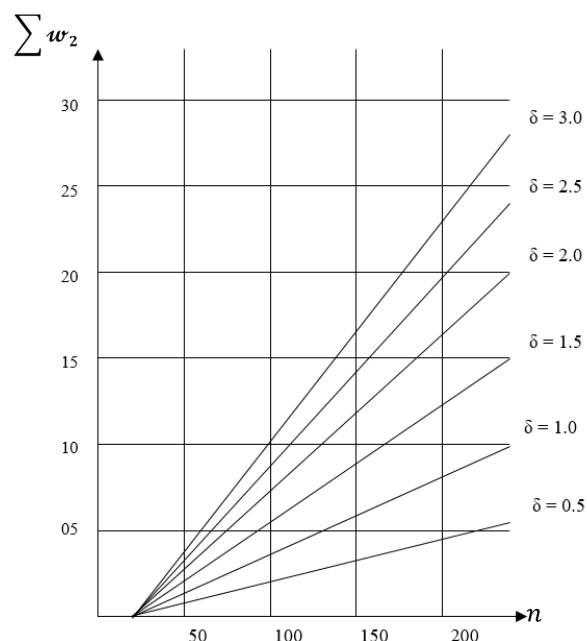
де n – кількість візків рухомого складу;

w_0 – основний питомий опір руху в режимі тяги;

w_2 та w_4 – максимальне значення основного питомого опору руху в режимі штовхання для конвеєрних поїздів без стабілізуючої системи та з нею. У практичних розрахунках зручно користуватися відносинами, що входять у формулу $\frac{w_2}{w_0}$ та $\frac{w_4}{w_0}$.



a)



б)

Рисунок 5 – Номограма визначення суми питомих опорів руху (Σw_2) конвеєрного поїзда без стабілізуючої системи залежно від кількості візків (n) та кута розвороту (δ°)

a) квадратична залежність; б) пряма залежність

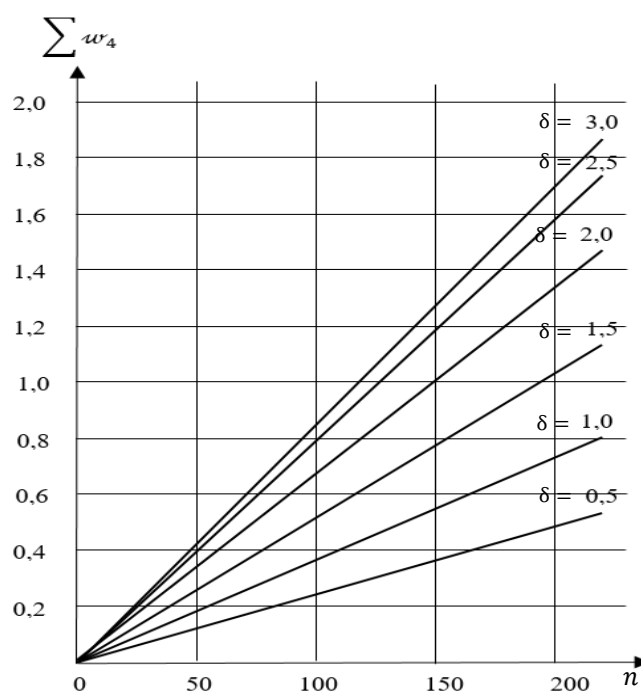


Рисунок 6 – Номограма визначення суми питомих опорів руху (Σw_4) конвеєрного поїзда зі стабілізуючою системою залежно від кількості візків (n) та кута розвороту (δ°)



Інтенсивність зростання максимального питомого опору руху в режимі штовхання для конвеєрного поїзда без стабілізуючої системи $\left(\frac{w_2}{w_0}\right)$ залежно від довжини рухомого складу та максимального кута розвороту при $0 \leq \frac{l_0}{l_2} \leq 0,5$ може бути визначена за номограмою на рис. 7, а, $\frac{w_4}{w_0}$ для конвеєрного поїзда із стабілізуючою системою на рис. 8. Для будь-яких значень $\frac{l_0}{l_2}$ можна користуватися формулою

$$\frac{w_4}{w_0} = 1 + 0,16 \cdot 10^{-3} n, \quad (33)$$

де n – кількість візків у рухомому складі.

Знаючи величину можливого кута розвороту та довжину рухомого складу додатково пропонуються номограми для визначення відношення $\frac{w_2}{w_0}$ для різних значень $\frac{l_0}{l_2}$ (рис. 9).

Знаючи суму величин основних питомих опорів візків рухомого складу $\sum w_2 (\sum w_4) = w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n$, що знаходиться в стислому стані можна визначити силу опору руху конвеєрного поїзда, а значить і необхідну силу тяги приводу в найважчому режимі його роботи - штовханні (необхідну силу штовхання приводу).

Загалом сила тяги (штовхання) приводу для конвеєрного поїзда будь-якої конструкції рухомого складу визначається за формулою:

а) для періоду встановленої швидкості ($a = 0$)

$$F_T = (G_T + G_{гр})(\sum w_2 | \sum w_4 | + w_{кр} \pm i), \quad (34)$$

б) для періоду уповільнення (при вільному вибігу) ($a < 0$)

$$F_T = (G_T + G_{гр}) \left(\sum w_2 | \sum w_4 | + w_{кр} \pm i - \frac{\delta a}{g} \right), \quad (35)$$

в) для періоду прискорення ($a > 0$)

$$F_T = (G_T + G_{гр}) \left(\sum w_2 | \sum w_4 | + w_{кр} \pm i + \frac{\delta a_n}{g} \right), \quad (36)$$

де $\sum w_4 \sum w_2$ – основний питомий опір руху в режимі штовхання для конвеєрного поїзда зі стабілізуючою системою та без неї;

$w_{кр}$ – додатковий питомий опір під час руху конвеєрного поїзда по криволінійній ділянці;

i – середній ухил ділянки колії, %;

$G_T, G_{гр}$ – маса візка та вантажу, кг;



δ – коефіцієнт інерції мас, що обертаються (зазвичай приймають $\delta = 1,06 - 1,12$);

a – прискорення (уповільнення) поїзда при вимкненому приводі, м/с^2 ;

a_n – прискорення рухомого складу при розгоні, що залежить від реальної механічної характеристики приводу, м/с^2 .

Значення величин $w_{\text{кр}}$ та i визначаються відомими способами щодо конкретного план-профілю ділянки траси.

Потужність приводної станції (приводу) для цієї ділянки знаходиться за формулою:

$$N_k = \frac{F_T \cdot U}{1000 \cdot \eta}, \quad (37)$$

де N_k – загальна встановлювана потужність приводної станції (приводу) для k -ої ділянки, що знаходиться попереду приводу, кВт;

F_T – необхідна сила штовхання, Н;

U – швидкість руху, що встановився, м/с ;

η – ККД, приводної станції (приводу).

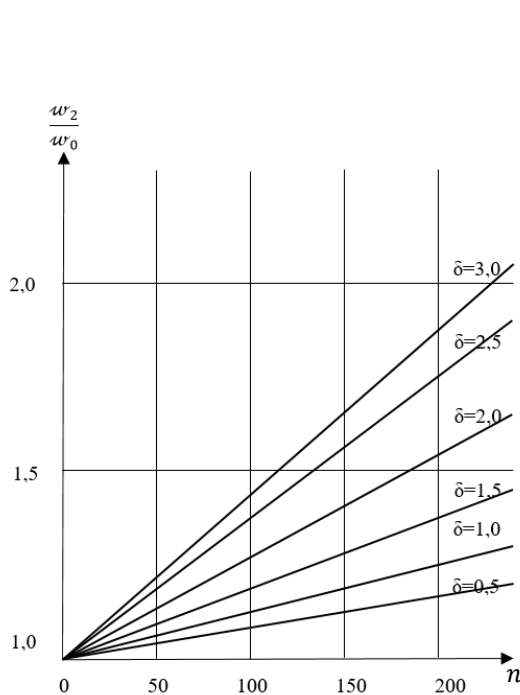


Рисунок 7 – Номограма визначення відношення $\frac{w_2}{w_0}$ в залежності від кількості візків (n) та кута розвороту (δ°)

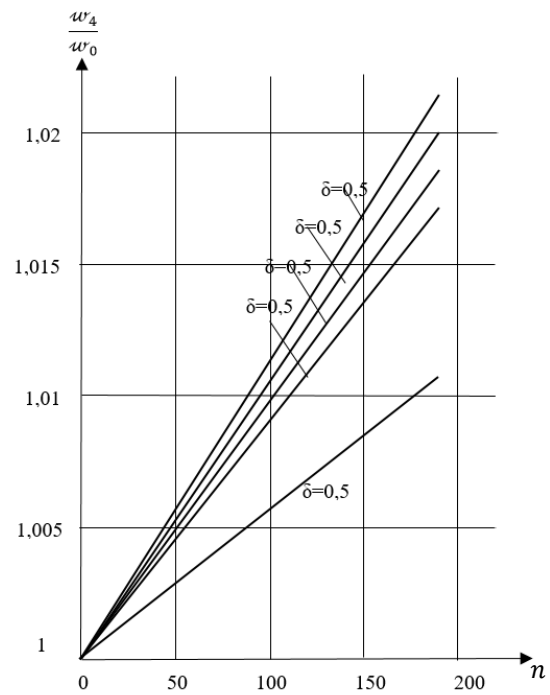


Рисунок 8 – Номограма визначення відношення $\frac{w_4}{w_0}$ в залежності від кількості візків (n) та кута розвороту (δ°)

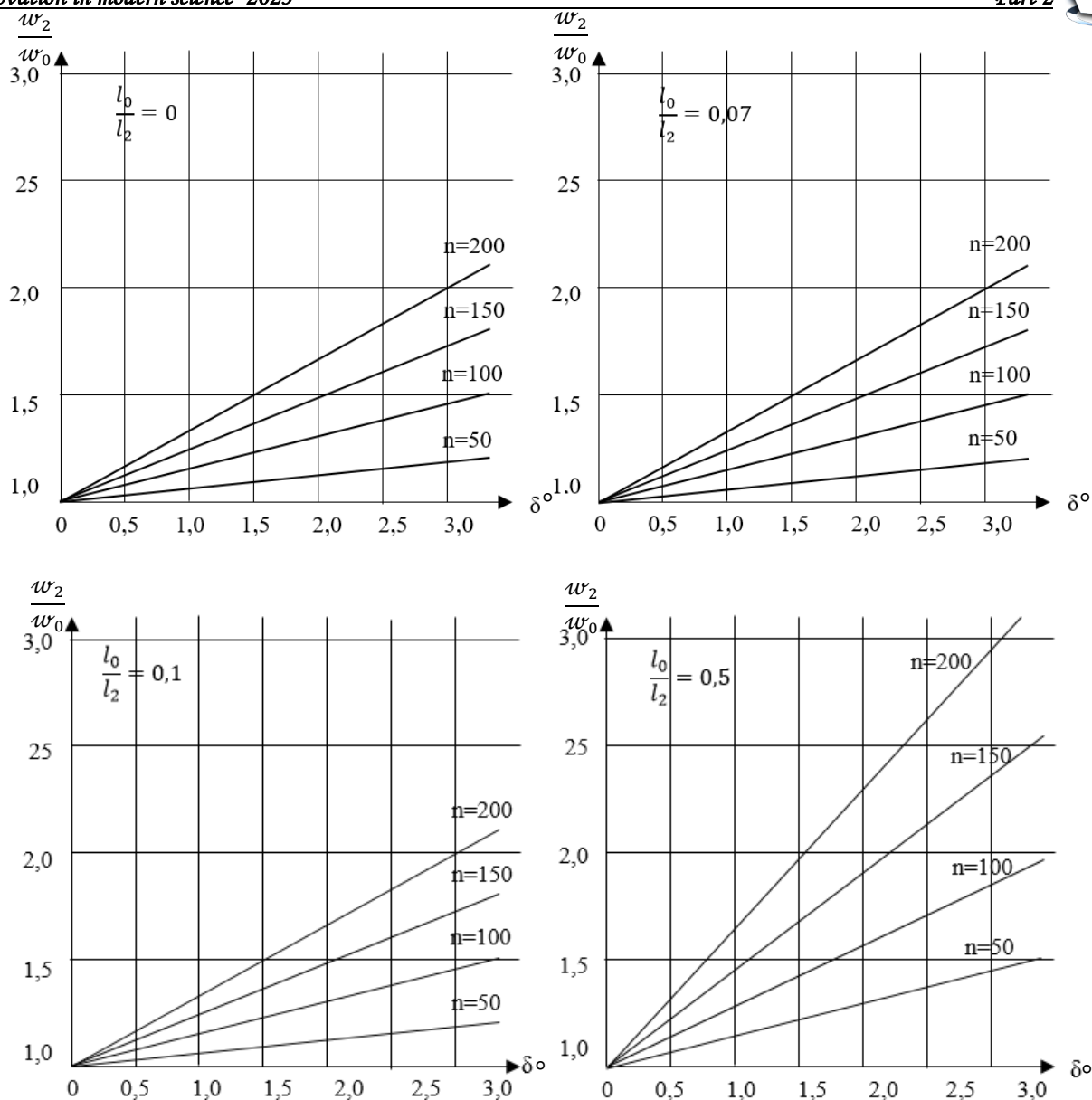


Рисунок 9 – Номограма визначення відношення $\frac{w_2}{w_0}$ в залежності від кількості візків (n) та кута розвороту (δ°) для різних значень $\frac{l_0}{l_2}$

Надалі значення одержаних потужностей по ділянках траси використовуються для виконання тягово-енергетичних розрахунків усієї транспортної системи. Побудова кривих руху проводиться за звичайною методикою, яка використовується для аналогічних цілей у залізничному транспорті, а кількість індукторів, необхідна для забезпечення заданого режиму залежить як від ваги рухомого складу, так і від величини опору руху та ухилу ділянки траси.



Висновки та рекомендації

Дана методика дозволяє на стадії проектування економічно оцінити ефективність застосування різних конструкцій конвеєрних поїздів як транспортну систему.

За цією методикою залежно від конструктивних виконань конвеєрного поїзда, габаритних розмірів візка та відхилень колійної структури визначаються такі механічні параметри, необхідні для виконання тягово-енергетичних розрахунків:

- бічні реактивні сили кожного візка, що виникають при їх перекосі під час руху в режимі штовхання,
- максимальне значення бічної реактивної сили та місце її застосування,
- опір руху в режимі штовхання кожного візка та всього рухомого складу,
- необхідне тягове зусилля при штовханні для різних періодів руху конвеєрного потяга.

Виконані теоретичні дослідження дозволили:

1. Встановити кількісну залежність між зусиллям штовхання, бічними силами, реакціями в зчіпках та їх впливом на весь процес руху.
2. Визначити величину бічної сили для кожного візка рухомого складу, а також виявити місце розташування найбільш навантаженого візка стисненого складу.
3. Визначити значення опору руху в режимі штовхання для кожного візка та закон його зміни.
4. Визначити суму опорів руху всіх візків рухомого складу для стислого стану різних конструкцій конвеєрного поїзда.
5. Встановити взаємозв'язок між значеннями опорів руху в режимі тяги та штовхання для різних конструкцій конвеєрних поїздів.

Величина максимальної бічної сили зростає із збільшенням відношення $\frac{l_0}{l_2}$ і залежить від числа візків у рухомому складі (n) та кута розвороту візків (δ°).

Значення бічної сили наведено у табл. 6.

Наголошено, що збільшення відношення $\frac{l_0}{l_2}$ призводить до видалення від приводу найбільш навантаженого візка. Так при значеннях $\frac{l_0}{l_2} = 0 \div 0,1$ найбільш навантаженим є 3-й візок, при $\frac{l_0}{l_2} = 0,2$ – 4-й візок, $\frac{l_0}{l_2} = 0,5$ – 7-й візок. Це



дозволяє визначити необхідну довжину контррейки для виключення вповзання даного візка на рейку за умови стиснення в режимі штовхання.

Таблиця 6 – Значення бічної сили

δ°	$0,5^\circ$		1°		2°	
$\frac{l_0}{l_2}$	$\frac{50}{200}$		$\frac{50}{200}$		$\frac{50}{200}$	
0,0	0,011	0,045	0,022	0,09	0,044	0,18
0,07	0,012	0,051	0,025	0,10	0,0496	0,21
0,1	0,013	0,055	0,026	0,11	0,053	0,22
0,5	0,03	0,13	0,061	0,26	0,12	0,53

Виконані розрахунки показали, що питомий опір руху кожного візка рухомого складу, що знаходиться в стислому стані по-різному і зменшується з видаленням її від приводу. Сумарний питомий опір руху складу для режиму штовхання збільшується від числа візків, що штовхаються, і істотно залежить від кута розвороту візків. Збільшення кута розвороту візків (δ°) з 1° до $2,5^\circ$ призводить до зростання опору руху в 2,5 рази для складу з кількістю візків – 200 шт.

Зниження опору руху можливе за умови використання в конвеєрних поїздах стабілізуючої системи. За рівних умов експлуатації та конструктивних параметрів складу опір руху конвеєрного поїзда зі стабілізуючою системою для різних кутів розвороту та рухомого складу з 200 візків у 1,3 – 1,5 рази менше, ніж поїзди без стабілізуючої системи.

Відхилення розмірів колії та колісних пар рухомого складу в конвеєрних поїздах без стабілізуючої системи значно підвищують опір руху, а зміна зазору між елементами стабілізуючої системи конвеєрного поїзда – відхиляючими роликами та центрувальною рейкою (напрямною) у межах 7 – 25 мм призводить до незначного збільшення опору руху в режимі штовхання (приблизно на 15 – 20%). Це дозволяє розширити допуски виготовлення та монтаж стабілізуючої системи без істотного збільшення експлуатаційних витрат, так як кут перекосу візків конвеєрного поїзда зі стабілізуючою системою в межах $0,5^\circ$ – $2,5^\circ$ не надає особливого впливу на величину опору руху.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють зробити наступні рекомендації щодо застосування та використання конвеєрних



поїздів:

1. Застосування одновісних візків у рухомому складі конвеєрних поїздів не поступається за критерієм стійкості руху двовісним із-за рівності жорсткої бази та мають переваги при вписуванні в криві малого радіусу.

2. Збільшення жорсткої бази візка підвищує стійкість і зменшує кут розвороту візка, але у свою чергу погіршує вписування складу в криві, а також вимагає збільшення металоємності через необхідність підвищення міцності візка.

3. Застосування одновісних візків є доцільним при використанні конвеєрних поїздів у кільцевій транспортній системі. При цьому напрям сили штовхання не змінюється.

4. Використання одновісних візків при човниковій схемі руху вимагає, щоб відносини $\frac{l_0}{l_2} = 1 (l_0 - l_2)$ або $\frac{l_0}{l_2} = 0 (l_0 \neq 0)$. При цьому дотримується рівність бічних сил та опорів руху.

5. При формуванні рухомого складу з одновісних візків необхідно головний та останній візки виконувати двовісними.

6. Для зменшення впливу кута перекосу візка на опір руху необхідно розміщувати вісь ходових коліс якомога ближче до осі зчипки (тобто $l \rightarrow 0$).

7. Отримання значення максимальної бічної сили необхідні виконання міцнісних розрахунків з урахуванням впливу кутових зміщень візків щодо рейкового шляху.

8. Для зниження величини бічних сил і опорів руху рекомендується застосування стабілізуючої системи, що складається з роликів, що відхиляють, і центруючої рейки. Відхиляючі ролики у кількості двох штук на візку встановлюються на осі ходових коліс даного візка.

9. Рекомендується застосування зчіпок з максимально можливим ступенем жорсткості або великим моментом тертя. Проте прийнята жорсткість зчіпки не повинна перешкоджати руху на криволінійних ділянках траси. (Не виключається застосування зчіпок з автоматично регульованою жорсткістю).

10. Зниження опору руху конвеєрного поїзда зі стабілізуючою системою дозволить зменшити встановлену потужність приводних станцій, знизити витрату енергії, що споживається, і тим самим поліпшити експлуатаційні показники транспортної системи з конвеєрними поїздами.



KAPITEL 2 / CHAPTER 2 ²

WASTEWATER TREATMENT USING CAVITATION EFFECTS

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-20-02-014

Вступ

Сучасні вимоги до скидів стічних вод встановлюють жорсткі обмеження на залишковий вміст реагентів, що використовуються для знезараження рідин, вміст шкідливих та небезпечних речовин. У зв'язку з цим зростає інтерес до безреагентних методів обробки рідких середовищ. Безреагентні методи очищення та дезінфекції не забруднюють природне середовище хімічними речовинами, не надають шкідливого чи подразнюючого впливу на організм людини при контакті з очищеною водою та іншими рідинами. В даний час перспективні нові екологічні методи знезараження рідин за рахунок їх фізичної обробки та зменшення кількості хімічних реагентів, що застосовуються для дезінфекції. До таких методів відносяться ультрафіолетове опромінення, електророзрядна, кавітаційна обробка та інші способи фізичного впливу на рідину. При порівнянні різних методів знезараження кавітація є недорогим способом обробки рідини. Якщо фінансові витрати на кавітаційну дезінфекцію одиниці об'єму питної води прийняти за одиницю, то витрати на ультрафіолетову обробку більші приблизно в 1,6 раз, на хлорування – у 3 рази, озонування – у 10 разів у порівнянні з витратами на кавітаційну обробку рідини [1]. Кавітаційні технології показують високу ефективність для інтенсифікації хіміко-технологічних процесів у рідинах, у тому числі й для їх очищення, пастеризації та знезараження [2-5].

Метою роботи є проведення огляду для аналізу переваг та недоліків кавітаційної обробки стічної води різного походження.

2.1. Знезараження стічних вод кавітаційною обробкою

Кавітація є засобом локальної концентрації енергії низької щільності у високу щільність енергії, пов'язану з пульсаціями і захопуванням кавітаційних бульбашок. У фазі розрідження акустичної хвилі або за рахунок місцевого

²Authors: Obodovych O.M., Sydorenko V.V., Tselen B.Y., Stepanova O.E.



зниження тиску, наприклад при обтіканні твердого тіла, у рідині утворюються каверни. У фазі стискування під впливом зовнішнього тиску і сил поверхневого натягу каверна захоплюється, а пара конденсується на межі розділу фаз. Через стінки каверни в неї дифундує розчинений у рідині газ, який потім піддається сильному адіабатичному стисненню. У момент зхлопування кавітаційної каверни тиск і температура газу локально можуть досягти значних величин (за розрахунковими даними до 100 МПа та до 10 000 °C) [6].

Енергії, що виділяється в процесі зхлопування бульбашки, достатньо для збудження, іонізації та дисоціації молекул води, газів та речовин з високою пружністю пари всередині кавітаційної порожнини. На цій стадії будь-який із присутніх газів є активним компонентом, беручи участь у передачі енергії збудження, перезарядки та інших процесах. При зхлопуванні кавітаційної бульбашки в розчин переходять радикали H, OH, іони та електрони малої енергії, що утворилися в газовій фазі при розщепленні молекули H_2O та речовин з високою пружністю пари, продукти їх взаємодії та часткових рекомбінацій, а також метастабільні збуджені молекули H_2O . Незалежно від природи розчинених речовин, дія кавітації на воду призводить до зміни її фізико-хімічних властивостей: збільшення рН, електропровідності води, збільшення кількості вільних іонів та активних радикалів, структуризації та активації молекул [7-8]. Основну бактерицидну дію на мікрофлору у воді надають пероксид водню та радикали OH, які утворюються при дисоціації молекул води в кавітаційних утвореннях [2].

Експериментальні дослідження з кавітаційної обробки води в роторному імпульсному апараті (PIA) показали, що відбувається збільшення значення рН. Після припинення кавітаційної обробки води переважають зворотні хімічні реакції і рН за 48...72 год. знижується до вихідної величини.

При кавітаційному впливі на воду руйнуються колоїди та частинки, всередині яких можуть утримуватися бактерії, мікроорганізми позбавляються захисту перед іншими хімічними та фізичними впливами кавітації. Бактерицидна дія кавітації прямопропорційна до її інтенсивності, кратності або часу обробки. При застосуванні кавітації можливо дробити великі молекули органіки, що є центрами утворення кавітаційних бульбашок так само, як і мікроби є центрами тяжіння кавітаційних утворень. За розміром мікроби можна порівняти з великими молекулами органічних сполук, з молекулами важких нафтопродуктів [1].



Вплив кумулятивних струменів рідини, локальні пульсації тиску та температури при зхлопуванні кавітаційних бульбашок здатні викликати знищення бактерій, що використовується при знезараженні рідких продуктів та розчинів [2-4]. Проведені дослідження з кавітаційної обробки стічної побутової води показали, що кількість загальних коліформних бактерій (ЗКБ) від кавітаційного впливу зменшується у 100 тис. разів, термотолерантних бактерій (ТКБ) – у 60 тис. разів, коліфагів (бактеріальних вірусів) – у 80 разів.

Практично повне знищення бактерій у стічній воді при кавітаційній обробці в РІА досягалося за 10 циклів, в проточному гідродинамічному кавітаторі (ПГК) з додаванням 0,1 % розчину гіпохлориту натрія (ГХН) – за 5 циклів.

Зіставлення даних з обробки стічної води та величин чисел кавітації в РІА та ПГК дозволяє зробити висновок, що кавітація прямопропорційно впливає на ефективність бактерицидної обробки в гідродинамічному устаткуванні. При обробці стічної води у промисловому РІА-250 можливе повне знищення бактерій за 10 циклів без хімічних реагентів. При обробці стічної води в лабораторному ПГК можливе повне знищення бактерій за 5 циклів обробки з додаванням не менше ніж 0,1 % розчину ГХН. При вмісті у воді 0,1-0,2 % ГХН вона відповідає нормативним вимогам щодо рН та вмісту ЗКБ та ТКБ. Кавітаційна обробка стічної води з введенням невеликої кількості окислювача (гіпохлориту натрію) дає синергетичний ефект і дозволяє знизити в кілька разів кількість хімічних реагентів, що застосовуються для знезараження стічної води [9].

2.2. Апаратурне оформлення технологічних схем із впровадженням вузла кавітаційної обробки води

Пропоновані сучасні технічні рішення по очищенню стічних вод об'єктів теплоенергетики повинні відповідати низці вимог, а саме бути енергоресурсозберігаючими, екологічно безпечними, економічно доцільними і водночас високоефективними.

Технологія очищення стічних вод, які утворюються на теплоенергетичних підприємствах, що містять нафтопродукти та біоорганізми, в основі якої лежить кавітаційний вплив, відповідає зазначеним вимогам. Крім того, очищена за цією технологією вода за фізикохімічним складом відповідає стандартам Європейського союзу до технічної води.



Кавітаційний реактор може бути включений до будь-якого з етапів типових технологічних схем очищення. На рис. 1, 2 представлені апробовані принципові схеми очищення нафтовмісних стічних вод з використанням кавітаційної установки. Схема очищення нафтовмісних стічних вод фільтрацією з доочищенням в кавітаційному роторному реакторі представлена на рис. 1.

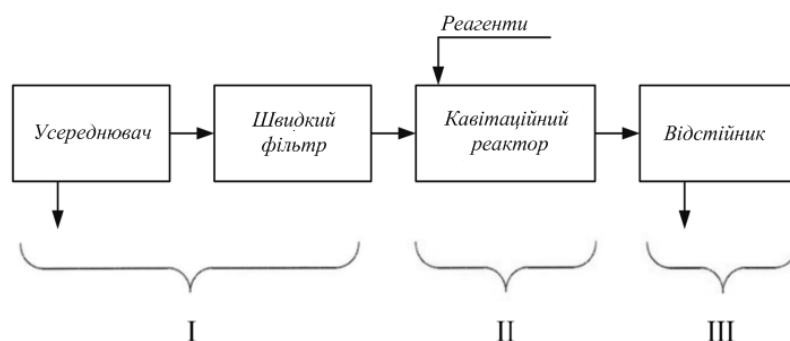


Рисунок 1 – Схема очищення нафтовмісних стічних вод з доочищенням у кавітаційному роторному реакторі [10]

Технологічна схема включає: коагуляційне осадження та фільтрування домішок на першому ступені; кавітаційну обробку освітленого стоку на другому ступені; осадження продуктів розкладання та адсорбованих інтермедіатів на третьому ступені очищення.

Ступені обробки стоків, що включають фізико-хімічне очищення, підмішування, відстоювання, реалізуються традиційними способами, залежно від складу і витрати води, що очищається.

Основним ступенем очищення у цій схемі є використання технології очищення з урахуванням ефектів кавітації для розкладання важко окислюваних речовин.

Пропонований спосіб очищення можна істотно інтенсифікувати шляхом додавання невеликої кількості окислювача в кавітаційну зону для ініціювання радикально-ланцюгових реакцій окислення субстратів і активування молекул води. Як окислювач може застосовуватися пероксид водню, озон, двовалентне залізо та ін.

Згідно з проведеними дослідженнями, повне видалення всіх забруднювачів потребує значних витрат енергії, а також веде до інтенсивного абразивного зносу обладнання від завислих речовин. Тому пропонується провести початкове освітлення стоку фізико-хімічними методами для відокремлення від неемульгованих нафтопродуктів та великих завислих речовин.



Технологічна схема очищення нафтовмісних стічних вод з домішками поверхнево-активних речовин (ПАР) та неіоногенних ПАР представлена на рис. 2. Дана схема працює наступним чином: стічна вода спочатку потрапляє у відстійник з вбудованою песколовкою 1, де відокремлюється від великих зависей і неемульгованих нафтопродуктів, потім проходить через швидкий фільтр 2, де очищається від дрібнодисперсних зависей, попередньо очищена вода потрапляє в резервуар з кавітуючою установкою 5, де очищається від емульгованих нафтопродуктів, а піна, що утворюється при перемішуванні середовища, знімається пінознімачем і акумулюється в ємності для миючого концентрату 3 і знову надходить на мийку, вода транспортується в резервуар чистої води 6 для подальшого використання.

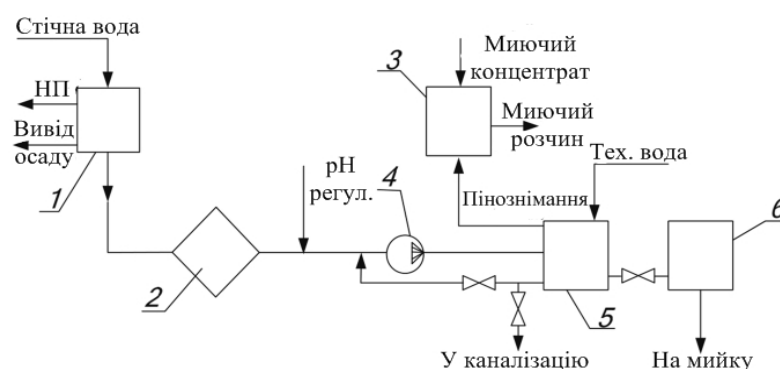


Рисунок 2 – Схема очищення нафтовмісних стічних вод з домішками ПАР та НПАР з доочищенням у кавітаторі лопатного типу: 1 – відстійник з вбудованою песколовкою; 2 – швидкий фільтр; 3 – ємність миючого концентрату; 4 – насос; 5 – резервуар з кавітуючою установкою; 6 – резервуар чистої води.

Глибоке очищення стічних вод необхідне перед використанням їх у системах повторного та оборотного водопостачання теплоенергетичних промислових підприємств, переважне використання цих вод знаходять у системах охолоджуючого оборотного водопостачання, а також у ряді технологічних операцій, де вимоги до води приблизно відповідають показникам якості вод відкритих вододжерел, у деяких випадках ці вимоги можуть бути менш жорсткими, ніж до якості води перед скиданням у водоймища [10].



2.3. Кавітація як одне із явищ дискретно-імпульсного введення енергії

Складні проблеми гідродинамічного впливу на багатокomпонентні рідкі середовища успішно вирішуються при застосуванні методу дискретно-імпульсного введення енергії – принципово нового способу інтенсифікації гідродинамічних та тепломасообмінних процесів. Принцип дискретно-імпульсного введення та трансформації енергії (ДІВЕ) був запропонований у роботі [11] як узагальнюючий метод спрямованого, локального та інтенсивного використання концентрованої енергії в рідинних дисперсних системах. Фізичні явища динаміки основних елементів ДІВЕ надалі були теоретично досліджені в літературі [12], а технологічні та інженерні програми цього принципу представлені в літературі [13]. Найбільш повно і послідовно принцип ДІВЕ до теперішнього часу розглянуто в монографії [14], а процеси тепломасообміну та гідроаеродинаміки, що супроводжують на макрорівні явища ДІВЕ, викладені в наукових публікаціях [15-16].

Ідея ДІВЕ полягає в тому, щоб попередньо стаціонарно введену та довільним чином розподілену в робочому обсязі енергію акумулювати (сконцентрувати) у локальних дискретних точках системи та надалі імпульсно реалізувати для досягнення необхідних теплофізичних ефектів. Мета ДІВЕ полягає в інтенсифікації тепломасообмінних та гідродинамічних процесів у технологічних середовищах, а також створенні методики їх оптимізації та способів управління ними.

Реалізація методу ДІВЕ передбачає створення великої кількості рівномірно розподілених у дисперсному середовищі робочих органів або робочих елементів, які трансформують стаціонарну теплову, механічну або інші види енергії в енергетично потужні імпульси, дискретні в часі та просторі. Супроводжують ці явища ударні хвилі, міжфазна турбулентність, мікрокавітація, проникаючі кумулятивні мікрострумені, вихори викликають на міжфазних поверхнях нестійкості типу Релея-Тейлора або Кельвіна-Гельмгольца, що призводить до інтенсивного дроблення дисперсних фаз та теплоперенесення. Подібні ефекти часто недосяжні при використанні традиційних методів при обробці дисперсних середовищ навіть за значно більшого рівня питомих енерговитрат.

Реалізується метод ДІВЕ у багатьох видах тепломасообмінного обладнання, але найчастіше у роторно-пульсаційних апаратах різних конструкцій [17]. Для інтенсифікації процесу аерації та масопереносу у технології очищення стічних



вод в ІТТФ НАНУ було створено аератор-окислювач роторного типу (АОРТ), схема якого представлена на рис. 3.

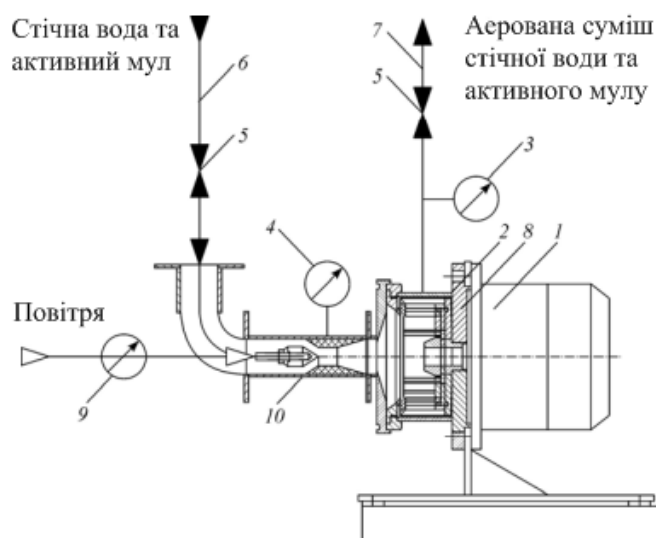


Рисунок 3 – Схема аератора-окислювача роторного типу: 1 – електродвигун; 2 – роторно-пульсаційний вузол; 3 – манометр для вимірювання тиску на виході з роторно-пульсаційного вузла; 4 – вакуумметр для вимірювання розрідження у входному патрубку; 5 – двоходовий кран; 6 – приймальний трубопровід; 7 – випускний трубопровід; 8 – корпус роторно-пульсаційного апарату; 9 – ротаметр; 10 – ежекторний вузол.

Роторно-пульсаційний вузол (РПВ) аератора-окислювача складається з двох роторів, з'єднаних гвинтами, і є єдиним роторним вузлом (РВ) статора і робочого колеса відцентрового насоса (крильчатки).

Робота АОРТ здійснюється в такий спосіб. Через приймальний трубопровід 6 суміш стічної води та активного мулу прямує в РПА. Робоче колесо відцентрового насоса, обертаючись, створює у входному патрубку розрядження, за рахунок якого атмосферне повітря подається в систему. Двоходовий кран 5 дозволяє регулювати подачу повітря. Таким чином, формується водоповітряна суміш, яка, проходячи через РПВ, піддається впливу ударних хвиль, міжфазної турбулентності, мікрокавітації та вихорів, що призводить до інтенсивного дроблення бульбашок повітря, дисперсних включень та збільшення площі поверхні контакту фаз. Завдяки цьому збільшується швидкість масопереносу кисню з газової фази в рідку, транспортування його по об'єму рідкої фази та



адсорбція на поверхні пластівців активного мулу, які вважаються умовно твердою фазою. Далі відбувається біологічне окиснення органічних забруднень мікроорганізмами активного мулу. Аерована та частково окислена суміш стічної води, бульбашки повітря та активного мулу через випускний трубопровід 7 спрямовується або на рециркуляцію (повторну обробку), або у вторинний відстійник.

Висновки

Аналіз наявних досліджень з кавітаційного очищення і знезараження рідких середовищ показав, що використання різного виду тепломасообмінного обладнання, в якому реалізуються кавітаційні ефекти, є новою перспективною, енергетично маловитратною, безвідходною і безреагентною технологією очищення стічних вод підприємств різних галузей промисловості і сільського господарства.

Переваги кавітаційного методу перед загальноприйнятими способами знезараження вод (хлорування, озонування і т.п.) полягає в економічному та екологічному аспектах, так як при кавітаційному знезараженні виключається застосування додаткових токсичних елементів, які негативно впливають на організм людини і вимагають значних витрат на їх придбання.

Кавітаційні установки відрізняються своєю компактністю. Вони не вимагають великих площ. Можуть замінювати кілька стадій в технології очищення стічних вод (механічну, біологічну та знезараження).

**KAPITEL 3 / CHAPTER 3³****DIGITALISATION OF THE AGRICULTURAL SECTOR AS A PROMISING MODEL FOR THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF UKRAINE'S AGRICULTURAL SECTOR****DOI: 10.30890/2709-2313.2023-20-02-011****Introduction**

In today's environment, digitalisation and informatisation have a significant impact on the economic policy of certain business entities and states. In Ukraine, the process of digitalisation of the economy and its sectors has already begun. The goal of this process is to create a single information space with up-to-date databases on numerous issues related to information and telecommunications networks and connections. The inefficient existing information environment in the agro-industrial complex leads to an increase in transaction costs of production, which affects the level of value of the products produced and has a negative trend towards the competitiveness of Ukrainian agricultural products compared to similar foreign products.

Agriculture and IT are two of the most promising (at least in the public mind today) sectors of the domestic economy. They are business opposites that are at different poles of technological progress: the existing online industry and the most down-to-earth, location- and time-bound work.

Over the past few years, Ukraine has seen exceptional growth in agriculture, which has attracted serious investor interest.

It should be noted that the rather large volume of relatively cheap imported food and the uncompetitiveness of domestic products in recent years are the main reason for the decline in domestic production, posing a serious threat to the food security of the country as a whole.

We believe that it is the digitalisation of agriculture that will give an impetus to the innovative development of the sector and contribute to reducing our country's dependence on food imports. [4; 5] (*Altukhov, Dudin, Anishchenko, 2019; Dudin, 2018*).

³*Authors: Dobrovolska O.V.*



3.1. Special features of the development of the digital economy

A specific feature of the digital economy is conducting business activities with data storage in electronic form and continuous processing of large volumes of information. This makes it possible to obtain accurate and objective analytical summaries, which form the basis for optimizing business processes. The Internet of Things, blockchain and artificial intelligence have become components of a digitally enabled economy [7].

