

A man wearing a VR headset is shown from the chest up, looking upwards. His right hand is raised, with his index finger pointing at a glowing circular digital interface. His left hand is holding the VR headset. The background is a dark blue space filled with glowing digital elements: binary code (0s and 1s), a world map, circuit-like patterns, and various data visualizations. The overall aesthetic is high-tech and futuristic.

S

CIENCE FOR MODERN MAN

WISSENSCHAFT FÜR DEN
MODERNEN MENSCHEN

MONOGRAPH
BOOK 8 PART 2

'2022



Lvovich I.Y., Lvovich Y.E., Preobrazhenskiy A.P., Tkach O.V., Chorna V.V. et al.

WISSENSCHAFT FÜR DEN MODERNEN MENSCHEN
INNOVATIVE TECHNIK UND TECHNOLOGIE, INFORMATIK,
VERKEHRSENTWICKLUNG, PHYSIK UND MATHEMATIK, MEDIZIN, BIOLOGIE,
LANDWIRTSCHAFT

SCIENCE FOR MODERN MAN
*INNOVATIVE ENGINEERING AND TECHNOLOGY, INFORMATICS, TRANSPORT
DEVELOPMENT, PHYSICS AND MATHEMATICS, MEDICINE, BIOLOGY, AGRICULTURE*

Monographic series «European Science»
Book 8. Part 2.

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

MONOGRAPHIE
MONOGRAPH

Authors:

Chorna V.V. (6), Bogatko A.F. (7), Lvovich I.Y. (2), Lvovich Y.E. (2), Morozov A. (1),
Orel V.I. (5), Pitsyshyn B.S. (5), Popadyuk I.Y. (5), Preobrazhenskiy A.P. (2),
Preobrazhenskiy Y.P. (2), Stengach O.V. (4), Sukhomlinov A.I. (3), Tkach O.V. (8)

Reviewers:

Kostrova Vera Nikolaevna, doctor of technical sciences, professor (2)

Prylipko T.M., d.a. s., prof. (7)

Bukalova N. V. Ph.D. (Veterinary), Associate Professor (7)

Wissenschaft für den modernen Menschen: innovative technik und technologie, informatik, verkehrsentwicklung, physik und mathematik, medizin, biologie, landwirtschaft. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 8. Teil 2. 2022.

Science for modern man: innovative engineering and technology, informatics, transport development, physics and mathematics, medicine, biology, agriculture. Monographic series «European Science». Book 8. Part 2. 2022.

ISBN 978-3-949059-47-6

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02

Published by:

ScientificWorld-NetAkhatAV

Lußstr. 13

76227 Karlsruhe, Germany

e-mail: editor@promonograph.org

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

Copyright © Authors, 2022

Copyright © Drawing up & Design. ScientificWorld-NetAkhatAV, 2022



ÜBER DIE AUTOREN / ABOUT THE AUTHORS

1. *Bogatko Aliona Fedorivna*, ORCID: 0000-0002-6173-4265 - *Chapter 7*
2. *Chorna Valentyna Volodymyrivna*, PhD in Medical Sciences, assistant professor, ORCID: 0000-0002-9525-0613 - *Chapter 6*
3. *Lvovich Igor Yakovlevich*, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 2 (co-authored)*
4. *Lvovich Yakov Evseevich*, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 2 (co-authored)*
5. *Morozov Andrew*, PhD in Technical Sciences, assistant professor, ORCID: 0000-0001-5769-489X - *Chapter 1*
6. *Orel Vadym Ihorovych*, PhD in Technical Sciences, assistant professor, ORCID: 0000-0002-3518-4597 - *Chapter 5 (co-authored)*
7. *Pitsyshyn Bogdan Stepanovich*, senior lecturer, ORCID: 0000-0001-9145-876X - *Chapter 5 (co-authored)*
8. *Popadyuk Igor Yuriyovych*, PhD in Technical Sciences, assistant professor, ORCID: 0000-0002-8811-7988 - *Chapter 5 (co-authored)*
9. *Preobrazhenskiy Andrey Petrovich*, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, ORCID: 0000-0002-6911-8053 - *Chapter 2 (co-authored)*
10. *Preobrazhenskiy Yuriy Petrovich*, PhD in Technical Sciences, assistant professor - *Chapter 2 (co-authored)*
11. *Stengach Oleksandr Viktorovich*, graduate student, ORCID: 0000-0001-9189-2857 - *Chapter 4*
12. *Sukhomlinov Anatolii Ivanovich*, PhD in Technical Sciences, assistant professor, ORCID: 0000-0003-0070-0595 - *Chapter 3*
13. *Tkach Oleg Vasilovich*, Doctor of Agricultural Sciences, assistant professor, ORCID: 0000-0002-1368-673X - *Chapter 8*



Inhalt / Content

CHAPTER 1 THEORETICAL PRINCIPLES OF STABILIZATION OF METALLIZED COLLOIDAL SOLUTIONS OF PRINTING PURPOSE AND THEIR STRUCTURAL FORMATION IN THE FORM OF A PRINT

1.1. Activation of metallized colloidal solutions	7
1.2. Formation of an interfacial layer between the filler and the polymer matrix	12
1.3. Physical model of the kinetics of the beginning of polymerization of metallized solutions.....	15
1.4. Internal stresses and their effect on the strength and structure of the metallized paint film	17
1.5. Surface characteristics of metallized film.....	27
1.6. Offset metallized printing	34
Conclusions	38

CHAPTER 2 AUDIO RECOGNITION PROBLEMS

Introduction	39
2.1. Analysis of the features of recognition of the characteristics of audio signals.....	40
2.2. Theoretical foundations of audio signal analysis.....	44
2.3. Practical implementation of the developed algorithms.....	54
Conclusions	58

CHAPTER 3 THE REALIZATION METHOD FOR DIGITAL TWINS OF INDUSTRIAL PRODUCTION ENTERPRISES

Introduction	60
3.1. The concept of a digital twin.....	61
3.2. The use of digital twins	64
3.3. Requirements for the capabilities of industrial digital twins	66
3.4. Architecture of the digital twin of an industrial enterprise	68
Conclusions	72

CHAPTER 4 ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT SYSTEM ON LNG TANKER DURING OCEAN PASSAGE

Introduction	73
4.1. Summary of IMO literature and resolutions on improving energy efficiency in shipping.....	73
4.2.1. Adoption of mandatory technical and operational measures.....	75
4.2. Ship's energy efficiency plan and directions for its improvement.....	75
4.2.1. Recommendations for idling and low load	76
4.2.2. Gas fuel system.....	77
4.2.3. Load distribution	78



4.2.4. Control modes	82
4.2.5. Characteristics of the rate of energy consumption	83
4.3. "Green energy" system on LNG class gas carriers	86
4.3.1. Greenhouse gas life cycle study of LNG as a fuel for a ship	87
Conclusions	92

CHAPTER 5 INFLUENCE OF CYLINDRICAL ROTOR ECCENTRICITY RELATING TO STATOR ON HYDRAULIC LOSSES IN AQUEOUS METAUPON SOLUTIONS

Introduction	93
5.1. The analysis of the literary sources	93
5.2. Experimental research	95
5.2.1. Experimental stand	95
5.2.2. Working fluid selection	95
5.2.3. Formulas for calculations	96
5.2.4. Results and discussion	97
Conclusions	99

CHAPTER 6 HYGIENIC, EPIDEMIOLOGICAL, PSYCHOGENIC, AND URBAL ASPECTS OF MENTAL HEALTH FACILITIES COMPARED TO EU COUNTRIES

Introduction	102
6.1. Hygienic aspects of architectural and planning decisions of buildings of psychiatric health care facilities at the beginning of the psychiatric service	103
6.2. Regulatory documents on the buildings of health care facilities in Ukraine and EU countries	106
6.3. Modern approaches to architectural and planning solutions of mental health facilities to create in-hospital comfort for medical staff and patients in Ukraine	119
6.4. A new view of the EU countries on hygienic, epidemiological, psychogenic comfort for people with mental health disorders	124
Conclusions	128

CHAPTER 7 CONTROL OF FAT FRESHNESS BY EXPRESS METHOD FOR ESTABLISHING SAFETY AND QUALITY OF CHICKEN-BROILER MEAT

Introduction	130
7.1. Methodology for determining the safety and quality of broiler carcasses	131
7.2. Organoleptic evaluation of meat and fat of broiler carcasses	131
7.3. Risk-oriented control of safety and quality of broiler meat production for the implementation of the HACCP system at production and circulation enterprises	132



7.4. Development of a methodology for determining the degree of fat to assess the safety and quality of broiler meat	134
Conclusions	137

CHAPTER 8 ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF ROOT CHICORY GROWING WITH COMBINED INTERWIDE ROW

Introduction	138
8.1. Productivity of root chicory depending on the cultivation method	138
8.2. Rationale for choosing a rational scheme for placing plants of root chicory with a combined row spacing	147
Conclusions	154
 References	 155

**KAPITEL 1 / CHAPTER 1¹****THEORETICAL PRINCIPLES OF STABILIZATION OF METALLIZED COLLOIDAL SOLUTIONS OF PRINTING PURPOSE AND THEIR STRUCTURAL FORMATION IN THE FORM OF A PRINT***ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ МЕТАЛІЗОВАНИХ КОЛОЇДНИХ РОЗЧИНІВ ПОЛІГРАФІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЇХ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ У ВИГЛЯДІ ВІДБИТКА***DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02-022****1.1. Активація металізованих колоїдних розчинів**

Одним з найважливіших чинників стабілізації є гідродинамічний опір витісненню рідкого дисперсійного середовища з прошарку між частинками, що зближуються. Враховуючи його неоднорідність (гетерогенність), досить складно спрогнозувати вплив в'язкісних властивостей на таку гідродинамічну характеристику. Непрямою характеристикою кінетичної стійкості металізованої фарби як колоїдної системи є її схильність до седиментації.

На початку полімеризації рідка металізована система поступово перетворюється на гель і частково втрачає агрегатну стійкість, але зберігає кінетичну або тимчасову седиментаційну. Вплив сил на седиментаційну стійкість системи залежить від кількості та дисперсності частинок металевго наповнювача. Седиментаційна стійкість металізованої колоїдної системи пов'язана опосередковано з умовами для активації такої системи зовнішніми коливаннями. Тому виникає актуальна задача аналізу прогнозованої поведінки металевих частинок при акустичній обробці дисперсійного середовища[75].

Відомо, що при відносно великих відстанях (30...50 мкм) між компонентами дисперсної фази, зближення частинок відбувається за рахунок інерційних, гравітаційних сил; при зменшенні відстані проявляються молекулярні сили взаємодії[76]. Рух частинок наповнювача у бідисперсній системі(якою є металізована колоїдна) визначається в основному дією інерційних сил, які виникають на початку викривлення ліній потоку рідини, що обтікає поверхню дисперсних частинок. За даними сучасних досліджень, при відстані 10...20 мкм між ними, седиментації починає перешкоджати гідродинамічна взаємодія, зумовлена в'язким опором шарів рідини. Однак, при таких відстанях частинки можуть зближатися завдяки дії гідродинамічної сили, яка не може забезпечити безпосередній контакт між компонентами внаслідок зростаючого опору прошарків дисперсної фази.

При введенні у композицію дрібнодисперсного електромагнітного

¹ *Authors: Morozov A.*



наповнювача виникає сила магнітної взаємодії, яка створюючи електромагнітний бар'єр, сприяє рівномірному розподілу магнітного наповнювача в об'ємі композиції. Отже, сумарна сила, що діє на дисперсну частинку, яка наближається у процесі седиментації до задрукованої поверхні, в загальному випадку дорівнює:

$$F = F_t + F_m + F_u + F_e, \quad (4.1)$$

де F_t – сила тяжіння малої частинки; F_m – сила міжмолекулярної взаємодії, F_u – сила гідродинамічної взаємодії, F_e – сила електромагнітної взаємодії.

При формуванні каркасу просторової сітки наповнювача, в прошарках якої розміщується полімерна матриця, обробка наповнених полімерних композицій електромагнітним полем дозволяє підвищити агрегативну та седиментаційну стійкість систем і отримати захисні полімеркомпозиційні покриття з достатньо рівномірним розподілом наповнювача.

У процесі седиментації і заповнення (у випадку неспливаючих пігментів) впадин мікронерівностей матеріалу з нанесеною друкарською фарбою дрібні частинки, у тому числі й металеві, утворюють коагулянти, площа контакту яких із поверхнею перехідного шару задрукованого матеріалу перевищує площу контакту початкових частинок. Коагулянти формуються з дрібних фракцій порошку на мікронерівностях поверхні достатньо щільної підкладки, які забезпечують адгезійну стійкість покриття за рахунок ван-дер-ваальсівської взаємодії.

Поліграфічне покриття у більшості випадків є фарбовою плівкою на основі наповнених полімерів, структура яких була обумовлена поступовим перетворенням рідкоподібного в'язучого у тверду композиційну сполуку[77]. Кінетика цього перетворення визначається гамою фізико-хімічних показників: швидкістю всотування і випаровування розчинника; градієнтом його концентрації у локальних поверхневих зонах задрукованих матеріалів; присутністю сторонніх включень у вигляді мікрокрапель води та інших домішок.

На активацію металізованих колоїдних розчинів ультразвуковими коливаннями в реальних умовах та швидкість укрупнення і осадження частинок, завислих у рідкому середовищі, впливають інтенсивність та час ультразвукового впливу, а також параметри оброблюваного технологічного об'єму. Для досягнення максимально можливої інтенсивності процесу коагуляції частинок в процесі ультразвукової обробки металізованого колоїдного розчину необхідно оптимізувати інтенсивність або час



ультразвукового впливу.

Металізовані колоїдні розчини поліграфічного призначення можуть бути використані як модельні системи для виявлення закономірностей впливу полімерів на тверду поверхню. Виникає необхідність в проведенні досліджень, скерованих на виявлення оптимальних режимів ультразвукового впливу при умові досягнення максимальної стабілізації і гомогенізації металізованих колоїдних розчинів шляхом одночасного подрібнення крупних пластифікованих гранул на більш дрібні та коагуляції у відносно рівноважну дисперсну фазу у вигляді полімерофільних кулькоподібних частинок.

Механізм акустичної коагуляції пов'язують з дією на частинки сил гідродинамічної природи - сили Бернуллі та сили Б'єркнеса. Проте вирази для цих сил отримані для випадку гідродинамічної дії частинок в однорідному стаціонарному потоці ідеальної нестисливої рідини, у той же час, як при поширенні звукової хвилі течія рідини суттєво неоднорідна і нестационарна.

При вивченні гідродинамічної взаємодії частинок у рідині можливі різні постановки задачі. Це пов'язано з можливими спрощеннями рівнянь гідродинаміки, які є нелінійними в частині змінних величин. В літературі достатньо багато праць, присвячених задачі по взаємодії частинок у потоці в'язкої нестисливої рідини при малих числах Рейнольдса[78]. Рівняння руху рідини при цьому суттєво спрощуються і стають лінійними рівняннями Стокса. При великих частотах нестационарні доданки в рівняннях руху стають основними.

Відомо, що розподілення швидкості тиску навколо двох частинок однакового радіусу, розташованих у потоці нестисливої рідини, швидкість якої U на нескінченності є залежна від часу лінійна функція координат

$$U_i(t) = U_{0i}(t) + E_{ij}(t) x_j \quad (4.2)$$

Причому тензор E_{ij} задовольняє умовам

$$E_{ij} = 0, E_{ij} = E_{ji}$$

Аналitiчне рішення задачі про взаємодію двох частинок в ідеальній нестисливій рідині дозволяє провести прямі розрахунки сил F^A і F^B , діючих на сфери A і B з боку рідини[79]. Сила розраховується як

$$F_i^A = \oint (p \delta_{ij} + \rho (U_i + u_i) (U_j + u_j)) n_j A ds, \quad (4.3)$$



де p – тиск, u – збурення швидкості, ρ – щільність рідини. Інтеграл береться по поверхні S^A частинки A , зовнішня нормаль до якої є вектором n_A .

Тиск p дорівнює

$$p = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} - \rho (U_j + u_j)/2 \quad (4.4)$$

Одержані вирази для сил F^A і F^B , діючі на частинки A і B в ідеальній нестисливій рідині дозволяють визначити швидкості руху частинок, набуті ними у результаті взаємодії з потоком рідини між собою та прослідити динаміку їх руху. Використовуючи другий закон Ньютона, отримуємо систему диференціальних рівнянь. В силу складності виразів для сил, діючих на частинки, система рівнянь вирішувалась кількісно. Нижче на графіках наведені результати розрахунків для випадку, коли щільність частинок менше щільності рідини при положенні орієнтованих уздовж та поперек швидкості потоку рідини, що набігає (рис.4.1.).

Результати кількісного моделювання показують, що можливо як зближення частинок, так і їх віддалення один від одного. До того ж, якщо швидкість набігаючого потоку нестислої рідини направлена під кутом, близьким до прямого, відносно лінії, з'єднуючої центри сфер, то частинки зближуються (рис.4.2) під дією результату сили Бернуллі. При положенні сфер уздовж швидкості і здійснюється їх віддалення одне від одного.

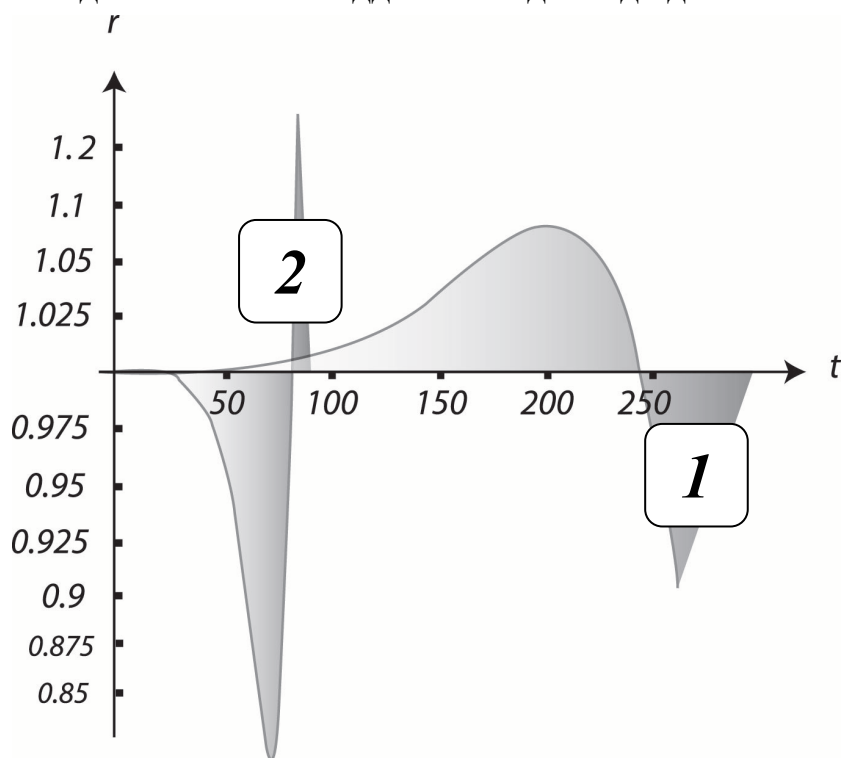


Рис.4.1. Результати розрахунків для випадку орієнтації частинок уздовж (1) та поперек (2) потоку



Розглянемо зараз дві частинки, які розташовані у потоці ідеальної стисливої рідини : $E_{ii} = 0$, $E_{ij} = E_{ji}$

Розподілення швидкості та тиску навколо частинок описуються рівняннями нестисливої рідини. Проте, якщо характерний розмір λ течії, на якій відбувається зміння величин у рідині за рахунок стисливості, задовольняє умові $\lambda \gg r$, де r – відстань між частинками, то поблизу частинок рівняння для швидкості і тиску можна записати у вигляді аналогічному для нестисливої рідини[77]. Відмінність полягає тільки в умові $E_{ii}=0$. Це легко враховується додатковими доданками у виразі для потенціалу.

Використовуючи вираз для потенціалу швидкості рідини навколо двох частинок в ідеальній стислій рідині, знаходимо вирази для сил F^A і F^B , діючих на сфери **A** і **B** з боку рідини та складаємо диференціальні рівняння руху частинок. Рівняння вирішуються кількісно. Результати розрахунків наведені нижче на графіках для випадку, коли щільність частинок менше щільності рідини і вектор, з'єднуючий центри частинок, орієнтований уздовж або поперек швидкості набігаючого потоку рідини (рис.4.2).

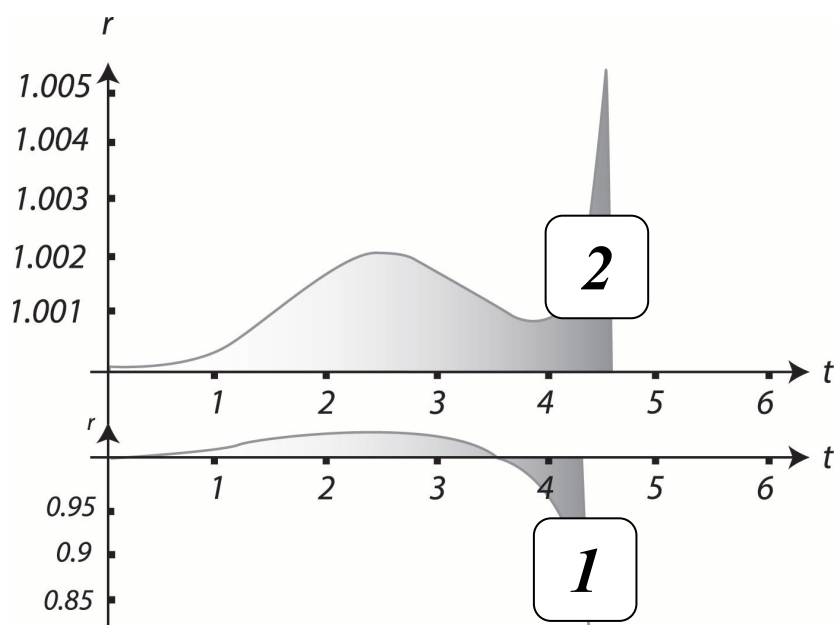


Рис.4.2 . Результати розрахунків для розташування частинок уздовж (1)та поперек (2) потоку.