Ways of informatisation of the agricultural industry can be as follows:

- spontaneous self-organisation, characterised by a change in the social component to adapt the population to modern business conditions;
- centralized management - all the stages of digitalization are regulated by legal acts, the execution of the norms approved at the legislative level is controlled by government agencies;
- guided digitalization.

A well-developed information and communication infrastructure is essential for the development of digital technologies. In order to meet the challenges of the digital economy, appropriate knowledge bases, information resources and interactive communities, a wide network of integration business platforms, a digital environment and human resources that can work in the new environment are needed. This integrated approach will create a digital ecosystem in which each participant has the dual role of client and data server. This will form the basis for subject-oriented clusters within which agrarian digital ecosystems function. [1]

The application of digital technologies has a positive impact on the rate of productivity growth and profitability in agribusiness. A striking example is Israel, which has only 20% of its land resources suitable for agricultural activities, yet has a food supply of 95%. In this case, the lack of favourable natural and climatic conditions is compensated by the possibilities of innovative technologies.

Another example of the effectiveness of digital technology in agriculture is the creation of smart farms. This technology makes it possible to increase milk yields by an average of 30-40%, the use of modern methods of transport control makes it possible to reduce fuel costs by 20%. The experience of using digital technologies in agricultural enterprises of Kyiv region has shown that the vector of automation and digitalization can help reduce costs even in the short term - when implementing the system of operational production management at the meat processing plant in the first month,



labor costs decreased by 30%, and general production costs decreased by 10%. [2]

The agricultural sector of today is developing under pressure due to a number of negative factors:

- food markets in developed countries are characterised by overproduction;
- there is a constant shortage of food in developing countries;
- environmentally friendly agricultural production is combined with mass cultivation of products using GMO technologies;
- growth in the number of healthy eating habits, which increases the demand for organic products;
- the focus of large retail chains on maximising the benefits of all transactions, which leads to the concealment of the composition and origin of the food sold;
- uneven transition to information management of agricultural development in different countries causes unfair competition in global markets and discrimination of small producers. [2]

Factors that have a significant impact on the digitalization of agriculture are as follows:

- characteristics of rural entities (size of the territory, population size and structure, economic potential, production capabilities of the region, state of engineering infrastructure, level of social development);
- labour organisation;
- management technologies used;
- degree of automation of the management system;
- professional personal qualities of agricultural workers;
- the level of personnel's interest in the results of the farm's activity. [3]

Ukraine at the present stage is characterized by "insular" informatization, i.e. digital technologies are not applied everywhere, but only by individual economic entities. This is explained by the fact that software developers do not have complete databases for the needs of agriculture, required for the creation and operation of specific technologies. The strategy of public policy and private investment in innovative agriculture should focus on the development of precision farming, remote sensing, the introduction of integration databases and cloud services, the popularisation of mobile solutions and control and metering sensors.

As of 2019, Ukraine has launched the Digital Agriculture project, overseen by the Ministry of Agriculture. The programme consists of several areas of agricultural intensification:



1. "Effective hectare". This is a unified database of land with characteristics of the current state of the plot and the nature of its exploitation.

2. "Smart contracts". A network of personal offices on electronic resources, where business entities will be able to apply for state subsidies, is envisaged, the project is aimed at automating the process of subsidising the agro-industrial complex.

3. "From field to port". The programme is designed to build efficient export models of domestic products, based on yield forecasts and planned load of transport and transport interchanges.

4. "Agro Solutions for Business". This direction is created to enhance the process of implementation of innovative developments in the agro-industrial complex.

5. "Land of Knowledge". The project stipulates creation of the common base with of educational materials and building of the training system for highly specialized agro-specialists in accordance to the actual requests of the agroindustrial complex. [5]

The efficiency of digitalization of the agricultural industry can be improved by creating an electronic platform for the sale of agricultural commodities, where transactions will be concluded not only with intermediaries, but also with the end buyers. This will reduce the margins of intermediaries and will give incentives to producers.

Elements of the digital economy can be used to monitor land, crops, optimise settlements between producer and buyer, rationalise the investment and credit system, and social insurance.

Digitalization provides for the active use of marketing techniques, opposition to monopoly, creation of conditions for electronic interaction between all participants in the economy. [7]

AIC digital platforms. Technological digital platforms are elements of the innovation infrastructure. Their purpose is to ensure prompt and effective communication, stimulate direct interaction of farmers with other stakeholders (scientific and educational institutions, public structures, authorities). [6] The following platforms have great potential:

1. Food and processing technology in agriculture.
2. Eurasian agricultural technology platform.

The effectiveness of the digitalisation policy is impossible without the use of space and geo-information products, environmental development technologies, and the development of computer technology platforms. Platforms allow virtual analysis and combination of innovative projects, implementation of the latest developments, such



platforms increase the coordination of activities and create conditions for productivity growth. [1]

A digital marketplace is a marketplace in which transactions for the buying and selling of goods are conducted using computer networks and specialized software. The functioning of such a marketplace is ensured by a digital platform, i.e. a set of software and technical products, a set of rules for the operation of the market infrastructure. Well-known examples of Uber and Airbnb are well-known examples of digital platforms in operation.

For agribusiness, it is advisable to create a separate platform for each area of activity with the introduction of a network of sub-platforms. For example, for crop production, one of the sub-platforms could be grain production, and the grain sub-platform could be divided into several more platforms - wheat, barley, maize, etc. The participants of the sub-platforms are agricultural producers, i.e. sellers, and buyers - processors, livestock farms, feed mills. [6] A similar approach can be successfully applied to the livestock industry, consulting, education and research, robotics, engineering, and trade.

Thus, digitalisation in the agro-industrial sector is at an early stage.

Legislatively approved programmes for the informatisation of the sector and the economy as a whole are currently insufficiently developed and are largely aimed at automating already established processes, but do not offer measures for a radical transformation of the economy. Digitalisation of agriculture contributes to significant reductions in production costs, increases the affordability of food, and ensures the sustainable use of natural resources. Creating an optimal digital ecosystem, i.e. marketplace, is impossible without developing a large-scale network of digital platforms and sub-platforms across all areas of the agricultural sector.

The trend of Industry 4.0 is transforming the production capabilities of all industries, including agriculture. As the analysis of many years of foreign practice shows, a knowledge-intensive market for innovative products and the widespread use of innovation play an enormous role in improving the competitiveness and performance of agricultural production.

The domestic agro-industrial complex is a cross-section of scientific and technological and socio-economic processes that cover all sectors of the Russian economy.

The agro-industrial complex combines technologies invented in different years. The gap between the dates of inventions reaches hundreds of years. Transnational



holdings modernised with the latest technology coexist with farms, of which there are quite a few in the country. The human resource hunger and decades-long backlog of competence profiles is being filled by related fields and sectors of knowledge. As a rule, low-value-added products are exported. The costs of operating and logistics costs are also quite high.

It is the agricultural sector that has all the prospects of becoming the main demonstration ground for the results of the technological revolution. Through the use of 'Agriculture 4.0' robotic technology, all agricultural machinery can be switched to autonomous mode without human intervention. "The Internet of Everything and the Internet of Things are helping to integrate the entire production chain into one integrated ecosystem - from the creation of from creating new fertilizers and new plant and animal species to producing functional products that dramatically improve human properties.

The implementation of the smart city concept contributes to increasing opportunities for vertical urbanised farms. At the same time, new research in biotechnology and cosmology allows us to speak confidently about space exploration [5].

Some strengths and weaknesses of agriculture, as well as opportunities and threats to the further development of the industry are presented in table 1.

Reform of production relations in the food sphere, technical and technological re-equipment of public production, application of modern resource-saving technologies in production activities are hampered by limited use of scientific and technological progress, slow pace of research work, low level of solvency.

In 2015, the UN 2030 Agenda for Sustainable Development and the international community pledged to overcome hunger. Global demand for food will increase by 70% by 2050, with agriculture's share of global GDP declining to 3%. Four major factors - demographics, natural resource scarcity, climate change and food waste - contribute to hunger and food insecurity and at the same time increasing pressure on the outdated agricultural model of meeting human needs.

These global technologies will enable farms to be more profitable, efficient, safe and environmentally friendly and aim to:

- improve management and implementation of agricultural processes along the entire value chain, reducing risks and limiting vulnerability due to various influences (breakdown of machinery, drought, disease, etc.);



Table 1 - Strengths and weaknesses of agriculture, as well as opportunities and threats to further development

Strengths	Weaknesses
Unique natural resources; sufficiently large area of agricultural land; research potential that can agriculture to a new level of development	Low competitiveness of agricultural products; deterioration and lack of equipment; lack of funding; underdevelopment of certain agricultural sub-sectors, e.g. the cattle sub-sector
Opportunities	Threats
Reduction of the industry's import dependence; development and widespread introduction of biotechnology in agriculture; Intensification of production through mechanisation of manual labour and use of modern machinery	Reduced import duties and import quotas caused by our country's accession to the WTO; natural and man-made disasters; volatility of the global environment, in particular prices for agricultural products (grain crops)

- Building agricultural ecosystems that include integrated networks that integrate digital data, obtained in real time from both internal sources (farmer sensors' readings) and external ones (provided by other participants in the ecosystem), in order to make efficient management decisions, and integrate ecosystem actors in order to ensure the effectiveness of the value chain;

- Digitalisation of agricultural machinery using modern technical tools - sensors, sensing devices, which are the largest generators of data.

Experts and scientists predict that the next stage in the evolution of 'Agriculture 5.0' will be based on the comprehensive robotisation of agri-food production using various forms of artificial intelligence.

Digitalisation will change every part of the agrifood chain.

Resource management throughout the system could become highly optimised, individualised, intelligent and proactive. Value chains will become traceable and coordinated at the most detailed level, while different fields, crops and animals can be precisely managed according to their own optimal recipes. Digital agriculture is a more



highly productive, predictable and adaptable system (e.g. caused by climate change). This, in turn, can lead to increased food security, profitability and sustainability. In the context of the Sustainable Development Goals, digital agriculture has potential to generate economic benefits through higher agricultural productivity, cost-efficiency and market opportunities, social and cultural benefits through increased communication and inclusiveness, and environmental benefits through optimization of resource use as well as adaptation to climate change.

Conclusions.

As a result of the analysis, it has been established that modern global agriculture is at stage 4.0 ("Agriculture 4.0") as a result of the evolutionary development of technology and is focused on the use of environmentally friendly natural resources (sun, sea water), advanced innovative technologies for smart, precision agriculture, in particular genetic modification, nanobiotechnology, extra-soil plant cultivation and vertical farming, as well as sophisticated technological systems for satellite navigation, robots, drones/drones, 3D food printing, internet of things, blockchain technology, etc.

The main opportunities for the development of the agricultural sector have also been identified, which include: reducing the dependence of the industry on imports; development and widespread introduction of biotechnology in agriculture; intensification of production through the mechanisation of manual labour and the use of modern technology.

It should be noted that the effective development of the agricultural sector in Ukraine requires changes in the use of its resource base, the introduction of resource-saving innovative high-performance technologies in agricultural production to ensure production of high quality and competitive in domestic and foreign markets agricultural products and food.

The potential benefits of digitalization of the agrifood sector are compelling, but it will require a major transformation of agricultural systems, rural economies, communities and natural resource management. This will be a complex task and will require a systematic and holistic approach to achieve all the potential benefits.



KAPITEL 4 / CHAPTER 4⁴

METHODS OF INTELLECTUAL IMAGE AND VIDEO PROCESSING BASED ON VISUAL QUALITY METRICS FOR EMERGING APPLICATIONS

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-20-02-010

Вступ

Зображення та відео, що отримуються різноманітними типами датчиків та систем, широко використовуються в даний час для вирішення різних важливих проблем у багатьох додатках: у промисловості, картографуванні земельних покриттів, сільському та лісовому господарстві, контролі якості, робототехніці, екологічному моніторингу тощо [1-3]. Однією із сучасних тенденцій є використання багатоканальних систем, а саме кольорових, мульти- та гіперспектральних, багатопоглядових (наприклад, стерео) тощо [4, 5]. Відео також можна розглядати як багатоканальні (багатокадрові) дані. Ще одна тенденція полягає в оцінці та врахуванні візуальної якості зображень, що приймається до уваги на етапах отримання та обробки зображень. Під обробкою будемо надалі розуміти широкий набір операцій, включаючи оцінку характеристик шуму або викривлень, фільтрацію (придушення шуму), стиснення, інтерпретацію та оцінку параметрів об'єкта, прийняття рішення.

Це потребує розв'язання широкого набору практичних завдань. Однією з них є розробка та тестування візуальних показників (метрик) якості, які базуються на врахуванні особливостей системи зору людини (СЗЛ) [6-8]. Незважаючи на значні зусилля багатьох дослідників, витрачені на розробку показників якості на основі СЗЛ, навіть найкращі з них все ще страждають від істотних недоліків. Зокрема, деякі з них недостатньо універсальні. Крім того, часто незрозуміло, які показники на основі СЗЛ є найкращими для конкретних застосувань. Однією з причин цього є те, що валідація метрик є трудомістким завданням і потрібні належним чином розроблені бази даних спотворених зображень або відеопослідовностей. Комбіновані метрики є прийнятним рішенням, але їх розробка ще далека від завершення. Вже створені бази даних можуть бути використані в деяких випадках, але створення нових баз даних із конкретними типами та рівнями спотворень також є бажаним для деяких

⁴Authors: Lukin V.V., Ieremeiev O.I., Abramova V.V., Abramov S.K., Rubel O.S., Krzysztof O., Piotr L., Yaroslav F.



додатків, таких, як контроль якості в промисловості, аналіз текстурованих матеріалів, дистанційне зондування, зображення з автоматизованих рухомих транспортних засобів як автономні автомобілі, безпілотні літальні апарати (БПЛА) та дрони.

Ще одне завдання - це включення метрик якості (МЯ) на основі СЗЛ в обробку зображень/відео. Зокрема, бажано в повній мірі використовувати МЯ на основі СЗЛ в розробці фільтрів, аналізі характеристик розглянутих фільтрів, підборі фільтра та налаштуванні його параметрів, прийнятті рішення щодо доцільності використання етапу придушення шуму [9]. Це ж стосується стиснення зображень із втратами [10-15]. Зазвичай пікове співвідношення сигнал-шум (ПССШ) використовується як єдиний параметр, що характеризує ефективність кодера для різних коефіцієнтів стиснення. Тим часом, якість візуального зображення не відображена належним чином в ПССШ. Отже, слід використовувати інші показники. Їх значення слід передбачити перед стисненням та/або забезпечити на етапі стиснення [14-18]. Крім того, бажаною є розробка високошвидкісних автоматизованих методів обробки зображень та відео. Звичайно, можна залучити експертів на деяких етапах обробки, але такі можливості обмежені.

Метою спільного проекту була розробка методів та алгоритмів інтелектуальної обробки зображень та відео на основі метрик візуальної якості для нових застосувань. В цьому розділі головну увагу приділено розробці та верифікації так званих комбінованих показників (метрик візуальної якості), які використовують позитивні риси декількох "різномірних" елементарних МЯ на основі СЗЛ. В такому випадку швидка обробка зображення досягається за рахунок паралелізації обчислення елементарних МЯ та досить простого «агрегування» елементарних результатів [19-21]. Агрегування виконувалось одним з трьох методів: 1) за допомогою навчених нейронних мереж [19]; 2) з використанням попередньої лінеаризації та стійкої обробки значень метрик [20]; 3) на основі перемноження метрик з оптимізацією вагових коефіцієнтів [21].

У перших двох випадках розглядається задача розробки комбінованих метрик для їх застосувань у обробці даних багатоканального (зокрема триканального) дистанційного зондування. У останньому випадку йдеться про промислове застосування – виготовлення об'єктів за допомогою 3D принтера.



4.1. Метод стійкого комбінування метрик для систем ДЗ

Найпоширенішими системами дистанційного зондування (ДЗ) є такі: оптичні та радіолокаційні сенсори; мультиспектральні та гіперспектральні датчики та інші [22]. Кожен тип системи ДЗ має певні переваги та недоліки. Радари, наприклад, дозволяють отримувати унікальні дані про підповерхневі об'єкти і можуть здійснювати моніторинг у поганих погодних умовах [23].

Ці системи використовують різні принципи формування (отримання) зображення, але всі вони, по суті, об'єднані проблемою наявності шуму та спотворень. Подальше застосування певних методів цифрової обробки, таких як фільтрація [24, 25] або стиснення з втратами [12, 26, 27], може як зменшити рівень спотворення даних, так і призвести до більшої деградації та втрати важливої інформації. Тому доцільно застосовувати оцінку якості зображення, щоб визначити ступінь погіршення зображення для вихідних даних та, як результат обробки зображення, запобігти небажаному рівню втрати корисної інформації.

Враховуючи великий об'єм даних ДЗ та автоматизацію обробки, доречним є використання об'єктивних методів оцінки якості зображення (image quality assessment - IQA) для контролю якості первинних зображень [6] та змін якості, що вносяться в результаті обробки зображень [28]. Є питання щодо того, які методи IQA необхідно використовувати при дистанційному зондуванні [6, 28-30]. У цьому розділі ми розглядаємо критерії (метрики), які стосуються візуальної якості зображень ДЗ. Це важливо, як мінімум, з двох причин. По-перше, зображення ДЗ часто візуалізуються та аналізуються людьми. Тоді, враховуючи особливості системи зору людини (human vision system - HVS), важливо забезпечити збереження інформації на всіх етапах обробки. По-друге, показники візуальної якості стосуються ефективності таких операцій, як виявлення малорозмірних об'єктів, класифікація текстурних ділянок тощо [31]. Це означає, що варто використовувати візуальні показники якості для аналізу вихідної якості зображення ДЗ та ефективності обробки даних ДЗ (наприклад, шумопридушення, стиснення з втратами, реконструкції).

Тим часом використання візуальних показників якості у зображеннях ДЗ все ще обмежене. Деякі приклади - це нові HVS-метрики для посилення різкості зображення [32] та їх суміщення [33, 34], а також розпізнавання об'єктів [35]. Однак стара HVS-метрика SSIM все ще є популярною для опису якості



зображення [36, 37], хоча відомо, що SSIM не є однією з найкращих метрик візуальної якості.

Протягом останніх десятиліть було розроблено та запропоновано велику кількість метрик візуальної якості з еталоном [38, 39]. Методи IQA на їх основі суттєво відрізняються своєю точністю (адекватністю). Тому загальновизнаним підходом є перевірка (верифікація) метрик на спеціальних базах даних тестових зображень, таких як TID2013 [40], KADID10k [41], MDID [42] та інших. У таких базах даних для кожного зображення суб'єктивна оцінка візуальної якості (осереднена думка чи оцінка, mean opinion score - MOS) отримується в результаті експериментів з багатьма спостерігачами. Точність чи адекватність метрик оцінюється шляхом порівняння значень метрик та MOS за допомогою критеріїв кореляції. Для цієї мети широко використовуються коефіцієнт кореляції Пірсона (Pearson correlation coefficient - PCC) та ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена (Spearman rank order correlation coefficient - SROCC). Зверніть увагу, що для перелічених баз даних зображень точність більшості показників згідно із SROCC не перевищує 0,9.

Щодо зображень ДЗ, то на даний момент не існує спеціально підготовлених баз даних із оцінками MOS. Однак, на наш погляд, існуючі бази даних кольорових зображень можуть бути використані для початкового аналізу та проектування. Тут слід мати на увазі, що ці бази даних містять типи спотворень, що спостерігаються і на зображеннях ДЗ. Тим часом існують також типи спотворень, які не зустрічаються в зображеннях ДЗ. Таким чином, дані з існуючих баз даних слід вибирати ретельно.

Як уже зазначалося, існуючі метрики мають свої обмеження та недоліки. Спільне використання декількох метрик дозволяє компенсувати недоліки одних метрик за рахунок інших. Таким чином, різні комбінаційні підходи можуть підвищити точність оцінки візуальної якості. Деякі автори, зокрема польські співавтори цього розділу запропонували застосовувати комбінацію перемножених функцій із ваговими коефіцієнтами [43]. Інший підхід, запропонований українськими вченими раніше в [44], передбачає використання стійких методів для отримання кінцевого значення комбінованої метрики. Для вирішення цієї проблеми можуть також використовуватися штучні нейронні мережі, які широко використовуються в різних областях [45].

Створення комбінованої метрики передбачає визначення деяких оптимальних значень параметрів та комбінацію метрик, щоб забезпечити



максимально можливий коефіцієнт кореляції для даної бази зображень. Через значні відмінності у змісті та методології суб'єктивної оцінки бази даних зображень можуть суттєво відрізнятися одна від одної. Тому занадто точна оптимізація для конкретної бази даних зображень може призвести до ефекту "перенавчання", що знизить ефективність роботи з іншими наборами зображень.

Мета роботи, результати якої викладені у даному розділі, є потрійною. Спочатку ми хотіли б проаналізувати поведінку метрик для набору спотворень, типових для дистанційного зондування. По-друге, ми аналізуємо використання методу стійкого комбінування [44], який зарекомендував себе як дуже стабільний, для створення вдосконаленої комбінованої метрики якості зображення, оптимізованої для систем дистанційного зондування. По-третє, бажано перевірити, наскільки ефективна ця метрика для різних баз даних.

Загалом, спотворення на зображеннях дистанційного зондування можуть бути різного типу та інтенсивності. Крім того, вони можуть мати різну інтенсивність у компонентних зображеннях багатоканальних даних ДЗ [22, 24, 25]. Виникає питання, як агрегувати результати IQA для багатоканальних зображень ДЗ, якщо IQA було зроблено окремо для компонентних зображень або їх груп. Давайте відповімо на це питання пізніше і спочатку розглянемо простіші випадки спотворених компонентних зображень або трикомпонентних зображень із викривленнями.

Тут треба коротко розглянути типові спотворення, які можуть виникати під час отримання та обробки зображень при дистанційному зондуванні. Основними їх видами є наступні:

- адитивний білий гаусів шум, який можна розглядати як (ідеалізовану) модель шуму для багатьох типів зображень ДЗ, таких як, наприклад, мультиспектральні [22, 24]; зауважимо, що шум може бути різної інтенсивності в різних компонентах багатоканальних зображень [24];

- просторово корельований шум, який може бути присутнім у вихідних даних або виникати в результаті інтерполяції даних на етапі реєстрації зображення [22, 25];

- різні замасковані або високочастотні шуми, які можуть бути присутніми на текстурних зображеннях або з'являтися після усунення розмитості [22];

- залежний від сигналу (зокрема, мультиплікативний) шум, характерний для гіперспектральних та радіолокаційних зображень [28];



- імпульсний шум, який може з'явитися після передачі зображення по лініях зв'язку або внаслідок інших факторів [22];
- шум квантування, який може виникнути на етапі оцифрування даних або з'явитися внаслідок деяких операцій нормалізації або перетворення [22];
- розмиття зображення, яке може бути результатом руху системи дистанційного зондування або неоднорідності середовища поширення сигналу [22];
- спотворення внаслідок стиснення з втратами (наприклад, JPEG або JPEG2000), що може суттєво зменшити розмір файлу, але вносить погіршення, які можуть бути помітними або навіть дратувати [26, 48];
- спотворення, спричинені методом, який усуває шум, але одночасно та неминуче призводить до погіршення інформаційної складової [28];
- складні спотворення, наприклад, у разі стиснення з втратами зображень, що спотворені шумом [26].

Зазначимо, що всі ці типи спотворень можна моделювати, а зображення дистанційного зондування різного походження можуть (на початковому етапі досліджень) бути замінені на більш поширені оптичні зображення з відповідними спотвореннями. Тут ми дійшли до необхідності проаналізувати існуючі бази даних спотворених компонентних та кольорових зображень. Зауважимо, що в багатьох базах даних розглядається обмежена кількість типів шуму та спотворень. Більшість із них зосереджені на врахуванні таких типових простих спотворень, як адитивні шуми, розмитість, спотворення внаслідок стиснення JPEG та JPEG2000. Для розглянутого завдання потрібні більш складні та великі бази даних зображень. Найбільш підходящі з них представлені в таблиці 1.

База зображень TID2013 містить 25 еталонних та 3000 спотворених зображень з 24 типами спотворень. Опублікована у 2019 році база даних KADID10k містить понад 10000 зображень із 25 типами спотворень. Інша база - MDID [24] - складається з 1600 зображень із комбінованими (множинними) спотвореннями. Числа у стовпцях таблиці 1 для розглянутих баз даних представляють показники спотворень. Знак «-» показує відсутність, а знак «+» вказує на наявність даного типу спотворень у базі даних MDID.



Таблиця 1 – Аналіз типів зображень у базах

##	Тип спотворень	Набір спотворень	Індекс у базі TID2013	Індекс у базі KADID10k	Наявність у MDID
1	Адитивний гаусів шум	"Noise", "Actual"	1	11	+
2	Адитивний шум головним чином в кольорових компонентах	"Noise"	2	12	-
3	Просторово-корельований шум	"Noise", "Actual"	3	-	-
4	Маскований шум	"Noise", "Actual"	4	-	-
5	Високочастотний шум	"Noise", "Actual"	5	-	-
6	Імпульсний шум	"Noise", "Actual"	6	13	-
7	Шум квантування	"Noise"	7	6	-
8	Гаусове розмиття	"Noise", "Actual"	8	-	+
9	Фільтроване зображення	"Noise", "Actual"	9	15	-
10	JPEG стиснення	"Actual"	10	10	+
11	JPEG2000 стиснення	"Actual"	11	9	+
12	Мультиплікативний гаусів шум	"Noise", "Actual"	19	14	-
13	Стиснення з втратами зображень з шумом	"Noise", "Actual"	21	-	-

Як бачимо, база TID2013 надає найширші можливості для проектування та перевірки метрик для цілей дистанційного зондування. Тому ми обрали її для своїх досліджень. Викривлення в TID2013 були згруповані в підмножини [40] відповідно до їх типів. Між ними підмножини "Noise" та "Actual" можна розглядати як такі, що пов'язані з дистанційним зондуванням. Кольорові та інші спотворення, що є характерними для кольорових зображень, не є типовими для області, що нас цікавить, і тому вони не будуть нами розглядатися.

Протягом останніх років було розроблено велику кількість нових метрик. Нами вивчено п'ятдесят з них, а результати для обраних підмножин спотворень наведені в таблиці 2. Детальну інформацію про показники в таблиці 2 можна отримати за таким посиланням [46]. Ефективність метрик характеризується SROCC, оскільки цей критерій не залежить від абсолютних значень розглянутих метрик, а лише від їх рангів.



Таблиця 2 – Значення SROCC для елементарних метрик

##	Метрики з еталоном	Всі типи спотворень	Noise	Actual	Noise & Actual	##	Метрики з еталоном	Всі типи спотворень	Noise	Actual	Noise & Actual
1	MDSI	0,8897	0,9275	0,9387	0,9374	26	IWSSIM	0,7775	0,8783	0,8934	0,8937
2	CVSSI	0,8090	0,9248	0,9350	0,9341	27	SSIM4	0,7657	0,8743	0,8887	0,8902
3	MCSD	0,8045	0,9224	0,9326	0,9323	28	CSSIM	0,8417	0,8728	0,8878	0,8892
4	PSNRHA	0,8198	0,9230	0,9388	0,9322	29	MSSIM	0,7872	0,8733	0,8872	0,8881
5	GMSD	0,8004	0,9211	0,9314	0,9318	30	RFSIM	0,7721	0,8731	0,8793	0,8847
6	PSNRHMAm	0,8541	0,9221	0,9387	0,9315	31	VSNR	0,6809	0,8691	0,8817	0,8815
7	PSIM	0,8926	0,9189	0,9309	0,9303	32	ESSIM	0,8121	0,8411	0,8866	0,8619
8	PSNRHAy	0,7794	0,9184	0,9272	0,9275	33	CSSIM4	0,7394	0,8432	0,8668	0,8604
9	PSNRHVS	0,6536	0,9172	0,9257	0,9263	34	GSM	0,8028	0,8408	0,8841	0,8583
10	PSNRHMA	0,8137	0,9151	0,9343	0,9250	35	VIF	0,6816	0,8422	0,8585	0,8532
11	IGM	0,8023	0,9099	0,9220	0,9227	36	NQM	0,6349	0,8362	0,8572	0,8527
12	PSNRHMAy	0,7570	0,9107	0,9209	0,9226	37	RVSIM	0,6748	0,8192	0,8449	0,8423
13	VSI	0,8967	0,9101	0,9258	0,9218	38	MSE	0,6396	0,8217	0,8246	0,8335
14	SRSIM	0,8076	0,9070	0,9211	0,9206	39	PSNR	0,6396	0,8217	0,8246	0,8335
15	HaarPSI	0,8730	0,9063	0,9168	0,9190	40	MSUNIQUE	0,7521	0,7981	0,8276	0,8247
16	ADM	0,7861	0,9113	0,9201	0,9189	41	UNIQUE	0,7466	0,7829	0,8157	0,8117
17	PSNRHVSM	0,6246	0,9061	0,9175	0,9188	42	VIFP	0,6084	0,7835	0,8151	0,8056
18	FSIMc	0,8510	0,9022	0,9150	0,9164	43	CWSSIM	0,5551	0,7943	0,8160	0,8051
19	ADD_GSIM	0,8310	0,9023	0,9151	0,9159	44	DSI	0,7114	0,7493	0,7801	0,7838
20	IQM2	0,7955	0,8995	0,9103	0,9122	45	SSIM	0,6371	0,7574	0,7877	0,7812
21	ADD_SSIM	0,8023	0,9008	0,9119	0,9120	46	IFC	0,5229	0,7201	0,7598	0,7468
22	FSIM	0,8011	0,8969	0,9108	0,9117	47	QILV	0,5975	0,6604	0,6948	0,7049
23	WSNR	0,5796	0,8804	0,8966	0,8952	48	UQI	0,5444	0,6482	0,6904	0,6824
24	SFF	0,8518	0,8787	0,9059	0,8946	49	WASH	0,2903	0,3290	0,4173	0,3139
25	DSS	0,7915	0,8766	0,8904	0,8945	50	MSVD	0,1261	0,1123	0,1309	0,1424

Результати в таблиці 2 представлені в порядку зменшення значення SROCC у стовпці "Noise&Actual". Стовпець "Усі спотворення" стосується всіх 24 типів спотворень у TID2013. Інші стовпці містять дані для підмножин „Noise”, „Actual” та обох.

Як впливає з аналізу даних у колонці "Усі спотворення", немає метрики, яка б забезпечувала SROCC, що перевищує 0,9. Тим часом для підмножин, що нас цікавлять, існує багато метрик якості візуального зображення, які характеризуються $SROCC > 0,9$. Найкращі результати мають тенденцію до $SROCC = 0,94$. Це оптимістичний результат, який показує, що існує багато універсальних метрик, здатних адекватно характеризувати спотворення на зображеннях ДЗ.

Метрики на верхніх позиціях позначені різними відтінками сірого. Серед них можна вибрати метрики, що забезпечують бажаний компроміс властивостей, зокрема, обчислювально ефективні метрики. У той же час представлені дані можуть служити основою для вибору елементарних метрик (далі ми називаємо елементарними метрики, представлені в табл. 2), які можуть бути використані при проектуванні комбінованих метрик.



Розробка нових метрик є нелегкою справою й вона не гарантує високу ефективність результату. Інше рішення – скомбінувати існуючі метрики таким чином, щоб вони доповнювали одна іншу та давали більш надійні або точні результати. Відповідно до попередніх досліджень щодо синтезу комбінованих метрик [44], можна використовувати медіану трьох (1) або п'яти (2) лінеаризованих метрик або α -урізане середнє п'яти лінеаризованих метрик (3):

$$M(3) = \text{median}(M_1^{\text{lin}}, M_2^{\text{lin}}, M_3^{\text{lin}}) \quad (1)$$

$$M(5) = \text{median}(M_1^{\text{lin}}, M_2^{\text{lin}}, M_3^{\text{lin}}, M_4^{\text{lin}}, M_{50}^{\text{lin}}) \quad (2)$$

$$At(5) = \frac{1}{3} \sum_{q=2}^4 M_q^{\text{lin}} \quad (3)$$

де M_i^{lin} - i -а елементарна метрика з еталоном після фітінгу та лінеаризації;
 $M_{(q)}^{\text{lin}}$ - q -а порядкова статистика.

Для нашого підходу, лінеаризацію метрик до MOS було проведено для бази TID2013. Головна мета цього – не оптимізація для конкретної бази, а можливість представити усі елементарні метрики в єдиному масштабі, бо в первинному вигляді вони мають суттєво різний масштаб (логарифмічний, експоненційний тощо) та діапазони значень.

Таблиця 3 – Результати для найкращих робасних комбінованих метрик, що були розроблені раніше

Метод	Елементарні метрики	Всі типи спотворень	Noise	Actual	Noise & Actual
α -урізане середнє	IFC, DCTUNE, SFF, FSIMc, PSNRHMAM	0,8871	0,9219	0,9347	0,9326
Медіана	VIFP, DCTUNE, SFF, FSIMc, PSNRHMAM	0,8863	0,9203	0,9336	0,9314
MDSI		0,8897	0,9275	0,9387	0,9374

Нагадаємо, що підхід [44] дозволив збільшити SROCC приблизно з 0,85 для елементарних метрик до 0,887 для альфа-урізаного середнього значення метрик IFC, DCTUNE, FSIMc, SFF та PSNRHMAM (табл. 3), усі спотворення). Раніше розроблені надійні комбіновані метрики дають хороші результати для наборів Noise та Actual, які лише трохи гірші, ніж для найкращих сучасних метрик з



еталоном (див. результати в нижньому рядку в таблиці 3 для метрики MDSI). Крім того, це означає, що можна очікувати кращих результатів для надійних комбінованих метрик, якщо нові метрики будуть використовуватися як елементарні.

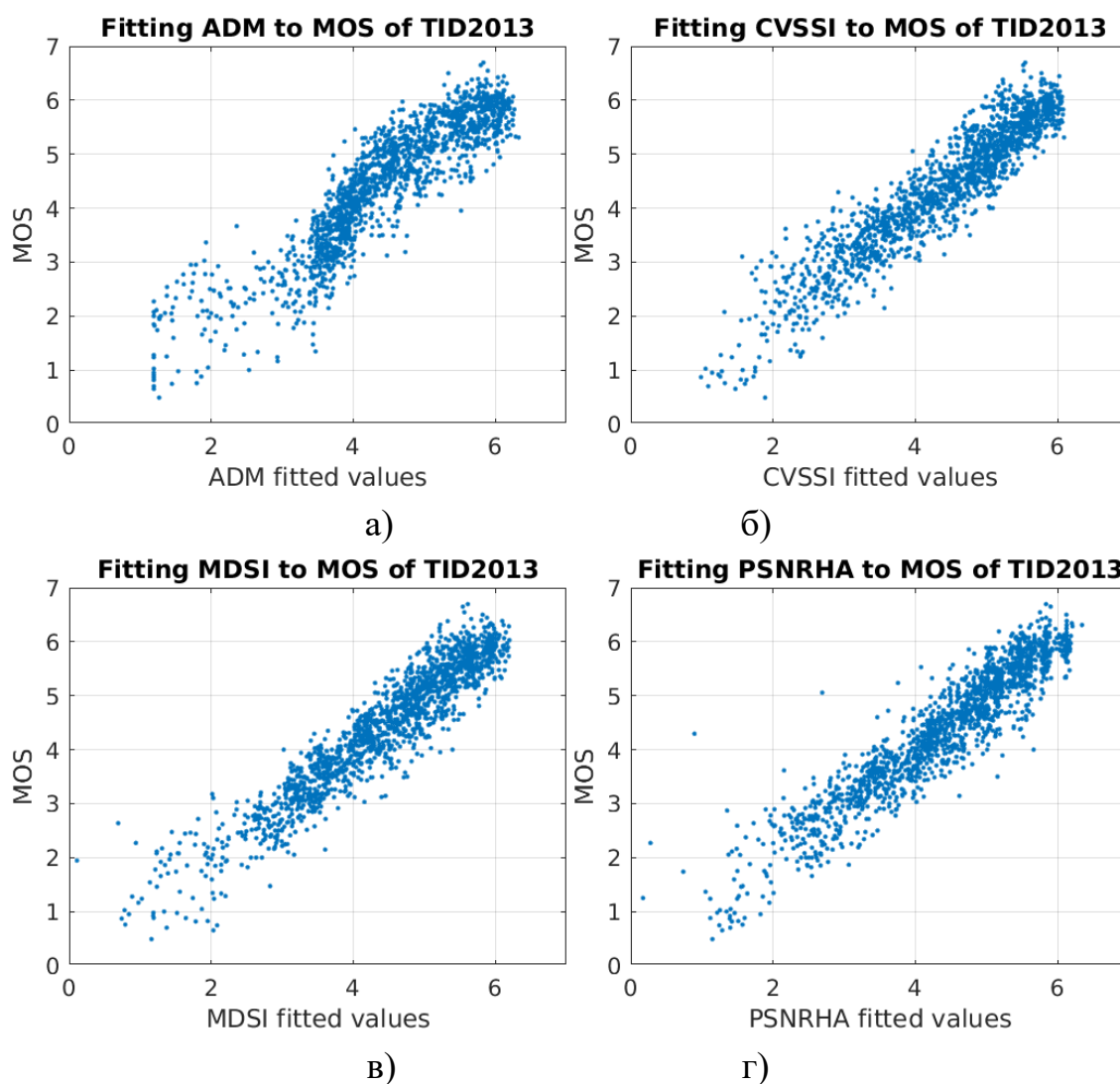
Для застосування таких стійких методів поєднання елементарних метрик необхідна лінеаризація елементарних метрик візуальної якості. Потрібно мати прямий і однозначний зв'язок між метриками та суб'єктивними оцінками якості. Отже, належний перерахунок значень метрик до MOS повинен здійснюватися з використанням монотонних кривих. Аналіз кривих також проводився в [44], підтверджуючи, що функція виду

$$y(x) = a \cdot x^b + c \quad (4)$$

забезпечує достатньо високу точність лінеаризації та, загалом, найменшу середньоквадратичну похибку (root mean square error - RMSE). Фітинг виконувався за допомогою інструменту Curve Fitting Toolbox у програмі MATLAB з увімкненою опцією "Стійка". Скатерограми деяких лінеаризованих показників представлені на рисунку 1. Зверніть увагу, що $MOS > 6$ у TID2013 відповідає дуже високій візуальній якості спотворених зображень.

Враховуючи велику загальну кількість метрик, параметри лінеаризації наведені в таблиці 4 лише для п'яти елементарних метрик найкращої комбінації (див. деталі нижче).

Ідея стійких комбінованих метрик полягає в мінімізації очевидних помилкових (аномальних) оцінок візуальної якості зображення, що формуються системами дистанційного зондування. Альфа-урізане середнє виключає найменше та найбільше значення оцінок MOS. Медіана кількох оцінок MOS також дозволяє уникнути аномальних оцінок, що надходять з елементарних метрик. Як було показано в [44], серед різних надійних методів комбінування елементарних метрик найкращі результати альфа-урізане середнє. Кількість розглянутих метрик під час комбінування сильно впливає на об'єм обчислень. Тому було накладено обмеження на використання не більше п'яти елементарних метрик. Для будь-яких п'яти з розглянутих 50 метрик вдалося створити 2,2 мільйона унікальних комбінацій.



а) метрика ADM; б) метрика CVSSI;
в) метрика MDSI; г) метрика PSNR-НA.