Стисливість рідини значно впливає на рух частинок у звуковій хвилі. На відміну від випадку взаємодії частинок в потоці нестисливої рідини об'єднання частинок можливо у випадку, коли вони знаходяться одна за одною відносно напрямку розповсюдження хвилі (рис.4.1). При розташуванні частинок поперек хвилі відбувається їх віддалення одне від одної (рис.4.2).



Одержані результати вказують, що механізм коагуляції частинок у звуковій хвилі якісно відрізняється від того, що дає сила Бернуллі у потоці нестисливої рідини.

В реальних умовах при ультразвуковій обробці на швидкість укрупнення та осадження частинок, завислих у рідкому середовищі, впливають інтенсивність та час ультразвукового впливу, а також параметри оброблюваного технологічного об'єму. Для досягнення максимально можливої інтенсивності процесу коагуляції частинок в процесі ультразвукової обробки металізованого колоїдного розчину необхідно оптимізувати інтенсивність або час ультразвукового впливу.

Поглинута у дефектних зонах кристалічної ґратки стружкових частинок енергія ультразвукової хвилі витрачається на зняття локальних напружень, розблокування дислокацій, збільшення їх рухомості, що забезпечує більш інтенсивний хід очищення металевих пігментів.

Отримані експериментальні результати дозволили провести аналіз процесів, які відбуваються в металізованих колоїдних розчинах при акустичному впливі різної інтенсивності.

Для реалізації процесу інтенсивної коагуляції в малому технологічному об'ємі достатньо 25 % потужності та часу впливу порядку 2-х хвилин. При збільшенні часу впливу спостерігається невелике погіршення процесу коагуляції, що засвідчує: на малій потужності процес іде більш ефективно, але малий об'єм та більша величина інтенсивності випромінювання у ньому призводять до поступового кавітаційного руйнування збільшених частинок.

Проведені дослідження підтвердили ефективність застосування інтенсивної ультразвукової обробки для прискорення процесу гомогенізації металізованих колоїдних розчинів[78].

1.2. Формування міжфазного шару між наповнювачем і полімерною матрицею

Передумовою для початку процесу твердіння є полімерофільність поверхні металевих частинок. Вона може бути досягнута попередньою поверхневою хімічною обробкою металевих порошків, яка збільшує спорідненість наповнювача з полімерною матрицею, а також за рахунок можливого часткового насичення поверхні частинок твердої фази хемосорбуючим модифікатором. На цій стадії відбувається поява ланцюгових коагуляційних



структур, на яких як на матриці розвивається структура полімеру.

Для формування міжфазного шару велику роль відіграє морфологія поверхні металевих частинок, їх форма - це далеко неідеальна сфера, що має певну шорсткість: чим більше вона, тим більше ступінь адгезії в зоні контакту.

Досягнення рівноважної структури міжфазної зони відбувається повільно, в адсорбційному шарі знаходиться переважно високомолекулярна фракція полімеру, макромолекули якої випрямляються перпендикулярно поверхні і утворюють шар з більшою густиною і жорсткістю. Якщо полімер кристалізується, то в адсорбційному шарі підвищується частка витягнутих кристалів і об'єму кристалевої фази, а також покращується з'єднання полімеру з наповнювачем (металевими пігментами).

Характер взаємодії полімерної матриці з металевими наповнювачами може бути оцінений реологічними властивостями за допомогою відомого рівняння [79]

$$\eta_{\phi} = \eta_0 (1 + k\phi), \quad (4.5)$$

де η_{ϕ} , η_0 – відповідно в'язкість наповненого полімеру і полімерної матриці;

k – коефіцієнт форми частинок наповнювача;

ϕ – об'ємна частка наповнювача.

Питання про концентрацію наповнювача визначається шляхом утворення з нього просторової ґратки в полімерних плівках обмеженої товщини і в протилежному випадку, якщо не буде суцільної ґратки, не буде досягнутий бажаний ефект (перетворення адгезійного зв'язку в хімічний між двома контактними поверхнями).

Одним з важливих факторів визначення міцнісних характеристик є міцність адгезійного зв'язку полімера і наповнювача, тобто енергія взаємодії на границі розподілу. На деяких ділянках оксидних плівок металевого наповнювача в системі «полімер-метал» виникають локалізовані напруження, які призводять до помітного росту дефекту і руйнування матеріалу. Тому поверхнева обробка наповнювача перед змішуванням у середовищі полімера має великий вплив на міцнісні властивості. Формування металополімерної системи по запропонованій технології відрізняється від інших тим, що утворення нових поверхонь наповнювача здійснюється в середовищі олігомера[80] .

Ця обставина запобігає окисненню знов утворених поверхонь, а тому на поверхні розділу можуть виникати окрім адгезійних, також і хімічні зв'язки.



Як було вже зазначено вище, на міцнісні характеристики металополімерних систем великий вплив має різниця у коефіцієнтах термічного розширення полімера і наповнювача. При зміненнях температур (охолодження після диспергування, нагрів в процесі нанесення фарби на задруковуваний матеріал, охолодження після формування металізованої фарбової плівки) виникають на границі розподілу перенапруження [81].

Для вибору оптимальних умов переробки металополімерних систем важливим є врахування реологічних властивостей полімеру. Температура текучості T_k і в'язкість композиційної плівки дуже сильно залежать від концентрації наповнювача та його форми. Реологічні властивості самого полімерного середовища грають вирішальну роль і по різному впливають на реологічну поведінку наповненої різними наповнювачами системи.

Емпіричних рівнянь, які описують реологічні властивості наповнених полімерів, багато, але практичне їх застосування до реальних систем дуже обмежено. Проте, необхідно відмітити, що існують загальні теоретичні принципи, які визначають реологічну поведінку металонаповнених систем та пов'язують геометрію частинок наповнювача та його концентрацію у складі полімеру з показником в'язкості.

Характер взаємодії полімерної матриці з металевими наповнювачами може бути оцінений реологічними властивостями за допомогою відомого рівняння[82]

$$\eta_{\phi} = \eta_0 (1 + k\phi), \quad (4.6)$$

де η_{ϕ} , η_0 – відповідно в'язкість наповненого полімеру і полімерної матриці;

k – коефіцієнт форми частинок наповнювача;

ϕ – об'ємна частка наповнювача.

Передбачається, що частинки наповнювача гранично жорсткі, їх об'єм малий по відношенню до об'єму дисперсійного середовища, вони значно відділені одна від одної і не відчують взаємного впливу. Для частинок кулькоподібної форми маємо $k = 2,5$. Відхилення форми частинок від кулькоподібної призводить до збільшення k . Для області концентрації металевих частинок більше 50 % ця формула не коректна.

Аналіз рівнянь [83], які описують зміну в'язкості властивостей від об'ємного складу наповнювача, показує, що найбільш поширеними рівняннями є:



рівняння Ейлера

$$\eta = \eta_0 \{ 1 + 1,25\varphi / (1 - \varphi/\varphi^*) \}^2, \quad (4.7)$$

де φ^* – об'ємна частка наповнювача з гранично можливою концентрацією;

рівняння Кандела-Мозера-Баумана

$$\eta = \eta_0 1 / (1 - \varphi/\varphi^*)^{2,5}; \quad (4.8)$$

експоненційне рівняння Муні

$$\ln \eta / \eta_0 = k / 1 - \varphi / \varphi^*, \quad k = 2,5 \quad (4.9)$$

У даних рівняннях величина φ може змінюватись для частинок сферичної форми від 0,52 до 0,74. Для нашого випадку перехід від монодисперсного до полідисперсного наповнювача призводить до підвищення φ^* .

Для зниження критичного ступеню наповнення використовують наповнювачі з частинками поздовжньої чи плоскої форми. Відомо застосування як електропровідного наповнювача алюмінієвих і нікелевих пластинок, срібла з формою частинок у вигляді луски. В'язкість полімерного в'язучого дуже залежить від питомої поверхні наповнювача і може бути описана рівнянням:

$$\eta = \eta_0 \rho^{k\varphi}, \quad (4.10)$$

де φ – об'ємний вміст;

η – в'язкість полімерного в'язучого з наповнювачем;

η_0 – в'язкість окремого в'язучого;

ρ – питома поверхня наповнювача;

k – кількість полімеру, адсорбованого 1 м^2 наповнювача з питомою поверхнею ρ .

1.3. Фізична модель кінетики початку полімеризації металізо-ваних розчинів

Одним з найважливіших чинників стабілізації дисперсних систем є гідродинамічний опір витісненню рідкого дисперсійного середовища з прошарку між частинками, що зближаються. Враховуючи її неоднорідність (гетерогенність), досить складно спрогнозувати вплив в'язкісних властивостей на таку гідродинамічну характеристику. Стабілізуюча дія гелеподібних адсорбційних шарів стабілізатора обумовлюється тим, що високов'язкий



прошарок між частинками не встигає видавитися за час зіткнення частинок дисперсної фази в результаті броунівського руху або в потоці. У відомих умовах стабілізація дисперсних систем адсорбційно-сольватними шарами, які володіють пружністю і механічною міцністю, може безмежно підвищувати стійкість системи аж до повної фіксації її частинок. Прикладом цьому може служити твердіння рідких прошарків між повітряними бульбашками піни в результаті гелеутворення або процесів полімеризації [84].

Витончення прошарку дисперсійного середовища в процесі коагуляції пов'язано з витіканням рідини з вузького зазору між частинками. Для твердих (металевих) частинок швидкість перебігу рідини на межі розділу фаз дорівнює нулю, а у середині проміжку – максимальна. Швидкість зменшення ширини зазору dh/dt між двома плоско паралельними поверхнями у формі круга радіусу r пов'язана з об'ємом рідини, витікаючої через поверхню циліндрового зазору за одну секунду dV/dt співвідношенням (рис. 4.3):

$$dh/dt = 1/\pi r^2 dV/dt \quad (4.11)$$

Якщо Δp – деяке середнє значення надмірного тиску (рис. 4.3), під яким знаходиться рідина в зазорі, то відповідно до рівняння Ньютонa, величина dV/dt повинна бути обернено пропорційна в'язкості рідини λ і прямо пропорційна градієнту тиску, тобто величині порядку $\Delta p/r$, а також периметру зазору $2\pi r$, через який йде витіснення рідини.

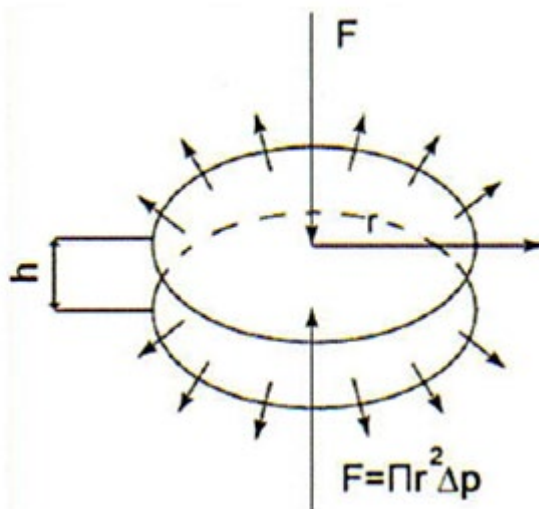


Рис. 4.3. Схема витіснення об'єму рідини між двома плоско-паралельними частинками

При великій в'язкості дисперсійного середовища опір прошарку



витонченню може забезпечити фактично необмежену стійкість системи до коагуляції. Величина Δp характеризує в'язкий опір середовища витонченню плівки при зближенні частинок і може розглядатися як аналог позитивного розклинювального тиску його в'язучою складовою. Якщо плівка, що оточує металеву частинку >1 мкм, то витікання в'язучого компоненту у фарбі обумовлене капілярним тиском [85].

Чим тонше прошарок дисперсійного середовища між металевими частинками, тим більше вірогідність утворення ізотермічного переходу гелі-золь.

При критичних концентраціях металевих пігментів в колоїдних розчинах, а також підвищеній в'язкості та температурі їх зберігання можливі умови для появи ксерогелей. У разі повного витіснення середовища із зазору (при прориві адсорбційно-сольватної оболонки) досягається безпосереднє локальне зіткнення частинок. При цьому разом з силами Ван-Дер-Ваальса в зчепленні частинок можуть брати участь також близькодійючі (валентні) сили, задіяні на площі безпосереднього контакту. Їх внесок в міцність контакту можна оцінити по порядку величини:

$$P_1 = N_e^2 / b^2 \cdot 4 \pi \xi_0, \quad (4.12)$$

де N – число валентних зв'язків, що виникають в контакті;

e – заряд електрону;

ξ_0 – електрична постійна;

b – характерна міжатомна відстань.

1.4. Внутрішні напруження та їх вплив на міцність і структуру фарбової металізованої плівки

Металізовані поліграфічні покриття малої товщини можна розглядати як псевдо дисперснозміцнений матеріал, наповнений металевими частинками (стружкового походження), а матрицю як отверділу полімерну композицію.

В процесі утворення стружка алюмінієвої бронзи набуває великого запасу внутрішньої енергії в результаті деформації і накопичення значної кількості дислокацій, які є активними центрами і каталізаторами при будь-яких фізико-хімічних процесах. На стадії подрібнення мікротвердість стружкових частинок значно збільшується, особливо в зонах евтектоїду, і обумовлена значним запасом прихованої енергії [86].



Міцнісні властивості такого композиційного покриття визначатимуться якоюсь критичною відстанню між частинками ($S_{кр}$), як в об'ємі, так і на поверхні в залежності від природи частинок. Зазначений розподіл частинок в полімерних плівках є бар'єром для подальшого розвитку виникаючої тріщини (як результат механічного пошкодження) і локалізує подальше розповсюдження концентратора напружень (рис. 4.4).

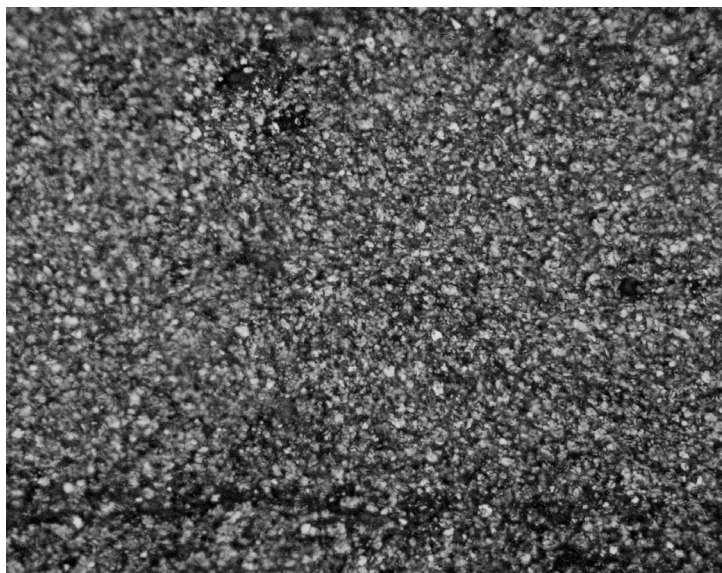


Рис. 4.4. Поверхня металізованої поліграфічної плівки на основі стружкових пігментів

На поверхні полімерної плівки після процесу твердження є в достатній кількості мікротріщин, які обумовлені різним походженням. Якщо при певних умовах здійснюється адсорбція поверхнево-активних речовин або випадкове попадання рідини із агресивного середовища, активні молекули досягають місць, де зазор дорівнює розміру однієї-двох молекул, адсорбційний шар своїм тиском намагається розклинити тріщину (ефект Ребіндера). Тиск при цьому на стінки тріщини може досягати до 100 МПа (рис. 4.5).

Локальні напруження в твердих покриттях частіше усього являються центрами адсорбції. Вони пов'язані з лініями дислокацій, які знаходяться у стані високого поверхневого напруження і хімічний потенціал настільки великий, що речовина може виходити за межі дислокації, залишаючи за собою порожнину [87].

Можна припустити, що за рахунок дії багаточисельних розклинюючих мікротисків, діючих на стружкову частинку по всьому зовнішньому периметру її поверхні, вона умовно на деякий час стабілізує себе в дисперсійному середовищі. Також при цьому врівноважуються і внутрішні напруження, які безпосередньо локалізуються біля джерел структурних дефектів.

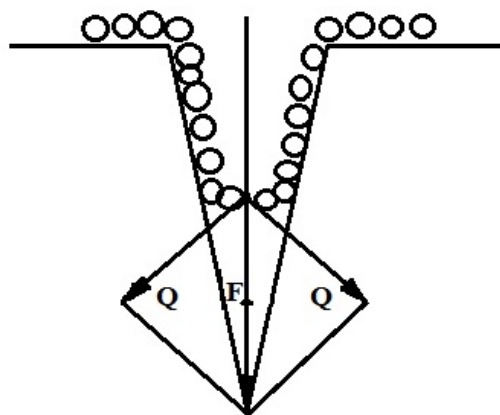


Рис. 4.5. Схема адсорбційно-розклинюючої дії молекул ПАР
(*F*-тиск адсорбційного шару; *Q*-розклинюючі сили)

Хімічна усадка полімерної фарбової плівки в процесі твердження призводить до появи залишкових напружень в її шарах, що визначаються за формулами [88]:

$$\sigma_{1i}^{cm} = \bar{E}_{1i} \left[\left(\xi_x \cdot \cos^2 \varphi_i + \xi_y \cdot \sin^2 \varphi_i + \xi_{xy} \cdot \cos \varphi_i \cdot \sin \varphi_i - \xi_{1i} \right) + \right. \\ \left. + M_{21i} \left(\xi_x \cdot \sin^2 \varphi_i + \xi_y \cdot \cos^2 \varphi_i - \xi_{xy} \cdot \cos \varphi_i \cdot \sin \varphi_i - \xi_{2i} \right) \right];$$

$$\sigma_{2i}^{cm} = \bar{E}_{2i} \left[\left(\xi_x \cdot \sin^2 \varphi_i + \xi_y \cdot \cos^2 \varphi_i - \xi_{xy} \cdot \cos \varphi_i \cdot \sin \varphi_i - \xi_{2i} \right) + \right. \\ \left. + M_{12i} \left(\xi_x \cdot \cos^2 \varphi_i + \xi_y \cdot \sin^2 \varphi_i + \xi_{xy} \cdot \cos \varphi_i \cdot \sin \varphi_i - \xi_{1i} \right) \right]; \quad (4.13)$$

$$\tau_{12i}^{cm} = G_{121} \left[\left(\xi_y - \xi_x \right) \cdot \sin 2\varphi_i + \xi_{xy} \cdot \cos 2\varphi_i \right],$$

де ξ_x, ξ_y, ξ_{xy} – величини коефіцієнтів усадки;

$\bar{E}_{1i}, \bar{E}_{2i}$ – модулі пружності;

M_{21i}, M_{12i} – коефіцієнти Пуасона;

G_{121} – модуль зсуву;

φ_i – кут, під яким зорієнтовані металеві пігменти у в'язучому;

$\sigma_{1i}^{cm}, \sigma_{2i}^{cm}, \tau_{12i}^{cm}$ – залишкові напруження при усадці полімерної плівки.

Рівноважний стан тіла з заданою структурою визначається, виходячи з



умов мінімуму повного термодинамічного потенціалу:

$$F = U - \theta S + PV, \quad (4.14)$$

де U – внутрішня енергія;

θ – температура;

S – ентропія;

P – тиск;

V – об'єм.

Умова зростання початкової поперечної тріщини довжиною l_0 розглядається з точки зору балансу пружної і вільної поверхневої енергії металізованої полімерної плівки:

$$\sigma_G = X_0 \sqrt{\frac{\alpha E}{l_0}}, \quad (4.15)$$

де σ_G – порогове напруження руйнування за Гріффітсом (при $\sigma < \sigma_G$ тріщина збільшується, а при $\sigma > \sigma_G$ – ефект відсутній);

E – модуль Юнга;

α – питома вільна поверхнева енергія матеріалу;

l_0 – початкова довжина тріщини;

X_0 – коефіцієнт для крайових і внутрішніх напружень перебуває у діапазоні від 0,8 до 1,3.

Концентрацію напружень q поблизу тріщини можна оцінити формулою:

$$q = 2\sqrt{\frac{l}{r}}, \quad (4.16)$$

де l – довжина тріщини; r – радіус закруглення в її вершині.

В плівках з наповнювачем при деформації має місце більш рівномірне розподілення напружень в полімерній матриці, яка структурована додатково поверхнею часток металевих пігментів, спостерігається зміння характеру розповсюдження мікротріщин, збільшення їх хвилястості. Введення наповнювачів призводить до значного зміння внутрішніх напружень, як в



процесі формування поліграфічного покриття, так і після завершення формування. Це пов'язано з перерозподілом дислокацій на границі дисперсної фази і матриці.

Якщо пігменти доволі активно взаємодіють з полімерною основою, внутрішні напруження збільшуються унаслідок підвищення шорсткості молекул плівкоутворювача поблизу поверхні пігментних частинок і уповільнення релаксаційних процесів в покритті на стадії тверднення (рис. 4.6).

Сама поверхня полімерної плівки може бути джерелом дислокацій за рахунок утворення дислокаційного кільця. Специфічна роль поверхні у розмноженні дислокацій полягає у тому, що вона, являючи собою потужне джерело і стік вакансій, інтенсифікує процеси переповзання лінійних дефектів. Це, в свою чергу, призводить до утворення поверхневих джерел, при активації яких відбувається ковзання дислокаційної лінії. Існування на поверхні металізованої плівки мікровиступу з радіусом кривини ребра атомного розміру незалежно від висоти самого виступу створює за рахунок сил поверхневого натягу локальну концентрацію напружень порядку теоретичної міцності, що направлені вглиб матеріалу [89, 90].