Рисунок 1 – Скатерограми для кількох метрик після фітінгу

Таблиця 4 – Параметри фітінгу для найкращої комбінації

Метрики	a	b	c	RMSE
ADM	5,208	1,058	1,191	0,5133
CVSSI	-10,9	0,5469	6,385	0,4137
MDSI	-17,94	1,679	6,721	0,3945
PSNRHA	-271,3	-1,147	9,81	0,4057
PSIM	3,922	583,8	1,981	0,4144

Як критерій оптимізації комбінованої метрики зазвичай використовують коефіцієнти кореляції. Такі показники кількісно характеризують зв'язок між значеннями метрик та MOS. Кореляція Пірсона та SROCC є найбільш широко



використовуваними коефіцієнтами кореляції. Істотною перевагою коефіцієнтів рангової кореляції є їх незалежність від значень метрик та MOS, оскільки оцінюються їх ранги. Для лінійного коефіцієнта кореляції (Пірсона) необхідна підгонка. Запропонований метод поєднання метрик також вимагає лінеаризації, тому розраховуються як PCC, так і SROCC.

Результатом нашого дослідження стало значне число комбінацій, і необхідно було вибрати найкращу з них. Одним із ключових питань був вибір критеріїв ефективності. Можна отримати найкращі комбінації відповідно до SROCC, PCC або середнім значенням SROCC та PCC. Вони були різними, хоча більшість елементарних показників були однаковими. Для подальшого аналізу залишилось лише п'ять показників, наведених у Таблиці 4. Як випливає з даних Таблиці 2, усі вони є одними з найкращих, і, узагальнюючи, вони добре доповнюють одне одного.

По-перше, хороші результати були отримані для стійкої комбінованої метрики для бази даних TID2013. Як бачимо, найкращі значення SROCC та PCC для розглянутих підмножин становлять приблизно 0,95, тобто достатньо більше, ніж для будь-якої елементарної метрики, що використовується в наборі. Тим часом бажано мати метрики, які добре працюють для різних баз даних; тому рекомендується перевірка для різних баз даних. Як зазначалося на початку, лише декілька баз даних зображень можуть бути частково використані для аналізу зображень дистанційного зондування. Однією з таких баз даних, запропонованих нещодавно, є KADID10k. Вона містить меншу кількість зображень, що містять спотворення, перелічені в Таблиці 2, які використовувались для аналізу, також розділені на дві групи (див. Табл. 5).

Аналіз даних для бази даних KADID10k показує, що елементарні метрики ADM та CVSSI працюють досить добре. Тим часом результати для запропонованої комбінованої метрики є або найкращими, або близькими до найкращих для елементарних метрик (див. дані, позначені жирним шрифтом). Цікаво також, що запропонована комбінована метрика дає хороші результати для всіх типів спотворень у базі даних KADID10k.

Запропонована метрика також повинна мати можливість працювати в реальних практичних умовах, коли на зображенні одночасно можуть бути присутніми декілька типів спотворень. Для моделювання таких ситуацій використовуються бази даних зображень MDID та LIVE з множинними спотвореннями (LIVE MD) [47]. MDID включає зображення з чотирма



спотвореннями (розмиття, адитивний шум, зміна контрасту, стиснення JPEG та JPEG2000), випадково накладене на зображення відповідно до заданого алгоритму [42]. LIVE MD складається з двох пар спотворень (розмиття з подальшим JPEG та розмиття з подальшим шумом). Обидві бази даних важко розділити на групи спотворень. З цієї причини вони представлені в Таблиці 5 із загальними оцінками SROCC та PCC.

**Таблиця 5 – Результати для елементарних метрик
та найкращої комбінованої**

Види спотворень	PSNRHA	ADM	DSI	PSIM	VSSI	α -trim
TID2013 Результати для SROCC						
Bci	0,8198	0,7861	0,8897	0,8926	0,8285	0,8825
Noise	0,9230	0,9113	0,9275	0,9189	0,9248	0,9393
Actual	0,9388	0,9201	0,9387	0,9309	0,9350	0,9484
Noise & Actual	0,9322	0,9189	0,9374	0,9303	0,9341	0,9473
TID2013 Результати для PCC						
Bci	0,8339	0,8021	0,9051	0,9039	0,7243	0,9055
Noise	0,9127	0,8916	0,9285	0,9202	0,9205	0,9410
Actual	0,9298	0,9012	0,9434	0,9336	0,9381	0,9540
Noise & Actual	0,9266	0,8998	0,9418	0,9326	0,9367	0,9528
KADID10k Результати для SROCC						
Bci	0,8252	0,8033	0,8852	0,8698	0,6939	0,8922
Noise	0,8565	0,9060	0,8988	0,8845	0,9130	0,9093
Actual	0,8673	0,9380	0,9190	0,9095	0,9335	0,9302
Noise & Actual	0,8681	0,9356	0,9202	0,9066	0,9324	0,9294
KADID10k Результати для PCC						
Bci	0,7687	0,7907	0,8436	0,8629	0,5261	0,8790
Noise	0,8463	0,8893	0,8962	0,8791	0,9082	0,9097
Actual	0,8458	0,9177	0,9098	0,9044	0,9270	0,9268
Noise & Actual	0,8524	0,9126	0,9132	0,9060	0,9266	0,9278
Результати для бази MDID						
Bci (SROCC)	0,7240	0,8283	0,8360	0,8733	0,8615	0,8576
Bci (PCC)	0,7164	0,8255	0,8121	0,8593	0,8613	0,8566
Результати для LIVE MD						
Bci (SROCC)	0,7111	0,8821	0,7764	0,8508	0,8760	0,8326
Bci (PCC)	0,7456	0,8923	0,8106	0,8836	0,8923	0,8652



Що стосується бази даних MDID, то метрика CVSSI працює найкращим чином, хоча запропонована комбінована метрика також працює добре. Що стосується бази даних LIVE MD, то найкращим чином працює метрика ADM. Результати для комбінованої метрики не такі хороші, але можуть бути задовільними для практики. Згідно із загальними результатами, стійке поєднання MDSI, PSNRHA, ADM, PSIM та CVSSI після лінеаризації можна вважати найкращим набором елементарних метрик.

Таким чином, проведено аналіз ефективності для 50 метрик візуальної якості з еталоном для типів спотворень, типових для зображень дистанційного зондування. З їх використанням було запропоновано стійкі лінеаризовані комбіновані метрики, засновані на альфа-урізаному середньому значенні п'яти оцінок. Також були розглянуті аспекти підгонки (фітінгу) та лінеаризації. Оптимізація шляхом пошуку найкращих наборів елементарних метрик серед доступних проведена для бази даних TID2013 з використанням критеріїв як SROCC, так і PCC. Було показано, що використання альфа-урізаного середнього, застосованого до оцінок MOS, дозволяє досягти значень SROCC та PCC близько 0,95 для підмножин TID2013 "Noise" та "Actual". Пропоноване рішення було перевірено для інших існуючих баз даних (KADID10k, MDID та LIVE MD), що приводить до SROCC та PCC приблизно 0,86.

4.2. Комбіновані метрики з використанням нейронних мереж

В практиці дистанційного зондування можливі різні ситуації:

- зображення здається ідеальним, тобто візуально не можна виявити погіршення якості (чіткість задовільна, шуму не видно, інших погіршень не спостерігається);
- зображення багатоканальне, і є компонентні зображення дуже високої якості та компонентні зображення досить низької якості [24, 25]; для даних ДЗ з великою кількістю компонентів, тобто гіперспектральних зображень, це можна виявити шляхом компонентної візуалізації та аналізу зображень;
- отримане зображення з самого початку є певним чином спотвореним, наприклад, завдяки принципу роботи системи формування зображення; хорошими прикладами є зображення радіолокаційних систем із синтетичною



апертурою (SAR), для яких завжди присутній спекл-шум [49].

Це означає, що якість оригінальних (первинних) зображень повинна характеризуватися кількісно за допомогою певних показників. Слід також охарактеризувати ефективність попередньої обробки зображення ДЗ (наприклад, усунення шуму або стиснення з втратами). У цьому сенсі існує кілька груп метрик (критеріїв), які можуть бути використані для цієї мети. По-перше, бувають практичні ситуації, коли можна застосовувати метрики з еталоном (див. підрозділ 1). Це трапляється, наприклад, при стисненні даних із втратами, коли метрику можна обчислити, використовуючи оригінальні та стиснені зображення [50–52]. По-друге, метрики без еталону можна використовувати, коли дані без спотворень відсутні. Зазвичай деякі параметри зображення розраховуються для обчислення метрики з відсутністю еталону. Зауважте, що є досить успішні спроби прогнозувати метрики з еталоном, не маючи при цьому етальонних зображень [53, 54]. Нарешті, існує багато метрик, які характеризують якість зображення (або ефективність обробки зображень) з точки зору якості вирішення кінцевих завдань [55–57]. Це може бути, наприклад, площа під кривою (AUC – area under the curve) [58] або ймовірності правильної класифікації [59].

Очевидно, що багато метрик є корельованими між собою. Наприклад, критерії класифікації зображень ДЗ залежать від якості вхідних даних, хоча ефективність класифікації також залежить від використовуваного набору ознак, застосованого класифікатора та використовуваного методу навчання. В цьому підрозділі зосередимось на метриках, що характеризують якість первинних зображень або зображень після попередньої обробки як-то фільтрація або стиснення з втратами, фокусуючись на метриках з еталоном, і, зокрема, на метриках візуальної якості.

Звичайні показники, такі як середньоквадратична похибка (MSE mean square error) або пікове відношення сигнал/шум (PSNR), все ще широко використовуються для аналізу зображень ДЗ або оцінки ефективності їх обробки [57, 60–62]. Тим часом існує очевидна тенденція застосовувати візуальні показники якості [36, 37, 61, 63–66]. Є кілька робіт, що використовують SSIM [67], який є, мабуть, найдавнішим - крім UQI [68], будучи його безпосереднім попередником - метрикою візуальної якості [61, 63, 64]; деякі інші показники візуальної якості були розроблені та протестовані нещодавно [65–68] для конкретних додатків, таких як посилення різкості зображення та виявлення об'єктів. Однак кількість робіт, де використовуються показники візуальної



якості, все ще обмежена [61–66, 69–71].

Тим не менше, існує кілька причин застосовувати показники візуальної якості. Відомо, що система людського зору приділяє першочергову увагу чіткості зображення [72–75], будучи високо корельованою як з метриками якості зору, заснованими на HVS, так і з багатьма завданнями обробки зображень, такими як фільтрація, стиснення з втратами, виявлення країв, сегментація та класифікація. Отже, цілком розумно знати, які відомі метрики можна застосувати, які найкращі серед них, і чи можна покращити показники цих метрик. Подібні проблеми вже частково вирішені в мультимедійних додатках, де: а) запропоновано багато HVS-метрик [72–75]; б) запропоновані методології їх тестування (верифікації) [72–75] в) створені бази даних для верифікації метрик [40–42, 72–76]; г) зроблені попередні висновки [72–76], які дозволяють знайти хороші показники для певного виду (типів) спотворень; д) висунуто шляхи підвищення ефективності метрик, включаючи проектування комбінованих метрик [77–80] або метрик на основі нейронної мережі (neural network - NN) (деякі приклади наведені в [77–80]).

В розділі 4.1 пояснено головні проблеми розробки метрик візуальної якості для такого застосування, як дистанційне зондування. Також наведено аргументи на користь використання бази TID2013 та наборів зображень із певними типами спотворень. Втім, метод об'єднання кількох елементарних метрик за допомогою попередньої лінеаризації та стійких оцінок може бути не найбільш ефективним із можливих. Тому нами було також досліджено інший (дуже популярний у даний час) підхід на основі нейромереж.

В останні роки нейронні мережі (NN) продемонстрували дуже високий потенціал у вирішенні багатьох завдань, пов'язаних з обробкою зображень. Їх використання часто трактується як засіб для отримання переваг у покращенні розробки та ефективності. Отже, коротко розглянемо особливості та можливості використання NN для нашого застосування, тобто при розробці нових, більш потужних метрик з еталоном для зображень із вищезгаданими типами спотворень. Вимоги до таких метрик наводяться нижче.

Хороша метрика на основі NN повинна забезпечувати певну перевагу в роботі порівняно з елементарними метриками. Оскільки ми розглядаємо SROCC як головний кількісний критерій, його слід значно покращити порівняно з уже досягнутими значеннями 0,93 ... 0,94. Оскільки максимальне значення SROCC дорівнює одиниці, його покращення на 0,02... 0,03 можна вважати достатнім.



Іншими важливими аспектами є вхідні параметри та структура NN. Оскільки типовою вимогою до метрики з еталоном є досить швидка робота, вхідні параметри слід обчислювати легко і швидко. Звичайно, їх обчислення можна зробити паралельно або якось прискорити, але в будь-якому випадку жоден з вхідних параметрів не повинен бути занадто складним. Структура використовуваної NN повинна бути, наскільки можливо, також простою. Потрібна менша кількість прихованих шарів і менша кількість нейронів у них без втрати ефективності. Менша кількість вхідних параметрів також може бути вигідною у плані спрощення та швидкодії.

Аналіз існуючих рішень показує наступне:

– нейронні мережі вже використовувались при проектуванні метрик якості з еталоном (див., наприклад, [81–84]); метрика [81] використовує ознаки з еталонних та спотворених зображень та використовує глибоке навчання у розробці метрик, забезпечуючи $SROCC = 0,94$ для всіх типів спотворень у TID2013; Е. Прашнані та ін. [82] трохи покращили результати роботи [81] завдяки використанню нової системи парного навчання; Сео та ін. [83] досяг $SROCC = 0,961$ за допомогою глибокого навчання;

– можуть існувати різні структури NN (незважаючи на популярність згорткових мереж, стандартні багат шарові мережі все ще можуть бути досить ефективними) і різні набори вхідних параметрів (можуть використовуватися як деякі функції, так і елементарні метрики).

Маючи це на увазі, наша ідея полягає у використанні набору елементарних метрик якості як вхідних даних та застосуванні NN з досить простою структурою для вирішення нашого завдання - отримати комбіновану метрику (або кілька комбінованих метрик) з ефективністю, суттєво кращою, ніж для найкращої елементарної метрики. Тоді виникає набір конкретних завдань, які потрібно вирішити, а саме:

- скільки елементарних показників слід використовувати?
- які елементарні показники слід використовувати?
- яку структуру нейромережі слід обрати та як оптимізувати її параметри?
- чи потрібні деякі операції попередньої обробки вхідних даних?
- яким повинен бути вихід NN та його властивості?

Щодо останнього питання, то оскільки ми плануємо використовувати TID2013, слід нагадати, що якість зображень у цій базі даних характеризується



MOS. Основні властивості MOS в TID2013 визначаються методологією експериментів, проведених спостерігачами. Потенційно могло бути, що MOS може бути від 0 до 9, але, як результат експериментів, MOS коливається в межах від 0,24 до 7,21 [85]. Більше того, аналіз MOS та якості зображення [85] показав, що щодо MOS можливі чотири градації якості зображення:

- а) відмінна якість ($MOS > 6,05$);
- б) гарна якість ($5,25 < MOS \leq 6,05$);
- в) середня якість ($3,94 < MOS \leq 5,25$);
- г) погана якість ($MOS \leq 3,94$).

Ця "класифікація" трохи суб'єктивна, тому потрібні деякі пояснення. Зображення вважаються такими, що мають відмінну якість, якщо спотворення на них неможливо візуально помітити. Для зображень з гарною якістю значення MOS мають ранги від 201 до 1000, а спотворення можна помітити при ретельному візуальному огляді. Якщо значення MOS мають рейтинг від 1001 до 2000, якість зображення класифікується як середнє (спотворення видно, але вони не дратують). Якість інших зображень умовно класифікується як погана - спотворення здебільшого дратують.

Рисунок 2 ілюструє приклади спотворених зображень для одного й того ж еталонного зображення (№19 у TID2013), яке має нейтральний вміст і має середню складність. Для них також представлені значення MOS та три елементарні показники. Зображення на рисунку 2,а) відповідає першій групі (відмінна якість), і виявити спотворення справді важко. Зображення на рисунку 2,б) належить до другої групи, і спотворення видно, особливо в однорідних областях зображення. Зображення на рисунку 2,в) є хорошим представником третьої групи зображень, для яких спотворення очевидні, але вони не дратують. Нарешті, зображення на рисунку 2,г) є прикладом неякісного зображення. Представлені значення метрик показують, наскільки вони відповідають погіршенню якості та можуть характеризувати рівень спотворень.

Передостаннє запитання стосується попередньої обробки вхідних даних. Відомо, що в теорії нейромереж часто рекомендується здійснити деяку попередню нормалізацію вхідних даних (ознак), якщо вони мають різні діапазони варіювання. Це справедливо для елементарних метрик, як, наприклад, PSNR і, наприклад, PSNR-HVS-M, обидва виражені в дБ, можуть варіюватися в широких межах (від 10 дБ до 60 дБ), але для спотворених зображень у TID2013 вони варіюються у вузьких межах.



PSNR, який використовується для встановлення п'яти рівнів спотворень, має п'ять значень, що приблизно дорівнюють 21, 24, 27, 30 та 33 дБ, хоча насправді значення цієї метрики для зображень у TID2013 коливаються приблизно від 13 дБ до ≈ 41 дБ. PSNR-HVS-M варіюється від 14 дБ до 59 дБ, що в основному відповідає “робочим межам”, починаючи від дуже дратівливих спотворень і закінчуючи практично ідеальною якістю (невидимі спотворення). MDSI варіюється від 0,1 до 0,55 для зображень у TID2013, де більші значення відповідають нижчій якості зору.



а)



б)



в)



г)

а) відмінне (тип спотворення №2 - адитивний шум у кольорових компонентах) -

MOS = 6,0811, PSNR = 43,6260 дБ, PSNRHA = 39,8060 дБ, MDSI = 0,1556;

б) гарне (тип спотворення №5 - високочастотний шум) - MOS = 5,9737, PSNR =

37,7730 дБ, PSNRHA = 42,4980 дБ, MDSI = 0,1512;

в) середнє (тип спотворення №3 - просторово корельований шум) - MOS =

4,6667, PSNR = 37,8280 дБ, PSNRHA = 33,4380 дБ, MDSI = 0,2683;

г) погана (тип спотворення №6 - імпульсний шум) - MOS = 3,8844, PSNR =

31,2660 дБ, PSNRHA = 31,2890 дБ, MDSI = 0,2920

Рисунок 2 – Приклади тестового зображення з різною якістю



Деякі інші показники, такі як SSIM, MS-SSIM та FSIM, варіюються в межах від 0 до 1, де одиниця відповідає ідеальній якості. Насправді більшість значень цих показників зосереджено у верхній третині цього інтервалу (див. графік розсіювання на рисунку 3 для кольорової версії метрики FSIM, що називається FSIMc). Спостерігається очевидна загальна тенденція збільшення FSIMc, коли MOS стає більшим. Тим часом можна також помітити два важливі явища. По-перше, існує певне варіювання (дисперсність) значень метрики для тієї самої MOS. По-друге, залежність FSIMc від MOS (або MOS від FSIMc) нелінійна.

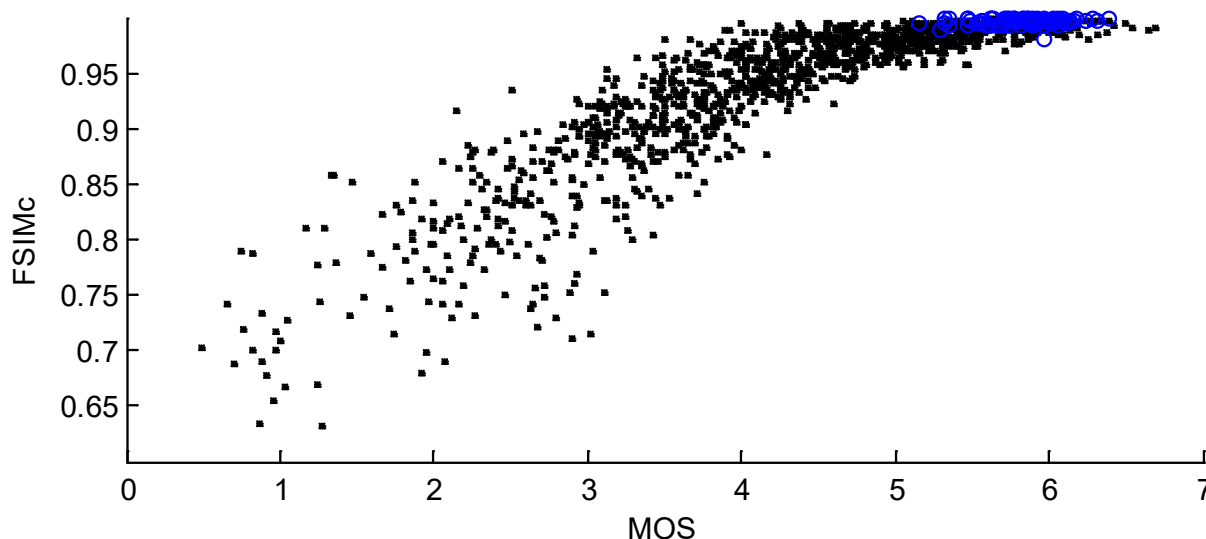


Рисунок 3 – Скатерограма FSIMc від MOS (сині позначки відповідають зображенням, спотворення яких спостерігачами не виявлено)

У цьому сенсі лінеаризація (фітінг) часто використовується для отримання не тільки високих значень SROCC, але й звичайного коефіцієнта кореляції Пірсона. Тоді можливі дві гіпотези. Перша з них полягає в тому, що нейромережі, будучи нелінійним і здатним адаптуватися до особливостей вхідних даних, буде «керувати» цією нелінійністю залежності вхід-вихід «самостійно» (позначимо цю гіпотезу як H1). Друга гіпотеза (H2) полягає в тому, що попередня обробка у вигляді фітінгу може бути корисною для подальшого поліпшення комбінованих метрик (їх оптимізації).

Щодо фітінгу, необхідного для реалізації H2, існує кілька загальноприйнятих варіантів. Одним з них є застосування функції виду $y(x) = a \cdot x^b + c$, де a , b та c - регульовані параметри. Результати підгонки можна охарактеризувати середньоквадратичним відхиленням (RMSE) точок діаграми розсіювання (скатерограми) після фітінгу відносно встановленої кривої (чим



менше RMSE, тим краще). Результати, отримані для елементарних метрик, розглянутих вище (у табл. 1), наведені в таблиці 6. Як бачимо, найкращий результат отриманий для метрики MDSI (він дорівнює 0,3945). Результати для метрик, які є одними з найкращих за даними SROCC (наприклад, CVSSI, MCSD, PSNRHA, GMSD, див. дані в таблиці 1), майже однаково хороші.

Іншою придатною моделлю, яку можна застосувати, є, наприклад, поліноміальна Poly2: $y(x) = p_1 \cdot x^2 + p_2 \cdot x + p_3$, де p_1 , p_2 та p_3 - це параметри, які слід коригувати (варіювати) для отримання найкращої підгонки. Отримані результати дуже схожі. Наприклад, для MDSI спостерігається мінімальний RMSE, що дорівнює 0,3951. Для PSNR-HA досягається $RMSE = 0,4013$, тобто дещо кращий, ніж у таблиці 6. Тому докладні дані, отримані для підгонки Poly2, не представлені для економії місця, хоча результати, кращі для першої моделі, позначені жирним шрифтом у таблиці 6. Тоді при розробці комбінованих метрик на основі нейромереж можливі три варіанти: 1) використовувати першу модель (позначимо її PFF) для всіх елементарних метрик, 2) застосувати Poly2 для всіх елементарних метрик; 3) вибрати найкращий варіант для кожного елементарного показника та застосувати його.

Наступним розглянутим питанням є те, які структури та параметри нейромереж можуть бути обрані та оптимізовані. Як було зазначено вище, ми розглядаємо звичайні структури нейромереж. Причина, по якій не розглядається підхід на основі глибокого навчання, полягає в тому, що потрібен великий навчальний набір даних, і ми не маємо їх у своєму розпорядженні.

Тоді простим вибором є застосування багатошарових нейронних мереж, для яких зрозумілі багато аспекти проектування та навчання. Це зменшує складність нейронної моделі, дозволяючи добре узагальнити дані та запобігаючи проблемам перетренованості. Зокрема, кількість нейронів у вхідному шарі має бути рівною кількості використовуваних елементарних метрик. Щодо цього числа, можливі різні варіанти, включаючи використання всіх 50 розглянутих елементарних метрик. Також можна обмежитися найкращими метриками з таблиці 1 та застосувати елементарні метрики, які мають певні властивості, наприклад, метрики, які мають $SROCC > 0,9$ для розглянутих типів спотворень (таких 22 метрики), $SROCC > 0,92$ (14 метрики), або $SROCC > 0,93$ (7 метрик).



Таблиця 6 – Характеристики фітінгу для елементарних метрик

Метрика	RMSE	a	b	c
PSNR	0,6830	-126,636	-0,0554	109,1416
MSE	0,6811	-2,4997	0,1690	9,3328
WSNR [89]	0,5216	103,726	0,0372	-113,987
NQM [96]	0,6037	0,8643	0,5904	-1,3442
UQI [40]	0,8393	6,5341	0,4358	-0,8949
SSIM [39]	0,7645	3,2558	4,5929	2,8783
MS-SSIM [64]	0,5536	3,5705	12,6686	2,2151
IFC [77]	0,7404	30,6531	0,0374	-27,7813
VIF [71]	0,5600	4,9142	0,6852	1,1082
VIFP [71]	0,6514	11,1695	0,2507	-4,6922
MSVD [74]	1,2091	463,362	-1,7245	4,0580
QILV [101]	0,8924	2,1258	12,8721	3,2304
VSNR [93]	0,5505	-40,9961	-0,1030	33,6452
PSNRHVS [82]	0,4176	-54,0574	-0,4961	14,4993
PSNRHVSM [63]	0,4472	-78,8179	-0,7655	9,8824
CWSSIM [99]	0,7294	2,4648	1858,3573	3,0546
RFSIM [76]	0,5086	4,9998	0,8521	1,0324
PSNRHAY [69]	0,4114	-79,7808	-0,7054	11,7318
PSNRHMAy [69]	0,4332	-120,791	-0,9339	9,0571
PSNRHA [69]	0,4057	-271,292	-1,1468	9,8101
PSNRHMA [69]	0,4296	-437,562	-1,3364	8,5281
FSIM [75]	0,4813	3,6227	13,3796	2,1510
FSIMc [75]	0,4699	3,7012	11,1900	2,1265
IWSSIM [91]	0,5336	3,4602	11,7455	2,2851
ADM [86]	0,5133	5,2079	1,0584	1,1913
GSM [95]	0,6085	3,8941	62,8385	2,0375
IGM [83]	0,4154	4,8469	4,6108	0,3577
SR-SIM [84]	0,4485	3,6224	26,1269	2,1720
SFF [78]	0,5037	4,3154	17,0200	1,4609
GMSD [81]	0,4201	-10,7552	0,5948	6,2403
ESSIM [94]	0,5862	4,1907	794,155	1,7213
WASH [102]	1,1077	-3,9034	-0,8187	9,1013
VSI [68]	0,4577	3,5501	37,8918	2,3297
IQM2 [88]	0,4716	3,6621	1,2572	2,1072
DSS [90]	0,5109	3,3472	3,2571	2,2928
ADD_GSIM [87]	0,4544	3,7670	155,109	1,9912
ADD_SSIM [87]	0,4705	3,9271	142,763	1,8464
MCSD [80]	0,4123	-10,6097	0,5096	6,4149
MDSI [66]	0,3945	-17,9432	1,6790	6,7208
UNIQUE [98]	0,6600	4,3775	0,4905	1,3221
MSUNIQUE [98]	0,6478	4,3483	0,6346	1,4211
PSIM [67]	0,4144	3,9219	583,789	1,9809
CVSSI [79]	0,4137	-10,9029	0,5469	6,3852
PSNRHMAm [70]	0,4086	-258,9957	-1,1396	9,7006
DSI [100]	0,7916	-2,4387	0,1568	7,6098
CSSIM [92]	0,5238	3,3778	19,8756	2,2658
CSSIM4 [92]	0,6121	2,8845	72,9625	2,6397
SSIM4 [92]	0,5315	3,2548	9,2413	2,3957
HaarPSI [85]	0,4347	4,5283	2,1854	1,4475
RVSIM [97]	0,5678	5,5441	1,1196	-0,0078



В той же час теорія нейромереж стверджує, що доцільно застосовувати такі вхідні параметри, які можуть "додавати" або "доповнювати" інформацію один до одного, тобто не мають високої кореляції. Одним із можливих підходів є оцінка функції перехресної кореляції, щоб визначити подібність між усіма парами метрик, а після цього виключити найгірші у висококорельованих парах.

Замість цього в цій роботі застосовується дуже корисний підхід, який називається регуляризацією Лассо [86], для вибору найбільш унікальних метрик для NN. При машинному навчанні регуляризації Лассо використовуються для введення додаткових обмежень у модель та зменшення проблеми перенавчання. Ключовою особливістю Лассо є те, що цей метод може вводити нульові ваги для "шумних" та найменш важливих даних. Для завдання комбінації метрик це означає, що регуляризація Лассо може визначити елементарні метрики, які є найменш корисними для комбінування, і залишити інші («найбільш інформативні»). Ще однією перевагою є наявність функції Лассо в MATLAB, яка з різними пороговими значеннями оцінює нульові коефіцієнти для метрик, які можна виключити. Відповідно до цього було визначено кількість таких ненульових значень (NNZ) для кожної метрики, приймаючи такі умови: а) $NNZ > 20$ (із 100 значень); б) $NNZ > 30$; в) $NNZ > 40$; г) $NNZ > 50$; д) $NNZ > 60$.

Оскільки вихідом нейромережі є комбінована метрика, то у вихідному шарі присутній один нейрон, але при цьому кількість прихованих шарів і кількість нейронів у кожному прихованому шарі можуть бути різними. Проаналізовано два варіанти - два та чотири прихованих шари. Крім того, були розглянуті два варіанти кількості нейронів у прихованих шарах, а саме однакова кількість нейронів у кожному прихованому шарі та вдвічі менша кількість нейронів у кожному наступному прихованому шарі. Як функція активації в прихованих шарах використовується гіперболічна дотична сигмоїдна функція, яка також забезпечує нормалізацію в діапазоні $(-1,1)$, тоді як лінійна функція використовується для вихідного шару.

Приклад структури NN представлений на рисунку 4. У цьому випадку є 9 входів, і кількість нейронів у прихованих шарах поступово зменшується.

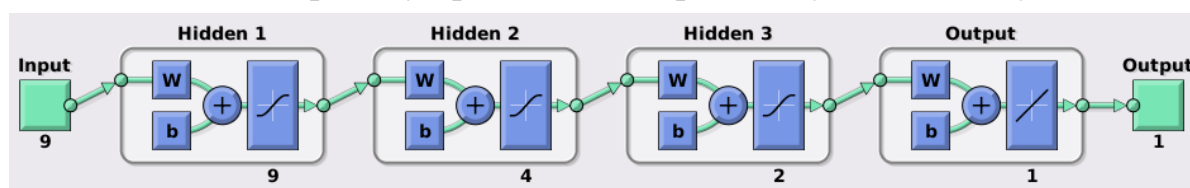


Рисунок 4 – Приклад структури нейронної мережі



На додаток до структури NN, на її ефективність можуть впливати деякі інші фактори, такі як методологія навчання та тестування NN, стабільність результатів навчання, кількість епох тощо. Через обмежений набір 1625 зображень для навчання NN та тестування, наше завдання ускладнюється. Відповідно до традиційної методології, наявний набір має бути розділений на навчальний та перевірочний у певній пропорції. У проведених експериментах 70% зображень було використано для тренувань, а решта зображень для перевірки. Оскільки розподіл зображень на набори є випадковим, результати навчання та перевірки також можуть бути випадковими. Щоб частково обійти цю невизначеність, найкращі дані представлені нижче для кожної версії навченої NN (що забезпечує найбільший SROCC на етапі навчання) даної структури.

Щодо етапу навчання - кожна нейромережа пройшла навчання, щоб забезпечити якомога більше значення SROCC. Очевидно, можливі також деякі інші навчальні стратегії. Зокрема, можна використовувати коефіцієнт кореляції Пірсона (Pearson correlation coefficient - PCC) для максимізації. Тим не менше, результати додаткового використання PCC для навчання в даному розділі не розглядаються.

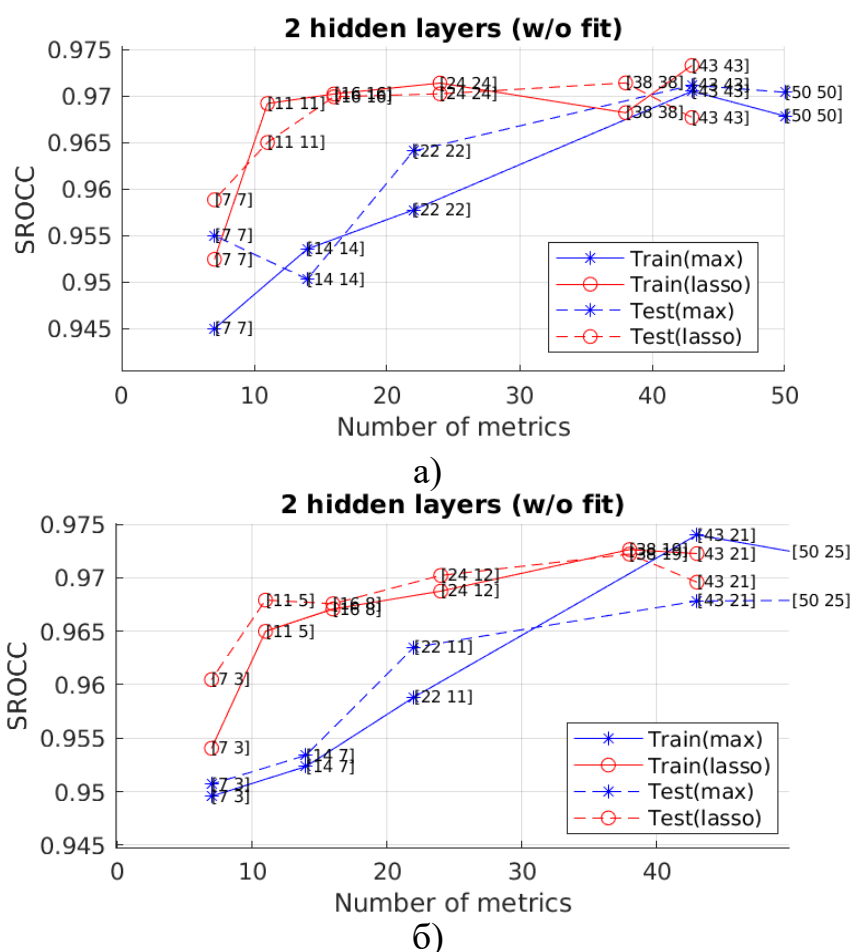
Для глибшого розуміння того, які структури нейромереж були проаналізовані та які параметри використані, основні характеристики представлені в таблиці 7, де в кожному випадку надається кількість вхідних елементарних метрик. Як бачимо, існує досить багато можливих структур нейронних мереж.

Основними критеріями навчання та верифікації нейромереж є значення SROCC. Були проаналізовані чотири SROCC: SROCCtrain (Max), SROCCtrain (Lasso), SROCCtest (Max) і SROCCtest (Lasso), які відповідають навчальним і тестовим (верифікаційним) даним із використанням максимальної та визначеної Лассо кількості входів. Починаючи від нейромережі з двома прихованими шарами, де попередній фітінг не використовується, отримані результати представлені на рисунку 5. Числа біля кожної точки на представлених графіках показують кількість нейронів у прихованих шарах. Дані на рисунку 5,а) стосуються випадку, коли кількість нейронів у прихованих шарах однакова, тоді як графіки на рисунку 5,б) відповідають ситуації, коли кількість нейронів поступово зменшується.



Таблиця 7 – Кількість елементарних метрик, що використовуються як вхідні дані для різних конфігурацій нейромереж в умовах різного застосування та обмежень, накладених на набір елементарних метрик

Правило попередньої обробки	Без фітінгу	PFF	Краща з PPF та Poly2
Використані елементарні метрики			
Всі 50	50	50	50
3 SROCC > 0.8	43	43	43
3 SROCC > 0.9	22	22	22
3 SROCC > 0.92	14	14	14
3 SROCC > 0.93	7	7	7
3 Lasso (NNZ > 20)	43	39	41
3 Lasso (NNZ > 30)	38	25	29
3 Lasso (NNZ > 40)	24	20	21
3 Lasso (NNZ > 50)	16	12	11
3 Lasso (NNZ > 60)	11	9	6
3 Lasso (NNZ > 70)	7	6	6



а) однакова кількість нейронів у прихованих шарах;

б) вдвічі менша кількість нейронів у прихованих шарах.

Рисунок 5 – SROCC для NN з двома прихованими шарами з різною кількістю входів



Аналіз даних показує наступне:

- якщо Лассо не використовується, збільшення кількості входів призводить до загальної тенденції збільшення як $SROCC_{train}$, так і $SROCC_{test}$; тим часом, для більш, ніж 40 входів, покращення не спостерігається;

- якщо застосовується регуляризація Лассо, результати не настільки хороші, якщо кількість входів (N_{inp}) менше 20; але якщо N_{inp} перевищує 20, то ефективність практично не залежить від N_{inp} ; це означає, що метод Лассо дозволяє спростити структуру нейромережі, мінімізуючи кількість входів та нейронів в інших шарах;

- найкращі (найбільші) значення $SROCC$ перевищують 0,97, що демонструє, що завдяки використанню нейромереж та оптимізації їх параметрів досягається достатнє покращення (порівняно з найкращою елементарною метрикою);

- значення $SROCC_{train}$ та $SROCC_{test}$ практично однакові для кожної конфігурації аналізованої нейромережі, тому результати навчання можна вважати стабільними;

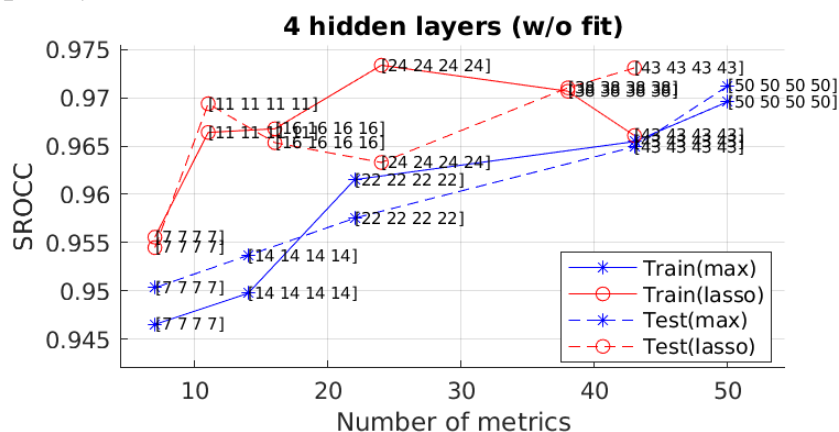
- не виявлено суттєвої різниці в результатах для однакової або нерівної кількості нейронів у прихованих шарах.

Щодо іншої кількості прихованих шарів, а саме чотирьох, то отримані графіки наведені на рисунку 6. Аналіз отриманих даних дозволяє зробити два основних висновки. По-перше, немає очевидних переваг у порівнянні з випадком використання нейромереж з двома прихованими шарами. По-друге, всі інші висновки, наведені вище, щодо $SROCC_{train}$ та $SROCC_{test}$, впливу регуляризації N_{inp} та Лассо однакові, тобто в якості вхідних даних доцільно застосовувати обмежену кількість, наприклад, 24 елементарні метрики, визначені Лассо.