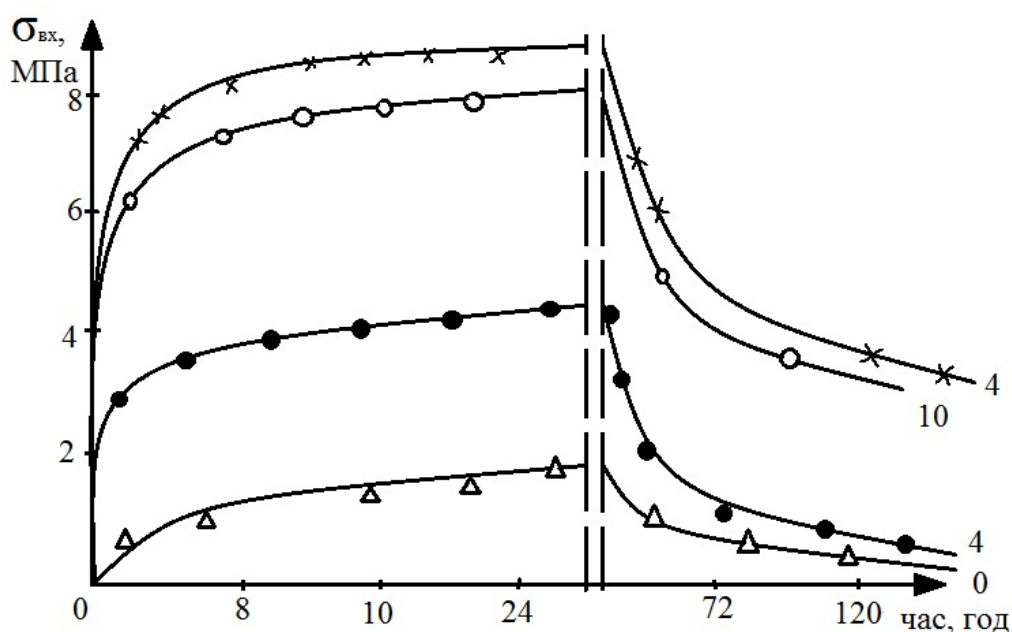


Рис. 4.6. Збільшення та релаксація внутрішніх напружень

Пігментація плівкоутворювальних систем сповільнює випаровування розчинників, особливо якщо використовуються пігменти і наповнювачі лускатої будови (алюмінієва або бронзова пудра, мікрослюда тощо). Ці фактори, пов'язані між собою. Так, наприклад, при зникненні розчинників



внаслідок неоднакової їх концентрації в поверхневому C_2 і глибинному C_1 шарах створюється градієнт поверхневого натягу по товщині плівки: $\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$. Його значення тим більше, чим більше різниця $C_1 - C_2$ і чим сильніше розрізняються поверхневі натяги плівкоутворювача і розчинника.

Наявність градієнта $\Delta\sigma$ викликає утворення турбулентних потоків у розчині, які і створюють відповідний рельєф його поверхні. При досягненні високої в'язкості лакофарбового матеріалу в поверхневому шарі цей рельєф фіксується в плівці у вигляді відповідного малюнка, утворення якого небажано, тому що знижуються блиск і погіршується зовнішній вигляд покриття [91].

Якщо градієнт концентрації можна віднести до зовнішнього чинника, який формує структурну неоднорідність фарбової плівки, то металеві частинки є внутрішнім структуроутворювачем, який генерує локальні зони внутрішніх напружень.

При невеликому вмісті (10 %) наповнювача (металевих пігментів) в полімерній плівці навколо його частинок виявляється більш орієнтовна і напружена структура, а забарвлення структури полімеру навколо зерен наповнювача нерівномірне і воно змінюється по перерізу від поверхні наповнювача до зовнішніх шарів плівки. Встановлено [92], що змінення кольору полімерної складової пов'язано з нерівномірним розподілом внутрішніх напружень. При цьому максимальні напруження проявляють себе в шарах, прилягаючих до поверхні наповнювача. При дії таких напружень в полімерній основі з'являються мікротріщини, які у деякій мірі послаблюють її зв'язок з металевими пігментами.

При руйнуванні локального об'єму плівки частина пружної енергії E_0 , яка підводиться в зону руйнування, витрачається на роботу пластичної деформації $E_{пл}$ та утворення поверхонь розриву $E_{п}$, а інша частина перетворюється в кінетичну енергію E_k розвитку тріщини, тобто маємо [93]:

$$E = E_{пл} + E_{п} + E_k \quad (4.17)$$

У відповідності з ергодинамічною теорією тіло вважається зруйнованим, якщо хоча б в одному макрооб'ємі, відповідальному за руйнування, щільність внутрішньої енергії досягає критичної величини u^* . Цьому моменту відповідає поява у системі біфуркацій утворення тріщини критичного розміру та різка локалізація процесу в її основі. Умова локального руйнування записується у вигляді:



$$u(r_*, t_*) = u(r_*, 0) + \int_0^{t_*} u(r_*, t) dt = \text{const}, \quad (4.18)$$

де $u(r_*, 0)$ – щільність внутрішньої енергії матеріалу у вихідному (до деформування $t=0$) стані, $u(r_*, t)$ – швидкість змінення щільності внутрішньої енергії в локальному макрооб'ємі матеріалу, відповідальному за руйнування, r_* – параметр, характеризуючий координати (x_*, y_*, z_*) локального об'єму тіла, відповідального за руйнування.

Для вирішення питання про критичне значення щільності u_* , яка накопичується у деформовуваних об'ємах до моменту їх руйнування (втрата стійкості кристалічної ґратки), скористаємося ідеєю про енергетичну аналогію процесів плавлення і механічного руйнування матеріалів [94].

Тому питому енергію u_* , накопичену в об'ємі матеріалу, відповідальному за руйнування, треба розглядувати як складову з двох частин: питомої енергії $u^{>}_*$, витрачаємої на створення граничних статичних спотворень, зв'язаних з дислокаціями та іншими дефектами, зародкоутворюваними та затримуваними у матеріалі в процесі пластичної деформації, і питомої енергії $u^{>>}_*$, витрачаємої на руйнування міжатомних зв'язків в об'ємі з граничними статичними спотвореннями, тобто

$$u_* = u^{>}_* + u^{>>}_* \quad (4.19)$$

Далі приймається, що при деформуванні матеріалу весь його об'єм V стане рівномірно поглинати енергію спотворень і до певного моменту буде насичений граничною енергією спотворень, рівною ентальпії матеріалу у твердому стані при температурі плавлення

$$u^{>}_* = \Delta H_{\text{ТВ}} = \int_0^T c dT, \quad (4.20)$$

де $\Delta H_{\text{ТВ}}$ – ентальпія матеріалу у твердому стані;

c_p – теплоємність матеріалу.

У той же час критичний об'єм руйнування V_p буде у цьому випадку по своїй величині менше вихідного V . Для порушення міжатомних зв'язків з граничними спотвореннями потрібно підвести додаткову енергію, рівну

$$u^{>>}_* = (V_p / V) L_s \quad (4.21)$$

де L_s – прихована теплота плавлення.



Таким чином, сумарна питома внутрішня енергія, поглинена деформуємим об'ємом в процесі пластичної деформації, до моменту руйнування буде дорівнювати

$$u^* = \int_0^T c dT + V_p / V L_s \quad (4.22)$$

В залежності від структури матеріалу та умов деформування і руйнування співвідношення V_p / V може змінюватись в межах

$$0 < V_p / V < 1,0 \quad (4.23)$$

тому критичне значення внутрішньої енергії, поглинене деформуємим об'ємом, може змінюватись у межах

$$\Delta H_{TB} < u^* < \Delta H_s, \quad (4.24)$$

де ΔH_s - ентальпія плавлення.

У локальному об'ємі, відповідальному за руйнування $V_p / V \rightarrow 1$, тому $u^* \rightarrow \Delta H_s$.

При пластичному деформуванні великих об'ємів V в умовах однорідного напруженого стану до моменту утворення тріщин критичного розміру співвідношення $V_p / V \rightarrow 0$, тому $u^* \rightarrow \Delta H_{TB}$.

Навпаки, при тонкому диспергуванні матеріалу (в умовах зносу)

$$V_p \rightarrow V,$$

тому $V_p / V \rightarrow 1$ та $u^* \rightarrow \Delta H_s$. Такий процес спостерігається, зазвичай, при експлуатації металізованих поліграфічних покриттів.

Прогнозувати структуру металонаповненого полімеру можна ще на стадії вихідної поліграфічної фарби шляхом додавання необхідних компонентів, регулюючих в'язкість та пігментоутворення композиції, яка полімеризується [95].

В праці була відмічена аналогія між текучістю в'язкої рідини, яка описана співвідношенням

$$de/dt = 1/\eta \cdot \sigma \quad (4.25)$$

та пластичною текучістю твердого тіла, підпорядкованою співвідношенню



$$d\epsilon/dt = C_1 U^* \cdot (\sigma - \sigma_k) + C_2 U \cdot d\sigma/dt + 1/G \cdot d\sigma/dt \quad (4.26)$$

де ϵ – деформація зсуву; t – час; σ – напруга зсуву; U – концентрація активних дислокацій; σ_k – поверхня межі пружності, залежної від температури і деформації.

При переході через поверхню при $\sigma < \sigma_k$ тепловий ефект відсутній, тобто при $\sigma > \sigma_k$ $U^* > 0$, а при $\sigma < \sigma_k$ $U^* \approx 0$. При $\sigma > \sigma_k$ співвідношення (4.25) перетворюється в (4.26).

Відмічено, що пластична деформація кристалічної частини наповнених полімерів нагадує вихрові переміщення турболізованої рідини при великих числах Рейнольдса. При цьому виділяються три типу вихру: перший мікровихор у вигляді часткової дислокації, другий – статичний вихор, локалізований у конкретному місті кристалічної структури, у вигляді обертального фрагменту або стикової дислокації і третій – великомасштабні ротаційні нестійкості.

Аналогічні вихри можна виділити і в потоках в'язкої рідини, але вихри, виникаючі при пластичній деформації матеріалів, утворюються у середовищах з пам'ят'ю [96], тобто по векторам дезорієнтування можна відновити картину вихороподібної пластичної текучості. Якщо притримуватися аналогії між пластичною деформацією і текучістю в'язкої рідини та можливістю описання цього процесу з використанням критерія, подібного критерію Рейнольдса, то треба спочатку виділити ламінарне і турбулентне пластичні течії. Точка переходу від ламінарної течії (одинарне ковзання) до турбулентної (множинне ковзання) є точкою біфуркації, а параметри, контролюючі цей перехід при рості тріщини, дають фундаментальну інформацію.

Таким чином, утягування у процес деформування дефектів різного рівня – точкових (міжвузілья, вакансії та їх комплекси), лінійних (дислокації різних типів), планарних (дефекти пакування, малокутові границі) та, нарешті, об'ємних (макротріщини, мікропори) знаходить своє відображення у змінненні макроскопічних властивостей матеріалу. Послідовність виникнення структур, утворених дефектами різного рівня, залежить від попередньої історії досліджуваного матеріалу (рідка поліграфічна фарба), від виду початкової дисипативної структури, типу кристалічної ґратки, способу експлуатації, а також від вихідних компонентів.

Сучасні теорії пояснюють ріст утомної тріщини на основі діаграм циклічної тріщиностійкості. На рис. 4.7 розглянуто порогові ситуації з точки зору досягнення порогових значень амплітуди коефіцієнту інтенсивності



напружень ΔK .

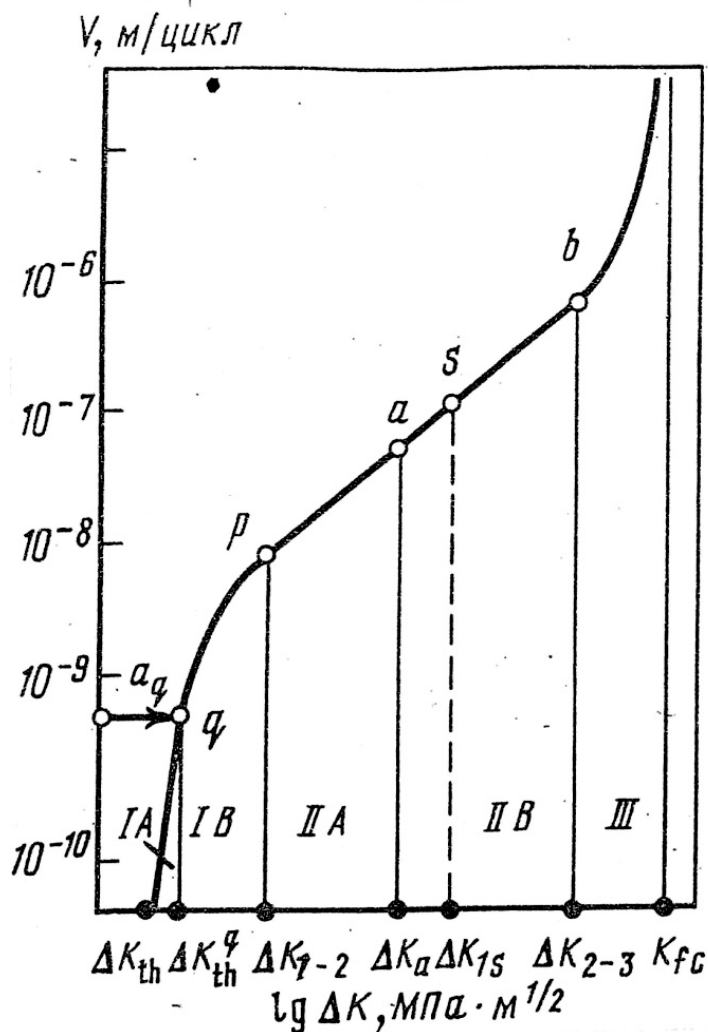


Рис. 4.7. Кінетична діаграма циклічної тріщиностійкості

У зв'язку з асимптотичним характером кривої залежності швидкості росту утомної тріщини від ΔK у припороговій області діаграми циклічної тріщиностійкості (ДЦТ) якісне значення ΔK_{th} залежить від вибраної базової швидкості розвитку тріщини.

Вважають також, що умовою для визначення даного порогу може бути певне вибране довільно число циклів, на протязі яких тріщина не просувається на якусь мінімальну відстань, яку можна виміряти. Умовність визначення ΔK_{th} полягає також у залежності цього параметру від схеми змінення навантаження (підвищення або зниження) та ступеню його послідовного східчастого змінення. Тому видається доцільним та більш фізично обґрунтованим визначати величину ΔK_{th} при детермінованій швидкості росту тріщини, а також визначати поріг при швидкості росту тріщини. Абсолютне значення якої дорівнює кванту руйнування a_q .

Ріст утомленої тріщини пов'язують з кооперацією двох конкуруючих



механізмів руйнування – мікрозсуву та мікровідриву, причому кожний акт просування тріщини пов'язан з утворенням критичного зародку тріщини по механізму мікрозсуву та мікровідриву у залежності від структурного рівня деформації і характеру структурно-неврівноважених станів. Зародження мікротріщини по механізму мікрозсуву пов'язано з досягненням критичної щільності дислокацій (у площині ковзання), а по механізму відриву – з досягненням критичної щільності дисклінацій в елементі об'єму, який зазнав деформацію.

Отже, проведений аналіз, показав, що тверде тіло, яким є полімерна фарбова плівка з металевими пігментами, представляє собою елемент конструкції, і в процесі експлуатації випробує складний комплекс змінюваних по рівню, періодичності і тривалості циклічних навантажень.

Багатофакторна ситуація із впливом на матеріал при розповсюдженні у ньому утомної тріщини припускає комплексний аналіз процесів з позицій сінергетики. Використання принципу аналогії дозволяє змодельовати механізми утворення утомної тріщини для класу матеріалів, маючих загалом кристалічну структуру та в незначній мірі аморфну.

1.5. Характеристики поверхні металізованої плівки.

Фізичні властивості та характеристики мікрогеометрії шорстких поверхонь мають першочергове значення для службових оптичних характеристик металізованих поліграфічних покриттів. Одна із властивостей металізованих поверхонь – це зміна їх тону та кольору. Наприклад, залежно від освітлення «золота» фарба може бути «світло-золотою», «темно-золотою», «червоно-золотою» тощо, тому для прогнозованого і коректного відображення у тиражі треба застосовувати параметричне оцінювання геометричних структур поверхні (ГСП), де наявність «металу» виправдана маркетинговими і рекламними прийомами.

З огляду на це, особливого значення набуває проблема підтримки на належному рівні ефекту «металізації», зумовленого спектром різних оптичних комбінацій.

Дослідженню питань впливу топографії поверхні на реальні характеристики світла, яке через неї проходить, відбивається, розсіюється тощо, присвячено багато робіт, як вітчизняних, так і зарубіжних [96]. Велика кількість і різноманітність публікацій свідчить про складність предмета



наукових досліджень. Проте, незважаючи на широту теоретичних і практичних розробок, суттєві складнощі полягають не тільки в їх частковості, але й, насамперед, у їх розумінні, обґрунтованості теорії відбиття хвиль світла від поверхні з випадковим розподіленням нерівностей, які, у свою чергу, мають різні морфологічні ознаки. Подальший розвиток подібних робіт відбувався у зв'язку з вирішенням важливих практичних завдань, особливо в поліграфії.

Актуальність роботи зумовлена тим, що:

- регулюючи відбивну здатність різних поверхонь (фольги гарячого та холодного тиснення, різних металізованих матеріалів), можна отримати різні псевдоголографічні ефекти, приховані зображення, що у свою чергу, можна використовувати як захист від підробок під час виготовлення цінних паперів та сертифікатів;
- створення «нанотексту» в голографічних композиціях, що зумовлено передусім дефектністю поверхні, шорсткість якої утворена дислокаційними сходами.

Технологія MetalFX дає змогу отримувати мільйони колірних відтінків з металевим блиском, а також сприяти формуванню прихованого зображення, кодів, що зчитуються та містяться у голограмі. Для цього можна використовувати спеціальні дифракційні пігменти для виробництва «простих» голографічних зображень за рахунок включення феромагнітного шару в частинки пігменту та застосування магнітного поля у момент нанесення друку для орієнтування частинок. Коли задруковуваний об'єкт повертають перед оглядовим пристроєм, ступінь мерехтіння дифракційного ефекту буде різним, а якщо друкувати фарбою з двома різними пігментами окремо, то зовнішній вигляд буде змінюватися від темного зображення на світлому фоні до світлого зображення на темному. Іншим способом псевдоголографічний ефект можна отримати, знижуючи рівень концентрації основного срібла на спеціальних ділянках або ж повністю його виключаючи, зберігаючи незмінними кольори тріади.

За допомогою програмного забезпечення MetalFX можна отримати різні ефекти: голографічний, ефект світіння, ефект просторових ілюзій геометричних форм, ефекти блиску металевих поверхонь, візуальне збільшення глибини зображення, посилити сприйняття перспективи, імітації світіння, тривимірні ефекти за допомогою інвертування додаткового каналу в зоні тіней, а також, комбінуючи різні інструменти, імітувати захисні технології цінних паперів та продукції від підробки. У створенні дизайну продукції та друку за технологією MetalFX допоможе каталог, що демонструє основні кольори MetalFX та диск з



«палітрами», що містить набір та опис підбору кольорів цього каталогу для популярних графічних програм (Adobe, Quark, Macromedia). Додаткові особливості дадуть змогу побачити на екрані ефект MetalFX та встановити палітри в різні програми, отримати рекомендації щодо створення металевих ефектів у додрукарській підготовці та під час друку.

Нині застосовують металізовані кольори спеціальних фарб Pantone, але це обмежує кількість відтінків, одночасно отриманих за прогін, оскільки для нанесення кожного кольору потрібна окрема друкарська секція, що збільшує тривалість виготовлення продукції. Кольори MetalFX можуть бути використані для створення будь-яких графічних та текстових елементів. У векторних редакторах та програмах верстки елементи, які будуть відтворюватися із застосуванням металізованої фарби, слід продублювати, після чого поставити їм колір базової фарби MetalFX і атрибут overprint. Для спрощення контролю доцільно скопіювати їх на окремий шар. Щоб отримати вдалий вигляд металізованих кольорів, рекомендовано використовувати їх для відтворення лише основних елементів зображення. У разі покриття металізованою фарбою близько 40 % відбитка забезпечується візуальний ефект. Технологія кольороподілу та друку MetalFX призначена для відтворення різних металізованих кольорів за допомогою лише п'яти фарб. MetalFX сумісна з усіма технологіями растровання, проте оптимальних результатів досягають за використання нерегулярних растрів. У разі застосування регулярних алгоритмів для тріадних фарб бажано застосовувати класичні кути повороту растрової структури, а для металізованої – кут, який відповідає чорній або жовтій фарбі. Отже, можна досягти растрового переходу від насиченого тону до світлого. Крім того, на одному аркуші може бути розміщено декілька виробів, навіть якщо вони мають різні металізовані кольори – це сприяє зменшенню собівартості кожного тиражу.

Новизна в технології MetalFX – тип та склад фарби-основи («срібло» або «золото»), поверх якої наносять тріадні фарби.

Забезпечення найкращої адгезії завдяки підібраним фарбам гарантує яскравість відтінків та можливість друку за один прогін. Перевагами технології MetalFX є те, що металізована фарба-основа дозволяє створювати дуже широкий спектр кольорів, що суттєво впливає на собівартість готової поліграфічної продукції. До того ж зникає потреба постійно змінювати фарбу та очищати друкарську машину. Також можна підтримувати металізований колір на усіх тиражах, контролюючи параметри за допомогою вимірювальних приладів (денситометрів і спектрофотометрів). Не завжди можливий контроль



щільності та кольору у разі використання при «звичайних» металізованих фарбах. Колір металевого пігменту MetalFX чистіший, ніж у звичайного срібла, що дозволяє створювати більш яскраві насичені кольори застосовуючи більш тонкий шар фарби. Коротка тривалість висихання фарб дає змогу скоротити час друку тиражу.

Програму MetalFX можна поєднати з програмою Maxwell Render (редактор матеріалів), яка забезпечує спеціальний підхід для створення матеріалів із складною структурою. Зокрема, використовуються шари, які дають змогу не тільки змішувати два різних матеріали, а й спланувати матеріал із двох чи більше складових з урахуванням їх геометричного рельєфу, текстури, прозорості, ступеня відбиття цих шарів. Програма дозволяє отримати різний рівень змішування цих шарів, що особливо важливо для застосування у друкарських процесах, де задруковувані матеріали мають праймер і заплановано операцію лакування. Одночасно можна регулювати оптичні показники шарів і підшарів: відбиття кольору під певним кутом, інверсію світла крізь товщу об'єкта, вплив шорсткості поверхні на яскравість відображення, керування кутом анізотропного відбиття, використання чорно-білої текстури з коловим градієнтом від чорного до білого кольору, можливість конструювання користувачем майже будь-якого джерела освітлення.

Нові можливості для описання процесів, які відбуваються на поверхні задруковуваних матеріалів за початкового контакту з металізованою фарбою, дає параметричне оцінювання геометричних структур поверхні (ГСП) в системі 3D. Дослідження в системі 3D відкривають нові можливості просторово-об'ємного оцінювання ГСП, а також більш коректного обґрунтування кінетики процесів, які відбуваються під час полімеризації фарб.

Спеціальний блок цієї програми Image Properties містить настройки, що відповідають за зображення текстури в цілому та уможливають регулювання: інвертування, фільтрації, яскравості, контрастності, насиченості, можливості секвенції зображення для анімації текстури (рис.4.7). Функціональні можливості цієї програми подано на рис. 4.8.

Основа об'єктивного аналізу ГСП формується за допомогою розміру Hausdorff'a-Колмогорова. Лапідарно в системі 3D цей об'ємний (або фрактальний) розмір можна подати у вигляді залежності[97]:

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \lg N(\epsilon) / \lg(1/\epsilon), \quad (4.27)$$

де D – фрактальний розмір (стосовно ГСП – параметр St_d); ϵ – елементарний кубічний об'єм; $N(\epsilon)$ – мінімальна множина елементарних кубічних об'ємів, потрібних для покриття всього об'єму поверхні.



Параметри, які відображають реальні властивості поверхонь	
Світло	Attenuation дозволяє вказати відстань, що пройде світло через об'єкт, перш ніж втратить половину своєї енергії
	Reflectance описує колір, який відображається від об'єкту при різних кутах огляду
	Transmittance визначає колір променів, що попали в товщу матеріалу
	Reflect визначає ступінь відображення, яка залежить від яскравості вказаного кольору
	Glossy впливає на рівень розмитості відображення
	Addmitter додає до обраного шару емітер, що дозволяє об'єкту випромінювати світло відповідно вказаним налаштуванням
	Luminance визначає інтенсивність випромінювання
Поверхня	Roughness показник шорсткості поверхні
	Opacity (f) значення прозорості матеріалу (пікселі з білим кольором $f=100$ – абсолютна непрозорість, пікселі чорного кольору $f=0$ – абсолютна прозорість)
	Показник N_d відповідає за коефіцієнт заломлення
	Abbe відповідає за ступінь дисперсії світла
	Anisotropy - напрям блику, що пов'язаний зі штучною текстурою
	Angle керує кутом напрямку анізотропного відображення
	Bump відповідає за геометричний рельєф
	Adddisplacement відповідає за геометричний рельєф поверхні матеріалу
	Addcoat – товщина оболонки
	Coating – дуже тонка оболонка, яка дає можливість утворення кольорових візерунків на поверхні оболонки
Кольорові параметри	Scattering – колір підповерхневого відображення
	Coef asymmetry – показник щільності частинок усередині матеріалу
Текстура	Invert інвертує текстуру
	Brightness регулює яскравість текстури
	Contrast регулює контрастність текстури
	Saturation регулює насиченість текстури

Рис.4. 7. Функціональні можливості програми «Редактор матеріалів»

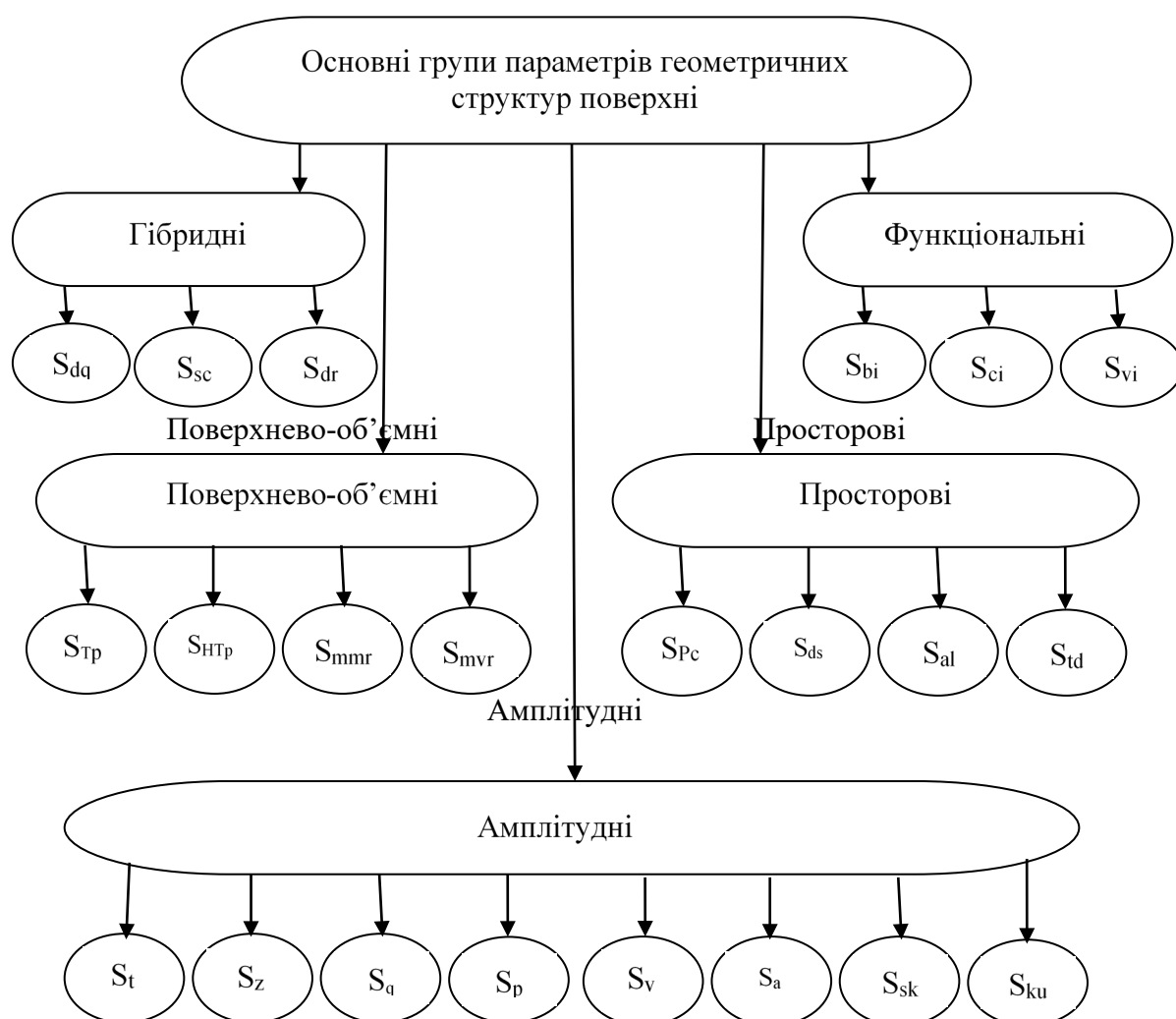


Рис.4.8.. Основні групи параметрів геометричних структур поверхні

де S_{dq} – середньоквадратичний нахил нерівностей поверхні, $\mu\text{т}/\mu\text{т}$;

S_{sc} – середньоарифметична кривина вершин, $1/\mu\text{м}$;

S_{dr} – розвиток поверхні, %;

S_{bi} – показник носійної властивості, μ ;

S_{ci} – показник утримування змазки коренем нерівностей;

S_{vi} – показник утримування змазки залишковими заглибленнями;

S_{Tp} – показник носійної властивості, на арбітрально заданій висоті відносно найвищої вершини, %;

S_{HTp} – висота опорної зони, $\mu\text{т}$;

S_{mmr} – показник об'єму матеріалу, $\text{мм}^3/\text{мм}^2$;

S_{mvr} – показник об'єму порожнин, $\text{мм}^3/\text{мм}^2$;

S_{Pc} – щільність розподілу місцевих вершин між арбітрально заданими рівнями C_1 і C_2 , кількість вершин, мм^2 ;

S_{ds} – щільність розподілення вершин; кількість вершин, мм^2 ;

S_{al} – коефіцієнт загасання функції автокореляції;

S_{td} – фрактальний розмір;



S_l – висота нерівностей, Mm ;

S_z – висота нерівностей по десяти точкам, Mm ;

S_q – середньоквадратичне відхилення ординат, μm ;

S_p – максимальна висота вершин (від середньої площини), μm ;

S_v – максимальна глибина западини (від середньої площини), μm ;

S_a – середньоарифметичне відхилення ординат (від середньої площини), μm ;

S_{sk} – коефіцієнт зміщення, μm ;

S_{ku} – коефіцієнт щільності, μm .

У якості металевого наповнювача для металізованих поліграфічних покриттів можна використовувати стружкові відходи кольорових сплавів, попередньо подрібнені до кондиційного розміру. В процесі утворення стружка, наприклад алюмінієвої бронзи, набуває великого запасу внутрішньої енергії в результаті деформації і накопичення значної кількості дислокацій, які є активними центрами і каталізаторами при будь-яких фізико-хімічних процесах, зокрема при полімеризації (рис.4.9).

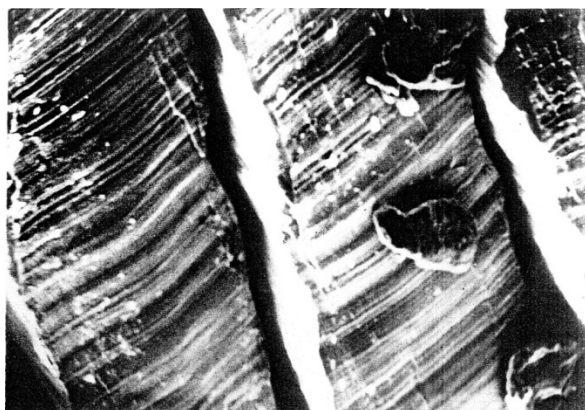


Рис.4.9. Рельєф поверхні стружкової частинки алюмінієвої бронзи (збільшення x 200).

Зазначимо, що: для оптимізації формування захисних елементів на будь-якій поверхні (особливо на металізованій), дизайнеру слід звернути увагу на можливість поєднання програм MetalFX та Maxwell Render (редактор матеріалів), яке б дало змогу користувачу застосовувати налаштування, відображаючи реальні властивості поверхонь. Ймовірність використання штучно створеної дефектної структури на поверхні задруковуваних матеріалів як основу для спеціального мікрорельєфу, у тих випадках, де це доречно. Для створення «ідеальної» моделі відтворення відбивної здатності задруковуваних



поверхонь у друкарських процесах потрібно вводити дуже багато умовних показників, які б спрощували показники початкових вихідних даних.

1.6. Офсетний металізований друк

Сьогодні компанії-виробники пропонують не занадто великий асортимент металізованих фарб — звичайно це золото, срібло й лінійка кольорів серії Pantone 871-877. Асортименти ж готових металізованих фарб фірми ECKART GmbH доволі широкі — це фарби стандартної лінійки, серія Pantone, серія «Супер Глос», фарби для растрового друку, для УФ-друку, зі зниженим вмістом органічних розчинників, на основі алюмінієвого пігменту, більш хімічно інертні, і, звичайно ж, фарби для популярної сьогодні технології MetalFX.

Для різних способів друку застосовується пігмент із тієї ж металеві сировини, але з частинками різного розміру. Для офсетного і високого друку потрібні луски товщиною близько 0,1 мікрона й діаметром 3,5 мкм.

У будь-якому випадку розмір частинок пігменту не має перевищувати 0,1-0,5 мкм, а їхня кількість на 1 см² — складати 10¹²-10¹⁵. На 1000 г в'язучого береться до 200 г металізованого пігменту, завдяки цьому фарбовий шар сприймається як однорідне середовище.

Сухий металевий порошок перетворюється на придатну для друкарських процесів фарбу завдяки в'язучим компонентам, які обволікають і несуть кожен частинку пігменту. До складу фірнісов (приготовлених в'язучих) для офсетних фарб входять тверді смоли (модифікована каніфоль і/або вуглеводнева смола), алкідна смола на рослинній основі, мінерально-олійний розріджувач, рослинні олії, структуроутворювачі [96].

Насамперед при створенні композиції фарби враховується метод друку. В офсетних машинах фарбовий апарат складається з безлічі валиків, і фарба досить довго перебуває в машині. Якби вона містила легко летючі розчинники, то встигала б, висихаючи, багато разів змінити свої властивості за час друкування, чого не повинно бути в жодному разі. Тому в офсетних фарбах використовуються малолетючі розріджувачі з дуже високою (до 300 °C і вище) температурою кипіння — мінеральні олії. Кількість розріджувача в пастоподібних офсетних фарбах зазвичай не перевищує 30 %.

При друці металізованими фарбами офсетним способом необхідно знати і враховувати цілий ряд особливостей, пов'язаних з властивостями фарб, з взаємодією фарби із зволожуючим розчином і папером, з впливом



навколишнього середовища (температура і вологість в приміщенні) і з деякими іншими чинниками [97].

У разі великих тиражів рекомендується застосовувати моно-металічні пластини з термообробкою оскільки металеві частинки пігменту прискорюють зношування пластини і знижують його тиражестійкість. Металеві пігменти мають розмір 1,5-3,5 мкм, а поверхня пластини може мати глибину рельєфу 3,5 мкм.

Металеві пігменти достатньо вибагливі до рівня рН зволожуючого розчину і легко окиснюються у кислому середовищі. Для оптимальної якості друку рН зволожуючого розчину повинен бути нейтральним. Якщо значення рН зволожуючого розчину високе, то погіршуються друкарські властивості, якщо значення рН зволожуючого розчину низьке, то фарба буде погано закріплюватися та можлива втрата кольору металевого пігменту. Тому, при друці металізованими фарбами окремим прогоном бажано підтримувати рН в діапазоні 6,0 – 6,2. Якщо друк виконується на багато фарбувальній машині з загальною системою зволоження для всіх фарбувальних секцій, то величина рН повинна бути біля 5,5.

При друку на низькоякісних паперах пігменти металізованих фарб «провалюються» у пори паперу та ефект глянцею і блиску пропадає. Найвища якість відбитку досягається при друку на якісних крейдованих глянцевих паперах або паперах з шаберним крейдуванням. Проте, треба звертати увагу на якість крейдування, так як всотуюча здатність багатьох зовнішньо блискучих та привабливих паперів може бути занадто високою, а це може привести до проникнення в'язучого занадто глибоко в поверхню паперу і викликати ефект «меління». Для усунення подібного ефекту пропонується попередньо задрукувати поверхню паперу спеціально розробленими фірмою ESKART ґрунтовками (праймерами) для золотої фарби серії 990237 і для сріблястої фарби серії 990559. Використання праймерів дозволяє максимально вирівнювати поверхню паперу і створити основу для розподілення металізованого пігменту [98].

Ідеальним друкованим матеріалом при використанні металізованих фарб є гладенький крейдований папір з низькою адсорбцією олій. Її гладенька поверхня і слабке вбирання в'язучого матеріалу збільшують глянець відбитку, підсилюють ефект металевого блиску і забезпечують добру стійкість відбитку до стирання. При роботі з паперами без покриття досягти гарних результатів, як було вказано вище, можна за рахунок нанесення ґрунтового шару-лаку або фарби. Для ґрунтування слід застосовувати ахроматичні фарби (білу або чорну)



або фарби, колір яких близький до кольору металевих пігментів (жовта і жовтогаряча фарби – під золото, синя – під срібло).

Для друку з високою швидкістю (більше 10 тис. відбитків на годину) переважно використовуються фарби з особливо дрібними пігментами. Металізовані фарби, як правило, мають добру стійкість до спиртів і низьку стійкість до лугів. Світлостійкість золотих фарб складає близько 34 одиниць, срібних фарб – до 7 одиниць за шкалою Blue Wool (ISO 28351974) [99].

Налаштування подачі фарби і зволожуючого розчину в секціях, що друкують металізованими фарбами, рекомендується починати лише після того, як буде встановлений оптимальний воднофарбовий баланс і досягнуто нормованої величини оптичної щільності на відбитках у всіх інших кольорових секціях. При налаштуванні секцій друку металізованими фарбами слід встановити мінімально необхідну подачу зволоження, після чого поступово збільшувати подачу фарби, доки не буде досягнуто необхідної величини оптичної щільності плашки на відбитку. В процесі друку слід підтримувати мінімальну подачу зволоження і контролювати величину оптичної щільності.

Мінімізація подачі зволожуючого розчину сприяє швидкому висиханню відбитків і отриманню найкращого ефекту металевого блиску. При підвищеному емульгуванні фарби відбитки повільно сохнуть і виглядатимуть тьмяними, а у найгіршому випадку можлива поява осипання фарби.

На рис. 4.10 надана схема усіх важливих факторів, які впливають на якість металізованого офсетного друку.

Інколи для металізованого офсетного друку застосовуються фарби на основі лаку, що не містять мінеральних олій, зі стабільною липкістю. Такі фарби забезпечують баланс фарба-вода при офсетному друці, стабільні друкувальні властивості, використовуються для друкування на невсотуючих поверхнях і підходять для подальшого лакування водно-дисперсійним або олійним лаком.

Для оптимізації умов друку металізованими фарбами у поліграфічних процесах є кілька чинників:

- матеріалознавчий, який містить у собі підбір матеріалів для кожного технологічного процесу друку;
- технологічний – полягає в оптимізації таких показників як рівень рН оптимізованого водного балансу металізованих фарб.

На практиці колір металізованої фарби часто намагаються змінити шляхом додавання до неї кольорової фарби. Наслідком цього може бути зменшення терміну зберігання фарби та зменшення її металевого блиску.

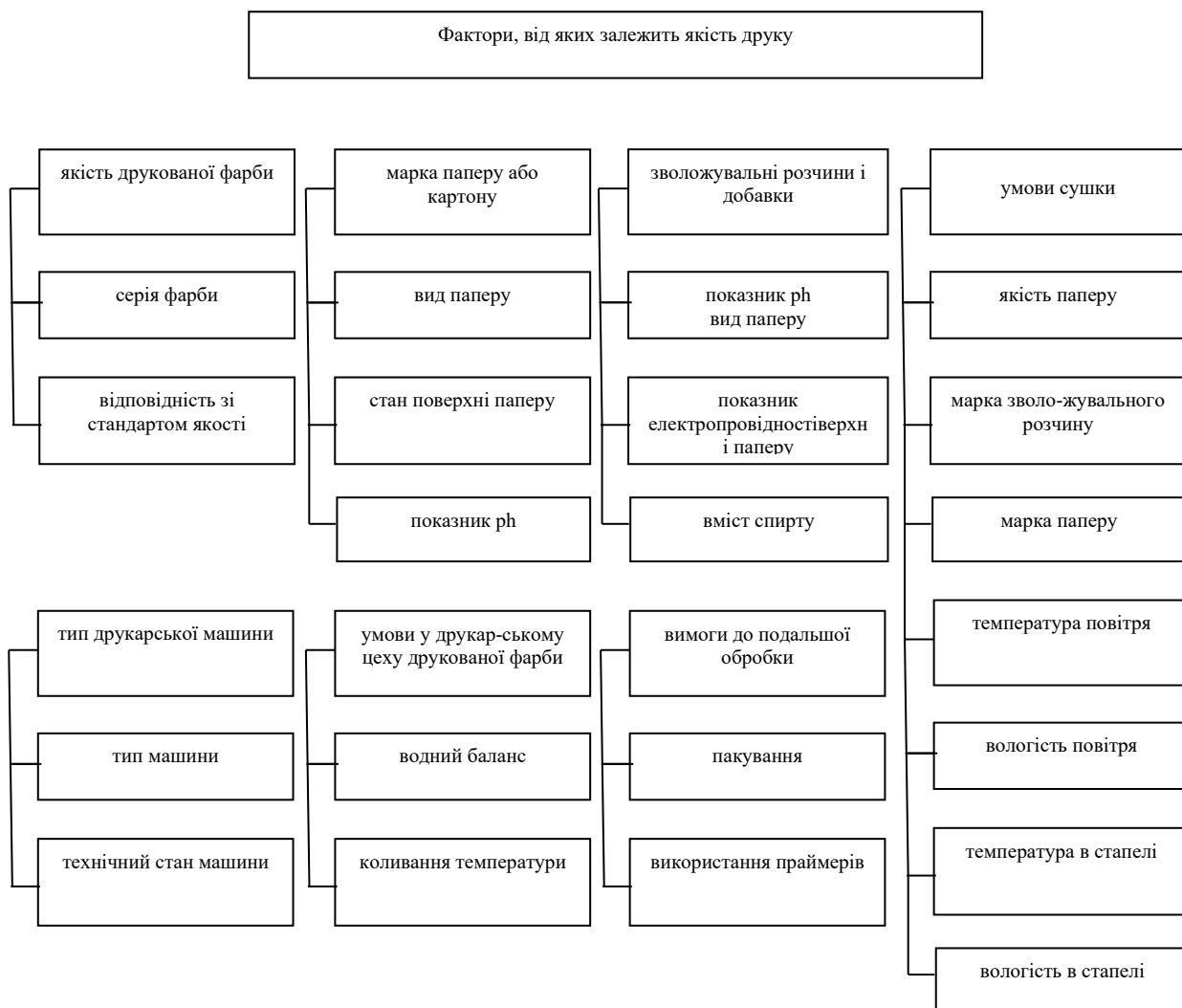


Рис.4.10. Схема усіх важливих факторів, які впливають на якість металізованого офсетного друку

Металевий блиск суміші з металізованої та кольорової фарб максимальний відразу після змішування – доки фарба свіжа. З часом пігменти починають зліпатися один з одним, що ускладнює підйом металевих пігментів на поверхню фарбового шару та обумовлює зменшення металевого блиску відбитків.

Окрім того, зниження металевого блиску зумовлене різницею у властивостях (головним чином різним поверхневим натягом) в'язучим кольорових та металізованих фарб. Якщо в'язуче кольорової фарби повинно добре змочувати пігмент, то в'язуче металізованої повинно поліпшувати підйом пігменту на поверхню фарбового шару [100].