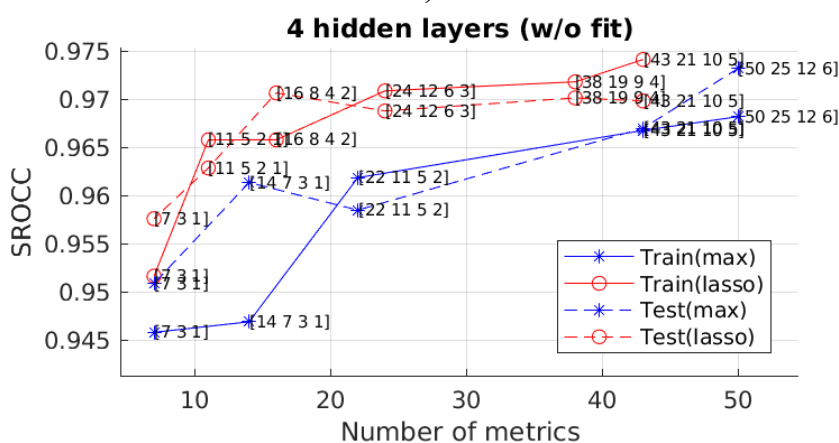
Наступне запитання, на яке потрібно відповісти: "чи допомагає попередній фітінг?" Відповідь на нього представлена на рисунку 7 із двома наборами графіків. Обидва набори отримані для нейромережі з двома прихованими шарами та однаковою кількістю нейронів у них. Графіки на рисунку 7,а) отримані для RPF, а на малюнку 7,б) - для найкращого фітінгу. Порівняння графіків, що відповідають один одному на рисунках 7, показує, що немає достатньої різниці у виборі фітінгу. Більше того, порівняння з відповідними графіками на рисунку 5,а) вказує на те, що попередній фітінг не забезпечує достатнього поліпшення характеристик у порівнянні з випадками, коли він не використовується. Це означає, що навчені нейромережі забезпечують цю



попередню обробку самостійно.



a)



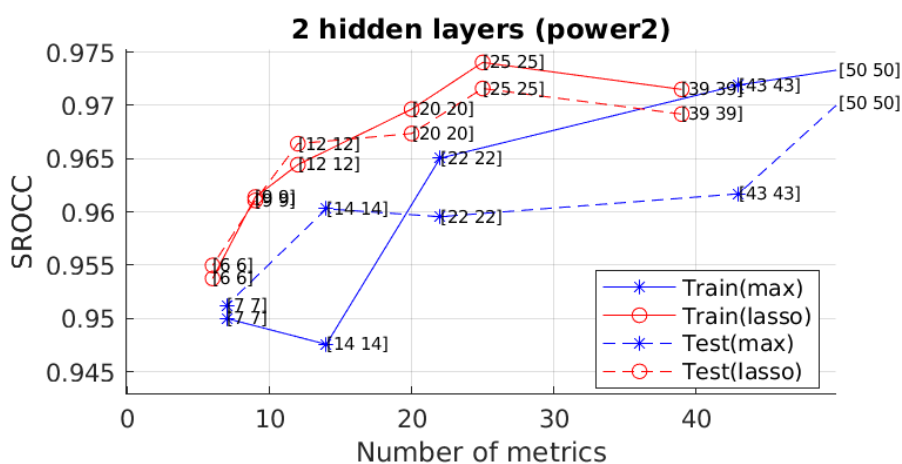
б)

а) однакова кількість нейронів у прихованих шарах;

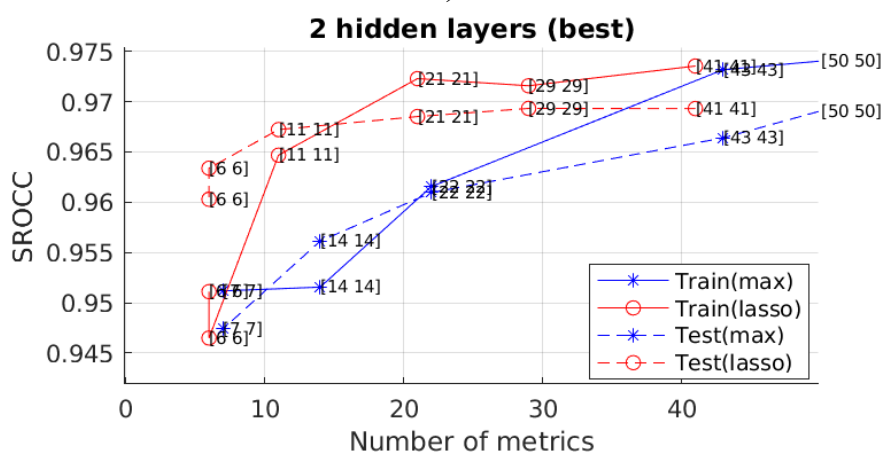
б) вдвічі менша кількість нейронів у прихованих шарах.

Рисунок 6 – Значення SROCC для нейромереж з чотирма прихованими шарами з різною кількістю входів

Інші висновки, які випливають з аналізу залежностей на рисунку 7, практично такі ж, як і раніше. Метод Лассо гарантує, що ефективність, близьку до оптимальної, може бути забезпечена для N_{inp} трохи більше 20. Максимально досягнуті значення $SROCC$ перевищують 0,97 і менше 0,975. Також були проаналізовані результати для чотирьох прихованих шарів та нерівного числа нейронів у прихованих шарах, і найкращі результати виявились практично на одному рівні.



a)



б)

а) апроксимація PPF;

б) найкращий фітінг (з двох варіантів).

Рисунок 7 – Значення SROCC для нейромереж з двома прихованими шарами з різною кількістю входів та рівною кількістю нейронів у прихованих шарах з двома способами фітінгу

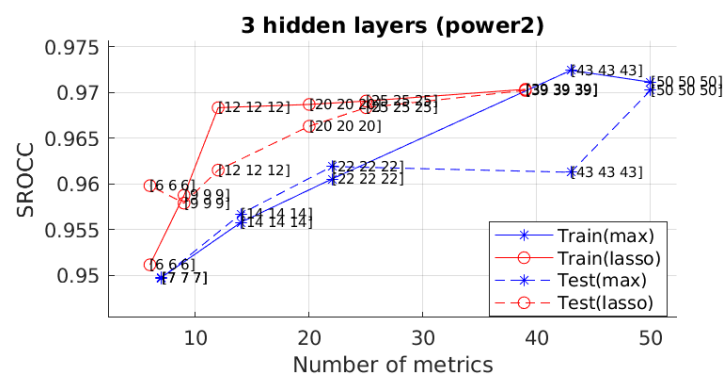
Щоб довести, що кількість прихованих шарів не має суттєвого впливу на характеристики комбінованих метрик на основі нейромереж, на рисунку 8 наведені характеристики для нейромереж з трьома та п'ятьма прихованими шарами, які використовували PPF для фітінгу та рівну кількість нейронів у всіх шарах. Аналіз показує, що максимально досягнуті значення SROCC навіть менші, ніж для нейромереж з двома прихованими шарами.

Завершуючи аналіз на основі SROCC, можна констатувати наступне:

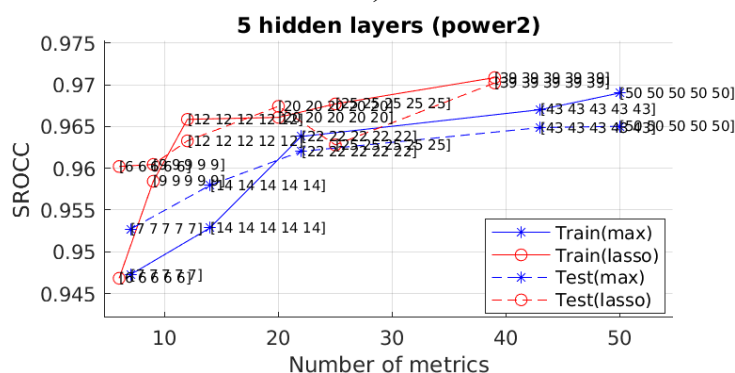
- існує багато конфігурацій нейромереж, які забезпечують приблизно однаковий SROCC;
- приймаючи до уваги бажану простоту, рекомендується використовувати



нейромережу з двома прихованими шарами без фітінгу та числом входів близько 20.



а)



б)

а) з трьома прихованими шарами;

б) з п'ятьма прихованими шарами.

Рисунок 8 – Значення SROCC для нейромереж з однаковою кількістю нейронів у прихованих шарах для фітінгу PPF

Є кілька позитивних результатів розробки з використанням Лассо. Вони стають очевидними з аналізу даних, представлених у таблиці 8. Можна помітити, що існує кілька хороших конфігурацій нейромереж, які забезпечують SROCC приблизно 0,97 для кількості входів близько 20. Разом з цим, ці нейромережі забезпечують значення RMSE, які значно менші, ніж для найкращої елементарної метрики після лінеаризації (див. дані в таблиці 2, де найкращі значення більші за 0,39). Крім того, значення коефіцієнта кореляції Пірсона (PCC) також великі і перевищують 0,97, що свідчить про дуже хорошу лінійність розроблених комбінованих метрик.



**Таблиця 8 – Характеристики розроблених комбінованих метрик якості
на основі нейромереж**

#	NN configuration	Найкраща мережа			5 найкращих результатів		
		SROCC	RMSE	PCC	SROCC	RMSE	PCC
1	(NNZ60) 11 входів, 2 прихованих шари, однакова кількість нейронів, без фітингу (11/11)	0,9683	0,2873	0,9706	0,9658	0,2919	0,9697
2	(NNZ50) 16 входів, 2 прихованих шари, однакова кількість нейронів, без фітингу (16/16)	0,9702	0,2699	0,9741	0,9666	0,2863	0,9708
3	(NNZ40) 24 входа, 2 прихованих шари, однакова кількість нейронів, без фітингу (24/24)	0,9712	0,2603	0,9760	0,9694	0,2698	0,9742
4	12 входів, 2 прихованих шари, однакова кількість нейронів, фітинг power2 (12/12)	0,9652	0,2933	0,9694	0,9649	0,2961	0,9688
5	11 входів, 2 прихованих шари, однакова кількість нейронів, 'найкращий' фітинг (11/11)	0,9656	0,2927	0,9695	0,9648	0,2992	0,9681
6	16 входів, 2 прихованих шари, однакова кількість нейронів, без фітингу (16/8)	0,9672	0,2840	0,9713	0,9664	0,2890	0,9703
7	16 входів, 3 прихованих шари, однакова кількість нейронів, без фітингу (16/16/16)	0,9665	0,2912	0,9698	0,9654	0,2950	0,9691
8	16 входів, 4 прихованих шари, однакова кількість нейронів, без фітингу (16/16/16/16)	0,9664	0,2923	0,9696	0,9654	0,2982	0,9684
9	16 входів, 4 прихованих шари, однакова кількість нейронів, без фітингу (16/8/4/2)	0,9674	0,2775	0,9726	0,9673	0,2841	0,9713

Розрахувавши значення SROCC, RMSE та PCC, можна провести більш ретельний аналіз. Перше спостереження полягає в тому, що SROCC, RMSE та PCC у нашому випадку мають високу кореляцію. Більші SROCC та PCC відповідають меншим RMSE. Найкращі результати, згідно з усіма трьома критеріями, дає нейромережа з конфігурацією 3, хоча, враховуючи складність цієї нейромережі, конфігурація №2 також є хорошою. Кількість входів менше 16 (наприклад, 11 або 12 у конфігураціях №1, №4, №5) призводить до гірших значень розглянутих критеріїв. Використання конфігурацій нейромереж із попереднім фітингом, зменшенням кількості нейронів у прихованих шарах, більшою кількістю прихованих шарів (конфігурації ## 4–9) не сприяє покращенню порівняно з відповідними конфігураціями №1 та №2. У зв'язку з



цим проаналізуємо додатково застосування конфігурації нейромережі №2.

Таблиця 8 містить три стовпці, позначені заголовком «Найкраща мережа», і три стовпці, позначені «5 найкращих результатів». Раніше вже згадувалося, що результати навчання нейромережі залежать від випадкового розподілу спотворених зображень на навчальні та тестові набори. Через це для аналізу стабільності навчання ми розрахували середні значення SROCC, RMSE та PCC для п'яти найкращих результатів навчання нейромережі для кожної конфігурації. Порівняння SROCC, RMSE та PCC для перших п'яти результатів із відповідними значеннями для найкращої мережі показує, що різниця невелика. Більше того, висновки, які можна зробити в результаті аналізу цих «середніх» результатів щодо результатів роботи НС, повністю збігаються з висновками, зробленими в результаті аналізу найкращої мережі.

Аналіз ефективності метрик та їх перевірка для багатоканальних зображень ДЗ є складною проблемою. Очевидно, що найкращим рішенням може бути наявність бази даних еталонних та спотворених зображень ДЗ та MOS для кожного спотвореного зображення. Цей шлях майбутнього дослідження загалом можливий і доцільний, але вимагає значного часу та зусиль. По-перше, до експериментів повинна бути залучена велика кількість спостерігачів. По-друге, ці спостерігачі повинні володіти певними навичками в аналізі даних ДЗ, і це є основною проблемою. По-третє, набір зображень, що підлягають перегляду та оцінці, повинен бути якимось чином узгоджений у спільноті, що займається ДЗ.

Через це ми зараз можемо проводити лише деякі попередні випробування. Метою першого тесту є показати, що розроблена метрика (насправді, MOS, передбачене навченою нейромережею) дає розумні результати для конкретних зображень. Що стосується зображень на рисунку 2, то всі вони мають значення MOS, визначені в експериментах, але тепер можуть бути надані значення MOS, розраховані лінеаризацією для елементарних метрик та новою метрикою на основі NN. Отримані дані представлені в таблиці 9.

Таблиця 9 – Істинні та спрогнозовані значення MOS

Зображення	Істинне MOS	Оцінене MOS з використанням елементарних метрик			MOS, що оцінено за допомогою розробленої нейромережі
		PSNR	PSNRHA	MDSI	
Рисунок 2.1а)	6,08	6,4176	5,8410	5,9314	5,8329
Рисунок 2.1б)	5,97	5,5941	6,1279	5,9685	5,8697
Рисунок 2.1в)	4,67	5,6024	4,9626	4,7508	4,7202
Рисунок 2.1г)	3,87	4,5033	4,5790	4,4500	4,2479

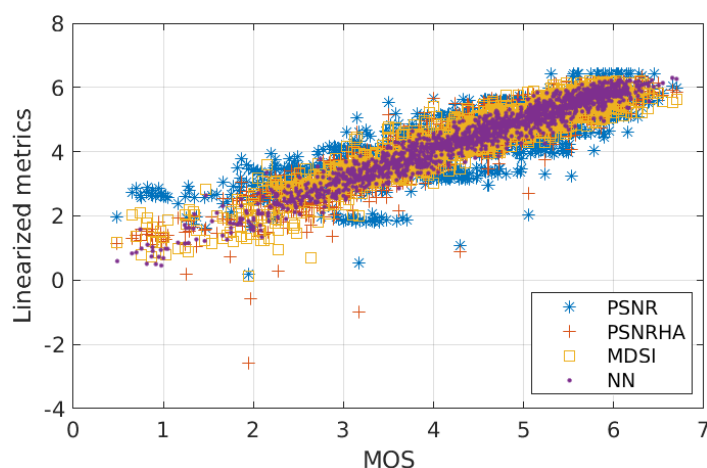


Рисунок 9 – Скатерограми, що ілюструють кореляцію чотирьох методів прогнозування MOS, представлених у таблиці 8, із істинними значеннями MOS (діапазон 0-7) для набору Noise & Actual бази TID2013

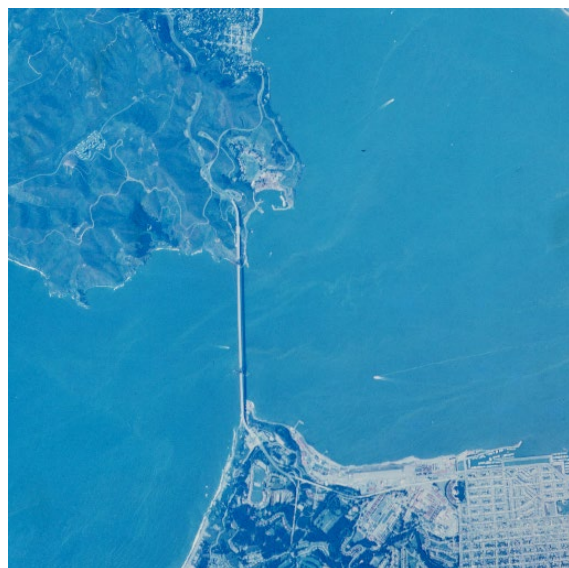
Цікаву скатерограму, яку отримано для всіх розглянутих типів спотворень, показано на рисунку 9. Трохи дивним аспектом є те, що значення MOS, спрогнозовані за деякими елементарними показниками, можуть бути навіть негативними. Також видно, що метрика на основі нейромережі забезпечує високу лінійність співвідношення між істинними та спрогнозованими MOS. Також спостерігаються проблеми MDSI для малих значень MOS.

Подальші дослідження стосуються чотирьох тестових зображень, представлених на рисунку 10. Це триканальні псевдокольорові зображення, що називаються відповідно Frisco, Diego2, Diego3 та Diego4, усі розміром 512×512 пікселів, 24 біти на піксель. Причини їх вибору наступні - ці зображення мають різну складність і вони вже використовувались в деяких експериментах [87]. Зображення Frisco та Diego4 досить прості, оскільки містять великі однорідні області, тоді як зображення Diego2 має дуже складну структуру (багато дрібних деталей та текстур), а зображення Diego3 має середню складність.

Стандартною вимогою до метрик візуальній якості є монотонність, тобто монотонне збільшення або зменшення, якщо “інтенсивність” спотворення даного типу зростає. Цю властивість можна легко перевірити на її наявність для багатьох різних типів спотворень. Зображення були стиснені з використанням кодеру AGU з втратами [88], що забезпечує різну якість та ступінь стиснення (compression ratio - CR). Це було здійснено шляхом зміни кроку квантування (quantization step - QS), де більший QS відповідно пов'язаний із більшими введеними спотвореннями та гіршою візуальною якістю.



Якість (відмінна, хороша тощо) визначається відповідно до результатів у [85]. Зібрані дані представлені в таблиці 10. Очевидною тенденцією є те, що всі показники, включаючи розроблену метрику, погіршуються, якщо QS (і CR відповідно) збільшується. Значення метрики на основі нейромережі перевищують значення MOS, передбачені з елементарних метрик для тестового зображення Frisco, але менші для тестового зображення Diego2.



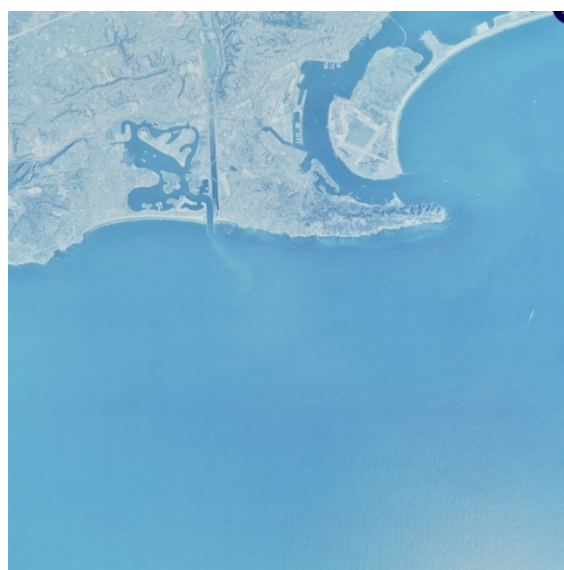
а)



б)



в)



г)

а) Frisco; б) Diego2; в) Diego3; г) Diego4.

Рисунок 10 – Триканальні тестові зображення ДЗ

Можливо, ця властивість частково пов'язана зі складністю зображення. Однак є докази того, що розроблена метрика "поводиться" правильно. На рисунку 11 представлені стиснуті зображення із використанням $QS = 40$, для



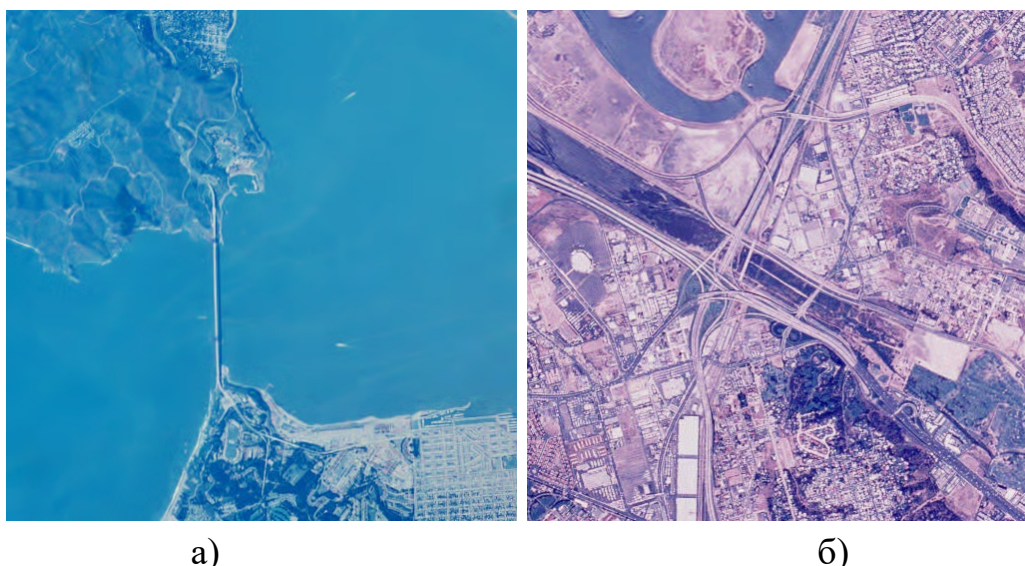
яких спотворення завжди видно. Візуальний огляд (порівняння) цих зображень із еталонними зображеннями на рисунках 10,а) та 10,б) показує, що спотворення є більш помітними для тестового зображення Diego2. Це чітко підтверджують значення PSNR-НА (36,32 дБ та 32,63 дБ відповідно - див. табл. 10). PSNR демонструє ту саму тенденцію, хоча MDSI не вказує на це. Отже, можуть зустрічатися деякі випадки, коли висновки, зроблені в результаті аналізу різних показників якості, можуть бути різними.

Таблиця 10 – Прогнозовані значення MOS для різних метрик після фітінгу для двох тестових зображень ДЗ

Зобр. ДЗ	QS	Якість	Значення PSNR	Прогнозоване MOS	Значення PSNR-НА	Прогнозоване MOS	Значення MDSI	Прогнозоване MOS	Значення розробл. метрики
Frisco	10	excellent	43,0815	6,3461	44,8013	6,3442	0,1442	6,0263	6,5005
	20	excellent	38,7741	5,7441	40,2754	5,8940	0,1920	5,5972	6,3730
	30	good	36,5231	5,4008	37,9569	5,6184	0,2183	5,3271	6,2117
	40	good	34,9522	5,1477	36,3188	5,4009	0,2371	5,1194	6,0510
Diego2	10	excellent	42,3026	6,2421	43,8623	6,2590	0,1250	6,1743	5,6921
	20	good	36,4450	5,3885	38,0930	5,6356	0,1734	5,7735	5,4895
	30	good	32,8438	4,7884	34,8640	5,1893	0,2082	5,4338	5,2050
	40	middle	30,3845	4,3373	32,6321	4,8251	0,2347	5,1473	4,8780

Також був проведений аналіз випадку адитивного білого гаусового шуму, який був доданий до розглянутих чотирьох триканальних зображень. Розглянуто чотири значення дисперсії шуму, які відповідають чотирьом верхнім рівням спотворень, що використовуються в TID2013. Також були отримані середні значення MOS (усереднені для 25 тестових зображень у TID2013), які відповідають цим значенням дисперсії шуму. Для кожного зображення були розраховані PSNR, PSNR-НА та MDSI та визначені відповідні прогнозовані значення MOS. Також розраховано метрику на основі нейромережі. Отримані результати представлені в таблиці 11.

Аналіз показує, що значення всіх метрик погіршуються (PSNR, PSNR-НА та розрахована метрика зменшуються, а MDSI збільшується), якщо дисперсія шуму збільшується, тобто зберігається властивість монотонності. Прогнозовані значення MOS досить близькі до середніх MOS, тоді як для хорошої та середньої якості PSNR-НА, MDSI та метрика на основі нейромережі забезпечують прогнозування MOS краще, ніж PSNR. Однак для зображень низької якості ситуація протилежна.



а)

б)

а) Frisco; б) Diego2.

Рисунок 11 – Тестові зображення, що стиснені з QS=40

Таблиця 11 – Прогнозовані значення MOS для різних метрик після фітінгу для тестових зображень ДЗ, що спотворені адитивним білим гауссовим шумом

Зобр. ДЗ	Дисп. шуму	Якість	Значення PSNR	Прогноз. MOS	Значення PSNRHA	Прогноз. MOS	Значення MDSI	Прогноз. MOS	Розроблена метрика	Середнє MOS
Frisco	32,5	Гарна	32,99	5,40	34,33	5,62	0,21	5,38	5,86	5,67
	65	Середня	30,01	4,90	31,45	5,20	0,25	4,96	5,28	5,23
	130	Середня	27,03	4,36	28,46	4,40	0,29	4,48	4,86	4,85
	260	Погана	24,06	3,77	25,56	4,11	0,33	3,96	4,24	3,77
Diego2	32,5	Гарна	32,95	5,39	34,42	5,61	0,18	5,75	5,45	5,67
	65	Середня	29,95	4,89	31,40	5,20	0,21	5,44	5,18	5,23
	130	Середня	26,96	4,35	28,41	4,70	0,24	5,04	4,81	4,85
	260	Погана	23,98	3,75	25,63	4,13	0,29	4,54	4,32	3,77
Diego3	32,5	Гарна	32,94	5,39	34,49	5,61	0,19	5,67	5,71	5,67
	65	Середня	29,96	4,90	31,41	5,20	0,22	5,33	5,36	5,23
	130	Середня	26,97	4,35	28,42	4,70	0,25	4,92	4,93	4,85
	260	Погана	23,99	3,75	25,50	4,10	0,30	4,41	4,26	3,77
Diego4	32,5	Гарна	32,94	5,39	34,40	5,62	0,16	5,91	6,18	5,67
	65	Середня	29,97	4,90	31,40	5,25	0,19	5,62	5,84	5,23
	130	Середня	26,98	4,35	28,42	4,70	0,23	5,25	5,52	4,85
	260	Погана	23,98	3,75	25,77	4,16	0,26	4,81	5,01	3,77

Крім того, слід коротко обговорити обчислювальну ефективність. Для метрики на основі нейромережі з 16 входами розрахунок елементарних метрик PSNR, MDSI, PSNRHVS, ADM, GMSD, WASH, IQM2 та HaarPSI є дуже швидким, для розрахунку IFC та RFSIM потрібно в кілька разів більше часу, тоді як розрахунок метрик MSVD, CWSSIM, PSNRHA, IGM, DSI та CVSSI займає ще більше часу (приблизно на порядок). Таким чином, навіть при паралельних обчисленнях елементарних метрик, обчислення метрики на основі нейромережі



потребує значно більше часу, ніж для таких хороших елементарних метрик, як MDSI, GMSD або HaarPSI. Отже, подальші напрямки досліджень повинні бути спрямовані на поєднання швидких елементарних метрик, забезпечуючи хороший баланс між монотонністю прогнозування MOS (а також точністю прогнозування) та обчислювальною ефективністю.

Таким чином, нами розглянуто завдання оцінки візуальної якості зображень дистанційного зондування з різними типами спотворень. Показано, що не існує загальновизнаних метрик візуальної якості, і, отже, бажаною є їх розробка. Зазначено проблеми, з якими можна зіткнутися, та запропоновано їх вирішення. Для цієї мети використана вже існуюча база даних спотворених кольорових зображень, для яких можна вибрати зображення із типовими спотвореннями, які часто спостерігаються при дистанційному зондуванні. Її використання дозволило визначити існуючі метрики візуальної якості, які добре працюють для видів спотворень, що нас цікавлять. Найкращі з таких показників забезпечують SROCC з MOS близько 0,93, що вважається дуже хорошим результатом. Більше того, база даних TID2013 дозволяє розробляти метрики візуальної якості на основі використання елементарних метрик як вхідних даних. Було вивчено декілька конфігурацій нейромереж та методи попередньої обробки вхідних даних. Було показано, що навіть прості нейромережі без попередньої обробки вхідних даних (лінеаризації), що мають два приховані шари, здатні надати значення SROCC близько 0,97. Значення PCC мають той же порядок, що означає, що зв'язок між вихідним сигналом нейромережі та значеннями MOS є практично лінійним. Потім деякі елементарні та розроблені метрики були перевірені для триканальних зображень дистанційного зондування з двома типами спотворень. Перевірка продемонструвала монотонність поведінки запропонованої метрики. Крім того, було показано, що розроблена метрика забезпечує точну оцінку MOS, що дозволяє класифікувати зображення дистанційного зондування відповідно до їх якості.

Надалі планується провести аналіз способів прискорення метрик на основі нейромереж за допомогою обмеження набору можливих метрик на вході, враховуючи обчислювальну ефективність вхідних метрик. Ми також сподіваємось, що будуть проведені деякі експерименти щодо сприйняття за допомогою фахівців з аналізу зображень ДЗ для оцінки якості зображення.

Інший напрямок наших подальших досліджень буде пов'язаний з оптимізацією методів перетворення кольорів, що використовуються для окремих



елементарних метрик. У деяких випадках відповідне застосування елементарних метрик для багатоканальних зображень може також вимагати змін типів даних та динамічних діапазонів. Результати окремих елементарних метрик, отримані з використанням різних колірних просторів та методів перетворення, можуть призвести до подальшого підвищення ефективності комбінованих метрик.

4.3. Оцінка якості тривимірних друкованих поверхонь з використанням комбінованих метрик

Тривимірний (3D) друк є однією з ключових технологій, що революціонізує невелике серійне виробництво в епоху промисловості 4.0. Використання 3D-принтерів дозволяє не лише створити деякі оригінальні 3D-об'єкти для розважальних цілей, але й запустити індивідуальне виготовлення деяких унікальних деталей машин та інших пристроїв, що використовуються для заміни деяких пошкоджених старих елементів. Є й інші галузі застосування технології адитивного виробництва із використанням пластикових ниток, як правило, на основі поліактової кислоти (PLA) або акрилонітрилбутадієнстиролу (ABS). Вони можуть бути пов'язані з біомедичною технікою (наприклад, індивідуальним протезуванням), аерокосмічною та автомобільною промисловістю, цивільним будівництвом та архітектурою, зворотнім проектуванням у промисловості або навіть охороною культурної спадщини. Інтеграція з 3D-сканерами дозволяє досить легко створювати власні 3D-зображення CAD-моделі та копії різних елементів. Незважаючи на зростаючу популярність 3D-друку для домашнього використання слід враховувати деякі важливі обмеження, такі як викиди частинок [89, 90], особливо з використанням ABS-ниток.

Тим не менше, на процес 3D-друку можуть впливати різні фактори, що впливають на остаточний результат та якість виготовлених предметів, особливо для недорогих пристроїв, призначених для домашнього використання. Такі принтери належать до найпопулярнішої групи, заснованої на моделюванні плавленого осадження (FDM), де нагріту нитку наносять знизу вгору шар за шаром рухомим екструдером, що утворює 3D друкований об'єкт. Одним з таких джерел поверхневих спотворень може бути неправильна температура плавлення, що залежить від типу нитки, а також деяких змін температури навколишнього середовища. Деякі інші проблеми можуть бути пов'язані з низькою якістю



елементів, що використовуються для конструкції принтера, та низькою якістю ниток. Деякі спотворення можуть також бути спричинені неправильною конфігурацією степера, а також зміною швидкості подачі нитки. Обидва ці типи спотворень можуть з'явитись під час підготовки випробувальних зразків, які були використані для розробки бази даних, що використовується для перевірки запропонованих методів [91, 92].

Зростання популярності та доступності тривимірних принтерів, а також відносно висока роздільна здатність дешевих камер дозволяють інтегрувати деякі алгоритми комп'ютерного зору, які можуть бути корисними для моніторингу процесу друку в реальному часі (тобто, без помітних затримок відносно швидкості виготовлення) та стану пристрою [93, 94]. Тим не менше, більшість відомих рішень обмежується спостереженням за станом пристрою і застосовується переважно для діагностики несправностей [95–97]. Деякі інші рішення передбачають використання довідкових даних, що представляють деякі особливості або дескриптори, такі як підписи процесу [98, 99]. Деякі із запропонованих систем використовують оптичну когерентну томографію (ОСТ) [100], термографічні вимірювання [101] або терагерцову технологію [102]. Важливі аспекти виявлення деяких проблем якості можуть бути пов'язані з кібербезпекою виробничих систем [103, 104], особливо враховуючи, що в деяких випадках деякі дефекти в зразках, надруковані у форматі 3D, можуть залишитися невизначеними, наприклад, за допомогою ультразвукового контролю [105].

Оскільки використання складних апаратних рішень для моніторингу недорогих 3D-принтерів є проблемним через значне збільшення загальних витрат системи, то найбільш розумним рішенням для аматорського використання представляється аналіз зображень, отриманих доступними камерами. Одна з таких системи для моніторингу виробничого процесу на основі порівняння надрукованої поверхні з комп'ютерною 3D-моделлю була запропонована Хольцмондом та Лі [105]. Ще одна спроба виявлення аномалій та класифікації методу лазерного порошкового плавлення (LPBF) на основі некерованого алгоритму машинного навчання була зроблена у роботі [106]. Але такий автоматизований аналіз вимагає підготовки алгоритму, обмежуючи його практичну придатність у недорогих пристроях. Подібна проблема також характерна для використання нейронних мереж, використаних, наприклад, для моніторингу процесу 3D-струменевого друку електронних виробів [107].

Цікаве застосування машинного зору для виявлення дефектів у 3D-об'єктах



було нещодавно запропоновано Штраубом [108]. Це рішення, засноване на п'яти камерах та блоках Raspberry Pi, призначено для зменшення або усунення необхідності тестування друківаних об'єктів через можливість автоматичного виправлення незначних дефектів, помічених в процесі друку, а також виявлення проблем “сухого друку”, спричинених відсутністю нитки матеріалу. Але запропонована система може виявитися дуже чутливою до умов навколишнього середовища, а також навіть до незначних рухів камери. Застосування видимого зондування для виявлення мікродефектів у 3D-друкованих об'єктах, що використовують програми, що мають найважливіше значення для безпеки, представлені в роботі [109].

Оскільки практична придатність суб'єктивних методів оцінювання якості друку сильно обмежена часом, необхідним для того, щоб набирати бали для багатьох зображень, як це робиться для фільтрації зображень та їх стиснення з втратами, то єдиною можливістю є використання об'єктивних метрик, які можуть обчислюватися автоматично без участі людей-спостерігачів. Такі метрики (показники) можна розділити на три сімейства: метрики без еталону, які також називаються "сліпими" метриками, які не вимагають знання вихідного зображення, метрики з використанням часткової довідкової інформації та найпопулярніші метрики з еталоном (FR IQA), що реалізують порівняння спотворених зображень з “первинними” еталонними зображеннями без будь-яких спотворень. Такі еталонні зображення ідеальної якості зазвичай включені до баз, що є корисними головним чином при розробці деяких нових метрик з еталоном. Незважаючи на потенційно широкі сфери застосування метрик без еталону, їх універсальність все ще значно нижча порівняно з метриками з еталоном, що спричиняє більшу популярність останніх підходів.

Більшість загальних методів оцінки якості з еталоном засновані на припущенні, що обидва зображення представляють одну і ту ж сцену, але одне із зображень пошкоджене одним або кількома типами спотворень (див. підрозділ 4.1). При цьому під час порівняння зображень припускається, що зображення не мають взаємного зсуву чи обертання.

Аналіз властивостей елементарних метрик можна знайти у багатьох роботах [40-42, 110] та у підрозділі 4.1. У попередніх підрозділах показано, як їх можна об'єднати, що призводить до багатообіцяючих результатів. Тим не менше, пряме застосування такого підходу для оцінки якості тривимірних друківаних об'єктів відбитків може бути складним через час, необхідний для обчислення



кількох метрик, а також внаслідок необхідності навчання нейронної мережі. Враховуючи різноманітність запропонованих підходів на основі подібності оцінки якості зображення, нижче перевірена корисність метрик для автоматичної оцінки якості поверхонь з 3D-друком, а також можливості їх комбінування із потенційним застосуванням в системах реального часу.

Перевірка корисності різних об'єктивних метрик для оцінки якості 3D-друку поверхонь вимагає розробки спеціальної бази даних, що містить зображення різних спотворених і високоякісно виготовлених поверхонь разом із суб'єктивними значеннями MOS. З цією метою були виготовлені плоскі зразки з 9 типів термопластичних ниток різних кольорів із використанням трьох доступних пристроїв FDM, а саме RepRap Ormerod 3, Prusa i3 та XYZprinting da Vinci 1.0 Pro 3-в-1. Вибір ABS ниток був мотивований їх хорошими механічними властивостями і легкістю, а також вищою стійкістю до стирання в порівнянні з полімерами PLA. Тим не менше, відносно високі температури плавлення - понад 220°C - разом із потенційно токсичними випарами трохи обмежили розвиток цього набору даних.

Хоча база даних містить 107 фотографій (разом із картами глибин, отриманими 3D-сканером, який не використовується в даній роботі) плоских поверхонь, метрики, що досліджуються в цій роботі, можуть бути успішно застосовані незалежно від плоскості поверхні; отже, в цьому сенсі запропонований підхід може розглядатися як універсальний і може бути додатково перевірений також для деяких інших поверхонь.

Зображення були отримані в контрольованому освітленні (використовувалось розподілене освітлення від трьох лампи для запобігання сильних відблисків) за допомогою камери Sony DSC-HX100V із часом витримки 1/125 с, фокусна відстань дорівнювала 5 мм, використовувався автоматичний баланс білого без спалаху, забезпечуючи фіксовану відстань до поверхні. Розмір зображень становить 1600 × 1600 пікселів, що еквівалентно фізичному розміру зразків 35 мм × 35 мм. Їх товщина становить близько 4 мм, а висота шарів варіюється від 0,3 до 0,35 мм в залежності від принтера та розміру сопла. Карти глибини були отримані за допомогою 3D-сканера ATOS компанії GOM.

Незалежно від впливу деяких незалежних факторів, таких як якість нитки та матеріалу, наявність спотворень у деяких зразках було зумовлено зміною температури, параметрами конфігурації крокових двигунів, швидкістю подачі нитки. Деякі зразки містили тріщини, а також результати недо- та переповнення.



Усі фотографії були незалежно оцінені 92 спостерігачами, використовуючи п'ятибальну шкалу якості від 1 (дуже погано) до 5 (дуже добре). Отримані результати були усереднені для отримання значень MOS, що додатково перевіряється шляхом порівняння з попередніми думками від експертів (такі думки (оцінки) використовувались для класифікації в деяких попередніх роботах). Один зразок зображення разом зі значеннями MOS представлені на рисунку 12, де значення MOS, що наближаються до 5, відповідають ідеальній якості.

Ідея поєднання різних ознак частково використовується в багатьох обговорюваних метриках, починаючи з SSIM, що фактично являє собою комбінацію трьох компонентів, що представляють яскравість, контрастність і структуру. Тим не менше, така комбінація також може бути застосована для окремих (елементарних) метрик, що зазвичай призводить до значного збільшення кореляції з суб'єктивними оцінками якості. Найкращі результати можуть бути отримані для комбінації метрик, що використовують різні типи ознак, доповнюючи одна одну. Різні приклади об'єднання наведені в роботах [111-117].