В кінці технологічного процесу стоїть лакувальна секція. Оптимізація умов друку на даному етапі полягає в тому, щоб при використанні лаку не погіршувався металевий блиск. Саме для цього використовують проміжні шари між самою поверхнею паперу і лаком. Це робиться для підвищення міцності



паперу.

Відомо, що пігменти та наповнювачі мають різну кристалічну структуру, щільність, структуру поверхні тощо. Навіть один і той же пігмент має частинки різної форми і розміру. З цієї точки зору їх можна поділити на:

- первинні частинки;
- агрегати;
- агломерати;
- флокулянти.

Первинні частинки – це найменші частинки у виробництві пігментів. Вони представляють собою кристали або кластери кристалів, які не руйнуються в процесі диспергування.

Агрегати – це частинки, в яких первинні частинки дотикаються своїми сторонами та їх дуже складно зруйнувати в процесі подрібнення.

Агломерати представляють собою первинні частинки та агрегати, пов'язані разом по граням і кутам та одночасно слабкими силами Ван-Дер-Ваальса. Агломерати можуть мати розмір частинок до 100 мкм і більше, і тому їх присутність в металізованому покритті небажана, тобто вони мають негативний вплив на глянець та кольоросприйняття. Такі механічні скупчення повинні бути зруйновані на стадії подрібнення і змішуванні при виробництві фарб.

Флокулянти утворюються, коли первинні частинки, агрегати та агломерати, вже покриті адсорбованими в'язучими та добавками при відсутності доброї стабілізації. В цьому випадку молекули в'язучого та домішок, адсорбовані на поверхні пігментів і наповнювачів, взаємодіють між собою, утворюючи флокулянти [101].

Взагалі, такі утворення вважаються небажаними з точки зору колоїдної хімії, але металевий пігмент в полімерній оболонці, приймає активну участь в процесі полімеризації і такий флокулянт стає структурною складовою металізованої фарбової плівки.



KAPITEL 2 / CHAPTER 2²

AUDIO RECOGNITION PROBLEMS

ПРОБЛЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ АУДИОСИГНАЛОВ

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02-025

Введение

Машинное обучение активно внедряется в разработки компаний уровня Google[1], Facebook[2], Netflix[3] и др. Основопологающими причинами взрывного роста популярности машинного обучения и искусственного интеллекта в сфере обработки информации стали широкий спектр возможностей, впечатляющие результаты и разнообразие вариантов применения в различных предметных областях.

Если рассматривать более узкое направление речевых технологий, в том числе распознавания речи, которое непосредственно связано с темой данной работы, то эта область имеет как богатую историю, так и благоприятные перспективы развития. Широкий спектр применения голосовых систем включает, например, голосовой поиск, голосовое управление, ввод текста, интерфейсы управления умным домом, социальные сервисы для людей с ограниченными возможностями и многое другое. Основное преимущество таких систем заключается в том, что они избавляют конечного пользователя от необходимости использования сенсорных или иных методов ввода данных и команд.

На сегодняшний день задача обработки звуковой информации является актуальной в свете резкого скачка в развитии технологий цифровой обработки сигналов и их распознавания, равно как и совершенствования аппаратных средств, что позволяет обрабатывать большие объемы данных. Многие крупные компании музыкально-технологической и других сфер занимаются исследованиями в данной области, разработкой и совершенствованием новых алгоритмов, технологий и программного обеспечения. Например, компания Google ведет исследования в сфере голосовых технологий, направленные на разработку и совершенствование архитектур и алгоритмов распознавания речи, а также на эксперименты с подходами, ранее считавшимися неоправданно дорогими и ресурсозатратными [4].

Цель данной работы – проектирование и разработка программного модуля компьютерной сетевой системы для распознавания заданного набора голосовых

² Authors: Lvovich I. Y., Lvovich Y. E., Preobrazhenskiy A. P., Preobrazhenskiy Y. P.



команд с использованием алгоритмов машинного обучения. Задачами являются изучение и сравнительный анализ существующих подходов к решению задач обработки звуковых сигналов, выбор наиболее оптимального для распознавания голосовых команд, разработка программного модуля на основе выбранного подхода и совершенствование разработанного решения для получения максимально возможной точности результатов.

В данной работе применяются следующие общенаучные методы:

- метод формализации для проектирования архитектуры программного модуля;
- эксперимент для проверки предположений о точности результатов работы программы и корректировки параметров;
- дедукция для теоретического обоснования предположений и выводов, полученных эмпирическим путем.

Также можно выделить такие специфичные методы исследования, как алгоритмизация, моделирование и программирование.

1.1. Анализ особенностей распознавания характеристик аудиосигналов

1.1.1. Описание рассматриваемой проблемы

Рассматриваемую в данной работе задачу можно сформулировать следующим образом: реализация системы распознавания голосовых команд (слов) из набора десяти наиболее универсальных голосовых команд на русском языке, которые потенциально могут использоваться во многих системах различной направленности: «старт», «стоп», «пауза», «возобновить», «настройки», «применить», «отменить», «назад», «далее», «выбрать».

В общем смысле распознавание речи можно охарактеризовать как автоматический процесс преобразования речевого сигнала в цифровую информацию. В настоящее время распознавание речи можно свести к трем типам задач: распознавание отдельно произносимых слов, распознавание слитной речи и идентификация по образцу речи. Для каждой из них изучаются и разрабатываются наиболее подходящие методы решения.

1.1.2. Обзор актуального состояния исследований по данной проблеме

На сегодняшний день существуют различные подходы к решению проблемы обработки звуковых сигналов, в частности рассматриваемой в данной работе проблемы распознавания голосовых команд. У истоков



большинства из этих подходов так или иначе стоит спектральный анализ. Если обобщить, спектральный анализ – это совокупность методов качественного и количественного определения состава некоторого объекта, основанная на изучении спектров взаимодействия материи с излучением, включая спектры электромагнитного излучения, акустических волн, распределения по массам и энергиям элементарных частиц и др.

При работе с аудиосигналом, в цифровом виде как правило представляющим собой последовательность амплитудных значений, с помощью, например, преобразования Фурье или вейвлет-преобразования получают частотный спектр этого сигнала, являющийся репрезентативным для последующей обработки или анализа. Спектрограмма звукового сигнала — отражение зависимости спектральной плотности мощности этого сигнала от времени [5].

Также стоит упомянуть о том, что при преобразовании амплитудного спектра сигнала в частотный теряется информация о зависимости частоты от времени. Поэтому для обработки длительных сигналов обычно применяют оконные преобразования, последовательно получая частотный спектр для некоторого малого участка сигнала. Таким образом вместо спектрограммы всего сигнала получают последовательность спектрограмм с зависимостью от временной шкалы.

Одним из самых старых и наиболее полно изученных подходов является анализ сигналов на основе алгоритмов нечеткого поиска. Он позволяет, к примеру, давать числовую (процентную) оценку схожести двух аудиосигналов: входного сигнала и образца, или определять вхождение отрывка в некоторый звуковой сигнал. Для этого классические алгоритмы нечеткого поиска, исторически предназначенные для обработки текстовой информации, можно модифицировать для анализа числовых последовательностей частотного спектра аудиосигнала. Другой путь заключается в преобразовании набора частот в некоторую текстовую последовательность.

Анализ на основе нечеткого поиска является довольно ресурсоемким подходом и имеет ряд функциональных ограничений, связанных, например, с продолжительностью сигналов, темпом речи произносящего распознаваемую голосовую команду или высотой и тембром голоса. Обход этих ограничений в рамках текущего подхода возможен, но является достаточно комплексным и трудоемким с точки зрения программной реализации.

Более современным и имеющим более широкий спектр применений подходом можно назвать использование нейронных сетей. На сегодняшний



день аудиоанализ представляет собой стремительно развивающийся поддомен сферы машинного обучения [6]. Некоторые из самых популярных и распространенных систем машинного обучения, например виртуальные помощники Alexa, Siri и Google Home, — это продукты, созданные на основе моделей, извлекающих информацию из аудиосигналов.

Для данной работы был избран подход, основанный на глубоком обучении, как наиболее универсальный и перспективный.

Одним из наиболее известных фундаментальных трудов, посвященных оконным функциям для гармонического анализа, является работа Фредерика Дж. Харриса ‘On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform’, изданная в 1978 году и переведенная на русский язык в журнале ТИИЭР [7].

Опираясь в том числе и на этот знаменитый труд, В.П. Дворкович и А.В. Дворкович в 2017 году опубликовали работу «Оконные функции для гармонического анализа сигналов». Она содержит подробную информацию о параметрах классических оконных функций, а также оконных функций, сконструированных в виде произведений, сумм и сверток различных функций, в виде отдельных участков известных окон различными авторами, и их применении для обработки сигналов с использованием быстрого преобразования Фурье [8].

О преобразовании Фурье, его вариациях и применении в решении различного плана задач было издано множество трудов. Одной из наиболее содержательных и полезных для данной работы стала книга Г. Нуссбаумера «Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток», русский перевод которой был издан в 1985 году издательством «Радио и Связь». Помимо рассмотрения разновидностей собственно преобразования Фурье, книга предоставляет теоретический базис по элементам теории чисел и полиномиальной алгебры, алгоритмам быстрой свертки и линейной фильтрации [9].

Одним из лучших алгоритмов по распознаванию и классификации изображений на сегодняшний день считается сверточная нейронная сеть. Использование сверточных нейросетей также показывает свою высокую эффективность в обработке и анализе звуковых (в том числе и речевых) сигналов, основанных на работе с изображениями спектрограмм.

Например, в 2019 вышла статья Мирко Раванелли и Йошуа Бенджио ‘Speaker Recognition from Raw Waveform with SincNet’, в которой описана end-to-end архитектура нейронной сети для распознавания говорящего по голосу.



Ключевая особенность этой архитектуры — специальные одномерные сверточные слои, которые имеют два параметра с четкой интерпретацией [10].

Еще одной примечательной работой является «Нейросетевой анализ и сопоставление частотно-временных векторов на основе краткосрочного спектрального представления и адаптивного преобразования Эрмита» (авторы Жирков А.О., Корчагин Д.Н., Лукин А.С., Крылов А.С., Баяковский Ю.М.) Работа была издана в 2001 году и рассматривает метод распознавания речи/дикторов на основе представления речевой информации в виде потока двухмерных частотно-временных векторов. Классификация векторов осуществляется нейронной сетью, на вход к которой поступают низкочастотные двумерные вейвлет-преобразования участков спектрограмм. Исходными представлениями звука являются сонограммы краткосрочного преобразования Фурье и адаптивного преобразования Эрмита[11].

Также задача распознавания речи рассматривалась в статье Р.Ю. Белоруцкого и С.В. Житника «Распознавание речи на основе сверточных нейронных сетей», изданной в 2019 году[12].

1.1.3. Анализ исторического опыта

Первое устройство для распознавания речи, способное распознавать произнесенные человеком цифры, появилось в 1952 году [13]. Оно было разработано в Bell Telephone Laboratories и использовало метод распознавания, основанный на сравнении входного сигнала с заранее записанными образцами.

В 1956 году была разработана «фонетическая» печатная машинка, которая могла распознавать десять отдельных символов. Принцип ее работы также базировался на вышеописанном подходе [14].

В 1962 году на ярмарке компьютерных технологий в Нью-Йорке был продемонстрирован компьютер IBM Shoebox, способный выполнять математические операции и распознавать речь. Устройство было разработано Уильямом К. Дершем в лаборатории подразделения Advanced Systems Development Division в IBM. Оно распознало 16 произнесенных слов, в том числе цифры от 0 до 9. Управление компьютером осуществлялось с помощью микрофона, который преобразовывал звуки голоса в электрические импульсы. Измерительный контур классифицировал эти импульсы на основе различных типов звуков и активировал присоединенную вычислительную машину через систему реле [15].

В 60-е годы проводились эксперименты с техниками временной нормализации в попытке минимизировать погрешность распознавания речи



различных людей, а также определять моменты времени, когда речь начинает и заканчивает звучать. В 1966 году Д.Р. Рэдди предпринял попытку разработать систему, способную распознавать непрерывную речь при помощи динамического выделения отдельных фонем [16].

Тремя годами ранее, в 1963, в США были презентованы распознающие устройства «Септрон» (англ. «Sceptron») с оптоволоконным запоминающим устройством, выполняющие некоторую последовательность действий в ответ на произнесенные человеком-оператором определенные фразы [17]. Септроны были пригодны для применения в сфере проводной связи для автоматизации набора номеров, могли применяться в военной сфере для голосового управления сложными образцами военной техники, авиации, автоматизированных системах управления и др.[16-18]

В 1983 году был представлен интерактивный комплекс «умной авионики» для вертолетов «Apache», распознающий голосовые команды пилота, преобразующий их в сигналы управления бортовым оборудованием и отвечающий ему голосом относительно возможности реализации поставленной задачи [18].

В начале 90-х годов начали появляться первые коммерческие программы для распознавания речи, такие как Dragon NaturallySpeaking или VoiceNavigator. С увеличением вычислительных мощностей мобильных устройств стало возможным создавать мобильные программы с функцией распознавания речи, например, Microsoft Voice Command.

Сегодня технологии распознавания речи все больше внедряются во многие сферы человеческой жизни и находят широкое применение в различных сферах бизнеса.

Еще более полувека назад в этой технологии видели большой потенциал. В наши дни на фоне лавинообразного технологического развития, появления новых разработок в сферах программного и аппаратного обеспечения, для нее возникают и новые (в основном коммерческие) области применения.

2.2. Теоретические основы анализа аудиосигналов

2.2.1. Анализ предмета исследования

Обработка звуковой информации неразрывно связана с рядом этапов предобработки обрабатываемых данных. Аналоговый сигнал оцифровывается в некотором цифровом формате, с которым затем следуют произвести ряд



манипуляций, прежде чем он будет пригоден для корректного распознавания.

Рассмотрим последовательно технологии и методы распознавания звуковых сигналов, а также методы предварительно преобразования аудиопотока.

2.2.1.1. Выбор целевого цифрового аудиоформата

Формат аудиофайла определяет структуру и особенности представления звуковых данных при хранении на запоминающем устройстве. Для устранения избыточности аудиоданных используются аудиокодеки, при помощи которых производится сжатие аудиоданных. Выделяют три группы звуковых форматов файлов:

- без сжатия, такие как WAV, AIFF;
- со сжатием без потерь (APE, FLAC);
- со сжатием с потерями (MP3, Ogg).

Рассмотрим несколько популярных аудиоформатов.

WAV – обычно используется для хранения несжатых аудиозаписей (PCM), идентичных по качеству звука записям на компакт-дисках (audio-CD). В среднем одна минута звука в формате wav занимает около 10 мегабайт.

MP3 (MPEG Layer-3) – наиболее распространенный в мире звуковой формат. Как и многие другие форматы с потерей качества, урезает звук, не воспринимаемый человеческим ухом, уменьшая тем самым итоговый размер файла.

WMA (Windows Media Audio) – формат, принадлежащий компании Microsoft. Изначально данный формат был представлен, как замена MP3, имеющая, по заявлению Microsoft, более высокие характеристики сжатия.

AAC – запатентованный аудио-формат, имеющий большие возможности (количество каналов, частоты дискретизации) по сравнению с mp3 и дающий несколько лучшее звучание при том же размере файла.

FLAC – популярный формат сжатия без потерь. Он не вносит изменений в аудиопоток, и закодированный с его помощью звук идентичен оригиналу. Как правило используется для прослушивания звука на звуковых системах высокого уровня.

Самым популярным форматом, используемым для анализа и обработки, считается WAV. Он содержит несжатое аудио в формате линейной импульсно-кодовой модуляции (LPCM). Существует широкий выбор программных решений и библиотек для работы с данным форматом в различных языках программирования, например, в C или Python. Причина его популярности в



удобном для обработки и анализа формате представления данных в файле.

WAV-файл использует стандартную RIFF-структуру, которая группирует содержимое файла из отдельных секций (chunks) – формат выборок аудиоданных, аудиоданные, и т. п. Каждая секция имеет свой отдельный заголовок и отдельные данные секции. Заголовок указывает на тип секции и количество содержащихся в ней байт. Такой принцип организации позволяет программам анализировать только необходимые секции, пропуская остальные, которые не известны или не требуют обработки. Некоторые определенные секции могут иметь в своем составе подсекции (sub-chunks).

Заголовки WAV-файла используют стандартный формат RIFF. Первые 8 байт файла - стандартный заголовок секции RIFF, который имеет ID секции "RIFF" и размер секции, равный размеру файла минус 8 байт, используемых для RIFF-заголовка. Первые 4 байта данных в секции "RIFF" определяют тип ресурса, который можно найти в секции. WAV-файлы всегда используют тип ресурса "WAVE". После типа ресурса (ID "WAVE") идут секции звукового файла, которые определяют аудиосигнал.

Существует много типов секций, заданных для файлов WAV, но большинство WAV-файлов содержат только две из них – секцию формата ("fmt") и секцию данных ("data"). Это именно те секции, которые необходимы для описания формата выборок аудиоданных, и для хранения самих аудиоданных. Хотя официальная спецификация не задает жесткий порядок следования секций, наилучшей практикой считается размещение секции формата перед секцией данных. Многие программы ожидают именно такой порядок секций, и он наиболее разумен для передачи аудиоданных через медленные, последовательные источники наподобие Интернет. Иначе если формат придет после данных, то перед стартом воспроизведения необходимо считать и запомнить все аудиоданные, только после получения формата запускать воспроизведение[19].

Секция данных Wave (Wave Data Chunk) содержит данные цифровых выборок аудиосигнала, которые можно декодировать с использованием формата и метода компрессии, указанных в секции формата Wave (Wave Format Chunk).

WAV-файлы обычно содержат только одну секцию данных, но секций может быть несколько, если они содержатся в секции списка Wave (Wave List Chunk "wavl").

Аудиовыборки многоканального цифрового аудио сохраняются как чередуемые (interlaced) данные, которые просто означают последовательные



аудиовыборки нескольких каналов (таких как стерео и каналы окружения surround). Выборки каналов сохранены последовательно друг за другом, перед тем как произойдет переход к следующему времени выборки. Это сделано с целью возможности последовательного проигрывания файла даже тогда, когда еще не весь файл прочитан целиком.

2.2.1.2. Методы предварительного преобразования аудиопотока

Цифровой звук — это аналоговый звуковой сигнал, представленный посредством дискретных численных значений его амплитуды.

Звуковая волна имеет три основных характеристики: амплитуда, частота и фаза. Частота и фаза являются функциями времени, амплитуда определяет динамический диапазон. Отсюда следует, что для корректного представления звукового сигнала в цифровой форме необходимо сохранить изменения амплитуды как функцию времени[20].

При этом стоит отметить основной проблемой задачи спектрального анализа голосовых команд то, что голоса разных дикторов могут иметь многочисленные отличия. Для выделения этих отличий рассмотрим основные акустические характеристики голосового сигнала, влияющие на подходы к спектральному анализу этого сигнала.

В первую очередь голоса дикторов разного пола и возраста различаются по *высоте*. Базовая частота основного тона – частота вибрации голосовых связок, которая является акустическим коррелятором тона голоса, индивидуальна и определяется не только возрастной и половой принадлежностью говорящего, но и особенностями строения голосовых связок и гортани, а также обуславливается интонациями и эмоциональной окраской речи. В среднем для мужского голоса частота основного тона составляет 80-210 Гц, для женского – 150-320 Гц [21].

Сила (громкость, уровень звукового давления) голоса определяется амплитудой вибрации голосовых связок.

Индивидуальная комбинация амплитуды и частоты связок формирует *вибрато* – периодические изменения высоты, громкости и/или тембра звука. Оно более значимо в контексте анализа певческого голоса, нежели устной речи, и как правило оказывает на спектральные характеристики речевого сигнала совсем незначительное влияние.

Тембр является, пожалуй, наиболее комплексным параметром голоса. Он определяет его индивидуальную окраску путем сложения основного тона и обертонов, сумма звучания которых придает голосу индивидуальную



совокупность высоты и интенсивности голоса, а также шумов, возникающих в момент формирования звука в голосовых связках.

Тембр напрямую связан с такой акустической характеристикой звуков (прежде всего гласных) как *форманта*. В частотном спектре форманта выглядит как отчетливо выделяющаяся область усиленных частот. Это обусловлено тем, что в определенной частотной области вследствие резонанса в голосовом аппарате усиливается некоторое число гармоник тона, производимого голосовыми связками. Для характеристики звуков речи обычно выделяют четыре форманты, пронумерованных в порядке возрастания их частоты. Для разных звуков речи характерны определенные частотные диапазоны формант [21].

Существует подход к распознаванию голосовых сигналов на основе анализа изображений формант, однако он показывает менее эффективные результаты, чем анализ изображений спектрограмм [10].

В упрощенной форме процесс представления звукового сигнала в цифровой форме связан с замером значений амплитуды аналогового сигнала (дискретизация по амплитуде) в определенные и постоянные моменты времени (дискретизация по времени).

Представление звукового сигнала в виде набора отсчетов амплитуд удобно для его хранения и преобразования обратно в аналоговый сигнал. Однако, в силу того что реальный звуковой сигнал складывается из составляющих его частот с определенной амплитудой и фазой, применение многих операций обработки звукового сигнала (например, частотные фильтры) требует преобразования его в частотный спектр.

Спектрограмма — отражение зависимости спектральной плотности мощности сигнала (распределения мощности сигнала, приходящейся на единичный интервал частоты) от времени.

В контексте рассматриваемой задачи анализ входных аудиосигналов производится именно на основе анализа изображений их спектрограмм.

Для получения спектра звукового сигнала наиболее часто используются дискретное преобразование Фурье и вейвлет-преобразование. Интегральное преобразование и ряды Фурье лежат в основе спектрального анализа. Однако несмотря на популярность преобразования Фурье для частотного представления сигнала, существует ряд фундаментальных ограничений, которые привели к появлению оконного преобразования Фурье и стимулировали развитие вейвлет-преобразования.

Для рассматриваемой задачи для предварительной обработки входных



сигналов было решено применять оконное преобразование Фурье.

2.2.1.3. Выбор оконной функции для оконного преобразования Фурье на этапе формирования спектрограммы

Преобразование Фурье раскрывает элементарную периодичность сигнала, раскладывая сигнал на составляющие его синусоидальные частоты и определяя величины и фазы этих составляющих частот.

Преобразование Фурье функции f вещественной переменной является интегральным и задаётся следующей формулой:

$$\tilde{f}(\alpha) = \int_{\mathbb{R}} f(x) e^{-i\alpha x} dx$$

При получении частотного спектра из цифрового (или оцифрованного аналогового) аудиопотока теряется информация о временных характеристиках для той или иной частоты. Простыми словами, получив частотный спектр звукового сигнала, невозможно определить, в какой именно момент времени на протяжении длительности данного сигнала прозвучала та или иная частота. Например, преобразование Фурье не различает сигнал, представляющий собой сумму двух синусоид с различными частотами, от сигнала, состоящего из тех же синусоид, но звучащих последовательно одна за другой [22].

В контексте распознавания звуковых сигналов эта проблема может быть решена применением оконного преобразования Фурье. Временной интервал сигнала разделяется на подынтервалы, и преобразование Фурье выполняется последовательно на каждом из этих интервалов. Таким образом осуществляется переход к частотно-временному представлению сигналов. Результатом оконного преобразования является семейство спектров, которым отображается изменение спектра сигнала по интервалам сдвига окна преобразования.

Оконное преобразование Фурье определяется следующим образом:

$$F(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) W(\tau - t) e^{-i\omega\tau} d\tau,$$

где $W(\tau - t)$ – некоторая оконная функция.

На практике нет возможности получить сигнал на бесконечном интервале, так как нет возможности узнать, какой был сигнал до включения устройства и какой он будет в будущем. Ограничение интервала анализа равносильно произведению исходного сигнала на прямоугольную оконную функцию. Таким образом, результатом оконного преобразования Фурье является не спектр исходного сигнала, а спектр произведения сигнала и оконной функции. В результате возникает эффект, называемый растеканием спектра сигнала. Существует проблема, которая заключается в том, что боковые лепестки



сигнала более высокой амплитуды могут маскировать присутствие других сигналов меньшей амплитуды.

Для борьбы с растеканием спектра применяют гладкую оконную функцию, спектр которой имеет более широкий главный лепесток и низкий уровень боковых лепестков. Спектр, полученный при помощи оконного преобразования Фурье, является сверткой спектра исходного идеального сигнала и спектра оконной функции [23].

2.2.1.4. Генерация спектрограммы

Преобразование Фурье позволяет получить частотный спектр из массива амплитуд, которым по сути является входной аудиосигнал.[6] Для этого к каждому окну Гаусса, полученному из входного аудиопотока, применяется быстрое преобразование Фурье, после чего для каждого полученного набора частот строится спектрограмма. Эти изображения объединяются в одно, составляя визуализацию зависимости частотных характеристик сигнала от времени.

2.2.1.5. Предварительная обработка входных данных для распознавания

Для минимизации ошибки распознавания необходимо осуществить некоторую предварительную обработку входных данных:

- ограничение сигнала по временной шкале с целью выделения его информативной части;
- ограничение частотного диапазона до 8 кГц, что является достаточным для качественного распознавания, но не перегружает вычислительные мощности компьютера [24];
- нормировка интенсивности спектра для корректной обработки сигналов различной громкости;
- уменьшение разрешения изображений спектрограмм с целью снизить нагрузку на вычислительные мощности и повышение их контрастности для выделения информативных составляющих сигнала на фоне шумов, так как запись образцов речи производится с использованием непрофессионального оборудования.

Произведя данные манипуляции с тестовым набором данных, можно будет приступить к обучению нейронной сети. Впоследствии при использовании программного модуля входные аудиосигналы будут проходить через те же стадии предварительной обработки.



2.2.1.6. Обзор теоретических основ архитектуры нейронных сетей

Искусственная нейронная сеть – математическая модель, а также ее программная или аппаратная реализация, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма.

Искусственная нейронная сеть представляет собой систему соединенных и взаимодействующих между собой элементарных процессоров – искусственных нейронов.

Возможность обучения за счет применения решений множества сходных задач – одно из главных преимуществ нейросетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами.

Искусственный нейрон (математический нейрон Маккалока-Питтса) – узел искусственной нейронной сети, являющийся упрощенной моделью естественного нейрона.

Обычно искусственный нейрон представляется как некоторая нелинейная функция от линейной комбинации всех входных сигналов. Данную функцию называют *функцией активации* или *функцией срабатывания, передаточной функцией*.

Каждая связь, по которой выходной сигнал одного нейрона поступает на вход другого, характеризуется своим весом. Связи с положительным весом называются возбуждающими, с отрицательным – тормозящими. Нейрон имеет один выход, сигнал с которого может поступать на произвольное число выходов других нейронов. Функция активации определяет зависимость сигнала на выходе нейрона от взвешенной суммы сигналов на его входах.

Стоит отдельно упомянуть основные параметры нейронной сети, чтобы иметь возможность в дальнейшем оперировать этим понятийным аппаратом.

Эпоха – этап работы программы, когда весь датасет прошел через нейронную сеть в прямом и обратном направлении один раз. Одна эпоха приводит к недообучению, избыток – к переобучению. С увеличением числа эпох веса сети изменяются все большее количество раз. При переобучении исчезает обобщающая способность нейронной сети. Для различных датасетов оптимальное количество эпох будет отличаться, оно напрямую связано с разнообразием данных.

Поскольку одна эпоха как правило слишком велика для аппаратного обеспечения, датасет делится на маленькие партии – *батчи*. Размер батча – общее число тренировочных данных, представленных в одном батче.



Итерации – число батчей, необходимое для завершения одной эпохи.

Можно выделить восемь общих этапов решения задач с помощью нейронных сетей:

- сбор данных для обучения;
- подготовка и нормализация данных;
- выбор топологии сети;
- экспериментальный подбор характеристик сети: числа эпох, итераций и батчей;
- экспериментальный подбор параметров обучения;
- обучение;
- проверка адекватности обучения;
- корректировка параметров, окончательное обучение.

Нейронные сети можно классифицировать по различным признакам.

Характер обучения

Можно выделить три характера обучения нейросетей:

- *обучение с учителем*: выходное пространство решений нейронной сети известно;
- *обучение без учителя*: сеть формирует выходное пространство решений только на основе входных воздействий. Такие сети называют самоорганизующимися;
- *обучение с подкреплением*: система назначения штрафов и поощрений от среды.

Архитектура

Также существует классификация нейросетей по архитектуре.

Многослойными (много связными) называются нейросети, в которых нейроны сгруппированы в слои. Каждый нейрон предыдущего слоя связан со всеми нейронами следующего слоя. Внутри слоев связь между нейронами отсутствует. Слой содержит совокупность нейронов с едиными входными сигналами.

Среди многослойных сетей в свою очередь выделяют:

- *сети без обратных связей (прямого распределения)*: сигналы передаются строго по направлению от входного слоя к выходному;
- *сети с обратными связями*: информация может передаваться с последующих слоев на предыдущие.

Слабосвязные сети (сети с локальными связями) – слоистые сети с небольшим количеством связей.

В *полносвязных* сетях каждый нейрон передает свой выходной сигнал всем



остальным нейронам сети, в том числе самому себе.

Топология

Существует множество разновидностей топологий нейронных сетей, применяемых в силу своих особенностей для решения разных классов задач. Автокодировщик (разновидность сети прямого распространения) используется для кодирования информации, сверточные сети – для распознавания и классификации образов, разверточные сети – для генерации выходных данных по заданному критерию, сети типа *deep belief* – для отображения данных в виде вероятностной модели и др.

Для обработки изображений и аудио чаще всего используются сверточные нейронные сети и глубокие сверточные нейронные сети. Зачастую они применяются для классификации изображений и показывают один из лучших результатов в данной области [25].

2.2.1.7. Обзор принципов работы сверточных нейронных сетей

Сверточные нейронные сети работают на основе фильтров, которые предназначены для определения некоторых конкретных характеристик изображения (например, прямых линий). *Фильтр* — это набор ядер (ядер); иногда в фильтре используется одно ядро. *Ядро* — это матрица чисел, называемых весами, которые “обучаются” (подстраиваются) с целью поиска на изображении определенных характеристик. Фильтр перемещается вдоль изображения и определяет, присутствует ли некоторая искомая характеристика в конкретной его части.

Если некоторая искомая характеристика присутствует во фрагменте изображения, операция свертки на выходе будет выдавать число с относительно большим значением. Если же характеристика отсутствует, выходное число будет маленьким. Результатом перемещения данного фильтра вдоль всего изображения есть матрица, состоящая из результатов единичных сверток.

Для того, чтобы обучение весов было эффективным, в результаты сверток вводятся некоторое смещение (*bias*) и нелинейность.

Смещение — это операция сложения каждого элемента выходной матрицы с величиной смещения. Это может быть необходимо для того, чтобы вывести нейронную сеть из тупиковых ситуаций, имеющих сугубо математические причины.

Нелинейность представляет из себя функцию активации. Благодаря ей



картина, формируемая с помощью операции свертки, получает некоторое искажение, позволяющее нейронной сети более ясно оценивать ситуацию. Обычно в сверточных слоях используется более одного фильтра. Когда это имеет место, результаты работы каждого из фильтров собираются вдоль некоторой оси, что в результате дает трехмерную матрицу выходных данных. С целью ускорения процесса обучения и уменьшения потребления вычислительных ресурсов производят даунсемплинг исходных и/или промежуточных данных [26].

Далее, после нескольких сверточных слоев и блока даунсемплинга, трехмерное представление изображения разворачивается в вектор, который далее будет передан в многослойный перцептрон — полносвязную нейронную сеть.

Выходной слой отвечает за формирование вероятностей принадлежности входного образа тому или иному классу. Для этого выходной слой должен содержать количество нейронов, соответствующих количеству классов. Взвешенные и просуммированные сигналы далее модифицируются с помощью функции активации [10].

2.3. Практическая реализация разработанных алгоритмов

2.3.1. Проектирование и разработка программного модуля

Программный модуль для распознавания голосовых команд предполагается содержащим несколько функциональных компонентов, которые будут последовательно передавать обрабатываемые данные из одного компонента в другой. Работа модуля будет начинаться с запуска компонента записи и сохранения аудиосигнала, затем этот сигнал будет передаваться компоненту извлечения из сигнала последовательности данных и обработки их для получения частотных характеристик сигнала и построения спектрограммы. Далее полученное изображение спектрограммы передается компоненту обработки изображений для сжатия, увеличения контрастности и нормировки гистограммы. После этапа обработки изображение поступает на вход компоненту распознавания, содержащему обученную сверточную нейронную сеть. На выходе этого компонента пользователь получает результаты распознавания входного сигнала.

Также в модуль заложена возможность расширения заложенного в него набора распознаваемых команд. Для этого пользователь должен добавить в



датасеты для обучения, проверки и тестирования фиксированный набор реализаций (записей) новой команды, а затем инициировать повторную генерацию и обучение распознающей нейросети на обновленных данных с корректировкой ее параметров, таких как количество сверточных слоев или количество нейронов на выходном слое сети. Наряду с добавлением существует возможность замены и удаления команд, которое осуществляется по тому же алгоритму.

Доступ к этой функциональности должна иметь только определенная группа пользователей с расширенным набором разрешений (назовем их «администраторами»). Реализация различных уровней доступа является второстепенной в контексте рассматриваемой в данной работе задачи, поэтому подробности программирования этого сегмента программы здесь не описываются.

Также стоит отметить, что, предоставляя доступ к редактированию датасетов, разработчик не может гарантировать корректность добавляемых администратором данных. Некорректные данные (например, реализации различных команд в одном наборе) могут негативно повлиять на качество обучения нейросети независимо от ее архитектуры и параметров. Эта уязвимость не является критичной в контексте разработки опытного образца, однако в случае интеграции программного модуля в какую-либо систему с реальными пользователями необходима верификация данных, помещаемых в обучающие датасеты.

Разработка программной реализации модуля предобработки и распознавания аудиосигналов осуществляется на языке программирования Python с использованием библиотек **pyaudio** для получения сигналов с микрофона, встроенного или подключенного к компьютеру, на котором запущена программа, **wave** для преобразования записанного звука в формат wav и разбора аудиофайлов, **scipy** для осуществления оконного преобразования Фурье, **matplotlib** для генерации спектрограмм, **pillow** для обработки изображений спектрограмм и **keras** для синтеза нейронной сети.

Несмотря на то, что домен администрирования подробно не рассматривается в рамках данной работы, его репрезентация важна для корректного представления об общей архитектуре и функциональности программы, а также возможностях ее интеграции в реальные системы в дальнейшем.

Рассмотрим последовательно каждый из функциональных компонентов разрабатываемой программы.



2.3.1.1. Запись звука

Библиотека **pyaudio** позволяет записать звук из любого доступного источника, например микрофона или микшера. Источник может быть как встроен в компьютер или ноутбук, на котором работает программа, так и быть подключенным к нему либо находиться с ним в одной локальной сети. Данные записываются в виде потока объектов типа `bytes` и могут затем быть сохранены в виде `wav`-файла. Перед записью инициализируется поток `pyAudio`, затем в цикле получаемые из потока данные блоками записываются в массив, откуда после окончания записи сохраняются в виде `wav`-файла.

При необходимости пользователь может отменить сохранение записанного образца и перезаписать его. В этом случае на следующий этап обработки будет передан последний записанный пользователем сигнал, а данные, записанные во время предыдущей попытки, будут автоматически очищаться в момент начала новой записи.

В результате мы получим одноканальный `wav`-файл с записанным в него сигналом (голосовой командой), готовым к последующей обработке. Таким образом записывались датасеты команд для обучения, проверки и тестирования распознающей нейросети. Таким же образом будут записываться команды при непосредственном использовании программного модуля.

2.3.1.2. Разбор аудиофайла

Для построения спектрограммы необходимо сначала получить последовательность амплитудных отсчетов из обрабатываемого файла, затем применить к ней оконное преобразование Фурье, получив, таким образом, набор частотных спектров для последовательности участков исходного сигнала. На основе этих спектров будут генерироваться спектрограммы.

В результате получаем массив амплитудных отсчетов обрабатываемого сигнала.

2.3.1.3. Генерация спектрограммы

Для генерации изображений спектрограмм используется библиотека `matplotlib`. В ее методе построения спектрограммы инкапсулировано оконное преобразование Фурье с различными оконными функциями, что позволяет не программировать вычисления вручную.

2.3.1.4. Обработка изображения спектрограммы

Для того, чтобы минимизировать вероятность ошибки распознавания и



уменьшить нагрузку на вычислительные мощности компьютера, перед передачей изображения спектрограммы на вход распознающей нейронной сети необходимо произвести некоторые манипуляции с этим изображением. Для этого в данной работе используется библиотека pillow, предоставляющая богатый инструментарий для обработки изображений средствами языка Python.

Разрешение исходного изображения спектрограммы уменьшается до 60x60 пикселей. При этом на первом шаге изображение сжимается до 60 пикселей по высоте, соответствующей оси частотных характеристик сигнала, без изменения отношения сторон для сохранения пропорциональности репрезентации частотного диапазона сигнала. Далее высота изображения фиксируется, а ширина, отражающая временную шкалу сигнала, уменьшается (в редких случаях увеличивается) до 60 пикселей. Такой двухступенчатый процесс сжатия изображения позволяет свести к минимуму ошибку распознавания, связанную с различиями в темпе (длительности) произносимых команд.

Контрастность сжатого изображения повышается на 60% для более четкого выделения информативной части спектра, цветность опускается до черно-белого спектра, производится процедура эквализации гистограммы для нормировки яркости изображений. Последнее важно для минимизации ошибки распознавания из-за различий в громкости записываемых сигналов.

Гистограмма изображения – это диаграмма распределения пикселей с различной яркостью. Горизонтальная ось диаграммы отражает яркость, а вертикальная – количество точек с конкретным значением яркости. Если посмотреть на гистограмму одного и того же черно-белого фото с различными параметрами яркости, можно заметить, что чем темнее изображение, тем больше ненулевые значения гистограммы концентрируются в левой части гистограммы (ближе к минимальным уровням яркости).

2.3.2. Обучение нейронной сети. Корректировка параметров сети

Произведем обучение спроектированной нейронной сети в 30 эпох. Так как объем обучающих и тестовых данных сравнительно небольшой, разбивать их на батчи нет смысла.

Результаты распознавания проверочных данных после обучения составили 78.3%. Этот результат можно считать близким к удовлетворительному, однако он ниже среднего показателя распознавания, которого достигают сети подобной конфигурации.

Далее были проведены тесты с последовательным наращиванием количества сверточных слоев и эпох обучения. Результаты распознавания



конфигураций сетей с двумя, тремя и четырьмя сверточными слоями при обучении в 30, 40, 50 и 60 эпох представлены в таблице 1.

Таблица 1 – сравнение результатов распознавания для сетей разной конфигурации и с разным количеством эпох обучения

Кол-во эпох Кол-во Слов Кол-во Слоев	30	40	50	60
2	88%	89,4%	91,1%	90%
3	91,6%	93,2%	97,2%	93,8%
4	88,7%	91%	94,5%	90,7%

На основании полученных данных можно сделать вывод, что наиболее оптимальной конфигурацией нейронной сети является сеть с тремя сверточными слоями, обученная на протяжении 50 эпох.

Также эти цифры наглядно подтверждают озвученные ранее факты о работе нейронных сетей:

- увеличение количества эпох обучения повышает качество распознавания;
- излишнее количество эпох приводит к переобучению;
- введение дополнительных сверточных слоев также ведет к повышению качества распознавания, но излишнее количество слоев ведет к переобучению.

Выводы

В рамках данной работы удалось спроектировать и разработать программный модуль для сетевой информационной системы, способный распознавать десять голосовых команд на русском языке с точностью более 97% в тестовой выборке. Этот модуль разработан на языке программирования Python и пригоден для использования в системах различной конфигурации в качестве самостоятельного приложения или компонента какого-либо комплексного программного продукта. Программа является масштабируемой, имеется возможность при необходимости менять конфигурацию нейронной сети, а также размер и состав обучающих датасетов.

На подготовительных этапах работы были изучены и проанализированы теоретические материалы по обработке звуковых сигналов, основам



спектрального анализа, машинного обучения, принципам построения и функционирования нейронных сетей. Рассмотрен исторический опыт в контексте проблемы распознавания звуковых сигналов, краткая справка по истории исследований и разработок в данной области.

Был разработан комплексный подход к предварительной обработке изображений спектрограмм голосовых команд, позволяющий свести к минимуму влияние на результаты распознавания особенностей голоса диктора, таких как основной тон, громкость и тембр.

Также в ходе разработки и тестирования программы удалось подтвердить рассмотренные на этапе проектирования архитектуры программного модуля факты о работе сверточных нейронных сетей.

**KAPITEL 3 / CHAPTER 3³****THE REALIZATION METHOD FOR DIGITAL TWINS OF INDUSTRIAL PRODUCTION ENTERPRISES***МЕТОД РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ***DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02-001****Введение**

Высоко конкурентные рынки, широкомасштабный переход промышленности на массовое производство изделий, индивидуализированных под персональные потребности клиентов, сокращение жизненного цикла и повышение производительности можно считать основными движущими силами, ведущими к разработке, производству и внедрению новых изделий, производственных технологий и систем. Все это требует управления, способного быстро адаптироваться и реагировать на изменения во внешней и производственной среде, обеспечивая гибкость, реконфигурируемость, устойчивость к сбоям и большую эффективность всего производственного процесса. При этом все изменения в этапах жизненного цикла и управлении должны выполняться, непрерывно «на лету». Благодаря цифровым технологиям «Индустрии 4.0» появилась возможность виртуализации объектов и процессов предприятий, которые являются аналогами бизнес и физической реальности предприятия в реальном масштабе времени. Поэтому промышленность сегодня начинает проводить исследования и эксперименты в этой новой области, которая определяется термином «цифровой двойник» (Digital Twin) [1].

Gartner, известная международная исследовательская и консультационная компания, описывает технологию цифровых двойников как одну из десяти ведущих стратегических технологических тенденций [2]. Применение парадигмы цифрового двойника в промышленности следует рассматривать как одно из стратегических направлений развития производственных предприятий. Возможности использования этой парадигмы на предприятии необычайно широки, так как она может быть применена ко всем областям его деятельности.

С другой стороны, в настоящее время все современные предприятия проходят долгий и сложный путь формирования своих дорогостоящих IT активов в виде программных пакетов CAD, CAM, CAPP, ERP, MES и пытаются решить проблему их интеграции. Предприятия давно осознали необходимость интеграции данных этих систем и стараются сделать это масштабируемым и

³ *Authors: Sukhomlinov A. I.*



эффективным способом. Расходы на системную интеграцию быстро растут из года в год, и на них приходится все более значительная часть расходов промышленных компаний [3].

Несмотря на то, что сегодня многие говорят о цифровых двойниках, и на то, что они занимают видное место в прогнозах аналитиков [3], в действительности эта концепция находится еще в начальной стадии своего развития. Современные немногочисленные публикации, в основном, сосредоточены на концептуальных идеях с очень ограниченными практическими примерами и промышленными приложениями [4]. 85% практических приложений цифрового двойника, разработанных к настоящему времени, относятся к производственным устройствам, и только 11% - к общему производственному процессу и потоку [4]. Фактически отсутствуют определения и методы реализации целостных моделей и архитектур, способных эффективно интегрировать различные видения цифровых двойников в промышленных производственных предприятиях. Путаница вокруг цифровых двойников коренится в их почти неограниченном потенциале, практически безграничной области применения в сочетании с различными и часто узкими школами мысли в отраслях, и это препятствует широкому распространению парадигмы.

Целью данной статьи является разработка универсального метода практической реализации интегрированных цифровых двойников промышленных производственных предприятий, а также определение способа перехода от традиционных информационных систем управления предприятиями к системам, основанным на концепции цифрового двойника.