Втім, розглядаючи застосування метрик для оцінки якості 3D-друку поверхонь під час виробничого процесу, доцільним здається використання обмеженої кількості метрик у поєднанні з використанням вагових коефіцієнтів згідно за загальною формулою:

$$Q_{combined} = \prod_{n=1}^N Metric_n^{weight_n}, \quad (5)$$

де N - кількість зважених елементарних метрик.

Оскільки метрики, починаючи з UIQI та SSIM, належать до групи методів оцінювання якості з еталоном, їх безпосереднє застосування для розглянутого застосування вимагало б знання еталонного зображення. У практичному застосуванні це, як правило, неможливе і навіть використання візуалізованої моделі тривимірно надрукованого об'єкта вимагатиме точної реєстрації зображень. Додаткова проблема може бути пов'язана з різними кольорами та яскравістю отриманих зображень та зображень з 3D-моделей. Отже, пропонується ідея обчислення середньої взаємної подібності зображень поверхонь з 3D друком, що передбачає бічне розташування камер. Спочатку такий варіант досліджувався у статтях [118, 119] виключно для цілей класифікації. Таке кріплення камери збоку дозволяє отримати зображення із



видимими окремими шарами нитки, як показано на рисунку 12.



- а) високоякісний зразок жовто-рожевого кольору (MOS = 4,7253);
б) зразок високої якості рожевого кольору (MOS = 4,6923);
в) високоякісний зразок коричневого кольору (MOS = 4,1333);
г) зразок помірно високої якості червоного кольору (MOS = 2,4130);
д) зразок помірно низької якості жовтого кольору (MOS = 1,4130);
е) зразок низької якості темно-зеленого кольору (MOS = 1,1868);
є) низькоякісний чорний зразок (MOS = 1,0978);
ж) низькоякісний зразок рожевого кольору (MOS = 1,0110);
з) низькоякісний зразок блакитного кольору (MOS = 1,0000).

Рисунок 12 – Зразки зображень з розробленої бази даних із середніми суб'єктивними показниками якості із сортуванням від найвищого до найнижчого



Ідея обчислення взаємної подібності вимагає поділу зображення, що представляє виготовлений зразок, на регіони та застосування формули оцінювання якості для кожної пари таких отриманих блоків. У проведених експериментах все зображення було розділено на 4, 9 та 16 квадратних блоків. Прогнозувалося, що найкращі результати будуть отримані для 16 блоків (4×4 областей), що вимагає 120 взаємних порівнянь. Оскільки розподіл поверхні на області фіксований, ми можемо очікувати такі ж або дуже схожі орієнтації ділянок у кожному регіоні. Отже, завдяки використанню взаємної подібності на основі порівняння регіонів, потенційний вплив позиції та орієнтації регіону було значно зменшено. Завдяки застосуванню обробки у ковзному вікні для метрик якості на основі SSIM, структурні зміни, внесені такими порівняно невеликими обертами або зсувами впливають на кінцеві результати розрахунку окремих (елементарних) метрик не так сильно, як наявність фізичних спотворень поверхні 3D-друку.

Крім того, може бути застосовано фазовий зсув на кілька пікселів для коригування фази порівняних моделей. Вплив кольору на окремі зразки зменшився за рахунок використання перетворення кольорових даних у зображення в градаціях сірого відповідно до рекомендації MCE ITU-R BT.601-7 (з використанням функції `rgb2gray` в MATLAB R). Ілюстрація ідеї взаємної подібності представлена на рисунку 13, де представлені два приклади поділу на 4 та 9 регіони з необхідними 6 та 36 обчисленнями взаємної подібності.

Отже, середні значення взаємної подібності, отримані для елементарних метрик, можуть розглядатися як відповідні еквіваленти метрик з еталоном, що застосовуються для оцінки якості 3D поверхонь. Оскільки ми не використовуємо “первинні” контрольні зображення, то немає можливості застосовувати методи оцінки якості з еталоном безпосередньо. Тож зображення були розділені на частини і проведено порівняння цих регіонів, щоб усунути відсутність етальонних зображень. Отже, формально можна класифікувати наш підхід як підхід до оцінки без еталону („сліпий”), хоча насправді всі метрики (показники), що використовуються «в середині» належать до групи методів з еталоном.

Такі отримані показники якості використовувались як вхідні показники для комбінованої метрики (5). Оптимізовані ваги були отримані шляхом максимізації коефіцієнту лінійної кореляції Пірсона (PLCC) між об'єктивною та суб'єктивною оцінкою (виражається як значення MOS у розробленій базі даних). Оскільки було припущено, що нелінійна комбінація елементарних метрик

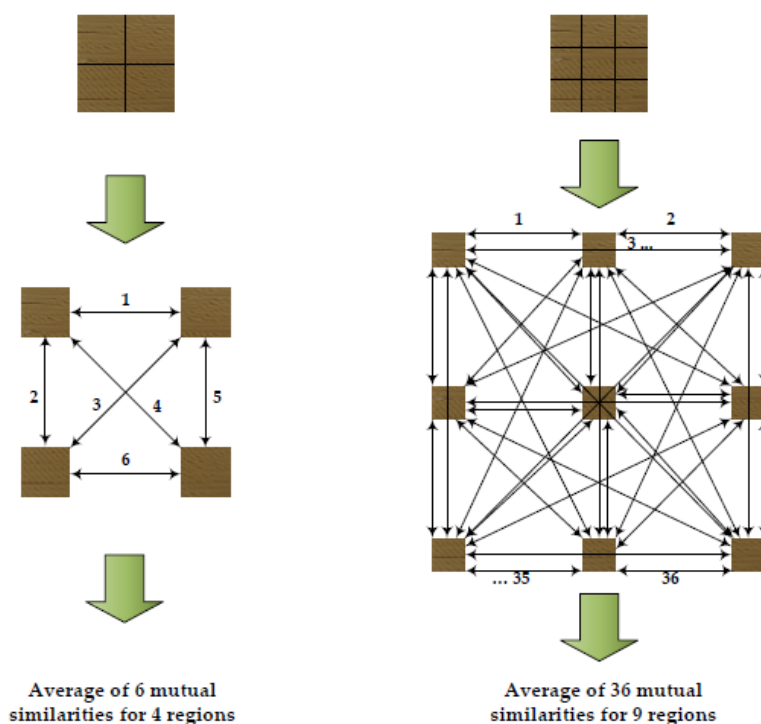


Рисунок 13 – Ілюстрація ідеї розрахунку взаємної подібності з поділом на 4 та 9 регіонів з необхідними відповідними 6 та 36 обчисленнями метрики з еталоном

повинна компенсувати потенційно нелінійність сприйняття спотворень, то не застосовувались жодні функції для фітінгу. Крім того, було розраховано дві рангові кореляції, а саме ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена (SROCC), позначений як ρ , та ранговий коефіцієнт кореляції Кендалла (KROCC), позначений як τ .

Перші експерименти були проведені, передбачаючи використання окремих елементарних метрик для всіх 107 зображень, перетворених у відтінки сірого та розділених на 4, 9 та 16 областей. Для кожного з них були розраховані три коефіцієнти кореляції для виявлення потенційно найбільш корисних показників для подальшого використання під час оптимізації комбінованих метрик.

Отримані результати представлені в таблиці 12. Як можна помітити, в більшості випадків для окремих метрик були отримані подібні значення PLCC і SROCC, отже, в подальших експериментах в якості критерію оптимізації використано лише кореляцію Пірсона. Для багатьох метрик вибір кількості регіонів істотно не змінює значення кореляції, отже, подальші експерименти були проведені за умови поділу на 16 регіонів.

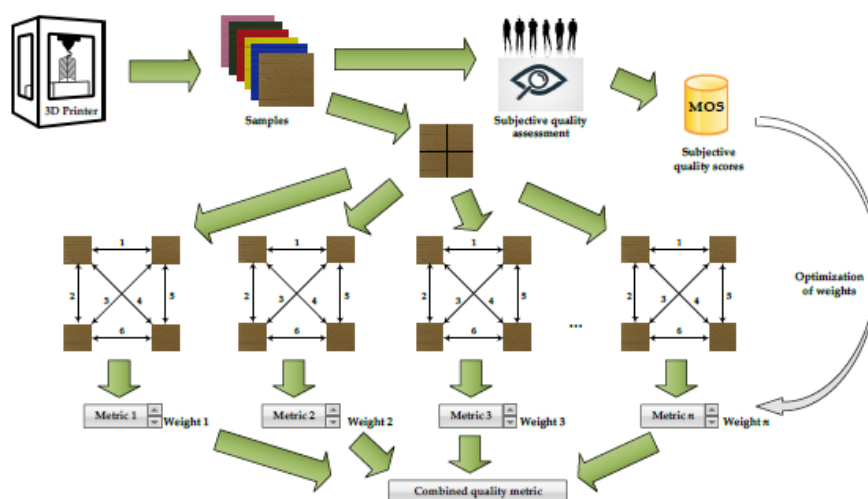


Рисунок 14 – Ілюстрація експериментальної процедури

Найкращі результати PLCC, отримані для різних комбінацій двох метрик представлені в таблиці 13 (для економії місця наведені лише дані із значеннями вище 0,67). Як видно, у більшості комбінацій використовувалась метрика FSIM, отже, цю метрику нами було використано як "фіксовану" для комбінацій з трьох метрик (змінювались лише дві інші під час оптимізації ваг, вагу для FSIM також було оптимізовано). Найкращі результати PLCC, досягнуті для таких комбінацій трьох метрик, представлені в таблиці 14.

Таблиця 12 – Коефіцієнти кореляції, отримані для 107 зображень в базі, з використанням запропонованої взаємної подібності та елементарних метрик

Metric	Division into 16 Regions			Division into 9 Regions			Division into 4 Regions		
	PLCC	SROCC	KROCC	PLCC	SROCC	KROCC	PLCC	SROCC	KROCC
FSIM[34]	0,6756	0,6865	0,5195	0,6820	0,6845	0,5185	0,6780	0,6826	0,5114
CW-SSIM[32]	0,5929	0,5823	0,4028	0,6323	0,6098	0,4232	0,5807	0,5633	0,3981
AD-GSIM[40]	0,4081	0,3515	0,2453	0,4020	0,3470	0,2414	0,3873	0,3324	0,2354
DSS [38]	0,4066	0,3523	0,2411	0,3842	0,3220	0,2210	0,3921	0,3176	0,2142
AD-SSIM[40]	0,4017	0,3574	0,2562	0,3834	0,3209	0,2270	0,3492	0,2932	0,2065
SSIM [29]	0,3996	0,4012	0,2746	0,3905	0,4039	0,2661	0,3048	0,3017	0,1938
CSSIM4[41]	0,3596	0,3296	0,2354	0,3329	0,2818	0,1977	0,3233	0,2851	0,1991
IW-SSIM[33]	0,3549	0,3669	0,2619	0,3230	0,2997	0,2044	0,3169	0,2473	0,1627
SR-SIM[36]	0,3173	0,2441	0,1588	0,3174	0,2497	0,1652	0,3878	0,3160	0,2150
MCSD [39]	0,3106	0,2958	0,2164	0,3008	0,2889	0,2090	0,2952	0,2825	0,2051
QILV [31]	0,3092	0,1330	0,0868	0,3478	0,2662	0,1832	0,4316	0,3555	0,2534
CVSSI [42]	0,2558	0,2083	0,1370	0,2097	0,1492	0,0935	0,1667	0,1068	0,0593
ESSIM [37]	0,1865	0,2340	0,1631	0,1754	0,2354	0,1648	0,3160	0,2868	0,2026
CSSIM [41]	0,1523	0,1078	0,0724	0,1251	0,0755	0,0519	0,1293	0,0862	0,0632
SSIM4 [41]	0,1283	0,0852	0,0565	0,1031	0,0447	0,0304	0,1085	0,0673	0,0462
GSM [35]	0,1103	0,1689	0,1182	0,0991	0,1631	0,1133	0,2102	0,2253	0,1585
RVSIM [43]	0,0267	0,0198	0,0219	0,0546	0,0433	0,0395	0,0114	0,0247	0,0304



Таблиця 13 – Значення PLCC, отримані для 107 зображень, з використанням 25 найкращих комбінацій двох елементарних метрик (поділ на 16 регіонів)

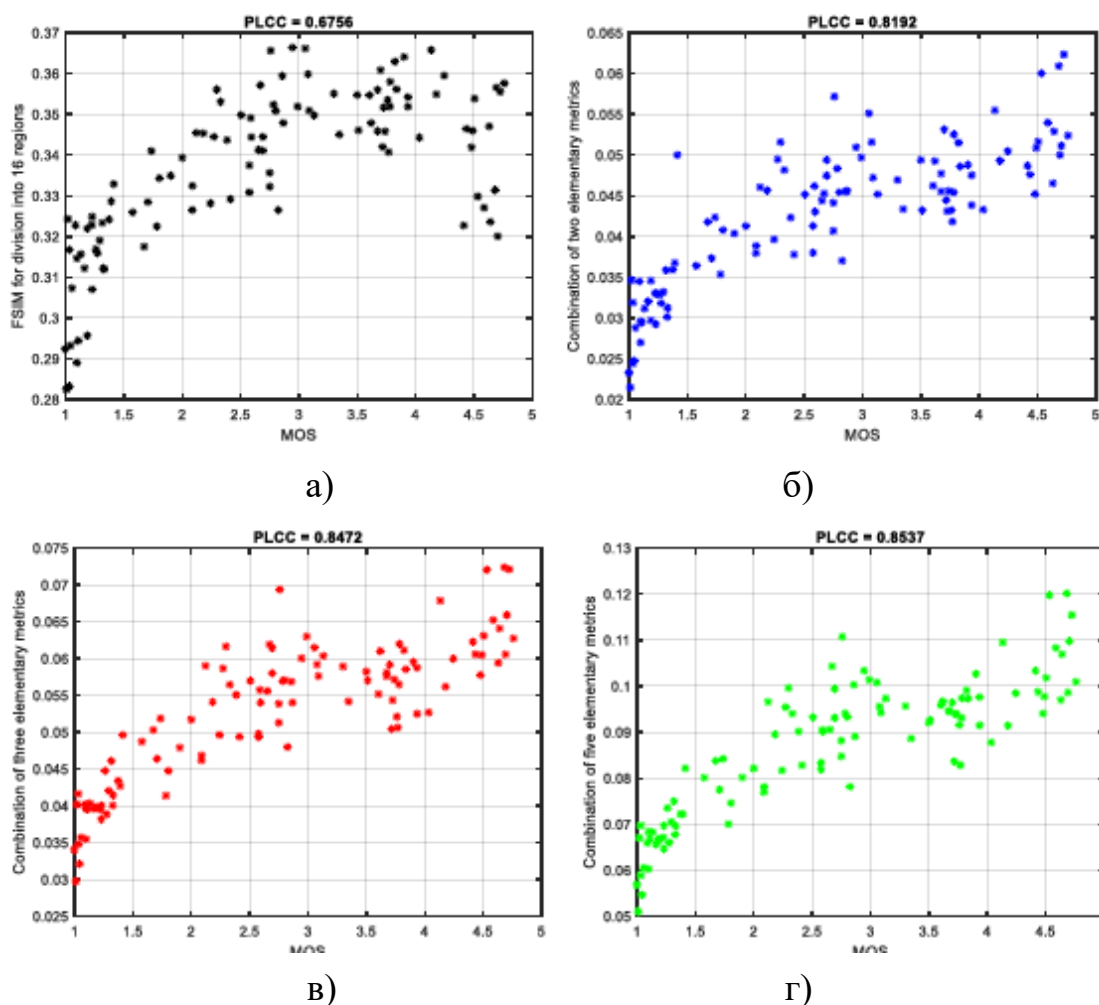
Metric	PLCC	Metric	PLCC	Metric	PLCC	Metric	PLCC
FSIM+MCSD	0,8192	FSIM+SR-SIM	0,7862	FSIM+SSIM4	0,7581	FSIM+RVSIM	0,6875
FSIM+DSS	0,8029	FSIM+AS-SSIM	0,7861	FSIM+ESSIM	0,7377	CSSIM+CSSIM4	0,6852
FSIM+CVSSI	0,8008	FSIM+CW-SSIM	0,7766	FSIM+GSM	0,7312	FSIM+SSIM	0,6809
- FSIM+IW-SSIM	0,7981	FSIM+CSSIM4	0,7719	SSIM+AD-GSIM	0,7081	FSIM+RVSIM	0,6762
FSIM+AD-GSIM	0,7921	FSIM+CSSIM	0,7593	FSIM+QILV	0,6952	SSIM+CW-SSIM	0,6731

Таблиця 14 – Значення PLCC, отримані для 107 зображень, для 24 найкращих комбінацій з трьох елементарних метрик (поділ на 16 регіонів)

Metric	PLCC	Metric	PLCC	Metric	PLCC
FSIM+CW-SSIM+MCSD	0,8472	FSIM+MCSD+GSM	0,8270	FSIM+MCSD+AD-SSIM	0,8221
FSIM+CW-SSIM+DSS	0,8379	FSIM+ESSIM+MCSD	0,8256	FSIM+MCSD+CSSIM	0,8221
FSIM++CW-SSIM+IW-SSIM	0,8356	FSIM+CW-SSIM+CSSIM4	0,8250	FSIM+CVSSI+GSM	0,8219
FSIM+CW-SSIM+CVSSI	0,8348	FSIM+CW-SSIM+SR-SIM	0,8246	FSIM+MCSD+RVSIM	0,8217
FSIM++AD-SSIM+SR-SIM	0,8341	FSIM+CW-SSIM+AD-SSIM	0,8239	FSIM+DSS+AD-SSIM	0,8213
FSIM+CW-SSIM+AD-GSIM	0,8301	FSIM+MCSD+SR-SIM	0,8238	FSIM+ESSIM+AD-GSIM	0,8213
FSIM+DSS+ESSIM	0,8284	FSIM+MCSD+SSIM4	0,8225	FSIM+MCDS+QILV	0,8201
FSIM+DSS+GSM	0,8274	FSIM+MCSD+SSIM	0,8224	FSIM+AD-GSIM+GSM	0,8199

Результати, представлені в таблиці 14, свідчать, що найкращі результати можна отримати для комбінації FSIM та CW-SSIM з третьою метрикою (бажано MCSD), однак хороші результати також можуть бути досягнуто за допомогою FSIM та MCSD як двох основних метрик, що використовуються у комбінаціях. Враховуючи ці результати, були розглянуто ще більша кількість елементарних метрик. Це призвело до ще кращої кореляції комбінованих метрик зі значеннями MOS, але покращення вже малі у порівнянні з комбінованими метриками на основі трьох елементарних метрик. Найкращі значення PLCC не завжди еквівалентні найвищим значенням SROCC та KROCC. Втім, такі відмінності можна вважати незначними.

Додаткова ілюстрація отриманого збільшення кореляції з суб'єктивними балами представлена на скатерограмах на рисунку 15.



- а) для FSIM; б) для "найкращої" комбінації з двох метрик;
 в) для "найкращої" комбінації з трьох метрик;
 г) для "найкращої" комбінації з п'яти метрик.

Рисунок 15 – Скатерограми, що ілюструють лінійність співвідношень між досліджуваними об'єктивними метриками (поділ на 16 регіонів) та значенням MOS

Хоча перевірка кореляцій для комбінацій двох та трьох метрик розрахована, припускаючи поділ на 4 або 9 блоків, дослідження підтвердили обґрунтованість вибору 16 регіонів, що призводить до кращої ефективності. Поєднання чотирьох та п'яти метрик для меншої кількості блоків дає можливість отримати трохи кращі результати, враховуючи монотонність відповідно до обох коефіцієнтів рангової кореляції. Використання меншої кількості регіонів зменшує час обчислення, але обчислення більшої кількості метрик збільшує його, тож можна пошукати розумний компроміс.

Представлені результати підтверджують корисність комбінованих метрик



для оцінки якості 3D друків поверхонь, що призводить до високої кореляції з суб'єктивними думками щодо естетики поверхні. Запропоновано підхід до автоматичного оцінювання якості об'єктів поверхонь 3D-друка з використанням лише метрик з еталоном, які покладаються на взаємну подібність. Це дозволяє порівняно легко розрахувати значення елементарних метрик, необхідних для комбінації. Крім того, вони можуть обчислюватись паралельно, що дозволяє додатково прискорити обробку.

Висновки

Під час виконання досліджень головну увагу приділено розробці комбінованих метрик якості з еталоном, їх оптимізації та аналізу можливостей нових застосувань – при аналізі якості багатоканальних даних дистанційного зондування та якості поверхонь під час тривимірного друку. На основі проведеного аналізу та розробок можна зробити наступні висновки:

а) існує можливість суттєво підвищити кореляцію метрик візуальної якості та MOS за рахунок як мінімум трьох підходів до розробки комбінованих метрик: на основі стійких оцінок й попередньої лінеаризації, на основі навчання нейромереж та використовуючи оптимізації ваг для формули (5);

б) нейромережі дають найкращі результати, але вимагають навчання (офлайн) та використання елементарних метрик, частина з яких може мати низьку швидкодію, що гальмує розрахування комбінованої метрики; в цьому сенсі є напрямки подальшої роботи, що може призвести до прискорення без втрати ефективності обробки даних нейронною мережею;

в) розроблені підходи до синтезу комбінованих метрик є досить універсальними; ми прогнозуємо, що є багато інших застосувань, де такі метрики будуть ефективними;

г) значення кореляції або перевищують 0,9 (сягаючи 0,97 для нейромереж), або наближуються до 0,9, що свідчить про високу адекватність розроблених метрик.

Отримані результати більш детально відображено у публікаціях авторів розділу [19-21].



KAPITEL 5 / CHAPTER 5⁵

FEATURES OF THE RRC RADIO RESOURCE MANAGEMENT PROTOCOL IN THE 5G NETWORK

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-20-02-012

Вступ

Протокол рівня управління L3 – це протокол управління радіоресурсами RRC (Radio Resource Control). Об'єкт протоколу RRC як на боці терміналу користувача UE, так і на боці базової мережі оператора має інтерфейси управління з усіма іншими об'єктами протоколу. Щоразу, коли протокольний об'єкт, яким має керувати RRC, перебуває у іншому елементі базової мережі, необхідно підтримувати цей механізм управління з допомогою стандартизованих протоколів. У всіх інших випадках інтерфейси управління є внутрішніми по відношенню до одного елемента UE або базової мережі і, отже, не є стандартизованими, але їх наявність має вирішальне значення для рівня RRC для виконання свого завдання як виконавця рішень з управління радіоресурсами.

5.1. Стек протоколів площини управління (5G control plane)

Протокол управління радіоресурсами RRC (Radio Resource Control) є протоколом площини управління (control plane) і являє собою систему алгоритмів і команд, що використовуються для надання терміналу користувача UE доступу до радіоінтерфейсу і реалізації стратегії управління радіоресурсами мережі 5G-NR. Розташування RRC у стеку протоколів показано на рис. 1.

Нижче наведено основні функції, реалізацію яких забезпечує RRC:

- трансляція системної інформації AS (Access Stratum - рівень сигналізації, що відноситься до середовища доступу та існуючий на ділянці між UE та gNB) / NAS (Non Access Stratum - рівень сигналізації, що не відноситься до середовища доступу та існуючий на ділянці між UE та AMF);
- передача повідомлень пошуку терміналів (пейджинг), ініційованих 5GC і NG-RAN;
- встановлення, підтримка та розрив з'єднання за протоколом RRC між UE та NG-RAN;

⁵Authors: Vetoshko I., Kravchuk S.

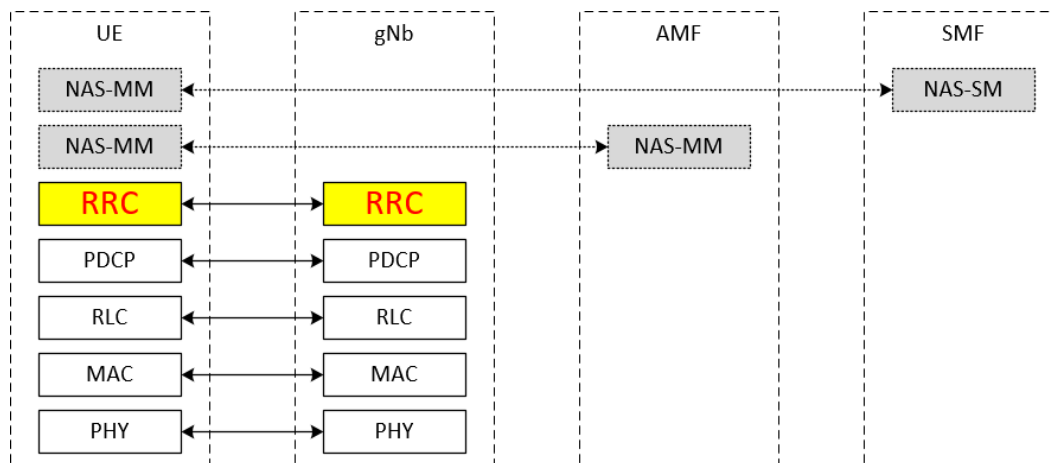


Рисунок 1 - Розташування RRC у стеку протоколів

- управління агрегацією несучих частот (у межах концепції carrier aggregation);
- управління режимом подвійного підключення (Dual Connectivity) – одночасного підключення UE до двох базових станцій (двох gNB, або gNB та ng-eNB);
- виконання завдань безпеки, у тому числі управління ключами шифрування та контролю цілісності даних на радіоінтерфейсі;
- управління віртуальними радіоканалами сигналізації SRB (Signaling Radio Bearers) та передачі даних DRB (Data Radio Bearer);
- управління мобільністю (передача обслуговування (ПОБ), параметрами вибору стільника та технології радіодоступу);
- управління параметрами якості QoS;
- управління UE у частині радіовимірювань та звітності;
- виявлення втрати та відновлення радіоканалу;
- транзитна передача повідомлень NAS сигналізації між UE та модулем управління доступом та мобільністю AMF;
 - підтримка само-конфігурації та само-оптимізації мережі.

5.2. Стани RRC-з'єднань

RRC-з'єднання, створюване між мережею 5G і користувальницьким терміналом UE являє собою кінцевий автомат з трьома можливими станами:



- RRC_IDLE (не підключено),
- RRC_CONNECTED (підключено та активно),
- RRC_INACTIVE (підключено та неактивно).

Таким чином, у мережах 5G-NR визначено новий стан RRC_INACTIVE, який відсутній у мережах попереднього покоління (4G-LTE), і що дозволяє зменшити затримки активації протоколу RRC.

Різні стани RRC з одного боку характеризуються різними радіоресурсами, доступними терміналу для використання, з іншого - різним рівнем інформації про UE, доступну мережу зв'язку. При включенні електроживлення термінал користувача UE виявляється в режимі RRC_IDLE. Підключення до мережі та перехід у стан RRC_CONNECTED здійснюється в рамках процедури початкової реєстрації (Initial Attach). За відсутності активності з боку UE протягом певного часу (визначеного значенням user-inactivity-timer) з'єднання переходить у стан RRC_INACTIVE. Повернення у стан RRC_CONNECTED виконується в рамках процедури відновлення RRC-з'єднання. Перехід у стан RRC_IDLE можливий як з RRC_CONNECTED, так і з RRC_INACTIVE при розриві з'єднання з мережею (Detach), або втрати зв'язку (Connection failure).

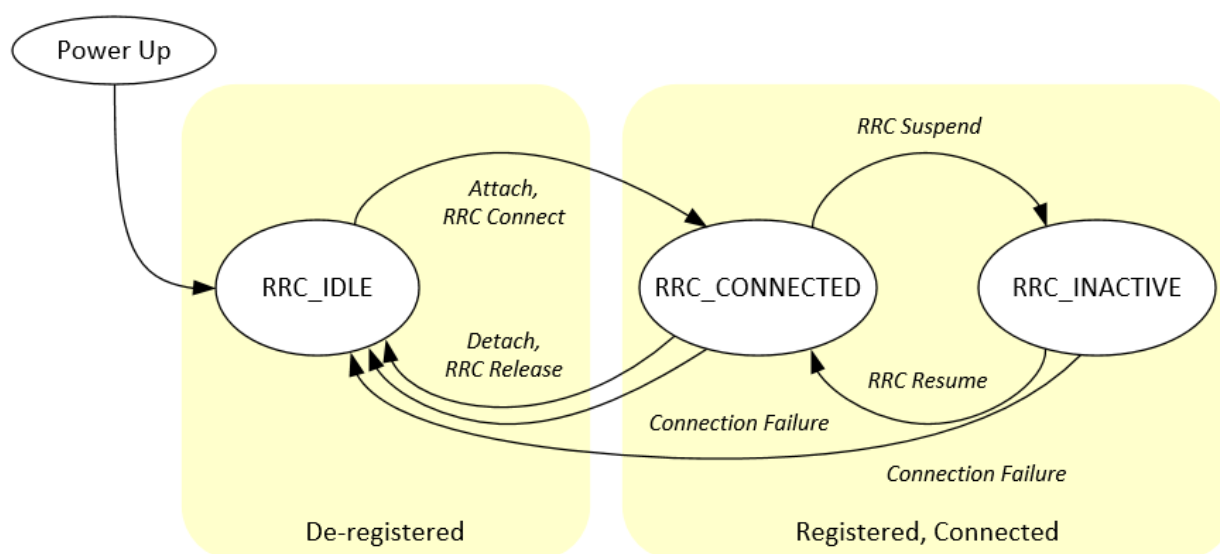


Рисунок 2 - Машина станів RRC-з'єднань

При переході в стан RRC_INACTIVE і UE, і NG-RAN зберігають налаштування радіозв'язку та безпеки. Цей збережений контекст неактивного рівня доступу (AS) UE може швидко відновитися з мінімальною сигналізацією при переході в стан підключення. По суті, RRC_INACTIVE - це спосіб RRC UE реалізувати "завжди активне" радіоз'єднання з мережею.



Машина станів RRC з'єднань наведена на рис. 2.

Таблиця 1 - Термінал користувача UE в різних станах

UE	Виключення	Attaching (Приєднання)	Підключено/ Неактивно	Підключено/ Активно
Управління реєстрацією	RM-DEREGISTERED		RM-DEREGISTERED	
Управління з'єднанням	CM-IDLE	CM-CONNECTED		
Стан RRC	RRC-IDLE	RRC- CONNECTED	RRC-INACTIVE	RRC- CONNECTED
Управління мобільністю	-	на базі UE	на базі UE / з допомогою NW	на базі NW

У стані *RRC_IDLE* термінал користувача UE (табл. 1):

- здійснює вибір мережі мобільного зв'язку PLMN;
- здійснює вибір/перевибір стільника;
- здійснює прийом широкомовної системної інформації про стільник (MIB, SIB);
- здійснює прийом повідомлень пейджингу, ініційованих опорною мережею 5GC;
- здійснює підтримку режиму уривчастого прийому DRX (Discontinuous Reception) повідомлень пейджингу;
- здійснює оновлення реєстрації RAU (Registration Area Update) за таймером або переміщення в іншу зону реєстрації RA (Registration Area). Розташування UE відоме з точністю до зони реєстрації (RA).

У стані *RRC_INACTIVE* термінал користувача UE:

- здійснює вибір мережі мобільного зв'язку PLMN;
- здійснює вибір/перевибір стільника;
- здійснює прийом широкомовної системної інформації про стільник;
- здійснює прийом повідомлень пейджингу, ініційованих опорною мережею 5GC;
- здійснює підтримку режиму уривчастого прийому DRX (Discontinuous Reception) повідомлень пейджингу;
- здійснює оповіщення мережі радіодоступу NG-RAN про поточне місцезнаходження за таймером або при виході із зони нотифікації RNA (RAN-based Notification Area);
- має встановлене з'єднання з опорною мережею 5GC і мережею



радіодоступу NG-RAN для передачі даних площини управління (control plane) та площини даних користувача (user plane);

- має збережені дані асоціації (контексти) протоколів рівня AS (RRC/PDCP/RLC/MAC).

Розташування UE відоме з точністю до зони нотифікації RNA, яка значно менше зони реєстрації RA і включає одну або кілька стільників.

У стані *RRC_CONNECTED* користувальницький термінал UE:

- має встановлене з'єднання з опорною мережею 5GC і мережею радіодоступу NG-RAN для передачі даних площини управління та площини даних користувача;

- перебуває в активному стані та здійснює прийом/передачу даних;

- при переміщенні в інший стільник виконує ПОБ;

- має збережені дані асоціації (контексти) протоколів рівня AS (RRC/PDCP/RLC/MAC);

- виконує вимірювання параметрів мережі радіодоступу відповідно до отриманих вказівок.

Розташування UE відоме з точністю до стільника. Управління мобільністю UE (включаючи зміну технології доступу) здійснюється мережею, зокрема, на підставі одержаних від терміналу звітів з результатами вимірювань. Відповідно до можливостей терміналу та мережі зв'язку можуть бути використані технології агрегації частот та подвійного підключення.

Повідомлення протоколу управління радіоресурсами RRC передаються по віртуальних радіоканалах сигналізації SRB:

- SRB0 - для передачі повідомлень RRC за загальним логічним каналом CCCH;

- SRB1 – для передачі RRC, а також NAS повідомлень до встановлення SRB2; використовується виділений логічний канал DCCH;

- SRB2 (встановлюється після активації механізмів безпеки) – для передачі NAS повідомлень; використовується виділений логічний канал DCCH;

- SRB3 - для передачі RRC повідомлень у режимі подвійного підключення до мережі 5G-RAN та E-UTRA.



5.3. Основні процедури, що реалізуються RRC

Доставка користувачьким терміналам системної інформації (NR-MIB, NR-SIB). Системна інформація, що передається базовими станціями 5G-NR, містить різні конфігураційні параметри радіоінтерфейсу, необхідні користувальницьким терміналам UE для здійснення доступу до мережі, прийому та передачі даних. Системна інформація передається в MIB (Master Information Block) та SIB (System Information Block) блоках. MIB-блок передається фізичним каналом PBCH, SIB-блоки – PDSCH. У мережах 4G-LTE всі блоки системної інформації передаються з певним періодом у широкомовному режимі і приймаються всіма UE, що знаходяться в зоні дії відповідних стільників мережі. 5G-NR блоки MIB і SIB1 передаються в широкомовному режимі; інші SIB-блоки (залежно від політики оператора зв'язку) можуть передаватися або також у широкомовному режимі, або у виділених каналах на запит конкретних UE (рис. 3). Інформація про те, які блоки передаються на запит, а які в широкомовному режимі та параметри їх передачі міститься в SIB1.

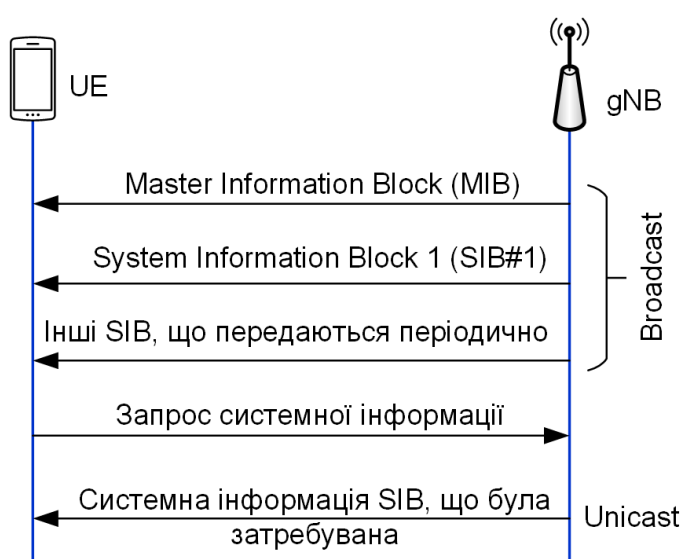


Рисунок 3 - Передача системної інформації

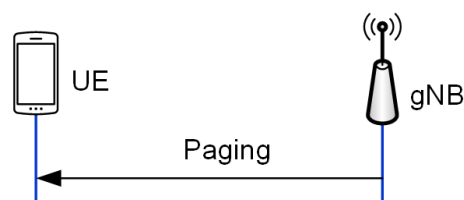


Рисунок 4 - Процедура пейджингу

Пейджинг (Paging). Процедура пейджингу використовується для пошуку терміналу користувача, що знаходиться в станах RRC-IDLE / RRC_INACTIVE, з метою встановлення з ним вхідного з'єднання (рис. 4).

Управління з'єднанням (Connection control). Включає в себе:



- створення RRC-з'єднання, зокрема, організацію віртуального радіоканалу сигналізації SRB1 (SRB1-повідомлення передаються без шифрування та контролю цілісності) (рис. 5, а);

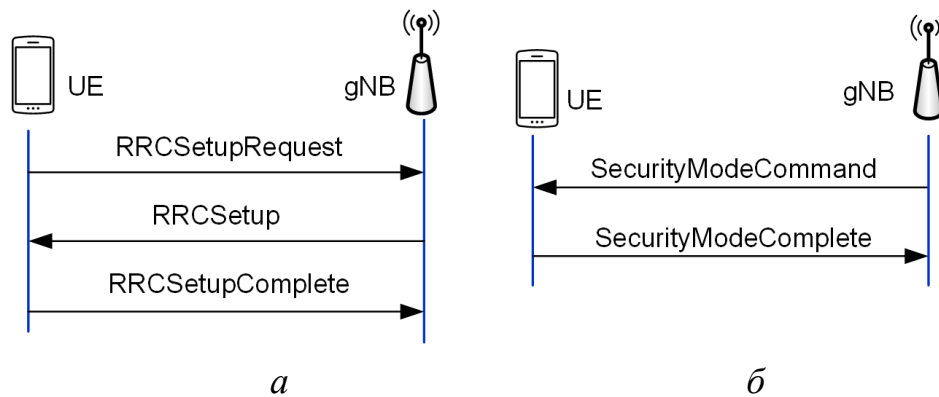


Рисунок 5 - Створення RRC-з'єднання (а) та активація механізмів безпеки (б)

- активацію механізмів безпеки на радіоінтерфейсі (шифрування та контроль цілісності повідомлень сигнального та користувацького трафіку) - після отримання від 5GC контексту терміналу користувача (UE-context); при цьому і запит (**SecurityModeCommand**) та відгук (**SecurityModeComplete**) передаються з контролем цілісності, але у відкритому (нешифрованому) вигляді; всі наступні повідомлення в рамках організованого RRC-з'єднання передаються у закритому вигляді (рис. 5, б);

- реконфігурацію RRC з'єднання та організацію віртуального каналу сигналізації SRB2 (SRB3) і віртуального каналу трафіку користувача DRB (рис. 6, а);

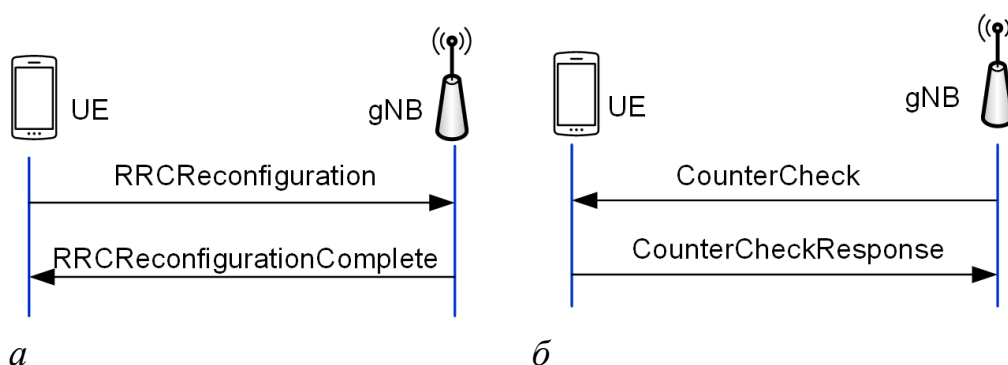


Рисунок 6 - Реконфігурація RRC з'єднання (а) та звірення обсягів переданого та прийнятого трафіку (б)

- звірення обсягів переданого та прийнятого трафіку, що дозволяє, зокрема,



виявити "вставку" хибних пакетів з боку зломисників (атаки типу "людина посередині") (рис. 6, б);

- повторне встановлення RRC-з'єднання (наприклад, у разі втрати мережі користувачем терміналом); у разі відсутності на мережі дійсного UE-контексту, ця процедура ініціює виконання процедури створення RRC-з'єднання (рис. 7);

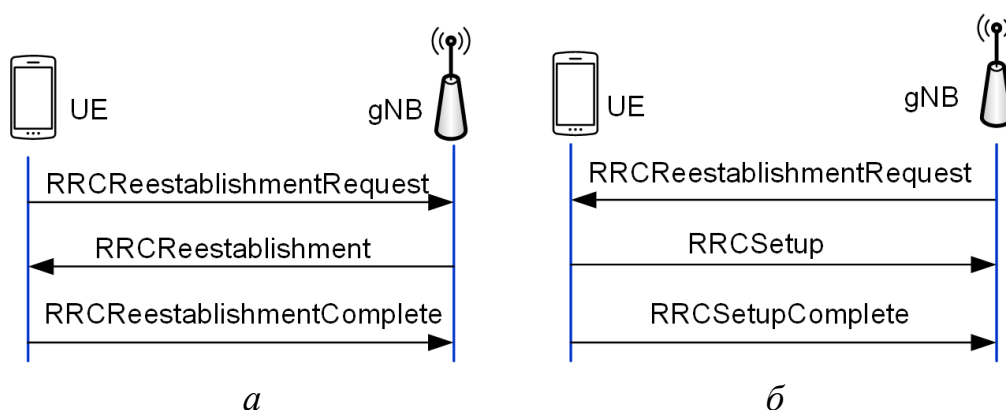


Рисунок 7 - Повторне встановлення RRC-з'єднання: а – на мережі має місце дійсний UE-контекст; б – на мережі відсутній дійсний (валідний) UE-контекст – повернення до процедури створення RRC-з'єднання

- ініційований мережею розрив RRC-з'єднання; ця процедура може бути використана в т.ч. для перекладу терміналу користувача в іншу мережу радіодоступу (E-UTRAN) (рис. 8);

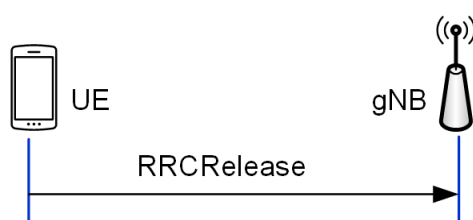


Рисунок 8 - Ініційований мережею розрив RRC-з'єднання

- ініційована мережею припинення RRC з'єднання та переведення RRC у стан RRC_INACTIVE;

- розрив RRC з'єднання з ініціативи верхнього рівня терміналу користувача (upper-layer UE) (рис. 9);

- виявлення та відновлення втрати зв'язку (Radio link failure).