3.1. Понятие цифрового двойника

Концепция цифрового двойника и ее модель впервые были предложены профессором Технологического университета Флориды Майклом Гривзом на форуме по управлению Общества по технологии машиностроения (Society of Manufacturing Engineering) в октябре 2002 г. Хотя первоначально им не было дано названия модели, вскоре с развитием этой концепции соответствующий ей термин был сформулирован. Дальнейшее ее усовершенствование и сотрудничество в этой области с Джоном Викарсом из NASA привело к формулировке термина в его окончательном современном виде [5], где было заявлено, что «цифровой двойник – это интегрированная мультифизическая многомасштабная симуляция транспортного средства или автомобиля.



Система, которая использует лучшие доступные физические модели, обновления датчиков, историю ног и т. д., чтобы отразить жизнь соответствующего летающего близнеца». Фактически, программа NASA Apollo была первым случаем в истории создания копии продукта. Однако наземный спаренный аппарат остался аппаратным двойником (копией) космического модуля, а не цифровым. В дальнейшем понятие цифрового двойника становится все более конкретным, что привело к некоторым специальным понятиям, таким как цифровой двойник планера, или экспериментальный цифровой двойник. С тех пор концепция цифрового двойника становится популярной темой исследований.

Существуют разные понимания цифрового двойника [6]. Так, одно из широко признанных в научных кругах определений устанавливает: «Цифровой двойник - это интегрированное мультифизическое, многомасштабное, вероятностное моделирование сложного продукта, которое использует лучшие доступные физические модели, обновления датчиков и т. д., чтобы отразить жизнь соответствующего двойника» [7]. Другое определение цифрового двойника, с точки зрения сообщества производителей, утверждает: «Цифровой двойник состоит из виртуального представления производственной системы, которое способно работать в различных дисциплинах моделирования и характеризуется синхронизацией между виртуальной и реальной системой, благодаря полученным данным и подключенным интеллектуальным устройствам, математическим моделям и обработке данных в реальном времени. Актуальная роль цифрового двойника в производственных системах Индустрии 4.0 заключается в использовании этих функций для прогнозирования и оптимизации поведения производственной системы» [8]. Иное определение, сформулированное также производителями, утверждает: «Цифровой двойник производственной системы – это многоуровневая цифровая модель, описывающая продукт, процессы и ресурсы в среде их функционирования, т.е. позволяющая моделировать процессы, происходящие в реальной системе, а также собирать и отображать в реальном времени данные о состоянии объектов, полученные от программируемых логических контроллеров и датчиков, установленных в производственной системе, как на промышленном оборудовании, так и в его окружении» [9]. В свою очередь, авторитетная компания Gartner утверждает, что цифровой двойник - это цифровое представление сущности или системы реального мира. Реализация цифрового двойника - это инкапсулированный программный объект или модель, которая отражает уникальный физический объект [2].



Как это очевидно, рассмотренные и другие определения даны на уровне абстракций высокого уровня и не раскрывают системно природу и структуру объектов, отражением которых является цифровой двойник, а также не определяют то, из чего он состоит, как он взаимодействует с реальным миром и как это все вместе работает.

Более полному раскрытию смысла цифрового двойника способствует другая концепция, известная как «цифровая нить» (digital thread), - термин, который можно перевести еще как и цифровой след или цифровой поток [3; 10; 11]. Поэтому любое содержательное обсуждение цифрового двойника, вероятно, должно также включать обсуждение этой другой, тесно связанной с ним новой концепции. Понимание этой концепции, связывающей процессы областей «материалы-дизайн-обработка-производство», является настолько важным, что заслуживает более подробного рассмотрения.

Концепция цифровой нити связывает воедино действия цифрового двойника и наборы данных о моделируемом им естественном оригинале. Так, согласно [11] цифровая нить/след на самом высоком уровне представления деятельности предприятия - это непрерывная цепочка данных, которая связывает каждую стадию жизненного цикла продукта от проектирования через изготовление и сборку и далее до использования его в реальных условиях. По сути, цифровая нить упорядоченно пронизывает все элементы данных, имеющие отношение к конкретному экземпляру объекта. Эти данные, их хранение, доступ к этим данным, средства моделирования и анализа - это то, что создает возможность проведения моделирования, анализа и осуществления эффективного управления в цепочке поставок, на участках производства и эксплуатации изготовленного предприятием продукта. Когда кто-то пытается представить себе цифрового двойника, он должен, прежде всего, вообразить некое «живое» явление — динамическую модель продукта или процесса, оптимизация которого является целью двойника. Цифровая нить в значительной степени позволяет цифровому двойнику выполнять эту задачу, предоставляя данные, необходимые двойнику для проведения анализа. В этом смысле цифровой двойник получает свою «жизнь» в основном за счет данных, предоставляемых цифровой нитью.

Вдаваясь в большие детали можно сказать, что взаимосвязанные наборы данных о реальном объекте предлагают более высокий уровень его понимания, чем каждый из этих наборов, взятый в отдельности. Эти унифицированные данные, называемые цифровой нитью, являются необходимой предпосылкой для создания цифрового двойника [3]. С внедрением новых цифровых



технологий, таких как дополненная реальность и Интернет вещей, которые оперируют и транспортируют огромные объемы данных из разрозненных источников, как никогда важно, чтобы компании имели четкую стратегию относительно того, как и почему они будут интегрировать свои различные операционные и информационные технологии. Цифровая нить - это важная основа, которая может превратить общую дилемму роста стоимости и сложности цифровой трансформации в возможность ускорить окупаемость, повысить гибкость управления изменениями и принять решения на основе данных. Цифровой двойник - это модель для контекстуализации, анализа и осознания ценности цифровой нити таким образом, чтобы на него можно было воздействовать и масштабировать в различных решениях и интерфейсных приложениях. Другими словами, ценность цифровой нити проявляется в отдельных примерах использования, обслуживаемых цифровыми двойниками.

3.2. Применение цифровых двойников

Концепция цифрового двойника может быть распространена на любой продукт/объект, процесс или явление реального мира, например, искусственное сооружение, машину, человека или другое живое существо, город, организационную единицу, сельскохозяйственную продукцию, участок территории и т.п. Она может быть применена в социально-экономических, технических и военных сферах, в различных отраслях и областях деятельности, таких, как производство, маркетинг и сбыт, входная логистика, финансы и т.п.

На промышленных предприятиях цифровые двойники можно подразделить на два основных класса – цифровые двойники продукта/объекта и цифровые двойники процессов предприятия.

Цифровые двойники продукта/объекта решают задачи, связанные со всеми этапами его жизненного цикла, например, этапами разработки конструкции, технологической подготовки, изготовления, испытания, эксплуатации, технического обслуживания и т.п. Параметры продукта, собранные при помощи сенсоров могут быть использованы цифровым двойником для диагностики, улучшения продукта, подтверждения его работоспособности или определения текущего технического состояния. Цифровой двойник такого типа относится к цифровой модели конкретного актива, которая включает проектные спецификации и инженерные модели, описывающие его геометрию, материалы, компоненты и поведение. Что еще более важно, он также включает



данные о фактическом исполнении и эксплуатационные данные, уникальные для конкретного физического актива, который он представляет [12]. Например, для самолета цифровой двойник может быть идентифицирован по идентификатору единицы физического продукта, который может быть бортовым или серийным номером. Данные цифрового двойника самолета включают такие вещи, как конкретная геометрия, извлеченная из трехмерных моделей самолета, аэродинамические модели, технические изменения, внесенные в производственный цикл, свойства материалов, данные осмотра, эксплуатации и технического обслуживания, а также любые отклонения от утвержденных исходных проектных спецификаций из-за проблем и обходных путей для конкретной единицы продукта.

Цифровые двойники процессов учитывают специфику функциональной области предприятия, в которой они используются, такой как, например, производство, маркетинг и продажи, входная логистика, финансы и т.д. В производственной области можно привести ряд полезных вариантов использования цифровых двойников. При этом наибольшее влияние на ожидаемую доходность оказывает их применение в областях производственного процесса, производственной системы, производственного механизма или линии. Например, цифровой двойник производственного процесса для определения подходящих условий для максимальной его производительности; цифровой двойник производственной системы для отслеживания статуса производственного процесса и принятия решений о краткосрочном планировании и комплектовании персоналом, приводящих к более эффективному использованию активов и ресурсов.

Цифровой двойник производственных машин или линий может быть использован, например, для прогнозирования режимов снижения производительности и вмешательства в процедуры обслуживания, когда это применимо, включая как профилактическое обслуживание, так и обслуживание по состоянию. Для построения модели помимо исторических требуются также текущие данные в реальном времени, этим достигается повышенная доступность машин и снижение затрат на их техническое обслуживание. Этот пример показывает, что цифровые двойники, в случае широкомасштабных объектов и процессов, каким является предприятие, не являются автономными и независимыми между собой. Между их моделями должны быть отражены определенные связи. Цифровой двойник отдельной машины как продукта и цифровой двойник этой же машины как участника технологического процесса, не являются одним и тем же.



Цифровой двойник производственной системы можно определить как ориентированное на данные представление всех элементов системы производственного оборудования, системы потока материалов, системы потока создания ценности, системы операционных материалов и системы человеческих ресурсов [13]. Эти элементы связаны друг с другом и с информационной системой с помощью датчиков, исполнительных механизмов управления и систем связи. Основная цель цифрового двойника производственной системы - облегчить процесс принятия решений и автоматизацию решений с помощью моделирования. Цифровой двойник производственной системы можно рассматривать как интеллектуальную связь цифровых двойников элементов производственной системы. Следовательно, цифровой двойник производственной системы будет иметь свою собственную семантическую модель, описывающую отношения всех этих элементов. Кроме того, такой двойник может содержать отдельные технические данные, например, 2D или 3D и имитационные модели. 3D-модель может быть объединена с данными в конкретном приложении для визуализации производственной системы в реальном времени. Имитационные модели могут использовать данные в реальном времени для проведения имитационных экспериментов с учетом фактического состояния системы.

3.3. Требования к возможностям промышленных цифровых двойников

Учитывая вышеизложенное, можно сформулировать основные положения и требования к возможностям промышленных цифровых двойников предприятия следующим образом.

1. Идея цифрового представления сущностей или систем реального мира не нова. Отличие последней итерации «цифровых двойников», в основном, состоит в том, что эта парадигма концентрирует наше внимание на тех новых возможностях в отображении реального мира, его изучении, моделировании и управлении им, которые открываются цифровыми технологиями четвертой промышленной революции Индустрия 4.0.

2. К цифровым технологиям, имеющим отношение к промышленным цифровым двойникам, в порядке их приоритетности, относятся следующие: аналитика больших данных и моделирование (промышленная аналитика), облачные сервисы, интернет вещей, интеллектуальные сенсоры, мобильные устройства, технология геопозиционирования, усовершенствованные интерфейсы человек-компьютер, виртуальная и дополненная реальность.



Развитие и применение этих технологий применительно к цифровому двойнику позволяют более точно и интегрировано отображать в моделях прикладную область мира в ее динамике и целенаправленно воздействовать на нее в реальном времени, добиваясь при этом значительно более высокой результативности. При этом используемые технологии оказывают на характеристики цифровых двойников следующее влияние.

- Усиление мощности/объема цифровой нити за счет более широкого и подробного отображения ею объектов, процессов и связей реального мира и их описательных характеристик, а также распространенного применения сенсорных устройств.
- Увеличение скорости передачи и масштаба охвата транспортируемых данных, команд и информации, как между самими объектами, так и между объектами и обрабатывающими центрами, рассматривая в качестве источников и приемников мобильные и стационарные объекты.
- Создание новых требуемых сервисов предприятия и улучшение существующих, включая сервисы аналитики больших данных при помощи продвинутых алгоритмов (статистического вывода, анализа «что если», оптимизации, искусственного интеллекта и экспертных систем), основанных на применении облачных сред, реализуемых высокопроизводительными платформами центров обработки данных.

3. Цифровые двойники на предприятии могут быть реализованы в виде ряда автономных или в виде сети связанных и взаимодействующих двойников. Естественное взаимодействие нескольких двойников предприятия возможно только при существовании интегрированной цифровой нити. В противном случае требуется применение специальных методов и технологий интеграции.

4. Цифровая нить двойника может быть организована на основе применения реляционных моделей данных или более сложных семантических моделей. Однако физическая реализация цифровой нити в ближайшем будущем, скорее, будет осуществляться в средах систем реляционных баз данных.

5. Цифровой двойник предприятия может быть выполнен в локальном или в распределенном исполнении. По мере развития, освоения и распространения этой новой парадигмы акцент будет сдвигаться в сторону развертывания распределенных цифровых двойников.

6. Промышленный цифровой двойник должен бесшовно интегрировать в себе как область продукта/объекта, так и процессов предприятия. Это требование вносит принципиальные и важные изменения в традиционную



архитектуру автоматизации предприятия, когда ее части, имеющие отношений к технологическим процессам и административно-организационному управлению, существовали разделено из-за ограниченных возможностей и специфики используемых технических платформ автоматизации. Интеграция этих двух областей позволит существенно расширить потенциал промышленной аналитики двойника предприятия за счет появления в цифровой нити данных нового типа, описывающих взаимосвязи, действующие между его бизнес и физической реальностью.

7. Наполнение данными цифровой нити, моделирование и решение задач сервисами, приложениями и цифровым двойником должны выполняться в реальном масштабе времени событий и процессов бизнес и физической реальности предприятия.

3.4. Архитектура цифрового двойника промышленного предприятия

Обширная область предприятия, рассмотренные теоретические положения парадигмы, а также результаты проведенного анализа возможностей и требований промышленного цифрового двойника позволяют предложить его модель, подходящую для использования во многих реальных промышленных сценариях, как это показано на рис. 1.

Модель образована пятью компонентами: реальное предприятие и его процессы, интегрированные данные предприятия (цифровая нить), приложения и сервисы предприятия, цифровой двойник и компьютерная коммуникационная среда.

Компонент «реальное предприятие и процессы» рассматривает совместно бизнес и физическую реальность. При этом бизнес-реальность подразумевает области предприятия, охватывающие нематериальные и финансовые активы, инженерию, материально-техническое снабжение, производственные операции, маркетинг, продажи, доставку продукции, прогнозирование и управление техническим состоянием, сервисное сопровождение и техническую поддержку. Термин физическая реальность объединяет в себе трудовые ресурсы, продукцию и материальные активы предприятия. Материалы, станки, роботы, оснастка, транспорт, инженерные системы, датчики, приборы визуализации и взаимодействия являются примерами материальных активов предприятия.

Компонент «интегрированные данные предприятия» включает в себя категории данных, логически кластеризованные по областям предприятия, что

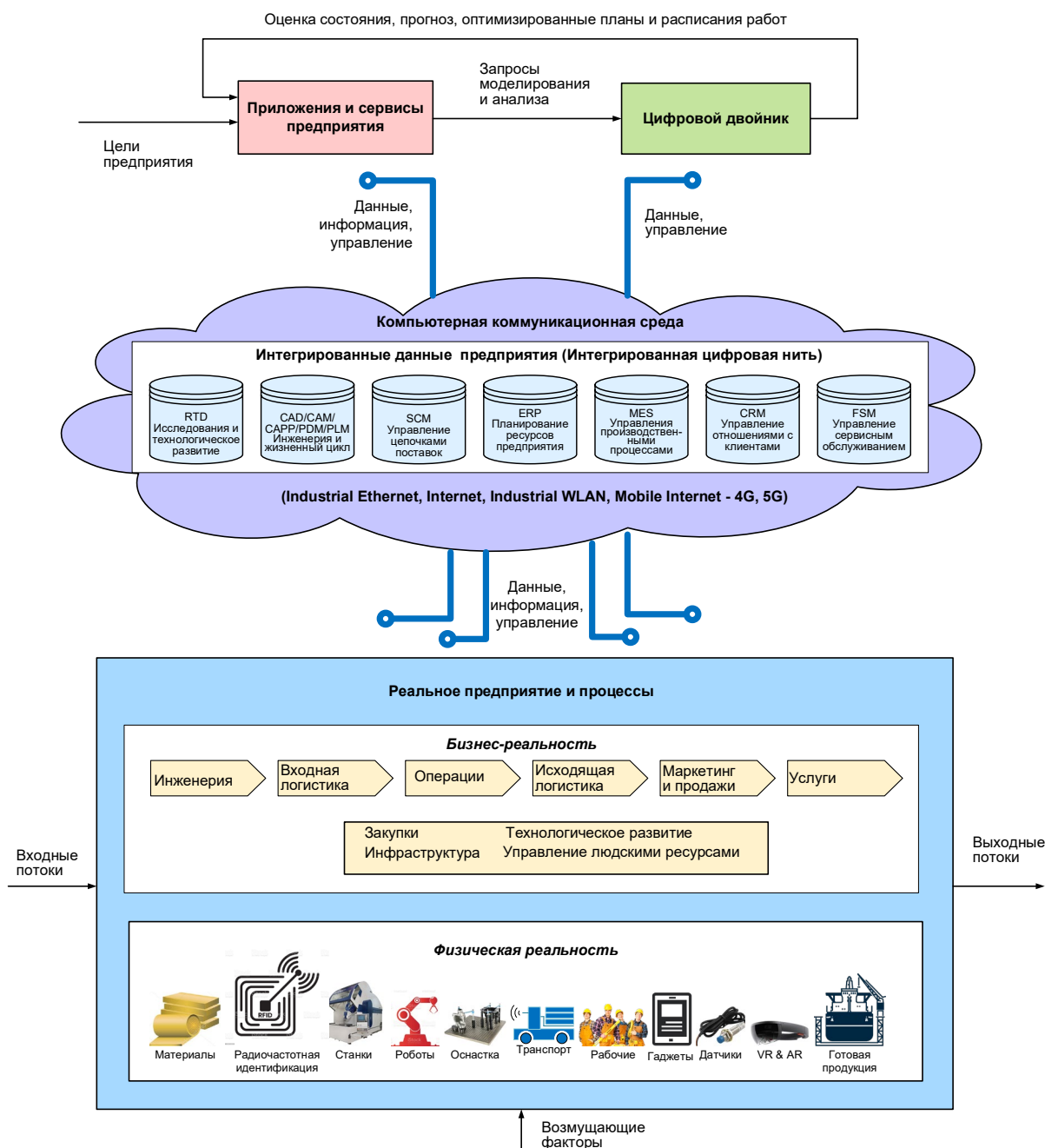


Рисунок 1 - Модель цифрового двойника промышленного предприятия

соответствует существующей классификации современных интегрированных программных пакетов систем предприятий, а также данные технических и технологических процессов. Как хорошо известно из практики, существующие сегодня на предприятиях данные интегрированными назвать нельзя с точки зрения строгого определения этого термина. Они, скорее, представляют собой отдельные несвязанные островки данных. При этом разрывы между данными наиболее ярко проявляются между организационно-административной и технологической частями предприятия. Логическое объединение всех данных предприятия составляет «цифровую нить», связывающую активы, их



состояние, операции, инженерные конструкции, технологии, поставщиков, клиентов и т.п. в терминах прошлого, настоящего и будущего.

Приложения и сервисы предприятия - это хорошо известные традиционные программные пакеты информационной системы управления предприятия. Они помогают выполнять бизнес-транзакции, наполняя данные предприятия, осуществлять поддержку принятия решений, вырабатывая управляющие установки и информацию, которая визуализируется менеджменту, и, в свою очередь, сама становится частью интегрированных данных цифровой нити. Приложения и сервисы генерируют запросы цифровому двойнику в ходе автоматического решения задач управления или в результате интерактивных действий персонала во время его диалога с системой управления.

Компьютерная коммуникационная среда соединяет реальное предприятие, интегрированные данные, приложения и сервисы и цифрового двойника предприятия. Она создает условия непосредственного взаимодействия этих компонент, осуществляемого путем прямой передачи данных, управления и информации.

Цифровой двойник обеспечивает проведение промышленной аналитики больших данных по запросам приложений и сервисов и передает им полученные результаты в виде оценок состояния, прогнозов, оптимизированных планов и временных графиков. Кроме того, он самостоятельно осуществляет мониторинг данных и управление закрепленными за ним участками физической реальности, передавая результат в виде данных и управления на участки реального предприятия, наполняя при этом цифровую нить данных предприятия.

Промышленная аналитика больших данных цифрового двойника рассматривает модели знаний с поддержкой таких функций как, описательное/прогнозирующее и предписывающее моделирование, обработка сложных событий, генерация предупреждений и триггеров для действий, визуализация генерируемых отчетов [14].

Описательное, прогнозирующее и предписывающее моделирование объясняет прошлое, прогнозирует будущее и рекомендует последующие наилучшие действия с использованием алгоритмов машинного обучения, интеллектуального анализа данных и оптимизации.

Обработка сложных событий (Complex Event Processing, CEP) предлагает функциональность, которая позволяет реализовать сценарии анализа больших данных, требующих обработки в реальном времени. В частности, CEP



контролирует обработку потоковых данных, корреляцию происходящих событий и вычисление показателей достижения успеха (Key Performance Indicators) на непрерывной основе. Руководствуясь предоставленными пользователем бизнес-правилами, СЕР генерирует оповещения или триггеры для последующих действий внешних систем.

Генерация предупреждений и триггеров для выполнения действий относится к реализации решений, принятых в результате анализа. Результаты анализа данных, могут инициировать оповещения и действия. Оповещения, в основном, предназначены для дальнейшего рассмотрения людьми. Триггеры предназначены для запуска других приложений или систем, которые автоматически переходят к соответствующим действиям запрограммированных решений.

Многие руководители предприятий могут быть удивлены, узнав, что, если предприятие уже собирает данные о своих продуктах, процессах, людях и других активах, то не требуется больших инвестиций, чтобы поддержать базовую модель цифрового двойника. В дополнение к уже существующей на предприятии цифровой нити взаимосвязанных данных предприятия, можно добавить улучшенные интерфейсные и аналитические возможности, а также, по необходимости, применить другие средства цифровых технологий. Например, компаниям, которые хотят улучшить свой продукт, нужно только доставить данные от датчиков, установленных на образце продукта, в инженерные системы проектирования продукта в формате, совместимом для моделирования.