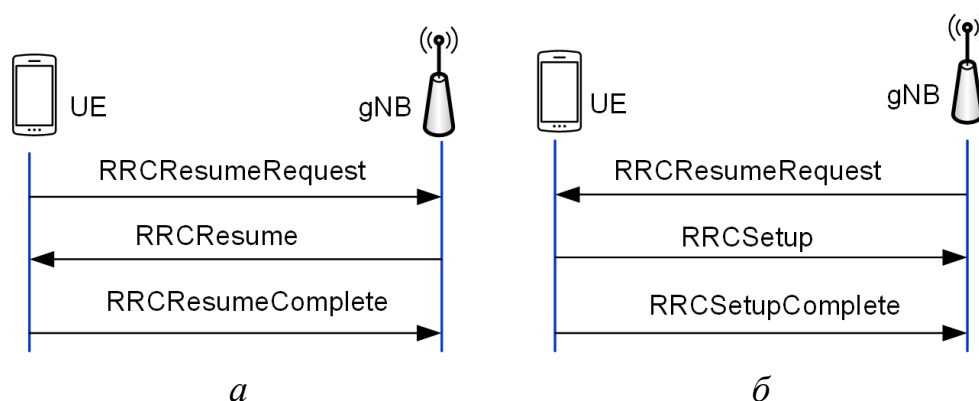


Рисунок 9 - Розрив RRC з'єднання з ініціативи верхнього рівня терміналу:
a – на мережі має місце дійсний UE-контекст; *б* – на мережі відсутній дійсний (валідний) UE-контекст – повернення до процедури створення RRC-з'єднання

Зміна мережі радіодоступу (вхідна/вихідна ПОБ між NR та E-UTRA) (рис. 10).

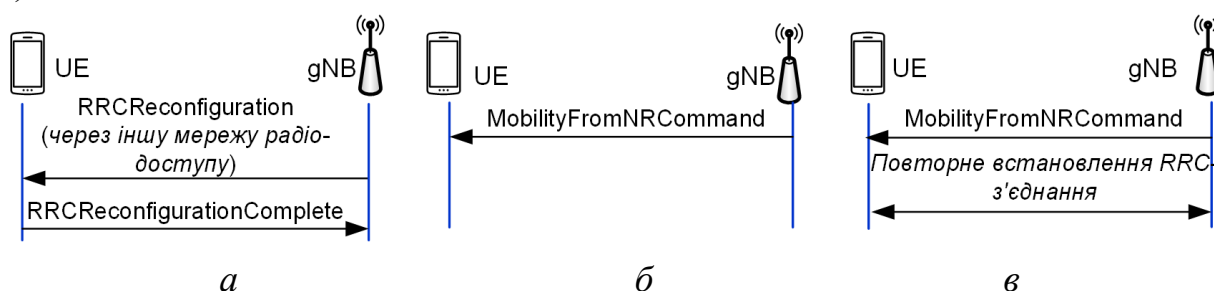


Рисунок 10 - Процедури ПОБ: *a* – ПОБ в мережу 5G-NR; *б* -вдала ПОБ із мережі 5G-NR; *в* – невдала ПОБ із мережі 5G-NR

Запит можливостей терміналу користувача (UE capability) (рис. 11).

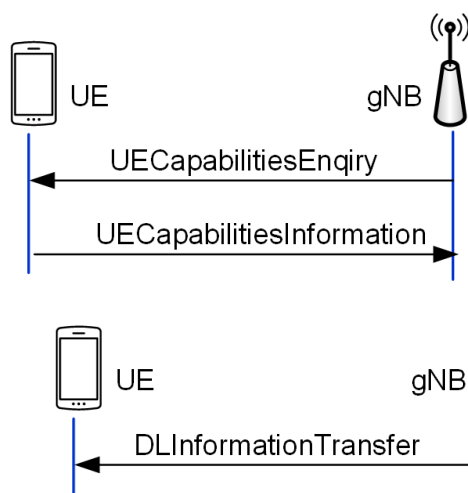


Рисунок 11 - Запит можливостей терміналу користувача

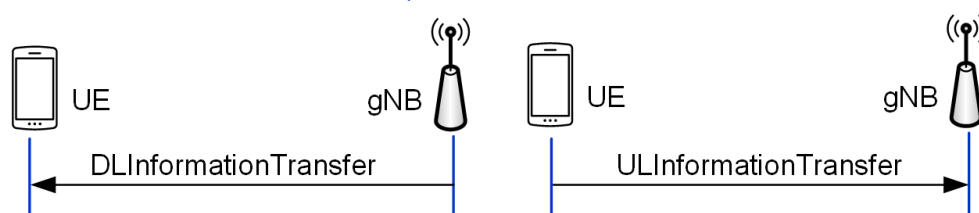


Рисунок 12 - Надсилання повідомлення сигнального трафіку NAS



Надсилання повідомлення сигнального трафіку NAS (DL information transfer, UL information transfer) (рис. 12).

Конфігурація радіовимірювань (включаючи вимірювання на мережі NR та E-UTRA).

Висновки

Представлені можливості розширення функціоналу мережі мобільного оператора 5-го покоління шляхом застосування нових функцій протоколу рівня RRC. Розглянуто стек протоколів площини управління (5G control plane), стани RRC-з'єднань та основні процедури, що реалізуються RRC.

КАПИТЕЛ 6 / CHAPTER 6⁶FEATURES OF THE FORMATION OF A COMFORTABLE
ARCHITECTURAL LIVING SPACE

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-20-02-007

Актуальність: у наш час міста мають багато економічних, екологічних та соціальних проблем, серед яких: проблеми інфраструктури, відсутність або нестача зелених насаджень, незадовільний стан мешканців, тощо. Ці проблеми потребують дослідження методів вирішення з ціллю покращення стану здоров'я людей. Зараз є дуже актуальною проблема самопочуття в оточенні мінливого міста, що не може не впливати на емоційний та фізичний стан особистості.

Для людини після початку пандемії житло стало місцем соціальної ізоляції, що призвело до «соціального стресу». Комфортність середовища, внутрішнього чи зовнішнього, мають неопосередковане значення для стану мешканців. Правильно використовуючи дослідження комфорту оточення можна досягнути мінімізації негативного впливу сучасного міста [1].

Проблеми середовища та вплив інформаційного простору призвело до погіршення самопочуття людини, дискомфорту у постійному місці перебування. Негативні зміни у екології та комунікації викликають психологічні розлади. Для вирішення та поліпшення ситуації необхідно дослідити насамперед ситуацію у архітектурному просторі на різних рівнях.

Вступ

Архітектура і медицина завжди мали тісний зв'язок. Аналогією використанню медичними школами зліпків тіла є використання архітекторами зліпків історичних будівель для навчання. Частою практикою була демонстрація будови через людський організм. Навіть в етюдах Леонардо да Вінчі види в розрізі архітектурних споруд з'являлися поруч з анатомічними малюнками [2].

Термін «**цілюща архітектура**» вперше було вжито у 1980-х роках і є частиною наукового напрямку «лікувального оточення», що займається дослідженням впливу середовища на процес зцілення. Його було засновано на ґрунті дослідження, опублікованого в 1984 році професором архітектури

⁶Authors: Kharchenko K., Losieva Y.



Роджером Ульріхом у Швеції. Він довів, що перебування у палатах з видом на парк позитивно пливає на пацієнтів, у наслідок чого їм потрібно менше часу для одужання [1].

Після спалаху холери в Європі, у другій чверті XIX століття, заклопотаність гігієною містян була зосереджена на захворюваннях із водним шляхом передачі. У 1878 році Еміль Трелат, французький архітектор, представив на першому Міжнародному гігієнічному конгресі документ про житло для робітничого класу. Було наголошено на необхідності забезпечення покращеного стандарту житла. Демонстрація житла у якості аспекту охорони здоров'я вплинули на появу архітектури модернізму. Стиль був заснований на практичних вимогах до дизайну, підтримуваний експлуатацією нових матеріалів і технологій, таких як залізобетон, найбільше влучно підходив для впровадження більш гігієнічного способу життя.

У першій половині XX століття в Європі та Північній Америці з'явився вид архітектури, характеризований білими стінами, широкими вікнами та плоскими дахами. Такі рішення були натхненні потягом до гігієнічності та економічності. Заклопотаність свіжим повітрям і сонцем стала основоположною для розробки нових архітектурних та дизайнерських практик. Саме тому основні ознаки лікарні незабаром прийшли додому. [2]

Будинки стали нагадувати лікарні: вся архітектура перейняла білу стерильність і чистоту медичного дизайну. Світло, повітря і гігієна стали не лише дизайнерським рішенням, а і методом боротьби з туберкульозом (до відкриття Зельманом Ваксманом стрептоміцину у 1940-х рр.) Вплив медичної проблематики став причиною тому, що рух стали асоціювати з холодною стерильністю і помилково вважати, що він байдужий до людей. Нова архітектура призначалася для лікування душі і тіла у жителів багатолюдних міст [2].

6.1. Дослідження впливу середовища на мешканців міста.

У наші часи, коли питання агломерації є одним з найважливіших на порядку денному, архітектори почали замислюватися не лише над фізичним, а й над психологічним станом мешканців міста. Одним з прикладів архітектурних похибок є житловий комплекс "Пруїтт-Айгоу", що складався з 33 однакових будинків. Район швидко набув сумної слави як місце концентрації злочинів і



соціальних проблем. Критики стверджували, що великий відкритий простір між бетонними висотками створив атмосферу ізоляції, в якій почала зростати злочинність. Зрештою житловий комплекс знесли. [1]

Житлові проекти того часу не враховували психологію людей. Зараз, завдяки дослідженням психологів, ми можемо набагато краще уявити те, яким повинно бути сприятливе міське середовище. Дослідження проводять з допомогою портативних пристроїв, які виміряють фізіологічну реакцію людей, а також розпитують випробовуваних про їхні самопочуття, спостерігаючи за активністю мозку [4].

Колін Еллард з університету Ватерлоо в Канаді провів дослідження і виявив, що на емоції людей найбільше впливають фасади будівель: складні і цікаві фасади підвищують настрій; одноманітні фасади пригнічують. Важливість міського дизайну виходить далеко за рамки простої естетики. Дослідження свідчать, що зростання в міському середовищі подвоює ризик розвитку шизофренії та інших психічних розладів, як депресія або хронічна тривожність. Головною причиною фахівці вважають так званий "соціальний стрес", причиною якого є ізоляція та самотність. У містах бракує значущого душевного спілкування, яке має велике значення для психічного здоров'я людей. Сьогодні соціальну ізоляцію вважають одним з основних факторів ризику багатьох захворювань.

Одна з перших спроб спонукати людей до якісного спілкування належить соціологу Вільяму Вайту, який радив розташовувати об'єкти у громадських місцях таким чином, щоб підштовхнути людей до спілкування. Такі проекти не виліковують від самотності миттєво, але допомагають містянам відчувати себе частиною соціуму і відчувати піклування [3].

Іншою негативною рисою життя у великому місті є дезорієнтація. Прямокутна система вулиць у Нью-Йорку дозволяє легко знайти дорогу, проте Лондон, який складається з різнорідних районів, збиває з пантелику (рис. 1).

Нейробіолог Кейт Джефрі з Університетського коледжу Лондона зазначила, що для відчуття зв'язку з якимось місцем людина повинна усвідомлювати, як це місце влаштовано. Мешканці міста згодом пристосовуються і прокладають "бажані доріжки" по газонах та в парках у зручних місцях, протестуючи таким чином проти запропонованих проектувальниками маршрутів. Дослідниця Рут Далтон з Університету Нортумбрії називає такі доріжки "спільною свідомістю" міста, адже вони показують нам, як рухаються містом його інші мешканці. [3]

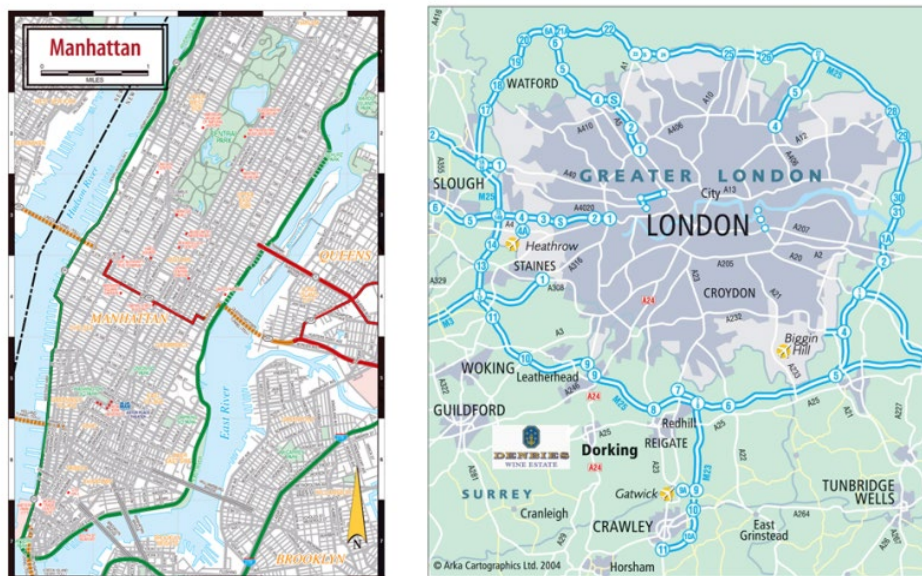


Рисунок 1. Планувальна схема м. Нью-Йорк, м. Лондон.

6.2. Аспекти формування комфортного житлового середовища.

6.2.1. Забезпечити ієрархічну теорію потреб. Піраміда потреб Маслоу

Абрагам Маслоу – американський вчений, відомий у всьому світі. Його вважають засновником гуманістичної психології, його наукову спадщину вивчають в університетах, досліджують і використовують у своїй роботі психологи, економісти, маркетологи, соціологи, філософи, історики. І як у багатьох видатних американців, коріння Абрагама Маслоу – з України.

У 1954 році побачила головна праця Маслоу – “Мотивація і особистість”. Саме там він сформулював ієрархічну теорію потреб, пізніше відому, як “піраміда Маслоу” (рис. 2). У завершеному та спрощеному вигляді піраміда з’явилася вже в працях послідовників Маслоу після його смерті. [5]



Рисунок 2. Схема ієрархічної теорії потреб, “піраміда Маслоу”



Отже, **на першому**, базовому рівні розташовані фізіологічні потреби людини, без задоволення яких неможливе саме життя. Це харчування, сон, наявність житла й відпочинку. **Другий рівень** – потреби в безпеці. Це особиста безпека, підтримка здоров'я, наявність стабільної роботи й прибутку, впевненості у своєму майбутньому. **Третій рівень** – потреби в приналежності або соціальні потреби. До них Маслоу зараховував спілкування з іншими людьми, без яких абсолютна більшість людей як соціальних істот повноцінно жити не можуть. **Четвертий рівень** – потреби у визнанні або в повазі до себе. Людині притаманне бажання того, щоб власну працю, досвід, талант інші люди визнавали та цінували. Найвищий, **п'ятий рівень** – потреба в самоактуалізації, тобто реалізації здібностей, розвитку та вдосконаленні власної особистості. У міру того, як людина задовольняє нижчі рівні потреб, для неї набувають актуальності потреби вищого рівня. Однак Маслоу ніколи не стверджував, що потреби перебувають у саме такій нерозривній послідовності. Усі люди відрізняються одне від одного, і в кожного є власна ієрархія потреб, хоча саме така є найстійкішою. [6]

6.2.2. Екологічність простору та озеленення.

Екологічні принципи: енергоефективність; використання відновлювальних джерел енергії; ефективне використання водних ресурсів; створення комфортного та безпечного середовища; створення комфортного та безпечного середовища; мінімізація відходів та забруднення.

Енергоефективність: будівлі мають бути побудовані з використанням матеріалів, які забезпечують максимальну ефективність енергоспоживання, та мають бути спроектовані з урахуванням оптимальної ізоляції та вентиляції.

Використання відновлювальних джерел енергії: архітектурне середовище повинно сприяти використанню відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітряні турбіни. Ефективне використання **водних ресурсів:**

будівлі мають бути спроектовані з урахуванням ефективного використання водних ресурсів та відведення відходів, таким чином, щоб мінімізувати негативний вплив на довкілля. Використання **екологічно чистих матеріалів:** архітектурне середовище повинно сприяти використанню екологічно чистих матеріалів, які не мають негативного впливу на здоров'я людей та довкілля.

Створення комфортного та безпечного середовища: будівлі мають бути спроектовані з урахуванням вимог до здоров'я та безпеки. **Мінімізація відходів**



та забруднення: будівлі мають бути спроектовані з урахуванням мінімізації відходів та забруднення, з урахуванням оптимального утилізації відходів та використання екологічно чистих технологій.

Озеленення відіграє дуже важливу роль у благоустрою, серед численних переваг: зменшують кількість пилу, впливають на формування мікроклімату, мають декоративну функцію. Серед найбільш розповсюджених **видів озеленення:** захисне (укріплення берегів водойм), горизонтальне (загального користування, парків, дворів тощо), вертикальне (опори чи стіни, вкрити в'юнкими рослинами). Дослідження свідчать, що зелені зони не лише знижують наслідки стресу, але і покращують фізичний стан. Дослідження англійських вчених у 2008 році продемонстрували, що ризик серцево-судинних захворювань суттєво знижується в районах з озелененням. Парк або ліс допомагають знизити стрес, притаманний міському життю. Майже всі житлові комплекси Ванкувера чудово враховують цю вимогу Візуальна складність природного середовища діє заспокійливо на психіку людини, що підтвердило дослідження, проведене за допомогою віртуальної реальності в Ісландії. Дослідники показували учасникам експерименту житлові райони, і найбільш привабливими виявилися саме вулиці з різноманітною архітектурою [3].

6.2.3. Види та складові ергономіки.

Ергономіка – це наука, яка комплексно вивчає особливості виробничої діяльності людини в системі взаємодії з довкіллям задля уможливлення її ефективності, безпеки та комфорту. Навколишнє урбаністичне середовище є прямим створенням оптимальної життєвої реальності, існуючої не «біля», а разом з користувачем. Дизайн У архітектурі простір є предметом художнього переживання, це засіб розповіді про спосіб життя, мова зображення функції людського існування. Види та складові ергономіки: фізична, когнітивна, організаційна. **Фізична ергономіка.** Це найпоширеніша форма ергономіки. Вона стосується фізичного навантаження на організм людини при виконанні діяльності. Ця складова заснована на дослідженнях людини: анатомічних — будова тіла; антропометричних — вивчення розмірів тіла; фізіологічних — функціонування тіла живих істот; біохімічних, які пов'язані з хімічними речовинами та речовинами, які містяться в живих організмах. **Когнітивна ергономіка.** Перш ніж розробляти якийсь предмет меблів, ергономіст вивчатиме когнітивні здібності користувача під час використання цього продукту.



Організаційна ергономіка займається оптимізацією соціотехнічних систем, а саме управління ресурсами, дизайн робочого місця та планування робочого часу. Усі ці три аспекти спрямовані на досягнення кінцевої мети — зменшення травм і оптимізація ефективності. [7, 9]

6.2.4. Інноваційна архітектура.

Одним з прикладів інноваційної архітектури є будівництво зелених будівель. Зелені будівлі, у яких використовують енергоефективні технології та матеріали, які можуть зменшити витрати на енергію, спрямовані на зменшення впливу будівництва на навколишнє середовище та забезпечення більш здорового та комфортного середовища для життя та роботи.

Інноваційна архітектура також може включати у себе використання сучасних технологій у будівництві, таких як 3D-друк, який дозволяє швидко та ефективно будувати складні форми та структури.

Іншим прикладом є використання технології "розумних" будівель, які використовують сучасні інформаційні технології для оптимізації енергоспоживання та забезпечення комфорту життя та роботи. Технології смарт-систем можуть сприяти зменшенню споживання електроенергії в будівлях, забезпечуючи ефективніше управління системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Використання смарт-технологій в переробці будівельного сміття може бути корисно для виробництва нових будівельних матеріалів шляхом переробки відходів. Можуть допомогти зменшити витрати води в будівлях, забезпечуючи ефективніше управління водопостачанням та каналізацією. Смарт-технології використовуються для забезпечення безпеки в будівлях: за допомогою відео-нагляду та системи контролю доступу. [11]. Смарт-технології можуть сприяти розвитку дизайн-ідей та функціональності простору в будівлях. Також смарт-технології здатні відслідковувати та аналізувати дані про використання будівель та простору в реальному часі. Таким чином, використання смарт-технологій у формуванні екосистеми архітектурного середовища сприяє ефективному його розвитку та стабільній роботі його кожної ланки.

6.2.5. Безбар'єрність

Універсальний дизайн- це дизайн предметів, середовища, програм та послуг, покликаний зробити їх максимально можливою мірою придатними для



використання для всіх людей без необхідності адаптації чи спеціального дизайну. Універсальний Дизайн не виключає допоміжних пристроїв для конкретних груп людей з інвалідністю, де це необхідно. (Конвенція ООН про права людей з інвалідністю. Дата ратифікації Україною: 16.12.2009)

СІМ ПРИНЦИПІВ БЕЗБАР'ЄРНОГО ДИЗАЙНУ:

У 1997 році в Університеті Північної Кароліни в США було розроблено сім принципів Універсального Дизайну	1	Рівність та доступність використання	>	Дизайн забезпечує рівні умови користування для всіх і завжди, коли це можливо. Якщо неможливо, то треба подбати про створення альтернативного варіанту. Дизайн уникає будь-якого виокремлення чи «навішування ярликів». Дизайн передбачає безпеку, надійність та недоторканість особистого життя. Дизайн є зручним та привабливим для всіх користувачів
	2	Гнучкість використання	>	Дизайн урахує потреби та можливості різних користувачів. Користувач самостійно обирає, в який спосіб скористатися послугою чи товаром. Дизайн урахує, що виробом може користуватися лівша.
	3	Простота й інтуїтивність використання	>	Дизайн виробу, конструкції, послуги інтуїтивно зрозумілий та відповідає очікуванням користувачів (наприклад, не потрібно замислюватися, за який поручень взятися в автобусі, оскільки це відбувається інтуїтивно). Фокусування уваги користувача на найважливішій інформації.
	4	Доступно викладена інформація	>	Інформація подана у різний спосіб – візуальний, вербальний, тактильний. Найважливіша інформація викладена лаконічно та максимально зрозуміло. Необхідна інформація виділена (збільшений шрифт, певний колір).
	5	Терпимість до помилок	>	Небезпечні елементи ізолюють, вилучають або убезпечують. Дизайн застерігає про небезпеку або можливість помилки. Якщо користувач зробить помилку, це не викличе шкідливих для його здоров'я наслідків. Дизайн перекладає можливість несвідомих дій з боку користувачів під час ходьби, користування річчю чи виконання певних завдань.
	6	Малі фізичні зусилля	>	Користувач максимально ефективно і комфортно користується предметом, докладаючи мінімум зусиль. Людина лишається у зручному для неї положенні при користуванні приладом. Дизайн мінімізує дії, що повторюються. Необхідність використання довготривалого фізичного зусилля зведена до мінімуму
	7	Наявність необхідного розміру, місця, простору	>	Дизайн забезпечує необхідний розмір і простір для зручного доступу та використання продукту/приладу будь-якою людиною незалежно від її зросту, статури чи рухливої активності.

Висновки

Формування гармонійного житлового простору складний процес на який впливають багато факторів. Ефективна взаємодія дизайнерів і містобудівників з психологами і нейробіологами, екологами дозволить сформулювати оптимальні рішення. Забезпечення потреб особистості на різних рівнях, як базового рівня фізіологічні потреби людини, так і потреб особистої безпеки, підтримки здоров'я, наявності стабільного прибутку, впевненості у майбутньому, та потребі у пізнанні світу, втіленні своїх цілей, реалізації здібностей, розвитку та вдосконаленні власної особистості.

Зелені зони не лише знижують наслідки стресу, але і покращують фізичний стан населення., серед найбільш розповсюджених видів: захисне, горизонтальне, вертикальне.

Вплив сучасної науки та смарт-технології забезпечують екологічність,



економічність та зручність управління та використання як житлового так і суспільного простору.

Засоби універсального дизайну покликаний зробити простір максимально можливою мірою придатними для використання для всіх людей без необхідності адаптації чи спеціального дизайну.

ПРИНЦИПИ БЕЗБАР'ЄРНОГО ДИЗАЙНУ МІСЬКОГО ІНТЕР'ЄРУ

ВІЗУАЛЬНА КОМУНІКАЦІЯ -ОРІЄНТУВАННЯ ЧЕРЕЗ КОЛІР

РОЗМІР КВАРТАЛУ ДО 100М -ЗРУЧНІСТЬ ПЕРЕСУВАННЯ

**РОЗДІЛЕННЯ ПОТОКІВ -ПО ВЕРТИКАЛІ ТА ГОРИЗОНТАЛІ/
ВІДСУТНІСТЬ ЇХ ДУБЛЮВАННЯ**

**СОЦІАЛЬНУ ДОСТУПНІСТЬ - ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ПОТРІБНО
УРАХОВУВАТИ ПОТРЕБИ СТРАТИФІКОВАНОГО СУСПІЛЬСТВА**

**ПРИ ПРОЕКТУВАННІ УРАХОВУВАТИ ПОТРЕБИ ВСІХ
МАЛОМОБІЛЬНИХ ГРУП НАСЕЛЕННЯ - ЦЕ ЗАБЕСПЕЧУЄ ГНУЧКІСТЬ
ПЕРЕСУВАННЯ**

**ПРОЕКТУВАТИ ПРОСТІР «В РАМКАХ КОНТРОЛЮ» - У ЛЮДЕЙ ІСНУЄ
РОЗУМІННЯ СВОЯ-ЧУЖА ТЕРИТОРІЯ, ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ПОТРІБНО
ЧІТКО РОЗУМІТИ ДЛЯ ЧОГО ПРОЕКТУЄТЬСЯ КОЖЕН МЕТР ПРОСТОРУ-
ЦЕ ГАРАНТУЄ ВІДСУТНІСТЬ ЙОГО ЗАНЕДБАННОСТІ В МАЙБУТНЬОМУ**

**КОНЦЕПЦІЯ «ВІДКРИТЕ МІСТО» - УНИКНЕННЯ ЗАМНКУТОГО ПРОСТОРУ/
ПЕРЕТІКАННЯ ПРОСТОРІВ**

**ПЕРЕД ПРОЕКТУВАННЯМ ДОСЛІДЖУВАТИ
ТЕРИТОРІЮ НА ПРЕДМЕТ ТРАЕКТОРІЇ
РУХУ ПІШОХОДІВ ТА СОЦІАЛЬНІ ФАКТОРИ -ДОПОМАГАЄ
ЗНАЙТИ КРАЩІ ЗВ'ЯЗКИ МІЖ ПУНКТАМИ ПРИЗНАЧЕННЯ
ВІДСУТНІСТЬ ЇХ ДУБЛЮВАННЯ**

**KAPITEL 7 / CHAPTER 7⁷****CULTURE OF CHICKPEA: ELEMENTS OF CULTIVATION UNDER IRRIGATION CONDITIONS OF THE SOUTHERN STEPPE OF UKRAINE****DOI: 10.30890/2709-2313.2023-20-02-016****Introduction.**

In modern world agriculture it is difficult to overestimate the role of legumes. Their nitrogen-fixing capacity makes it possible to replenish soil reserves with free symbiotic nitrogen, which allows farmers to reduce the use of mineral fertilizers. Vegetable protein from pulses is the cheapest. The lack of adequate vegetable protein leads to a deterioration in the food supply of the population, excessive feed consumption and higher costs of livestock products. The main source of vegetable protein is legumes, which provide 2-3 times more protein per unit area than cereals and help preserve soil fertility, reduce the use of nitrogen fertilizers, and produce environmentally friendly products. In order to produce the planned volumes of high-protein grain in each region, it is necessary to select a group of legumes that best utilizes their biological potential. In the Southern Steppe of Ukraine, the trend toward climate aridization makes such a crop as chickpea promising [1-3]. Possessing high drought resistance, heat tolerance, and harvesting technology, chickpea can stabilize the production of high-protein grain and increase the sustainability of the entire agroecosystem. In this regard, improving the methods of growing it on irrigated land is important.

To increase the productivity of chickpea, methods aimed at improving the supply of moisture to plants and optimizing the phytosanitary condition of crops are of great importance. First of all, it is the selection of rational methods of sowing plants, as well as the regulation of weeds through the use of modern herbicides. Optimization of these processes will allow the most efficient use of agrobiological resources in the process of realizing the potential productivity of modern chickpea varieties. All of the above became the basis for choosing the direction of our research.

Chickpea plays an important role in solving the problem of vegetable protein, as this crop is characterized by high yields and the grain is rich in nutrients. It contains 18-30% protein, 48% fat, 48-56% nitrogen-free extractives (starch, sugar, etc.), 3.5-

⁷*Authors: Kovalenko O.A.*



5% fiber, 2.8-3.7% ash, and vitamins [4-10]. Although chickpea lags behind soybeans or beans in terms of protein content, it is the leader among all legumes in terms of nutrition. In terms of fat content, chickpea grain is second only to soybeans [11-14].

Chickpea protein is rich in essential amino acids - methionine and tryptophan. The trace element composition of the grain is rich in phosphorus, magnesium and potassium. It is also a good source of lecithin, vitamin B2, vitamin B1, nicotinic and pantothenic acids, and choline. The amount of vitamin C in chickpea seeds is not very high, but it increases significantly when the seeds germinate. Chickpea greens contain oxalic, citric and malic acids [11-13].

According to academician O. Babych, with a chickpea grain yield of 25 c/ha, the protein yield is 675 kg/ha and fat 112.5 kg/ha, which is 12 and 53.5 kg/ha more than peas with a yield of 30 c/ha, respectively [4].

By the end of the XX century, chickpea became the world's third most important legume crop after soybeans and peas. According to the FAO, chickpea crops account for 15% of the world's pulses, producing about 13% of the world's pulses. The leaders in its consumption are the peoples of India, Pakistan and Bangladesh. In recent years, the world's chickpea crops have occupied about 7 million hectares, with an annual increase in its area of about 1% [10, 11, 13].

About 95% of all chickpea production for food purposes is concentrated in developing countries. Of these, about 75% of the total volume grown is in South Asia. The main chickpea producers in the Southwest region are India, Pakistan, and Turkey. In India, chickpeas account for more than 40% of total pulse production. In India, chickpeas are the main source of protein in vegetarian cooking. The plant is used in medical practice in Asia and Europe. Products made from chickpeas are included in the mandatory assortment of European supermarkets, given their compliance with the requirements for a balanced diet [15]. It has been established that chickpeas have a positive effect on the human brain due to the content of tryptophan, which forms one of the most important hormones and neurotransmitters of the human central nervous system - serotonin [1, 2].

Turkey is a major exporter of chickpeas in Asia, accounting for 30% of global chickpea exports at the end of the 20th century. Latin American countries grow about 3% of chickpeas. Among African countries, chickpeas are grown in Ethiopia, Morocco and Tanzania. More recently, Australia has started commercial production of chickpeas. Since there is practically no domestic demand in this country, the products are grown for export to the markets of Asian countries - India, Pakistan and



Bangladesh. Mexico is another major exporter of chickpeas, accounting for 17% of total exports, mainly to the United States [4].

In Ukraine, demand is growing and the area under chickpeas is expanding. In recent years, chickpea crops have begun to spread rapidly, first in the South and then in the Forest-Steppe region. In 2016, the largest planted areas were in Donetsk (29.6%), Odesa (28.2%) and Kharkiv (19.7%) regions. In Ukraine, its production area is growing every year and already in 2005 amounted to 33 thousand hectares [16]. Over the past 10 years, the area under chickpea has increased and amounts to about 60-70 thousand hectares. It is also important that the demand (and hence the price) for chickpeas is higher than for soybeans or peas, for example [17]. In 2014-2015, chickpea grain exports reached 20 thousand tons.

Chickpea is the most drought-resistant crop, with a transpiration coefficient of 350, but it decreases to 290 when fertilized, while chickpea has a 400, and pea has a 500. In addition, plants have a high osmotic pressure of cell sap - 17 atmospheres, while peas have 7 atmospheres less, which contributes to the development of the root system and the transportation of water from great depths [3, 15]. Also, chickpea cells contain less free and more bound water, which results in lower evaporation than other legumes [3, 14, 15, 16].

Using this feature is the basis for increasing the yield of chickpea grain in areas with a moisture deficit of up to 20%, so it is sown mainly on non-irrigated lands, and rarely on irrigation [17-21]. However, the efficiency and payback of irrigation water for chickpea cultivation is very high, and yields can increase dramatically up to 45%, especially when irrigated during the phase from flowering to bean formation [22-27].

Experimentally, it was found that under irrigation conditions in southern Ukraine, chickpea grain yield increased by 0.84-0.96 t/ha compared to non-irrigated areas [22, 23, 28, 29, 30]. However, with excessive moisture, the number of ovaries sharply decreases, the beans grow, but seeds are not formed in them [2, 22].

Therefore, it is important for the crop to have a scientific basis for the irrigation regime. Chickpea requires a lot of water during swelling, as seeds absorb about 121% of water relative to their weight [3, 23, 28, 29, 31, 32].

According to other data, on average, chickpea requires 106% of moisture by weight of seeds. During the branching phase, the optimal moisture content is 70-80% of HB, but its greatest need for water is noted during budding. Excessive precipitation in any phase can contribute to ascochitosis [3].

Chickpea plants are characterized by high water retention capacity. Thus,



according to experimental data, plants lost only 9% of moisture in 4 hours, compared to 26-33% in peas during the flowering phase, where the moisture content is 40.4% [9, 22]. Chickpea is under severe stress from a lack of moisture in the period from flowering to the beginning of grain filling [23]. The lack of moisture at this time leads to a 67% yield loss (from 2766 kg/ha with irrigation to 909 kg/ha without it). Even under conditions of limited (economical) irrigation, the yield of chickpea in semi-desert climatic conditions is higher than under conditions without irrigation. The economical irrigation regime provides for 1 watering at the beginning of grain filling or additionally during the flowering phase. Water-saving irrigation allows to obtain a chickpea yield only at the level of 60-90% of the value of full irrigation, but at the same time increases the efficiency of water use by 28-52% [22, 28, 29].

A similar opinion is expressed by other scientists, who note that a lack of moisture during the filling phase of chickpea grain leads to a significant decrease in yield. But a high level of moisture availability during the ripeness phase restores the secondary growth of the crop, which greatly delays and complicates harvesting [11, 12, 32].

In the semi-desert climate of Jordan, chickpea plants under natural moisture conditions reached their maximum dry weight earlier and 33 acquired optimal harvesting moisture faster than under irrigation (weekly irrigation at a rate of 7 mm/ha). This is due to a shorter growing season due to the reproductive phase of growth and accelerated ripening under non-irrigated conditions. Reduction of chickpea yield by varieties: Flip 93-255, Jubeiha 3 and genotypes: DZ 10-11, DZ 10-92 without irrigation was 49-54% compared to irrigation [26].

According to the studies conducted in the fields in Policoro (Southern Italy), irrigation had a positive effect on the productivity of chickpea plants of only three varieties (Pa1, Pa3 and Kairo). They increased dry matter content from 17 to 24%, grain yield from 13 to 24%, number of beans from 15 to 32%, and number of seeds per bean from 14 to 27%. On all other varieties, irrigation led to a decrease in productivity from 10 to 21% or did not give any positive results [27].

Despite its drought tolerance, when forming highly productive agrocenoses in the rice checks of Kalmykia, chickpea culture consumes up to 3010-4060 m³/ha of water during the growing season. The main source of moisture, up to 47% of total water consumption, is soil moisture reserves. Soil moisture is the main prerequisite for high and sustainable grain yields. It is necessary for the start of growth processes, is the main solvent of nutrients and determines the conditions of growth and development during ontogeny [14, 22, 23, 30, 32].



Studies with different conditions of irrigation cessation (no irrigation; irrigation before flowering (85 days after sowing); irrigation after the beginning of grain formation (129 days after sowing); irrigation for the entire period) show that non-irrigated plants had low leaf water potential, evapotranspiration, photosynthetic activity, low dry matter and yield. Cessation of irrigation before flowering led to a decrease in photosynthetic activity and yield by 33% due to a decrease in the number of beans. Irrigation after the beginning of grain formation caused a slight increase in yield due to the formation of additional beans with small grains. Water stress had the greatest effect on the number of beans formed on the plant and almost no effect on the number of grains per bean [22, 23].

When placing chickpea on irrigation, irrigation should be carried out at a rate of 250-300 m³/ha in the flowering and flowering phases - the beginning of bean formation. This will almost double the yield. However, in wet years or at high irrigation rates, there is a risk of fungal diseases [5, 21, 22, 23].

The size of chickpea grain is quite an attractive feature for agricultural producers, because the price of commercial grain largely depends on the weight of 1000 seeds. In this regard, a new variety was created that was not inferior to the best varieties in terms of productivity and, based on the results of state variety testing, was included in the Register of Plant Varieties of Ukraine in 2003 under the name Antei [18]. Unfortunately, its disadvantage is its susceptibility to disease, which leads to significant annual losses in quality and yield in general. In addition, the sprawling shape of the bush, even with a slight thinning of the crop, leads to the breakage of 2nd order branches and direct yield losses. Nevertheless, Antaeus did its job and gave impetus to further breeding work towards the creation of varieties with large grains. In 2005 and 2008, Triumph and Budzhak, which form larger grains than the previous variety, were included in the Register of Plant Varieties of Ukraine [7, 8, 19].

Triumph, Budzhak, Odyssey and Skarb produce large light seeds that are in high demand on the Ukrainian and international markets. The yield of these varieties averages 22-26 c/ha and depends largely on the cultivation technology and weather conditions of the year [8, 22, 23].

An analysis of the achievements of breeders in most crops has shown that following a certain model improves breeding work and leads to accelerated development of new varieties. According to the leading breeders V. I. Sichkar and O. V. Bushulian [6, 18], chickpea varieties with a weight of 1000 seeds of 320-350 and 400-420 g and a growing season of 90-120 days should be developed for the South of



Ukraine. The germination-flowering period should last 20-25 days, and the flowering and flowering-ripening periods should last 35-45 days. The optimum plant height for this region is 50-60 cm, the height of the lower bean attachment is 15-17 cm, and the best bush shape is compressed upright with 2-3 branches of the 1st order and 4-6 - of the 2nd. To increase the number of beans per plant, a two-legume gene should be introduced, and plants should be resistant to major diseases, as epiphytoticities will be observed with the expansion of chickpea acreage in the South of Ukraine. Collection varieties accumulate from 18 to 32% of complete protein in their seeds. But experience shows that targeted breeding to increase protein content is a very complex and expensive process. Therefore, it is more expedient to create more productive varieties while maintaining the protein content at an average level.

In modern conditions, varieties and hybrids are independent factors of agricultural intensification. The varietal composition of chickpea has expanded in recent years, which provides a wide range of choices for their introduction into production. For the rainfed conditions of the Southern Steppe of Ukraine, it is necessary to study chickpea varieties with high adaptive properties to local conditions.

The peculiarity of the development of modern crop cultivation technologies is that they are increasingly focused on specific varieties, and this is the logical conclusion of the breeding process. This requires the development and improvement of cultivation techniques for each variety in order to use soil and climatic resources more efficiently. For example, in order to obtain high sustainable yields of chickpea grain, it is essential to determine the optimal sowing method for its cultivation, taking into account the biological characteristics of individual varieties.

7.1. Research conditions and methodology.

The research was conducted under drip irrigation conditions on the experimental field of the Mykolaiv State Agricultural Research Station of the Institute of Irrigated Agriculture of the National Agrarian Academy of Sciences of Ukraine.

The soil of the experimental field is southern chernozem, residually slightly saline, heavy loamy with a humus content of 2.9%. Nutrient availability of the topsoil (mg/100 g of absolutely dry soil): nitrate nitrogen - 2.8; mobile phosphorus - 5.3; exchangeable potassium - 13.7. The acidity of the soil is close to neutral (pH 7.1). The lowest moisture capacity of the soil layer is 0-30 cm - 24.8%; 0-100 cm - 24.7%, wilting



moisture - 11.7% of the soil mass in dry state, bulk density - 1.35-1.38 g/cm³.

Field experiments and laboratory studies were conducted according to the following methods:

1. Methodical recommendations for conducting field experiments under irrigation conditions of the Ukrainian SSR. Dnipropetrovs'k; UkrNIOSH, 1985. part 1. 114 c.

2. Methodical recommendations on evaluation of field experiments, production testing of new varieties, agrotechnological methods and technologies under irrigation conditions of the Ukrainian SSR. Dnipropetrovs'k; UkrNIOSH, 1985. part 2. 127 c.

3. Ushkarenko V.O. Analysis of variance and correlation in agriculture and crop production: a textbook / [Ushkarenko V.O., Nikishenko V.L., Holoborodko S.P., Kokovikhin S.V.]. Kherson: Ailant, 2008. 272 c.

Chickpea cultivation is generally accepted, except for the technological methods that were taken for study. Sowing of chickpea was carried out in a wide-row method with a row spacing of 45 cm, and in a conventional row method with a row spacing of 15 cm, in the fields of irrigated crop rotation of the experimental base of the Mykolaiv State Research Institute of Plant Industry of NAAS. Predecessors - black fallow. The standard in the experiment was the Triumph chickpea variety. The seeding rate was 0.6 million germinating seeds per 1 ha for continuous crops, and 0.4 million germinating seeds per 1 ha for wide-row crops. Mineral fertilizers were applied for pre-sowing cultivation with harrowing, at the rate of N₃₂P₃₂K₃₂. The form of fertilizer was nitroammophoska (16:16:16). Soil moisture was maintained within 80-70-70 % HB, soil moisture control was determined by the instrumental (thermostat-weight) method or by a tensiometer. The area of the accounting plot was 25 m². Replication was three times. The following factors were included in the experimental design:

- Chickpea varieties (factor A): Triumph (control), Budzhak, Memory;
- sowing methods (factor B): row - with a row spacing of 15 cm (control); wide-row - with a row spacing of 45 cm
- herbicide background (factor C) - Pulsar® 40, CP (1 l/ha); Bazagran®, BP (2 l/ha); Pivot® 10, v.r.k. (0.8 l/ha).

Herbicides were applied using a Stihl SG 20 hand sprayer. The working fluid consumption was 250-260 l/ha. Spraying was always carried out in dry, sunny weather at an air temperature of 19-23°C and relative humidity of 57-78%.

The research was accompanied by the analysis of soil and plant samples, observations of the dynamics of plant growth and development. All observations were made in two non-contiguous replications.



Soil samples were taken in layers, every 10 cm in quadruplicate.

Soil moisture was determined by the thermostat-weight method, when dried at a temperature of 1050 C for 8 hours to a constant weight.

The total water consumption during the growing season and for individual interphase periods was determined by the water balance method according to the formula:

$$E = M + O + (W_h - W_k),$$

where E is the total water consumption for the calculation period, m³/ha;

M - irrigation rate for the period, m³/ha;

O - precipitation for the period, m³/ha;

Wh is the moisture reserve in the active soil layer at the beginning of the growing season (calculation period), m³/ha;

Wk - moisture reserve in the active soil layer at the end of the growing season, m³/ha.

The water consumption coefficient was determined by the formula:

$$K_E = \frac{E}{Y},$$

where KE is the coefficient for the growing season, m³/ha;

Y is the yield of rapeseed seeds, m³/t;

E - total water consumption, t/ha.

The weediness of chickpea crops was determined by the number of weeds, which were counted on 1 m² diagonally at ten points at the beginning of the growing season and before harvesting with the determination of the species composition and weight of weeds.

Phenological observations were carried out on fixed plots in two non-contiguous replications. During the phenological observations, 50 typical plants were selected on the plots, on which the onset of the stages of chickpea development was noted: germination, branching, budding, flowering, and full grain ripeness. The beginning of the phase was taken as the time of its onset in 10% of plants, and the full phase was taken as its onset in 75% of plants.

The density of chickpea plants was determined during the period of full germination and before harvesting by continuously counting plants along fixed plots (trial plots method).

The structure of the crop was studied in sheaf samples, which were taken at full



maturity, on 0.25 m² plots, in four replications. The sheaf weight, number of plants, branches, beans on the main and lateral branches, seeds per bean, number and weight of seeds per plant, and weight of 1000 seeds were determined. Harvesting and accounting of the crop was performed at the stage of full grain ripeness, by weighing. The yield data were adjusted to a standard seed moisture content of 14%. The results of crop accounting were subjected to analysis of variance.

The statistical and mathematical processing of digital data was performed by analysis of variance.

7.2. Results of the research with chickpea crop.

In general, the weather conditions in 2022 were not favorable enough for the growth and development of chickpea. During the growing season, 80 mm of precipitation fell, which is 43% of the norm, but thanks to irrigation, chickpea formed a fairly good seed yield. The main climatic indicators for the study year in comparison with the average long-term indicators are shown in Tables 1-2.

Table 1 - Total precipitation in 2022 for the growing season of chickpea compared to the average long-term data, mm

Month	monthly average	amount long-term average	± to the average long-term
April	18	32	-14
May	29	44	-15
June	30	54	-24
July	3	58	-55

Snow accumulation during the winter of 2021-2022 was inactive, with alternating periods of snow cover formation and thaws. All decades of the winter period were characterized by higher temperatures and lower precipitation compared to long-term data. The spring of 2022 was characterized as dry. According to the first determination of soil moisture reserves, which was carried out on March 28, 2022, the reserves of productive moisture in both the tilth and meter layers of soil were satisfactory. Namely, they amounted to 18-29 mm in the tilth layer and 74-115 mm in the meter layer, depending on the predecessor. At the beginning of the first decade of April, chickpeas



were sown (5-6.04). During April, dry and cool weather was observed (no effective precipitation). Subsequently, insufficient moisture of the upper soil layers, lack of precipitation and dry winds did not contribute to the good growth and rooting of chickpea plants. Herbicides Pulsar® 40, CP (1 l/ha); Bazagran®, BP (2 l/ha); Pivot® 10, v.r.k. (0.8 l/ha) were applied in the phase of 2-5 true leaves of the crop with a hand sprayer at a rate of 200 l/ha.

Due to the precipitation deficit in May (29 mm or 66% of the norm), the soil moisture supply was poor, and dry conditions negatively affected the further growth of plants, which were already in budding at that time, so the crops were irrigated.

Table 2 - Average monthly wind temperature during the growing season of sunflower compared to the long-term average, °C

Month	monthly average	average long-term	± to the average long-term
April	9,4	10,5	-1,1
May	16,3	15,5	+0,8
June	22,3	20,5	+1,8
July	24,5	21,2	+3,3

In early June, mass flowering was observed in chickpea crops, but weather conditions remained difficult due to the lack of effective precipitation. Even for drought-tolerant chickpea, the rains that occurred during the second and third decade (33 mm) were not enough for grain formation, filling and ripening, but irrigation offset the negative effects of the drought.

As of July 08, the plant density was 31-46 pcs/m². Plant height: Triumph variety - 49-58 cm, Budzhak - 55-59 cm, Pamyat - 45-53 cm, depending on the sowing method and herbicide background. Differentiation of chickpea development was observed depending on varietal characteristics, sowing methods and herbicide background.

Plant care included loosening row spacing and weed control. Weed infestation was low. In general, the overall growth and development of chickpea was satisfactory for the current period. Chickpeas were in the ripening phase, harvested in the second decade of July.

The peculiarities of the phenological phases and the duration of the main periods of chickpea development from full germination to maturation in all variants of the experiment were subject to the scheme generally accepted for almost all field crops -



with an increase in plant density in crops, the phases came earlier and the duration of the periods decreased (Table 3). Thus, with the row seeding method, where the plants were denser, the duration of the period full germination-budding ranged from 11 to 12 days; budding-flowering - from 13 to 15 days; bean formation-ripening - from 30 to 32 days. Increasing the row spacing improved the conditions for plant development and the duration of all major periods of chickpea development increased by 3-7 days.

Table 3 - Phenology of chickpea crop development (average for 2021-2022)

Sowing method	Chickpea variety	Phases of growth and development				
		seedlings	budding	flowering	bean formation	full maturity
In-line	Triumph	22.04.	2.05.	15.05.	10.06.	8.07.
	Memory	22.04.	3.05.	17.05.	12.06.	10.07.
	Budzhak	22.04.	2.05.	15.05.	10.06.	8.07.
Wide row sowing	Triumph	22.04.	5.05.	21.05.	14.06.	10.07.
	Memory	22.04.	7.05.	24.05.	16.06.	15.07.
	Budzhak	22.04.	5.05.	21.05.	14.06.	10.07.

The studied chickpea varieties proved to be mid-season (95-100 days) in the Southern Steppe, the difference between varieties in terms of the length of the growing season was insignificant, except for the Pamyat variety [28, 30]. Thus, the shortest duration of the growing season in the experiment was observed in Triumph and Budzhak varieties - 93-95 days on average in all variants of the experiment. The Pamyat variety had a longer growing season, which ripened 2-5 days later.

Table 4 shows that the lowest total water consumption of chickpea crops was in the variant of row sowing - 3217 m³/ha, which is lower than this figure in comparison with wide-row crops by 104-125 m³/ha (depending on the variety).

The coefficient of total water consumption of chickpea ranged from 1289 to 1474 m³/t. Sowing with a seeding rate of 0.4 million units/ha with a row spacing of 45 cm was one of the conditions for more rational water use in the chickpea field. For the implementation of this agrotechnological technique under drip irrigation, the water consumption coefficient on average for varieties was 1357, while for row sowing with a sowing rate of 0.6 million units/ha - increased to 1406 m³/t. In our opinion, this can be explained by the fact that in this variant the placement of plants on the area was more uniform, and in continuous crops less moisture was retained mainly due to the



increase in plant density.

Table 4 - Water use efficiency of chickpea varieties under different sowing methods (average for 2021-2022)

Sowing method	Chickpea variety	Total water consumption, m ³ /ha	Yield, t/ha	Water consumption coefficient, m ³ /ha
In-line	Memory	3196	2,17	1474
	Triumph	3217	2,28	1410
	Budzhak	3238	2,43	1333
Wide row sowing	Memory	3321	2,35	1415
	Triumph	3342	2,45	1367
	Budzhak	3342	2,59	1289

It was also interesting to track the efficiency of moisture consumption by chickpea varieties. Our research has shown that this indicator, depending on the chickpea variety, ranged from 1311-1444 m³/t (on average by sowing method). Plants of the Pamyat variety consumed 56-133 m³/t more water per unit yield compared to Triumph and Budzhak varieties, respectively.

Chickpea is a highly cultivated plant, and the presence of weeds in crops leads to severe suppression, especially in the early stages of the growing season. The presence of a large number of vegetative weeds during harvesting can also lead to a deterioration in the quality of chickpea grain. No herbicide approved for use in chickpea crops is currently officially registered in Ukraine. Many farms use agronomic weed control measures. However, many years of experience have been gained in the use of a number of herbicides both in Ukraine and other countries. So, mainly in chickpea crops, such soil preparations as Stomp, 33% e.e., Harness, 90% e.e., Frontier Optima, 72% e.e., as well as post-emergence preparations - Pivot, 10% e.e., Bazagran, 48% e.e., Pulsar, 40% e.e., Aramo, 45% e.e., Harmony, 75% e.e. are used.

When conducting research under drip irrigation conditions, the task was set: to develop a technology for protecting chickpea crops with herbicides without the use of mechanical inter-row cultivation. In this regard, in chickpea crops we studied the effectiveness of such post-emergence preparations as Bazagran, 48% a.i., Pulsar, 40% a.i. and Pivot® 10, a.i. Our observations of weed infestation of chickpea crops showed that the number of weeds varied significantly depending on the technology of crop protection (Table 5).



Table 5 - Influence of sowing methods and herbicide background on weed infestation of chickpea crops (average for 2021-2022), pcs/m²

Sowing method	Protection technology (herbicide background)	Annuals		Perennial root sprouts	Total
		cereals	broad-leaved		
Before processing - phase 2-5 chickpea leaves					
In-line	Pulsar (1.0 l/ha)	108	22	4	135
	Bazagran (2.0 l/ha)	102	18	8	129
	Pivot (0.8 l/ha)	105	24	3	132
Wide-row	Pulsar (1.0 l/ha)	118	37	8	163
	Bazagran (2.0 l/ha)	105	36	11	152
	Pivot (0.8 l/ha)	107	39	12	158
2 weeks after treatment					
In-line	Pulsar (1.0 l/ha)	18	3	1	22
	Bazagran (2.0 l/ha)	24	5	1	30
	Pivot (0.8 l/ha)	22	4	2	28
Wide-row	Pulsar (1.0 l/ha)	19	9	3	30
	Bazagran (2.0 l/ha)	26	8	2	36
	Pivot (0.8 l/ha)	23	8	2	33
Before harvesting					
In-line	Pulsar (1.0 l/ha)	20	1	2	23
	Bazagran (2.0 l/ha)	28	2	3	33
	Pivot (0.8 l/ha)	24	2	3	29
Wide-row	Pulsar (1.0 l/ha)	14	3	5	22
	Bazagran (2.0 l/ha)	21	3	6	30
	Pivot (0.8 l/ha)	18	2	6	26

The number of weeds before the treatment of chickpea crops with herbicides was in the range of 129-163 units/m². In the period of 14 days after the application of herbicides, the number of weeds per 1 m² decreased by 100-128 units/m² and reached 28-36 units/m² depending on the herbicide background. Different preparations showed unequal technical efficiency, which in turn caused different degrees of competition for life factors between them and chickpea plants.

Thus, when Pulsar herbicide was applied, weed infestation was reduced by 83%, this herbicide almost completely destroyed bindweed, common ragweed, field bindweed and partially gray mouse and chicken millet. The use of Pivot was highly effective, as weed infestation was reduced by 79%. Some species of chamomile, white



quinoa and wild violet showed relative resistance to Pivot herbicide. When applying the herbicide Bazagran, it was 77%. It should be noted that the herbicides studied did not inhibit chickpea plants, and no density reduction was observed.

Before harvesting, a slight increase in the number of weeds was observed, but these weeds (mainly field bindweed, ragweed), which sprouted again after irrigation in the second half of the chickpea growing season, did not have a significant impact on the growth and development of the crop. At that time, there was no pronounced effect of sowing methods on weed infestation of chickpea crops.

The objective of our research was to study the formation of yield and quality of chickpea grain depending on the variety, sowing method, and the use of herbicides under drip irrigation. Thus, the studies showed a fairly high efficiency of the above factors in the cultivation of chickpea (Table 6).

Our studies have shown that the methods of sowing chickpea plants significantly affect the level of yield of its seeds. Thus, on average, for all varieties, the maximum grain yield (2.46 t/ha) was obtained in wide-row crops (average for the herbicide background). In this case, the yield increase was 0.17 t/ha or 8% compared to conventional row sowing. The high yield of chickpea in this variant is characterized, first of all, by the optimal spatial and quantitative placement of plants per unit area. The feeding area affects the rate of plant growth and development, as it determines the amount of incoming solar energy, moisture and nutrients. Therefore, by optimizing the sowing method, the yield of chickpea seeds can be regulated.

Table 6 - Influence of sowing methods and herbicide background on the yield of chickpea varieties (average for 2021-2022), t/ha

Variety (factor A)	Herbicide background (factor C)		
	Pulsar	Bazagran	Pivot
Row sowing method (factor B)			
Memory	2,33	1,98	2,21
Triumph	2,42	2,18	2,25
Budzhak	2,53	2,34	2,43
Wide-row sowing method (factor B)			
Memory	2,42	2,26	2,37
Triumph	2,59	2,28	2,48
Budzhak	2,68	2,43	2,65
<i>SSD₀₅, t/ha</i>	<i>A – 0,08, B – 0,06, C – 0,08, AB – 0,13, AC – 0,16, BC – 0,11, ABC – 0,24.</i>		



It is well known that the level of weed infestation of chickpea crops is one of the factors that reduce its productivity. In this regard, research on the effectiveness of herbicides on the formation of chickpea grain yield is quite relevant. Data on the amount of yield reduction are of great importance in the development of an integrated weed control system in chickpea crops, in which the main place is occupied by the definition of such an indicator as the economic threshold for the feasibility of using herbicides.

The data obtained in our studies show that the most effective in irrigated conditions of the South of Ukraine is the use of Pulsar or Pivot herbicides in chickpea crops in the phase of 2-5 true leaves of the crop. In particular, in the variant with the use of Pulsar, the highest crop yield was obtained - 2.49 t/ha, which is 0.09-0.25 t/ha higher than its level when using Bazagran and Pivot, respectively (average for varieties and sowing methods).

Thus, the highest yield of chickpea seeds was formed in wide-row crops, with a yield increase of 0.11 t/ha or 7.8% compared to conventional row sowing. The use of Pulsar herbicide in chickpea crops in the phase of 2-5 true leaves increases seed yield by 0.09-0.25 t/ha or 5-9% compared to the use of other chemicals.

Comparative evaluation of chickpea varieties showed that the variety of the Mediterranean subspecies Bujak proved to be the most adapted to the irrigated conditions of the steppe zone of Ukraine, which on average formed the maximum seed yield of 2.51 t/ha, which is 0.14 t/ha higher than the control variety Triumph. Variety Budzhak at wide-row sowing on the background of the use of herbicide Pulsar, 40% a.i., 1 l/ha in the phase of 2-5 true leaves provided the maximum seed yield (2.68 t/ha).

The food and fodder advantages of chickpea are due to the high protein content in the grain (20-32%). Chickpea ranks fourth among pulses in terms of protein after soybeans, beans and peas. Our studies have shown that the protein content of chickpea grain was significantly influenced by the genetic characteristics of the studied varieties (Table 7). Thus, on average, according to the sowing method and herbicide background, the Bujak variety formed the highest amount of crude protein in seeds - 28.9%, which is 2.9% and 1.6% higher than in the Pamyat and Triumph varieties, respectively [22, 23].

The experiment showed a positive effect on the protein content of chickpea seeds caused by herbicide application. Thus, if when spraying crops in the phase of 2-5 true leaves of the culture with Bazagran, the protein content in the grain of varieties ranged from 25.8%, in the variant of Pivot application the protein content increased to 27.6%



(an increase of 1.8% compared to Bazagran), and when using Pulsar - to 28.7% (an increase of 2.9% compared to Bazagran). Thus, in the context of herbicide backgrounds, the amount of protein in the seeds had a small difference, but it was recorded.

Table 7 - Protein content in chickpea seeds depending on the experimental variants (average for 2021-2022)

Variety (factor A)	Herbicide background (factor C)		
	Pulsar	Bazagran	Pivot
Row sowing method (factor B)			
Memory	26,8	22,8	25,4
Triumph	27,8	25,1	25,9
Budzhak	29,1	26,9	27,9
Wide-row sowing method (factor B)			
Memory	27,8	26,0	27,3
Triumph	29,8	26,2	28,5
Budzhak	30,8	27,9	30,5
<i>Standard deviation S</i>	<i>1,48</i>	<i>1,78</i>	<i>1,85</i>
<i>Standard error Sx</i>	<i>0,60</i>	<i>0,72</i>	<i>0,75</i>

In the context of sowing methods, this indicator had the following values: for continuous sowing in the Pamyat variety - 25.0%, Triumph - 26.3% g, Budzhak - 28.0%; for wide-row sowing, protein in the seeds of the Pamyat variety was accumulated at the level of 27.0%, Triumph - 28.2% g, Budzhak - 29.7%. That is, the difference between the sowing methods was also low and amounted to 1.8-2.0% in favor of the wide-row sowing method with 45 cm row spacing.

Chickpea is a valuable food and fodder crop with significant agrotechnical importance. Its production use is especially important in the extremely arid Steppe of Ukraine. The shortage of high-quality commercial chickpeas on the world market creates a unique opportunity for Ukrainian farmers to improve the financial condition of their farms when growing chickpeas. This should be facilitated by the use of new high-tech varieties, which is the cheapest and most effective way to reduce losses from the negative impact of extreme environmental factors and massive epiphytoses of diseases. These current conditions are the basis for the formation of the program and the practical management of chickpea breeding.

Therefore, one of our objectives was to determine the economic efficiency of the studied agrotechnical methods in chickpea cultivation, such as the use of varieties with



different sowing methods and the use of herbicides under drip irrigation [33]. The economic efficiency of the studied elements of chickpea cultivation technology was determined by the calculation method based on actual prices in 2022 according to the generally accepted methodology - by costs per 1 ha, profit per 1 ha, cost price and profitability.

The analysis of the data showed that when growing chickpeas with different sowing methods, the best results were obtained in wide-row crops at a seeding rate of 0.4 million germinating seeds/ha (Table 8).

Table 8 - Economic indicators of chickpea varieties production depending on sowing methods and herbicide background (average for 2021-2022)

Variety (factor A)	Herbicide background (factor C)	Harvest Yield, t/ha	Protein harvest, kg/ha	Production costs, UAH/ha	Pro forma net profit per 1 hectare, UAH	Profita- bility, %.
Sowing method - row (15 cm)						
Memory	Pulsar	2,33	624	22940	9680	42
	Bazagran	1,98	451	22546	5174	23
	Pivot	2,21	561	22743	8197	36
Triumph	Pulsar	2,42	673	24940	8940	36
	Bazagran	2,18	547	24546	5974	24
	Pivot	2,25	583	24743	6757	27
Budzhak	Pulsar	2,53	736	24940	10480	42
	Bazagran	2,34	629	24546	8214	33
	Pivot	2,43	678	24743	9277	37
Sowing method - wide-row (45 cm)						
Пам'ять	Pulsar	2,42	673	20940	12940	62
	Bazagran	2,26	588	20546	11094	54
	Pivot	2,37	647	20743	12437	60
Триумф	Pulsar	2,59	772	22780	13480	59
	Bazagran	2,28	597	22386	9534	43
	Pivot	2,48	707	22583	12137	54
Буджак	Pulsar	2,68	825	22780	14740	65
	Bazagran	2,43	678	22386	11634	52
	Pivot	2,65	808	22583	14517	64

With the highest yield for all studied varieties, the cheapest seeds were obtained here (8500-9818 UAH/t). In the case of line sowing, the seeding rate of 0.6 million germinating seeds/ha is considered optimal for the formation of a higher seed yield and



economically feasible. However, as a result of lower yields and cost overruns for sowing seeds, this variant results in an increase in cost by 1193-1891 UAH/t and a decrease in profitability by 18-31%.

Among the studied varieties, the highest economic efficiency of grain production was provided by the variety Budzhak. When Pulsar 40 (1 l/ha) was applied, the cultivation of Bujak was the cheapest (the cost of 1 ton was 9858 UAH). Sowing in a wide-row method made it possible to obtain an additional 0.35 tons of grain from 1 hectare, the cost of 1 ton of which, compared to the control (continuous sowing), decreased to 8500 UAH/t, and the profitability was 65%.

In general, for all chickpea varieties, the best results were obtained by applying the herbicide Pulsar and wide-row sowing.

Thus, chickpea cultivation in the irrigated conditions of the Southern Steppe is highly profitable. Depending on the varieties, sowing methods and use of herbicides, production costs per 1 ha are 20546-24940 UAH, the cost of seeds is 8500-11387 UAH/t, and the net profit reaches 5174-14740 UAH/ha at a profitability level of 23 to 65 %.

It was found that the cultivation of the large-grain variety Budzhak provides an advantage in protein collection, in wide-row crops of which, in the best variant of the herbicide Pulsar, the protein collection with the yield reached 825 kg/ha.

Conclusions.

1. The duration of the interphase and vegetation periods of chickpea depended on the variety and sowing methods. The longest vegetation period - 100-105 days - was with the wide-row method of sowing chickpea, and the shortest - with the continuous method of sowing, 93-95 days. The studied chickpea varieties are medium-ripening, the Pamyat variety ripened 2-5 days later, and the difference in the duration of the growing season was insignificant between the other varieties.

2. On average, the total water consumption of chickpea crops from the soil layer of 0-100 cm was 3196-3342 m³/ha. The lowest coefficient of water consumption was formed at a distance between chickpea rows of 45 cm with a seeding rate of 0.4 million seeds/ha. In the context of varieties, the lowest water consumption for the formation of 1 ton of seeds was in the crops of the large-grain variety Budzhak - 1311 m³ of water (average for sowing methods).



3. Due to the slow development in the initial phases, chickpea is largely affected by the negative impact of fast-growing weeds. Therefore, the most effective method of protection is the use of broad-spectrum herbicides on vegetative plants. Thus, against the background of Pulsar 40 (1.0 l/ha) and Pivot (0.8 l/ha), the level of weed infestation of crops was the lowest, and the effectiveness of chemicals reached 79-83%.

4. The highest yield of chickpea seeds was formed in wide-row crops, with a yield increase of 0.11 t/ha or 7.8% compared to conventional row sowing. The use of Pulsar herbicide in chickpea crops increases the seed yield by 0.09-0.25 t/ha or 5-9% compared to the use of other chemicals. Variety Budzhak with wide-row sowing on the background of the use of herbicide Pulsar, 40% a.i., 1 l/ha in the phase of 2-5 true leaves provided the maximum seed yield (2.68 t/ha).

5. Sowing chickpea with a row spacing of 45 cm created the best conditions for the formation of better quality seeds. The protein content under these conditions was the highest and ranged from 27.8 to 30.8% against the background of spraying with Pulsar herbicide. Protein yield by variant varied from 451 to 825 kg/ha.

6. The most economically efficient is the use of a wide-row sowing method, which produces the highest yield for all studied varieties and, accordingly, the cheapest seeds. Wide-row sowing of Budzhak variety for spraying crops with Pulsar herbicide provides a conditional net profit of 14740 UAH/ha and a profitability level of 65%.

For obtaining in the conditions of the South of Ukraine under drip irrigation the yield of chickpea seeds at the level of 2.68 t/ha, conditional protein yield of 825 kg/ha, the lowest water consumption coefficient - 1289 m³/t, with the highest net profit and profitability level of 65 %, it is recommended to sow the large-seeded variety Budzhak with a row spacing of 45 cm, to control weeds, spray crops in the phase of 2-5 leaves of the crop with the herbicide Pulsar, 40% a.i. (Imazamox, 40 g/l) at 1 liter/ha.



Verweise / References

Chapter 1.

1. Подвижной состав и тяга поездов /под ред. В. В. Деева, Н. А. Фуфрянского. – М.: Транспорт, 1979. – 367 с.
2. Транспорт на горных предприятиях / под ред. Б. А. Кузнецова. – М.: Недра, 1976. – 552 с.
3. Волотковский С. А. Рудничная электровозная тяга. 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 389 с.
4. Шахмейстер Л. Г., Солод Г. И. Подземные конвейерные установки / под ред. А. О. Спиваковского. – М.: Недра, 1976. – 432 с.
5. Бабичков А. М., Гурский П. А., Новиков А. П. Тяга поездов и тяговые расчеты. – М.: Транспорт, 1971. – 280 с.
6. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1969. – 317с.
7. Конвейерные поезда в горной промышленности / под ред. Н. С. Полякова. – Киев, Наук. думка, 1974. – 207 с.
8. Ронжес Ю. Н., Малиновский Ю. А., Малиновская С. И. Определение сопротивления движению конвейерного поезда со стабилизирующей системой. – Кривой Рог, 1985. Рукопись деп. В УКРНИИНТИ, №1626Ук-85 Деп, 13 с.
9. Грачев В. В., Флоров Н. В. Испытания стендовой установки конвейерного поезда и теоретические предпосылки к экспериментальным исследованиям устойчивости поезда. – В сб.: Исследование конвейеров. – М.: 1979, №3, с. 39-56.
10. Попов С. О., Малиновская С. И., Данилина Г. В., Малиновский Ю. А., Козырев С.М. Поперечная механика ходовой части конвейерного поезда при его движении. *Металлургическая и горнорудная промышленность* №5, 2016, «Дніпро», с 104-109.
11. Лазарян В. А., Конашенко С. И. Обобщенные функции в задачах механики. – Киев: Наук. думка, 1974. – 191 с.



Chapter 2.

1. Шиян, Л.Н. Химия воды. Водоподготовка: учеб. пособие / Л.Н. Шиян. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 72 с.
2. Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing / Hao Feng, Gustavo V. Barbosa-Cánovas, Jochen Weiss (Eds.). – Springer Science + Business Media, LLC, 2011. – 678 p.
3. Kumar, J.K. Cavitation – a New Horizon in Water Disinfection. Water disinfection by ultrasonic and hydrodynamic cavitation / J.K. Kumar, A.B. Pandit. – Verlag: VDM, 2010. – 304 p.
4. Ozonek, J. Application of Hydrodynamic Cavitation in Environmental Engineering / J. Ozonek. – Boca Raton: CRPress, 2012. – 124 p.
5. Промтов, М.А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861-869.
6. Кнэпп, Р. Кавитация: пер. с англ. / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. – М.: Мир, 1974. – 678 с.
7. Маргулис, М.А. Сонолюминисценция / М.А. Маргулис // Успехи физ. наук. – 2000. – Т. 170, № 3. – С. 263-287.
8. Витенько, Т.Н. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду / Т.Н. Витенько, Я.М. Гумницкий // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29, № 5. – С. 422-432.
9. Промтов, М.А., Алешин, А.В., Колесникова, М.М., Карпов, Д.С. Обеззараживание сточных вод кавитационной обработкой // Вестник ТГТУ. – 2015. – Т. 21, № 1. – С. 105-111.
10. Дубровская, О.Г. Ресурсосберегающие технологии обезвреживания и утилизации отходов предприятий теплоэнергетического комплекса Красноярского края: монография. – Красноярск: Сиб. федер. университет, 2014. – 164 с.
https://studref.com/521728/ekologiya/resursosberegayuschie_tehnologii_obezvr_ezhivaniya_i_utilizatsii_othodov_predpriyatiy_teploenergeticheskogo_k.
11. Долінський, А.А. Принцип дискретно-імпульсного введення енергії та його використання в технологічних процесах // Вісник АН УРСР. – 1984. – № 1. – С. 39-46.



12. Долинский, А.А., Иваницкий, Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. I. Модель динамики одиночного парового пузырька // Пром. теплотехника, 1995. Т. 17, № 5. – С. 3-28.
13. Долинский, А.А., Иваницкий, Г.К. Принципы разработки новых энергоресурсосберегающих технологий и оборудования на основе методов дискретно-импульсного ввода энергии // Промышленная теплотехника, 1997. – Т. 19, № 4. – С. 13-25.
14. Долинский, А.А., Иваницкий, Г.К. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах. Теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии. – К.: Наукова думка, 2008. – 381 с.
15. Басок, Б.И., Гартвиг, А.П., Коба, А.Р. Оборудование для получения и обработки высоковязких дисперсных сред // Промышленная теплотехника, 1996. – № 1. – С. 50-56.
16. Накорчевский, А.И., Басок, Б.И., Рыжкова, Т.С. Гидродинамика роторно-пульсационных аппаратов // ИФЖ, 2002. – Т. 75, № 2. – С. 58-68.
17. Долинский, А.А., Ободович, А.Н., Борхаленко, Ю.А. Метод дискретно-импульсного ввода энергии и его реализация. Харьков: Вірованець А.П. «Апостроф», 2012. 184 с.

Chapter 3.

1. Antamoshkina E.N. Agrarian policy: efficiency and conditions for optimization // Food policy and security, 2016. № 3. doi: 10.18334/ppib.3.3.36494.
2. Arinicheva I.V., Bessarabova S.S., Likhota U.A. Development of digital economy in the agricultural sector // Modern Fundamental and Applied Research, 2018. № 2(29).
3. Belikova I.P. Innovative development of the agrarian sector on the basis of digital economy // Economics and management: problems, solutions, 2018. № 11.
4. Dudin M.N. (2018). Tsifrovizatsiya kak osnovnoy faktor rosta konkurentosposobnosti natsionalnogo APK [Digitalization as a major factor of growth of the national agribusiness competitiveness] Strategic trends of transformation of socio-economic systems in the digital economy. 39-42.



5. Altukhov, A.I., Dudin M.N., Anischenko A.N. (2019). Globalnaya tsifrovizatsiya kak organizatsionno-ekonomicheskaya osnova innovatsionnogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa RF [Global digitalization as an organizational and economic basis for the innovative development of the agroindustrial complex of the Russian Federation]. Problemy rychnoy ekonomiki. (2). 17-27. doi: 10.33051/2500-2325-2019-2-17-27 .
6. Kirilova O.V. Peculiarities of agrarian management in the digital economy // Vestnik nauki, 2018. № 7(7).
7. European Parliament. Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth. Brussels: European Parliamentary Research Service, 2015a

Chapter 4.

1. Chang, Chein-I. Hyperspectral Data Exploitation: Theory and Applications / Chein-I Chang // Wiley-Interscience. – 2007. – 440 p.
2. Foreword to the Special Issue on Hyperspectral Image and Signal Processing / A. Plaza, J.M. Bioucas-Dias, A. Simic, W.J. Blackwell // IEEE Journal on Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2012. – Vol. 5, No 2. – P. 347-353.
3. Kussul, N. Parcel-Based Crop Classification in Ukraine Using Landsat-8 Data and Sentinel-1A Data / N. Kussul, G. Lemoine, F.J. Gallego, S.V. Skakun, M. Lavreniuk, A. Shelestov // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2016. – No 9. – P. 2500–2508. – doi:10.1109/JSTARS.2016.2560141.
4. Khorram, S. Future Trends in Remote Sensing. In Principles of Applied Remote Sensing / S. Khorram, C.F. Van der Wiele, F.H. Koch, S.A.C Nelson, M.D. Potts // Springer International Publishing: Cham, 2016. – P. 277–285. – ISBN 978-3-319-22559-3.
5. Marcuccio, S. Smaller Satellites, Larger Constellations: Trends and Design Issues for Earth Observation Systems / S. Marcuccio, S. Ullo, M. Carminati, O. Kanoun // IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag. – 2019. – No 34. – P. 50–59. – doi:10.1109/MAES.2019.2928612.
6. van Zyl Marais, I. Onboard image quality assessment for a small low earth orbit satellite / van Zyl Marais I., Steyn W.H., du Preez J.A. // In Proceedings of the 7th



- IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation. – Berlin, Germany. – 2009. – P. Paper IAA B7-0602.
7. Li, Y. Image deblurring for satellite imagery using small-support-regularized deconvolution /Y. Li, K.C. Clarke // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. – 2013. – No. 85. – P. 148–155. – doi:10.1016/j.isprsjprs.2013.08.002.
 8. Xia, H. Remote Sensing Image Deblurring Algorithm Based on WGAN. In Service-Oriented Computing – ICSOC 2018 Workshops / X. Liu, M. Mrissa, Eds // Lecture Notes in Computer Science; Springer International Publishing: Cham. – 2019. – Vol. 11434. – P. 113–125 ISBN 978-3-030-17641-9.
 9. Lukin ,V. Decision Making on Expedience of Image Denoising / V. Lukin. – 2020. – Glasnik OPN. – Podgorica, Montenegro. – Issue 24. – 22 p.
 10. Christophe, E. Hyperspectral Data Compression Tradeoff / E. Christophe. – Optical Remote Sensing. – 2011. – Berlin: Springer. – Vol. 8. – P. 9-29.
 11. Approaches to Automatic Data Processing in Hyperspectral Remote Sensing /V. Lukin, S. Abramov, N. Ponomarenko, S. Krivenko, M. Uss, B. Vozel, K. Chehdi, K. Egiazarian, J. Astola // Telecommunications and Radio Engineering. – 2014. –Vol. 73, No. 13. –P. 1125-1139.
 12. Blanes, I. A Tutorial on Image Compression for Optical Space Imaging Systems /I. Blanes, E. Magli, J. Serra-Sagrista // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. – 2014. – Vol. 2, No. 3. – P. 8-26.
 13. Performance evaluation of the H.264/AVC video coding standard for lossy hyperspectral image compression /L. Santos, S. Lopez, G. Callico, J. Lopez, R. Sarmiento // IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.– 2012. – Vol. 5, No. 2. – P. 451–461.
 14. Lukin, V. Lossy compression of images without visible distortions and its applications /Lukin, M. Zriakhov, S. Krivenko, N. Ponomarenko, Z. Miao// Proceedings of ICSP, Beijing. – 2010. – P. 694-697.
 15. Demchenko, D. A two-step approach to providing a desired quality of lossy compressed images /D. Demchenko, I. Dyogtev, S. Krivenko, V. Lukin// Proceedings of ICTM. – Kharkov, Ukraine. – 2020. – P 482-491.
 16. Ponomarenko, N. Image lossy compression providing a required visual quality / N. Ponomarenko, A. Zemliachenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola// in CD-ROM Proc. of the Seventh International VPQM Workshop. – 2013. – 6 p.



17. Li, F. Analysis of two-step approach for compressing texture images with desired quality /F. Li, S.S. Krivenko, V.V. Lukin// *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2020. – № 1 (161). – С. 50-58.
18. Li, F. A Two-step Approach to Providing a Desired Visual Quality in Image Lossy Compression /F. Li, S.S. Krivenko, V.V. Lukin// *Proceedings of TCSET 2020*. – Feb. 2020. – Slavske, Ukraine. – 5 p.
19. Ieremeiev, O. Full-Reference Quality Metric Based on Neural Network to Assess the Visual Quality of Remote Sensing Images /O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Okarma, K. Egiazarian // *Remote Sensing*. – July 2020. – 31 p. – DOI: 10.3390/rs12152349.
20. Ieremeiev, O. Improved robust linearized full-reference combined metric for remote sensing imaging /O. Ieremeiev, V. Abramova, K. Okarma, K. Egiazarian// *Proceedings of 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week*. – September 2020. – Kharkov, Ukraine. – 6 p.
21. Okarma, K. Quality Assessment of 3D Printed Surfaces Using Combined Metrics Based on Mutual Structural Similarity Approach Correlated with Subjective Aesthetic Evaluation /K. Okarma, P. Lech, J. Fastowicz, V. Lukin// *Applied Sciences*. – Sept 2020. – Vol. 10, No. 18. – 6248 p. – DOI: 10.3390/app10186248.
22. Schowengerdt, R. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing* /R. Schowengerdt. – 3rd ed. San Diego, CA: Academic Press. – 2007. – 515 p.
23. Joshi, N. A Review of the Application of Optical and Radar Remote Sensing Data Fusion to Land Use Mapping and Monitoring / N. Joshi, M. Baumann, et al. // *Remote Sensing*. – 2016, – Vol. 8. – 70 p.
24. Zhong, P. Multiple-spectral-band CRFs for denoising junk bands of hyperspectral imagery /P. Zhong, R. Wang // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2013. – Vol.51, No. 4. – P. 2269–2275.
25. Abramov, S. Enhancement of Component Images of Multispectral Data by Denoising with Reference /S. Abramov, M. Uss, V. Lukin, B. Vozel et al. // *Remote Sensing*. – 2019. – Vol. 11. – 611 p.
26. Zemliachenko, A. Lossy compression of hyperspectral images based on noise parameters estimation and variance stabilizing transform /A. Zemliachenko, R. Kozhemiakin, M. Uss, S. Abramov, N. Ponomarenko, V. Lukin, et al.// *Applied Remote Sensing*. – 2014. – Vol. 8, No. 1. – 083571 p.



27. Taubman, D. JPEG2000 Image Compression Fundamentals / D. Taubman, M. Marcellin // Standards and Practice. – Springer, Boston: Kluwer. – 2002. – 777 p., DOI: 10.1007 /978-1-4615-0799-4.
28. Rubel, O. NN-Based Prediction of Sentinel-1 SAR Image Filtering Efficiency /O. Rubel, V. Lukin, A. Rubel, K. Egiazarian // Geosciences. – 2019. – Vol. 9, No. 7. – 290 p.
29. Christophe, Emmanuel Quality Criteria Benchmark for Hyperspectral Imagery / Christophe Emmanuel, Leger Dominique, Mailhes Corinne // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2005. – Vol 43. – P. 2103 - 2114.
30. Dellepiane, Silvana Quality Assessment of Despeckled SAR Images / Dellepiane Silvana, Angiati Elena //IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2014. – Vol. 7. – P. 691-707.
31. Lukin, V. Analysis of classification accuracy for pre-filtered multichannel remote sensing data / V. Lukin, S. Abramov, S. Krivenko, A. Kurekin, O. Pogrebnyak // Expert Systems with Applications. – 2013. – Vol. 40. – P. 6400-6411.
32. Oscar, A. Perceptual Quality Assessment of Pan-Sharpned Images /A. Oscar, Agudelo-Medina, Hernan Dario Benitez-Restrepo, Gemine Vivone, Alan Bovik // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11, No.7. – 877 p.
33. Moreno-Villamarin, D. Predicting the Quality of Fused Long Wave Infrared and Visible Light Images /D. Moreno-Villamarin, H. Benitez-Restrepo, A. Bovik // IEEE Trans. Image Process. – 2017. – Vol. – 26. – P. 3479–3491.
34. Jagalingam, P. A Review of Quality Metrics for Fused Image / P. Jagalingam, Arkal Vittal Hegde// Aquatic Procedia. – 2015. – Vol. 4. – P. 133-142. – [https://doi.org/ 10.1016/j.aqpro.2015.02.019](https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.019).
35. Yuan, T. A Method for the Evaluation of Image Quality According to the Recognition Effectiveness of Objects in the Optical Remote Sensing Image Using Machine Learning Algorithm /T. Yuan, X. Zheng, X. Hu, W. Zhou, W. Wang// PLoS ONE. – 2014. – Vol. 9, No. 1. – p. e86528.
36. Yang K. Optimized-SSIM Based Quantization in Optical Remote Sensing Image Compression /K. Yang, H. Jiang// 2011 Sixth International Conference on Image and Graphics. – Hefei, Anhui, 2011. – P. 117-122.
37. Reza Khosravi, Mohammad MRF-Based Multispectral Image Fusion Using an Adaptive Approach Based on Edge-Guided Interpolation /Mohammad Reza Khosravi, Mohammad Sharif-Yazd, Mohammad Kazem Moghimi, Ahmad



- Keshavarz, Habib Rostami, Suleiman Mansouri// Journal of Geographic Information System. – 2017. – Vol. 9, No. 2. – P. 114-125.
38. Lin, W. Perceptual visual quality metrics: A survey /W. Lin, C. C. Jay Kuo // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 2011. – Vol. 22, No. 4. – P. 297-312.
 39. Chandler, D. M. Seven Challenges in Image Quality Assessment: Past, Present, and Future Research /D. M. Chandler – ISRN Signal Processing. – 2013. – Vol. 2013. –P. 1-53.
 40. Image database TID2013: Peculiarities, results and perspectives /N. Ponomarenko, L. Jin, O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola, B. Vozel, K. Chehdi, M. Carli, F. Battisti, C.-C. Jay Kuo // Journal of Signal Processing: Image Communication. – 2015. – Vol. 30. – P. 57–77.
 41. Lin, H. KADID-10k: A Large-scale Artificially Distorted IQA Database / H. Lin, V. Hosu, D. Saupe// 2019 Eleventh International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). – Berlin, Germany. – 2019. – P. 1-3.
 42. Sun, W. MDID: a multiply distorted image database for image quality assessment / W. Sun, F. Zhou, Q. M. Liao // Pattern Recognit. – 2017. – Vol. – 61C. – P. 153-168.
 43. Okarma, K. Colour Image Quality Assessment Using the Combined Full-reference Metric /K. Okarma. – Computer recognition Systems 4, Advances in Intelligent and Soft Computing. – 2011. – Vol. 95. – P. 287-296.
 44. Ieremeiev, O. Robust linearized combined metrics of image visual quality /O. Ieremeiev, V. Lukin, N. Ponomarenko, K. Egiazarian //Electronic Imaging, Image Proc.: Algorithms and Systems XVI. – 2018. – P. 1-6.
 45. Lukin, V. V. Combining of full-reference image visual quality metrics by neural network /V. V. Lukin, N. N. Ponomarenko, O. I. Ieremeiev, K. O. Egiazarian, J. Astola // Proceedings of SPIE 9394 Human Vision and Electronic Imaging XX. – San Francisco. –2015.
 46. List of the full-reference metrics: <https://github.com/OlegIeremeiev/IQA/wiki/MRRS2020>.
 47. Jayaraman, D. Objective Quality Assessment of Multiply Distorted Images /D. Jayaraman, A. Mittal, A. K. Moorthy, A. C. Bovik // Proceedings of Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. – 2012.



48. Wallace, G. K. The JPEG still picture compression standard / G. K. Wallace – Commun. ACM. – 1991. – Vol. 34. – P 30–44.
49. Dellepiane, S.G. Quality Assessment of Despeckled SAR Images /S.G. Dellepiane, E. Angiati // IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. – 2014. – Vol. – 7. – P. 691–707.
50. Ponomarenko, N. N. DCT Based High Quality Image Compression /N. N. Ponomarenko, V. V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // Proceedings of 14th Scandinavian Conference on Image Analysis. – 2005. – Vol. 14. – P. 1177-1185.
51. Ponomarenko, N. ADCT: A new high quality DCT based coder for lossy image compression /N. Ponomarenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola // CD ROM Proceedings of LNLA. – 2008. – 6 p.
52. Ponomarenko, N. Lossy Compression of Noisy Images Based on Visual Quality: a Comprehensive Study /N. Ponomarenko, S. Krivenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola// EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2010. – Article ID 976436. – 13 p.
53. Rubel, O. NN-Based Prediction of Sentinel-1 SAR Image Filtering Efficiency /O. Rubel, V. Lukin, A. Rubel, K. Egiazarian // Geosciences 2019. – Vol. 9. – 290 p.
54. Rubel, O. Blind Prediction of Original Image Quality for Sentinel SAR Data /O. Rubel, A. Rubel, V. Lukin, M. Carli, K. Egiazarian// Proceedings of the 2019 8th European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP); IEEE. – Rome, Italy, – 2019. – P. 105–110.
55. Christophe E. Quality criteria benchmark for hyperspectral imagery /E. Christophe, D. Leger, C. Mailhes // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – 2005. – Vol. 43, No. 9. – P. 2103-2114.
56. García-Sobrino, J. Impact of Near-Lossless Compression of IASI L1C data on Statistical Retrieval of Atmospheric Profiles /J. García-Sobrino, I. Blanes, V. Laparra, G. Camps-Valls, J. Serra-Sagristà // Proceedings of the 4th On-Board Payload Data Compression Workshop (OBPDC). – Venice, Italy. – 2014.
57. Lukin, V. Analysis of classification accuracy for pre-filtered multichannel remote sensing data /V. Lukin, S. Abramov, S. Krivenko, A. Kurekin, O. Pogrebnyak // Expert Syst. Appl. 2013. – Vol. – 40. – P. 6400–6411. – doi:10.1016/j.eswa.2013.05.061.



58. Hanley, J.A. A method of comparing the areas under receiver operating characteristic curves derived from the same cases /J.A. Hanley, B.J. McNeil// Radiology 1983. – Vol. 148. – P. 839–843. – doi:10.1148/radiology.148.3.6878708.
59. Congalton, R.G. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices / R.G. Congalton, K. GreenMapping // Mapping science series; Lewis Publications. – Boca Raton, 1999. – ISBN 978-0-87371-986-5.
60. Hou, H. A Super-resolution Reconstruction Method of Remotely Sensed Image Based on Sparse Representation /H. Zhou, H. Gao, X. Tian // Sens. Transducers J. – 2013. – Vol. 160. – P. 229–236.
61. Aswathy, C. Hyperspectral Image Denoising Using Low Pass Sparse Banded Filter Matrix for Improved Sparsity Based Classification /C. Aswathy, V. Sowmya, K.P. Soman // Procedia Comput. Sci. – 2015. – Vol. – 58. – P. 26–33. – doi:10.1016/j.procs.2015.08.005.
62. Kumar, T.G. Image enhancement and performance evaluation using various filters for IRS-P6 Satellite Liss IV remotely sensed data /T.G. Kumar, D. Murugan, K.; Rajalakshmi, T.I. Manish // Geofizika 2015. – P. 179–189. – doi:10.15233/gfz.2015.32.11.
63. Agudelo-Medina, O.A. Perceptual Quality Assessment of Pan-Sharpned Images /O.A. Agudelo-Medina, H.D. Benitez-Restrepo, G. Vivone, A. Bovik // Remote Sens. – 2019. – Vol. 11. – P. 877. – doi:10.3390/rs11070877.
64. Moreno-Villamarin, D.E. Predicting the Quality of Fused Long Wave Infrared and Visible Light Images /D.E. Moreno-Villamarin, H.D. Benitez-Restrepo, A.C. Bovik // IEEE Trans. Image Process. – 2017. – Vol. 26. – P. 3479–3491. – doi:10.1109/ TIP.2017.2695898.
65. Jagalingam, P. A Review of Quality Metrics for Fused Image / P. Jagalingam, A.V. Hegde // Aquat. Procedia. – 2015. – Vol. – 4. – P. 133–142. – doi:10.1016/j.aqpro.2015.02.019.
66. Yuan, T. A Method for the Evaluation of Image Quality According to the Recognition Effectiveness of Objects in the Optical Remote Sensing Image Using Machine Learning Algorithm / T. Yuan, X. Zheng, X. Hu, W. Zhou, W. Wang // PLoS ONE 2014. – Vol. 9. – e86528 p. – doi:10.1371/journal.pone.0086528.



67. Wang, Z. Image quality assessment: From error visibility to Structural Similarity /Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh, E. Simoncelli// IEEE Trans. Image Process. – 2004. – Vol. 13. – P. 600–612.
68. Wang, Z. A universal image quality index /Z. Wang, A. Bovik// IEEE Signal Process. Lett. – 2002. – Vol. 9. – P. 81–84.
69. Guo, J. Image matching using structural similarity and geometric constraint approaches on remote sensing images /J. Guo, F. Yang, H. Tan, J. Wang, Z. Liu// J. Appl. Remote Sens. – 2016. – Vol. 10. – 045007 p. – doi:10.1117/1.JRS.10.045007.
70. Liu, D. No-reference remote sensing image quality assessment based on the region of interest and structural similarity / D. Liu, Y. Li, S. Chen // In Proceedings of the Proceedings of the 2nd International Conference on Advances in Image Processing - ICAIP '18. – ACM Press: Chengdu, China. – 2018. – P. 64–67.
71. DCT-based compression of remote sensing images with providing a desired visual quality /S.S. Krivenko, S.K. Abramov, V.V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // Lossy In Proceedings of the Image and Signal Processing for Remote Sensing XXV; Bruzzone, L., Bovolo, F., Benediktsson, J.A., Eds. – SPIE: Strasbourg, France. – 2019. – p. 36.
72. Lin, W. Perceptual visual quality metrics: A survey /W. Lin, C.-C. Jay Kuo // J. Vis. Commun. Image Represent. – 2011. – Vol. 22. – P. 297–312. – doi:10.1016/j.jvcir.2011.01.005.
73. Chandler, D.M. Seven Challenges in Image Quality Assessment: Past, Present, and Future Research / D.M. Chandler – ISRN Signal Process. 2013. – 2013. – P. 1–53. – doi:10.1155/2013/905685.
74. Niu, Y. 2D and 3D Image Quality Assessment: A Survey of Metrics and Challenges / Y. Niu, Y. Zhong, W. Guo, Y. Shi, P. Chen// IEEE Access 2019. – Vol. 7. – P. 782–801. – doi:10.1109/ACCESS.2018.2885818.
75. Zhai, G. Perceptual image quality assessment: a survey / G. Zhai, X. Min // Sci. China Inf. Sci. –2020. – Vol. 63. – 211301 p. – doi:10.1007/s11432-019-2757-1.
76. Wang, Z. Multi-scale structural similarity for image quality assessment /Z. Wang, E. P. Simoncelli, A. C. Bovik// IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers. – 2003. – Vol. 2. – P. 1398-1402.



77. Okarma, K. Combined Full-Reference Image Quality Metric Linearly Correlated with Subjective Assessment. In Artificial Intelligence and Soft Computing; Rutkowski /L., Scherer, R., Tadeusiewicz, R., Zadeh, L.A., Zurada, J.M., Eds.// Lecture Notes in Computer Science; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. – 2010. – Vol. 6113. – P. 539–546 ISBN 978-3-642-13207-0.
78. Okarma, K. Extended Hybrid Image Similarity – Combined Full-Reference Image Quality Metric Linearly Correlated with Subjective Scores / Okarma, K. – Electron. Electr. Eng. – 2013. – Vol. 19. – P. 129–132. – doi:10.5755/j01.eee.19.10.5908.
79. Bosse, S. Deep Neural Networks for No-Reference and Full-Reference Image Quality Assessment /S. Bosse, D. Maniry, K.-R. Muller, T. Wiegand, W. Samek // IEEE Trans. Image Process. – 2018. – Vol. 27. – P. 206–219. – doi:10.1109/TIP.2017. 2760518.
80. Bosse, S. A deep neural network for image quality assessment / S. Bosse, D. Maniry, T. Wiegand, W. Samek // Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – IEEE: Phoenix, AZ, USA. – 2016. – P. 3773–3777.
81. Bosse, S. Neural network-based full-reference image quality assessment /S. Bosse, D. Maniry, K.-R. Muller, T. Wiegand, W. Samek // Proceedings of the 2016 Picture Coding Symposium (PCS). – IEEE: Nuremberg, Germany. – 2016. – P. 1–5.
82. Prashnani, E. PieAPP: Perceptual Image-Error Assessment Through Pairwise Preference /E. Prashnani, H. Cai, Y. Mostofi, P. Sen // Proceedings of the 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – IEEE: Salt Lake City, UT. – 2018. – P. 1808–1817.
83. Seo, S. JND-SalCAR: A Novel JND-based Saliency-Channel Attention Residual Network for Image Quality Prediction / S. Seo, S. Ki, M. Kim // ArXiv190205316 Cs 2019.
84. Athar, S. A Comprehensive Performance Evaluation of Image Quality Assessment Algorithms / S. Athar, Z. Wang // IEEE Access 2019. – Vol. 7. – P. 140030–140070. – doi:10.1109/ACCESS.2019.2943319.
85. Lukin, V. Analysis of HVS-Metrics' Properties Using Color Image Database TID2013 /V. Lukin, N. Ponomarenko, K. Egiazarian, J. Astola // Proceedings of ACIVS. – October 2015. – Italy. – P. 613-624.



86. Tibshirani, R. Regression Shrinkage and Selection Via the Lasso / R. Tibshirani – J. R. Stat. Soc. Ser. B Methodol. – 1996. – Vol. 58. – P. 267–288. – doi:10.1111/j.2517-6161.1996.tb02080.x.
87. Efficiency analysis for 3D filtering of multichannel images /R.A. Kozhemiakin, O. Rubel, S.K. Abramov, V.V. Lukin, B. Vozel, K. Chehdi // Bruzzone, L., Bovolo, F., Eds. – Edinburgh, United Kingdom. – 2016. – 1000406 p.
88. Ponomarenko, N. DCT Based High Quality Image Compression /N. Ponomarenko, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola// Image Analysis; Kalviainen, H., Parkkinen, J., Kaarna, A., Eds.; Lecture Notes in Computer Science. – Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. – 2005. – Vol. 3540. – P. 1177–1185. – ISBN 978-3-540-26320-3.
89. Stephens, B. Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. Atmos / B. Stephens, P. Azimi, Z.E. Orch, T. Ramos // Environ. – 2013. – Vol. 79. – P. 334–339.
90. Azimi, P. Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments /P. Azimi, D. Zhao, C. Pouzet, N.E. Crain, B. Stephens// Environ. Sci. Technol. – 2016. – Vol. 50. – P. 1260–1268.
91. Fastowicz, J. Objective 3D Printed Surface Quality Assessment Based on Entropy of Depth Maps /J. Fastowicz, M. Grudzinski, M. Teclaw, K. Okarma // Entropy 2019. – Vol. 21. – 97 p.
92. Okarma, K. Improved quality assessment of colour surfaces for additive manufacturing based on image entropy /K. Okarma, J. Fastowicz // Pattern Anal. Appl. 2020. – Vol. 23. – P. 1035–1047.
93. Cheng, Y. Vision-Based Online Process Control in Manufacturing Applications /Y. Cheng, M.A. Jafari // IEEE Trans. Autom. Sci. Eng. 2008. – Vol. 5. – P. 140–153.
94. Delli, U. Automated Process Monitoring in 3D Printing Using Supervised Machine Learning / U. Delli, S. Chang // Procedia Manuf. 2018. – Vol. 26. – P. 865–870.
95. Szkilnyk, G. Vision Based Fault Detection of Automated Assembly Equipment /G. Szkilnyk, K. Hughes, B. Surgenor// Proceedings of the ASME/IEEE International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and



- Applications, Parts A and B. – Qingdao, China. – 15–17 July 2010. – ASMEDC: Washington, DC, USA, 2011. – Volume 3. – P. 691–697.
96. Chauhan, V. A Comparative Study of Machine Vision Based Methods for Fault Detection in an Automated Assembly Machine /V. Chauhan, B. Surgenor // *Procedia Manuf.* 2015. – Vol. 1. – P. 416–428.
 97. Chauhan, V. Fault detection and classification in automated assembly machines using machine vision /V. Chauhan, B. Surgenor // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2017. – Vol. 90. – P. 2491–2512.
 98. Online defect detection in layered manufacturing using process signature / T. Fang, M.A. Jafari, I. Bakhadyrov, A. Safari, S. Danforth, N. Langrana // *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics.* – San Diego, CA, USA. – 14 October 1998. – IEEE: Piscataway, NJ, USA. – 1998. – Volume 5. – P.. 4373–4378.
 99. Fang, T. Signature analysis and defect detection in layered manufacturing of ceramic sensors and actuators /T. Fang, M.A. Jafari, S.C. Danforth, A. Safari // *Mach. Vis. Appl.* 2003. – Vol. 15. – P. 63–75.
 100. In situ process monitoring in selective laser sintering using optical coherence tomography /M.R. Gardner, A. Lewis, J. Park, A.B. McElroy, A.D. Estrada, S. Fish, J.J. Beaman, T.E. Milner// *Opt. Eng.* 2018. – Vol. – 57. – 1 p.
 101. Lane, B. Thermographic measurements of the commercial laser powder bed fusion process at NIST / B. Lane, S. Moylan, E.P. Whinton, L. Ma // *Rapid Prototyp. J.* 2016. – Vol. 22. – P. 778–787.
 102. Optical Properties of 3D Printable Plastics in the THz Regime and their Application for 3D Printed THz Optics /S.F. Busch, M. Weidenbach, M. Fey, F. Schäfer T., Probst, M. Koch // *J. Infrared Millim. Terahertz Waves* 2014. – Vol. 35. – P. 993–997.
 103. Straub, J. Identifying positioning-based attacks against 3D printed objects and the 3D printing process /J. Straub. – *Pattern Recognition and Tracking XXVIII, Proceedings of the SPIE Defense + Security*, Anaheim, CA, USA. – 16 June 2017. – Alam, M.S., Ed. – SPIE: Bellingham, WA, USA. – 2017. – Volume 10203.
 104. Manufacturing and Security Challenges in 3D Printing / S.E. Zeltmann, N. Gupta, N.G. Tsoutsos, M. Maniatakos, J. Rajendran, R. Karri // *JOM* 2016. – Vol. 68. – P. 1872–1881.



105. Holzmond, O. In situ real time defect detection of 3D printed parts /O. Holzmond, X. Li // *Addit. Manuf.* 2017. – Vol. 17. – P. 135–142.
106. Scime, L. Anomaly detection and classification in a laser powder bed additive manufacturing process using a trained computer vision algorithm. *Addit / L. Scime, J. Beuth // Manuf.* 2018. – Vol. 19. – P. 114–126.
107. Turloukis, G. Data driven approach to quality assessment of 3D printed electronic products /G. Turloukis, S. Stoyanov, T. Tilford, C. Bailey // *Proceedings of the 38th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*. – Eger, Hungary, 6–10 May 2015. – IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2015. – P. 300–305.
108. Straub, J. Initial Work on the Characterization of Additive Manufacturing (3D Printing) Using Software Image Analysis /J. Straub – *Machines* 2015. – Vol. – 3. – P. 55–71.
109. Straub, J. An approach to detecting deliberately introduced defects and micro-defects in 3D printed objects /J. Straub – In *Pattern Recognition and Tracking XXVIII, Proceedings of the SPIE Defense + Security*. – Anaheim, CA, USA. – 16 June 2017. – Alam, M.S., Ed. – SPIE: Bellingham, WA, USA. – 2017. – Volume 10203.
110. Okarma, K. Quality Assessment of 3D Printed Surfaces Using Combined Metrics Based on Mutual Structural Similarity Approach Correlated with Subjective Aesthetic Evaluation /K. Okarma, J. Fastowicz, P. Lech, V. Lukin// *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10. – P. 6248.
111. Combined Full-Reference Image Quality Metric Linearly Correlated with Subjective Assessment /K. Okarma, L. Rutkowski, R. Scherer, R. Tadeusiewicz, L.A. Zadeh, J.M. Zurada, Eds. // In *Artificial Intelligence and Soft Computing, Proceedings of the 10th International Conference Proceedings, ICAISC 2010*. – Zakopane, Poland. – 13–17 June 2010. – Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2010. – Volume 6113. – P. 539–546.
112. Sheikh, H. Image information and visual quality /H. Sheikh, A. Bovik// *IEEE Trans. Image Process.* – 2006. – Vol. 15. – P. 430–444.
113. Mansouri, A. Image quality assessment using the singular value decomposition theorem /A. Mansouri, A.M. Aznavah, F. Torkamani-Azar, J.A. Jahanshahi // *Opt. Rev.* 2009. – Vol. 16. – P. 49–53.



114. Okarma, K. Combined image similarity index /Okarma, K. – Opt. Rev. 2012. – Vol. 19. – P. 349–354.
115. Athar, A Comprehensive Performance Evaluation of Image Quality Assessment Algorithms /S. Athar, Z. Wang // IEEE Access 2019. – Vol. 7. – P. 140030–140070.
116. Oszust, M. A Regression-Based Family of Measures for Full-Reference Image Quality Assessment /Oszust, M. – Meas. Sci. Rev. 2016. – Vol. 16. – P. 316–325.
117. Liu, T.J. Image Quality Assessment Using Multi-Method Fusion /T.J. Liu, W. Lin, C.C.J. Kuo // IEEE Trans. Image Process. 2013. – Vol. 22. – P. 1793–1807.
118. Okarma, K. Application of Structural Similarity Based Metrics for Quality Assessment of 3D Prints /K. Okarma, J. Fastowicz, M. Teclaw// In Computer Vision and Graphics, Proceedings of the International Conference, ICCVG 2016. – Warsaw, Poland. – 19–21 September 2016. – L.J. Chmielewski, A. Datta, R. Kozera, K. Wojciechowski, Eds. – Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2016. – Volume 9972. – P. 244–252.
119. Okarma, K. Adaptation of Full-Reference Image Quality Assessment Methods for Automatic Visual Evaluation of the Surface Quality of 3D Prints /K. Okarma, J. Fastowicz// Elektron. Elektrotechnika 2019. – Vol. 25. – P. 57–62.

Chapter 5.

1. 5G System Design Architectural and Functional Considerations and Long Term Research, Edited by P. Marsch, Ö. Bulakçi, O. Queseth, M. Boldi. – Wiley, 2018. – 580 (ISBN: 9781119425120).
2. Теорія систем мобільних інфокомунікацій. Системна архітектура [Електронний ресурс] : навчальний посібник / С. О. Кравчук ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 18,17 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 683с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/53198>
3. Ahmadi S. 5G NR: Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards. - London: Academic Press, 2019. – 1020 p.



Chapter 6.

1. Цілюща архітектура — як планування будівлі сприяє добробуту та зціленню
Режим доступу до ресурсу: <https://www.geze.ua/uk/cikavini-novini/temi/ciljushcha-arkhitektura>
2. Світло та стерильність: як туберкульоз змінив архітектуру / Наталія Марків-Буковська. Режим доступу до ресурсу: <https://www.prostranstvo.media/uk/svitlo-ta-sterylnist-yak-tuberkuloz-zminyv-arhitekturu/>
3. Як місто впливає на наш настрій і поведінку / Майкл Бонд / BBC Future - 07.06.2017. Режим доступу до ресурсу: <https://www.bbc.com/ukrainian/vert-fut-40186983>
4. The nature and extent of healthy architecture: the current state of progress / Louis Rice - 08.05.2019. Режим доступу до ресурсу: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ARCH-11-2018-0005/full/html>
5. Абрагам Маслоу та його кроки до щастя / Марися Тишкевич / 01.04.2023. Режим доступу до ресурсу: <https://uain.press/blogs/abragam-maslou-ta-jogo-kroky-do-shhastya-1209346>
6. Піраміда Маслоу – що це таке коротко. Режим доступу до ресурсу: <https://termin.in.ua/piramida-maslou/>
7. Що таке ергономіка у дизайні / Альона Ярош / 05.10.2022. Режим доступу до ресурсу: <https://nerukhomi.ua/ukr/news/lajfhaki/scho-take-ergonomika-u-dizajni.htm>
8. Класифікація та основні частини будинків і споруд / 06.10.2020. Режим доступу до ресурсу: <https://kvpubd.kiev.ua/wp-content/uploads/2020/10/prijma-yu.a.-tehnologi%D1%97-elektromontazhnih-robit-42-grupa-urok-3-4.pdf>
9. Азін В. О., Байда Л. Ю., Грибальський Я. В., Красюкова-Еннс О. В. Доступність та універсальний дизайн : навч.-метод. посіб./ за заг. ред. Байди Л. Ю., Красюкової-Еннс О. В. — К., 2013. —130с.
10. Чепань М.-Л. А. Ергономіка / Енциклопедія сучасної України. Том 9.Е-Ж. — К.: Інститут енциклопедичних досліджень Національної академії наук України, 2009.



11. Марк Миллс Облачная революция. Как конвергенция новых технологий вызовет следующий экономический бум. – 2022.
12. Конопльова О. В. Проблемы гуманизации архитектурного середовища исторических мест Украины / О. В. Конопльова // Региональная политика : исторические истоки, законодательное регулирование, практическая реализация : сб. науч. работы : в 2 ч. / Киев. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; редкол. : П. М. Куликов (голова) [та ін.]. – Киев ; Тернопіль : Економічна думка, 2016. - Вип. 2, ч. 2 : Друга міжнародна наук.- практ. конф., Київ, 14 -15 грудня 2016 р. - С. 57 - 61.
13. Радионова Л. А. (2015). Город как социальная система: хрестоматия // Харьков. нац. ун-т город. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 163 с
14. Рижова І.С., Прусак В.Ф., Мигаль С.П. Резанова Н.О. (2017). Дизайн середовища: Словник-довідник / За ред. д.філософ.н., проф. І.С.Рижової. Львів: Простір-М. 360 с.
15. Крижановська Н. Я., (2010). Открытые архитектурные пространства центра Харькова: монография. Харьков: ХНАМГ, 219 с. 10. Крижановська Н. Я., Вотинов М. А. (2016). Принципы гуманизации архитектурно-градостроительной инфраструктуры в крупнейших городах Украины (на примере города Харькова): монография. Харьков. нац. ун-т гор. хозва им. А. Н. Бекетова. Харьков: ХНУГХ, 186 с
16. Габрель М. М. (2004). Просторова організація містобудівних систем. Київ: Видавничий дім АС.С., 400 с.
17. Вотінов М. А. (2015). Реновация и гуманизация общественных пространств в городской среде: монография / Харьков нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. Харьков : ХНУГХ, 153 с

Chapter 7.

1. Anikeeva N.V. Gingerbread "Chickpea - dietary product". Confectionery production. 2003. № 2. P. 18.
2. Archipenko F.M. Chickpea is a valuable legume. House, garden, vegetable garden. 2008. P. 8-9.
3. Babych A.O. Leguminous crops. K.: Urozhay, 1984. P. 122-140.
4. Problems of protein and cultivation of grain legumes. Feed and protein resources of



- the world. Kyiv, 1995. P. 176-180.
5. Bushulian O. V. Model of a highly productive chickpea variety for the steppe zone of Ukraine. Collection of scientific papers of the SGA. Odesa, 2009. Issue 14 (54). P. 160-165.
 6. Bushulian O. V. Chickpea in the South of Ukraine: state and prospects. Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Region. 2003. Vol. 2, No. 3 (special issue). P. 115-119.
 7. Bushulian O. Prince of the legume kingdom. Features of chickpea cultivation under herbicide-free technology. Proposal. 2017. № 5. P. 78-83.
 8. Hermantseva N.I., Filatov A.N., Kalinina G.V. New variety of chickpea Zavolzhsky and technology of its cultivation. Grain farming. 2002. №4. P. 9-11.
 9. Gutyansky R.A., Magomedov R.D. Influence of soil herbicides on the formation of nitrogen-fixing nodules on soybean. Manual of the Ukrainian farmer: scientific and practical collection. Kyiv: Academpres LLC, 2013. Vol. 2. P. 78-81.
 10. Dusenbekov Z. D. Comparative productivity of peas and chickpeas in the conditions of the northern Aral Sea region. Alma-Ata, 1968. P. 68-72.
 11. Kalenskaya S., Okhota O. Chickpea is better than soybeans, but you need to be able to grow it. Proposal. 2013. № 12. P. 82-86
 12. Lavrenko S.O. Chickpea culture in Ukraine (review article) / *Ekologiya və su təsərrüfatı* (Ecology and water management): *Elmi-texniki və istehsalat jurnalı* (Scientific, technical and industrial journal). No. 3 (iyun). Bakı-Az: AzMİU (Baku, Azerbaijan), 2013. P. 13-17.
 13. Martyanova A.I. Legumes: distribution, procurement, chemical composition and value. Grain crops. 2001. № 1. C. 24-25.
 14. Report on specialized markets of Ukraine (chickpea, sorghum, millet). Analytical center "UkrAgroConsult". Kyiv, 2006. 4 p.
 15. Formation of chickpea productivity under the influence of technology intensification in the Western Forest-Steppe zone. Materials of the All-Ukrainian scientific conference of young scientists, Uman, May 15-16. 2018 p. Uman, 2018. P. 33-34.
 16. Sichkar V., Bushulian O., Tolkachev N. Technology of chickpea cultivation. Chief agronomist. 2010. № 12. P. 20-23.
 17. Borona V.P. Weeds in crops. Proposal. 1997. № 3. P. 26-27.
 18. Ivannikov S.G. On the resumption of generative development of chickpea. Scientific notes of the KSAI. 14. Chisinau: Map of Moldovan Republic, 1965. P.



103-110.

19. Sichkar V.I., Bushulian O.V. Prospects of chickpea breeding in the northern forest-steppe of Ukraine. Bulletin of Agrarian Science. 2000. № 1. P. 38-40.
20. Khasanov G.A. Influence of terms, norms and methods of sowing on the yield and quality of chickpea in the conditions of the Ural region of the Republic of Bashkortostan: Candidate of Agricultural Sciences. Ufa, 2004. 184 p.
21. Yuldasheva Z. Methods and norms of sowing chickpea on irrigated lands. Agrarian science. 2001. №5. P. 10-11.
22. Formation of protein content of chickpea under irrigation conditions. Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference "Agriculture-2022". Mykolaiv: Mykolaiv SARS ISZ, September 1, 2022. p.13.
23. Influence of herbicides and sowing methods on the productivity of chickpea in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine: Candidate of Agricultural Sciences: 06.01.09 / N.O. Koloianidi. Mykolaiv, 2021. 188 p.
24. Cubero J. I., Moreno Cubero M.-T. Recent advances in chickpea improvement and prospects for the nineties: the Mediterranean region of Europe. Proceedings of the IInd International Workshop on Chickpea Improvement, ICRISAT Center, Patancheru, India, 4-8 Dec. 1989. Patancheru: ICRISAT. P. 263-264.
25. Dalvi D.G., More P.R., Nageem K.A. Effect of antitranspirants on transpiration rate, relative water content, water saturation deficit and yield of chickpea. Indian J. Agronomist Sc. № 3. 1991. P. 204-206.
26. Nezar H. Yield Potential Evaluation in Chickpea Genotypes under Late Terminal Drought in Relation to the Length of Reproductive Stage. Ital. J. Agron: Riv. Agron. 2009. Vol. 3. P. 111-117.
27. Pacucci G. Supplementary irrigation on yield of chickpea genotypes in a Mediterranean climate. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal Manuscript LW 04 005. Vol. VIII. May, 2006. P. 1-9.
28. Efficiency of chickpea cultivation with the use of herbicides and drip irrigation. Materials of the international scientific and practical Internet conference "Development of the agrarian sector and implementation of scientific research in production". Mykolaiv: Mykolaiv National Agrarian University, October 19-21, 2022. pp. 83-86. <https://dSPACE.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/12244>.
29. Kovalenko OA and others. Influence of seeding rates of chickpea seeds of "Rosanna" variety on plant height and height of lower bean attachment in the Southern Steppe of Ukraine. Materials of the All-Ukrainian Scientific and



- Practical Internet Conference "Innovative technologies and preparations in the system of organic agriculture of the Steppe". Kherson, March 6, 2018. P. 102-105.
30. Dobrovolsky AV, Kovalenko OA, Andriychenko LV, Koloianidi N. Influence of sowing methods on the duration of the growing season and productivity of chickpea varieties. Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Region. Mykolaiv: MNAU, 2020. Issue 4 (108). P. 45-50.
 31. Siddique K. H. M., Sedgley R. H., Marshall C. Effect of plant density on growth and harvest index of branches in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Field Crops Research. Vol. 9. 1984. P. 193-203.
 32. Soltani A. A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semiarid environment. Agricultural Water Management. Vol. 49. Issue 3, 1. August 2001. P. 225-237.
 33. Economic efficiency of chickpea cultivation depending on inoculation and seed treatment with biofungicide. Materials of the All-Ukrainian scientific and practical Internet conference "Innovative way of development of agricultural production", December 08, 2017, Kherson: IZZ NAAS, 2017. P.51-52.



SCIENTIFIC EDITION

MONOGRAPH
INNOVATION IN DER MODERNEN WISSENSCHAFT
INNOVATIVE TECHNOLOGIE, INFORMATIK, ARCHITEKTUR, LANDWIRTSCHAFT
INNOVATION IN MODERN SCIENCE
INNOVATIVE TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, ARCHITECTURE, AGRICULTURE
MONOGRAPHIC SERIES «EUROPEAN SCIENCE»
BOOK 20. PART 2

Authors:

Malinovskiy Y.A. (1), Tkachenko A.S. (1), Bondarets A.A. (1), Vlasenkov D.P. (1),
Oliinyk S.Y. (1), Rybak D.P. (1), Obodovych O.M. (2), Sydorenko V.V. (2),
Tselen B.Y. (2), Stepanova O.E. (2), Dobrovolska O.V. (3), Lukin V.V. (4),
Ieremeiev O.I. (4), Abramova V.V. (4), Abramov S.K. (4), Rubel O.S. (4),
Okarma K. (4), Lech P. (4), Fastowicz J. (4), Vetoshko I. (5), Kravchuk S. (5),
Kharchenko K. (6), Losieva Y. (6), Kovalenko O.A. (7)

The scientific achievements of the authors of the monograph were also reviewed and recommended for
publication at the international scientific symposium
«Innovation in der modernen Wissenschaft '2023 / Innovation in modern science '2023»
(May 29-30, 2023)

The monograph is included in
International scientometric databases

500 copies
May, 2023

Published:
ScientificWorld-NetAkhatAV
Lußstr 13,
Karlsruhe, Germany



e-mail: editor@promonograph.org
<https://desymp.promonograph.org>



<https://desymp.promonograph.org>

e-mail: editor@promonograph.org