Модель двойника (рис. 1) системно демонстрирует максимально широкий спектр возможностей при практической реализации этой новой концепции на предприятии. Полная реализация всех ее возможностей на одном предприятии может быть экономически оправданной только в определенных ситуациях, когда полученная экономическая выгода сможет обеспечить возврат требуемых для ее проведения огромных инвестиций. Чтобы достичь успеха, руководство предприятия, его менеджмент и службы ИТ должны пройти весь путь, предписываемый существующими методологиями разработки традиционных информационных систем, история которых восходит к 1980-м годам. Следуя рекомендациям этих методологий, начальным этапом выполнения проекта могла бы стать фаза стратегического планирования предприятия и его цифрового двойника.



Выводы

Цифровой двойник, несомненно, является одним из основных и быстроразвивающихся инновационных направлений, возникающих при проектировании, управлении, планировании и оптимизации на предприятии. Сегодня эта концепция находится на начальной стадии своего развития, и пока нет единодушного мнения о методах ее реализации реальных производственных средах.

В работе рассмотрены и обсуждены аспекты концепции цифровых двойников и их применение в промышленности, предложен метод практической реализации, включающий ключевые требования к возможностям промышленных цифровых двойников и модель цифрового двойника промышленного производственного предприятия. На основе предложенного метода даны рекомендации по созданию и развертыванию цифровых двойников на предприятии.

Предлагаемый метод основывается на совместном рассмотрении концепций цифрового двойника, цифровой нити и текущих ИТ активов предприятий. Это позволяет использовать существующие данные предприятий в качестве основы для поддержки базовой модели создаваемых цифровых двойников на предприятии. Создаваемый цифровой двойник рассматривается как важное расширение текущих ИТ активов предприятий и средство, интегрирующее административно-организационную область и технологические процессы предприятия. При этом цифровой двойник обеспечивает приложения и сервисы промышленной аналитикой больших данных в автоматическом и диалоговом режиме. Он также представляет собой самостоятельное средство для выполнения задач мониторинга на участках предприятия и инициирования оповещений для приложений и сервисов, а также осуществления действий запуска приложений запрограммированных решений или управления технологическими процессами по результатам проведенного им анализа.

**KAPITEL 4 / CHAPTER 4⁴****ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT SYSTEM ON LNG TANKER
DURING OCEAN PASSAGE***СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ НА МОРСЬКОМУ ПЕРЕХОДІ LNG ГАЗОВОЗУ***DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02-020****Введення**

Запровадження методів енергоефективності суден, зменшення викиду «Greenhouse» газу, являється проблемою для газозовів, які використовують зріджений природний газ як вид палива. Існує велика кількість енергетичних ресурсів, але не всі вони являються екологічно чистими.

Паливо яке використовують в теперішній час на всіх суднах складаються з шкідливих хімічних сполук, таких як: діоксиду сірки (SO_x), оксиди азоту (NO_x), вуглекислий газ (CO_2) які у величезних кількостях забруднюють навколишнє середовище. Тому щоб вирішити питання з забрудненням навколишнього середовища було прийнято використовувати як альтернативне паливо для існуючих суден зріджений Метан (CH_4). З використанням цього палива виникли й інші питання безпеки навколишнього середовища. При використанні LNG палива виявили, що Метан має вплив на озоновий шар нашої планети. Тому вчені почали шукати вирішення цієї проблеми.

Переваги LNG перед звичайним паливом будуть описані в даній монографії. Також розглянуто поведінку різних типів двигунів та проведено порівняння цих двох видів палива.

4.1. Короткий огляд літератури та резолюцій ІМО щодо поліпшення енергоефективності у судноплавстві

Індекс проектування енергоефективності (EEDI) для нових суден є найважливішим технічним заходом, адже сприяє використанню більш енергоефективного (менш забруднювального) обладнання і двигунів. EEDI вимагає мінімального рівня енергоефективності на мильо пропускнуї здатності (наприклад, тонну мильо) для різних типів і розмірів судна.

EEDI – це механізм, заснований на продуктивності, який залишає вибір технологій для використання в конкретному проекті судна за призначенням.

⁴ Authors: Stengach O. V.



Поки не буде досягнутий необхідний рівень енергоефективності, корабельні конструктори та суднобудівельники можуть використовувати більш економічні рішення, щоб судно відповідало нормам. EEDI надає конкретну цифру для індивідуального проекту судна, виражену в грамах вуглекислого газу (CO₂) на милю пропускної здатності судна (чим менше EEDI, тим більш енергоефективна конструкція судна), і розраховується за формулою на основі параметрів технічного проекту для даного судна.

Рівень скорочення викидів CO₂ для першого етапу встановлений на 10% і буде посилюватися кожні п'ять років, щоб йти в ногу з технологічними розробками нових заходів щодо ефективності та скорочення. Показники скорочення встановлено на період до 2025 року, і передбачають скорочення ще на 30% для відповідних типів суден.

Судно повинно відповідати наступним правилам і вимогам:

- 2014 Guidelines on survey and certification of the Energy Efficiency Design Index (EEDI), as amended.
- 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index for new ships, as amended.
- 2013 Guidelines for calculation of reference lines for use with the Energy Efficiency Design Index (EEDI).
- 2013 Guidelines for calculation of reference lines for use with the Energy Efficiency Design Index (EEDI) for cruise passenger ships having non-conventional propulsion.
- 2013 Interim guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability of ships in adverse conditions, as amended.
- 2016 Guidelines for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP).
- 2013 Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI.

План управління енергоефективністю судна (SEEMP) – це оперативний захід, який встановлює систему економічного підвищення енергоефективності судна. SEEMP також забезпечує підхід для судноплавних компаній до управління ефективністю суден, використовуючи операційний індикатор енергоефективності (EEOI) як інструмент моніторингу. Керівництво щодо розробки SEEMP для нових і існуючих суден містить найкращі методи паливно-ефективної експлуатації суден, а також рекомендації щодо добровільного використання EEOI для нових і існуючих суден (MEPC.1/Circ.684). EEOI дає змогу операторам вимірювати паливну



ефективність судна. SEEMP закликає судновласника та оператора на кожному етапі плану розглядати нові технології та практики щоб оптимізувати продуктивність судна.

4.1.1 Прийняття обов'язкових технічних та експлуатаційних заходів

Поправки до Правил Додатку VI MARPOL щодо запобігання забрудненню повітря з суден, додають новий Розділ 4 до Додатку VI про Положення щодо енергоефективності для суден, щоб зробити обов'язковими EEDI і SEEMP для всіх суден (резолюція МЕРС. 203(62)). Інші поправки додають нові вимоги до огляду та сертифікації судна, включаючи формат нового Міжнародного сертифіката енергоефективності. Нові правила застосовуються до всіх торгових суден валовою місткістю 400 і вище реєстрових тон, незалежно від національного прапора, під яким вони ходять, або громадянства судновласника.

Прийняття ІМО обов'язкових заходів скорочення для всіх суден з 2013 року і далі призведе до значного скорочення викидів, а також до економії витрат для судноплавної промисловості. За оцінками фахівців, до 2030 року цей показник зросте до 420 мільйонів тон CO₂ на рік. Іншими словами, у 2030 році скорочення становитимуть від 19 до 26%. Заходи скорочення викиду CO₂ призведуть до значної економії витрат на паливо для судноплавної промисловості, хоча ця економія вимагає великих інвестицій у більш складні технології. Щорічні оцінки економії палива стверджують, що до 2030 року вона складе 90-310 мільярдів доларів.

4.2. Судновий план енергоефективності та напрямки його вдосконалення

Розглянемо приклад, що на борту судна встановлено чотири основних дизель-генераторних двигуна. Двигуни №2, №3 і №4 мають тип Wärtsilä, який здатний виробляти 11700 кВт при роботі в газовому або дизельному режимах. Двигун №1 відноситься до типу Wärtsilä, здатного виробляти 5850 кВт при роботі в газовому або дизельному режимах. Усі двигуни розроблені для роботи на газі, що випаровується з вантажних танків, або на мазуті морського класу (MGO/MDO/HFO) із службових танків. Незважаючи на те, що обидва види палива мають різну щільність і теплотворну здатність, двигуни можуть однаково добре працювати як на газі, так і на рідкому паливі, та можуть забезпечувати однакову максимальну вихідну потужність на будь-якому паливі. Двигуни також можна перемикаєти з одного палива на інше, продовжуючи працювати під навантаженням і без будь-яких перерв у подачі живлення. Окрім



кількості циліндрів і рядної або V-конфігурації, двигуни ідентичні за принципом роботи та будовою. Встановлення шести та дванадцяти-циліндрових двигунів забезпечує гнучкість у виборі робочих двигунів відповідно до потреби в потужності. Система керування двигуном контролює безпеку двигуна, його швидкість, регулювання палива та інші, пов'язані з двигуном, питання автоматизації.

Для використання газу потрібні системи рідкого та газоподібного палива, адже через дуже низьку якість займання природного газу необхідно вприскувати невелику кількість дизельного палива, як пілотного палива для отримання полум'я, яке запалює газ у циліндрі. Газ направляється в циліндр разом з повітрям для згоряння під час такту всмоктування поршня, в результаті чого газоповітряна суміш стискається, запалюючись від пілотного полум'я. Час вприскування пілотного палива необхідно точно контролювати, щоб у потрібний момент полум'я з'явилося для запалювання газу. Газ запалюється і горить, змушуючи поршень опускатися донизу, так само, як згоряння рідкого палива в звичайному дизельному двигуні виробляє потужність.

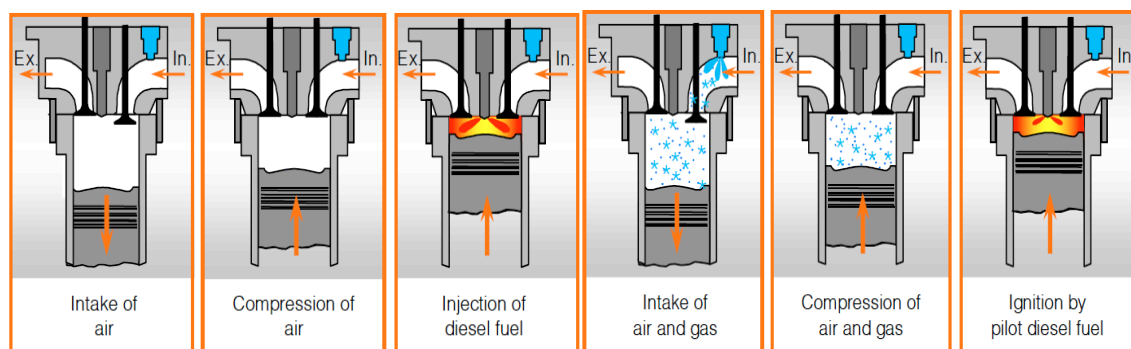


Рисунок 1 – Режими вприскування для газу та рідкого палива

4.2.1. Рекомендації щодо роботи на холостому ході та низького навантаження

- Газовий режим

Робота в газовому режимі нижче 10% навантаження обмежена 5 хвилинами. Двигун автоматично переходить у дизельний режим, якщо навантаження залишається нижче 10% від номінальної потужності протягом більше ніж 5 хвилин. Робота в газовому режимі при навантаженні вище 10% необмежена.

- Дизельний режим. Абсолютний холостий хід (відключений генератор):

А) Максимум 10 хвилин, якщо двигун слід зупинити після холостого ходу.



Перед зупинкою рекомендується працювати на холостому ходу за 3-5 хвилин.

Б) Максимум 6 годин, якщо двигун потрібно завантажити після роботи на холостому ходу.

- **Робота з навантаженням нижче 20%:**

Максимум 100 годин безперервної роботи. З інтервалами в 100 годин роботи двигун повинен бути завантажений мінімум на 70 % від номінальної потужності.

- **Робота з навантаженням понад 20% – без обмежень.**

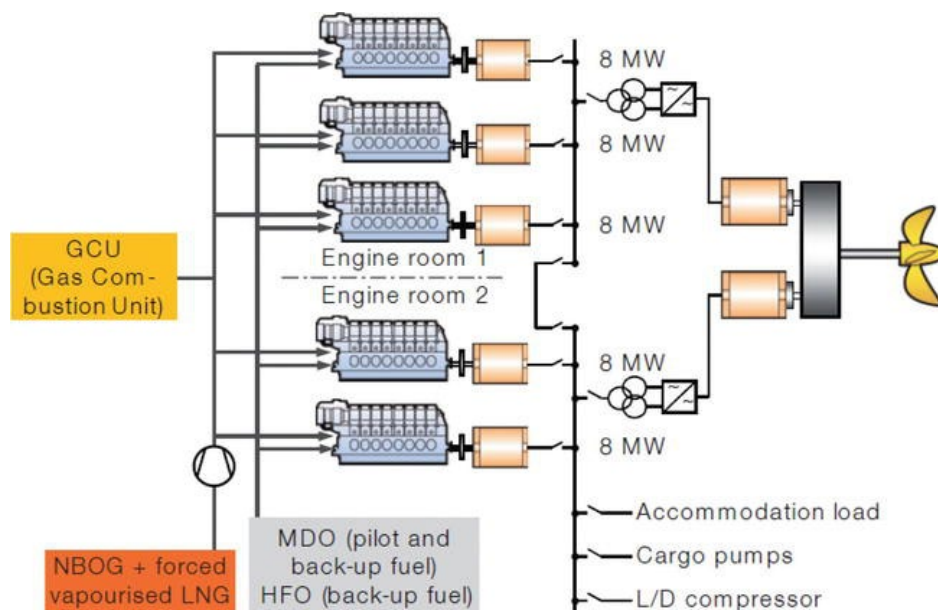


Рисунок 2 – Загальна схема суднової енергетичної системи на прикладі 5-ти генераторів

4.2.2. Газопаливна система

Двигуни зазвичай працюють у режимі випаровування газу з вантажних танків, або на рідкому паливі. Перед тим, як випарений газ надходить у двигун, він проходить через газорегулюючий блок, який вмикає фільтр, регулятор тиску, запірний клапан і вентиляційні клапани. Тиск газу на виході контролюється системою управління відповідно до навантаження на двигун та умов навколишнього середовища. Система включає необхідні запірні та вентиляційні клапани для забезпечення безпечного та безперебійного постачання газу. Після газорегулюючого клапана газ подається до кожного циліндра через велику трубу, що проходить вздовж двигуна (Рис.3).

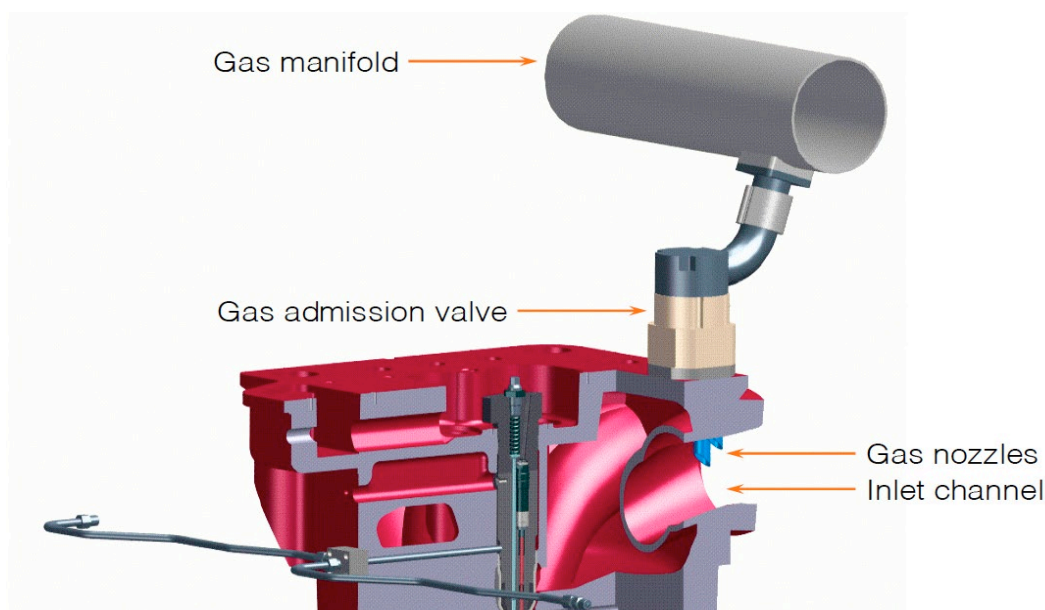


Рисунок 3 – Подача газу в двигун

Кожен циліндр має індивідуальний трубопровід для подачі газу до циліндрів. Газ змішується з повітряним потоком безпосередньо перед впускним клапаном циліндрів. Впускним клапаном газу керує система управління двигуном, яка регулює кількість газу, дозволеного для проходження в кожен циліндр. Газовий клапан керується незалежно від клапанів впуску повітря, тому циліндр може бути повністю очищений до відкриття газового клапана, таким чином запобігаючи подачі газу у вихлопну систему. Незалежне керування газовим клапаном також забезпечує правильну суміш газу і повітря для оптимального згоряння та контролю викидів вихлопних газів.

Для ініціювання займання в циліндрі через пілотну паливну лінію в головну паливну форсунку впорскується невелика кількість дизельного палива. Пілотне паливо впорскується, а час і тривалість електронно контролюються системою керування двигуном.

4.2.3. Розподіл навантаження

Система керування живленням підтримує кілька варіантів розподілу навантаження:

- **Симетричне розподілення:** режим, у якому навантаження від генераторів паралельне. Передбачається невелика мертва зона, 1% від номінальної потужності.

- **Асиметричне розподілення:** мета полягає в тому, щоб спалювати вуглець, накопичений під час роботи двигуна з низьким навантаженням. При асиметричному розподілі навантаження один генератор буде завантажений на 80%, тоді як інші генератори будуть розподіляти навантаження, що



залишилося. Генератори будуть вибрані як основні протягом чотирьох годин, перш ніж він автоматично перемкнеться на наступний генератор. Якщо навантаження на генератор впаде нижче 30%, навантаження на головний генератор зменшиться. Якщо навантаження на генераторах перевищує 80%, навантаження буде розподілено симетрично між усіма генераторами.

Особливості роботи генераторів при різних режимах навантаження:

- **Постійне навантаження** використовується для цілей технічного обслуговування. Цього можна досягти шляхом вибору генератора з фіксованим розподілом навантаження. Встановлене значення обирається оператором і підтримується системою керування електроенергією. Не можна вибрати режим фіксованого навантаження, коли генератор перебуває в режимі очікування.

- **Ручне розподілення навантаження** використовується, коли дизель-генератор обрано для розподілу навантаження вручну. Оператор може керувати збільшенням або зменшенням швидкості за допомогою регулятора швидкості безпосередньо з операторської станції. У цьому режимі система керування живленням не виконує активного розподілу навантаження на генератор. Ручне розподілення навантаження не можна обрати, коли генератор перебуває в режимі очікування.

- **Налаштування зовнішнього навантаження («Режим треку»)** використовується у випадках, коли для двигуна обрано режим треку, а задане значення навантаження для цього двигуна контролюється. У режимі парів газу, генератори, що використовують пари газу як паливо, мають обмеження на зміну навантаження. Криву навантаження буде застосовано постачальником двигуна. Їх двигуни, що працюють у режимі парів газу, не будуть приймати швидкі зміни навантаження.

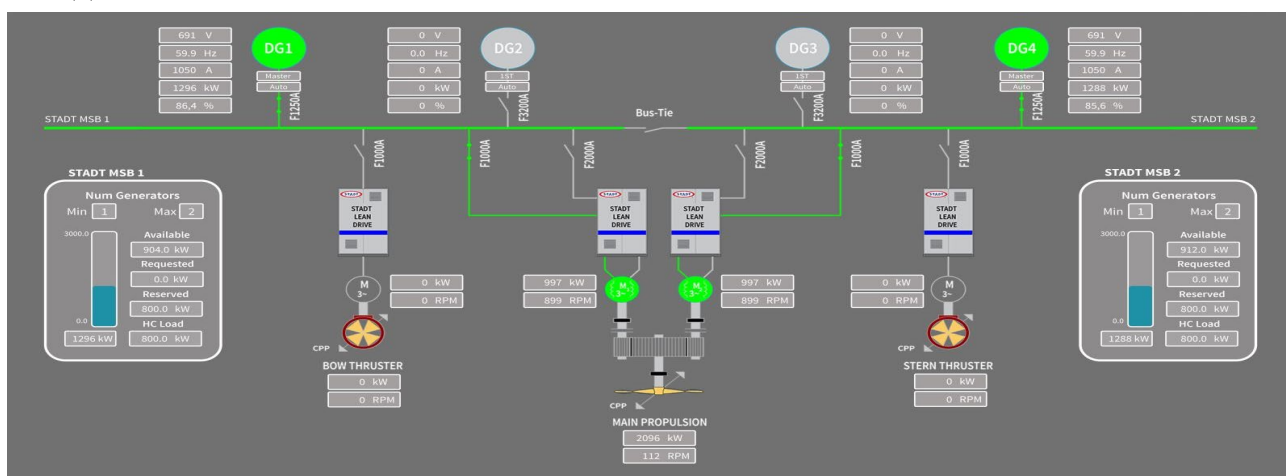


Рисунок 4 – Спрощений вид діаграми моніторингу навантаження на генератори



У режимі змішаного палива генератор, який перебуває в режимі парів газу або переходить на режим парів газу, буде автоматично встановлений на «Режим треків». Задане значення буде надходити від системи управління газом і змінюватиметься залежно від тиску у вантажних танках.

На основі режиму палива працюючих двигунів система керування живленням адаптує ці режими, щоб увімкнути правильний режим розподілу навантаження. У дизельному режимі всі двигуни працюють на дизельному паливі або мазуті. Двигуни зазвичай розподіляються симетрично, але оператор може встановити на фіксований або асиметричний.

- Змішаний режим. У змішаному режимі принаймні один двигун працює на парах вантажу, тоді як інші працюють на дизельному паливі або мазуті. Двигуни, що працюють на газі, будуть розподілені для підтримки тиску в вантажних танках. Регулятор тиску у вантажному танку дає задане значення двигунам, що працюють на газі. Якщо тиск у баку вище заданого значення, навантаження двигунів, що працюють на газі, буде збільшено, а якщо тиск у баку нижчий за задане значення – навантаження зменшиться. Решта двигунів, що працюють на дизельному паливі або мазуті, адаптують усі динамічні зміни навантаження, включаючи зміни, викликані тиском у вантажному танку.

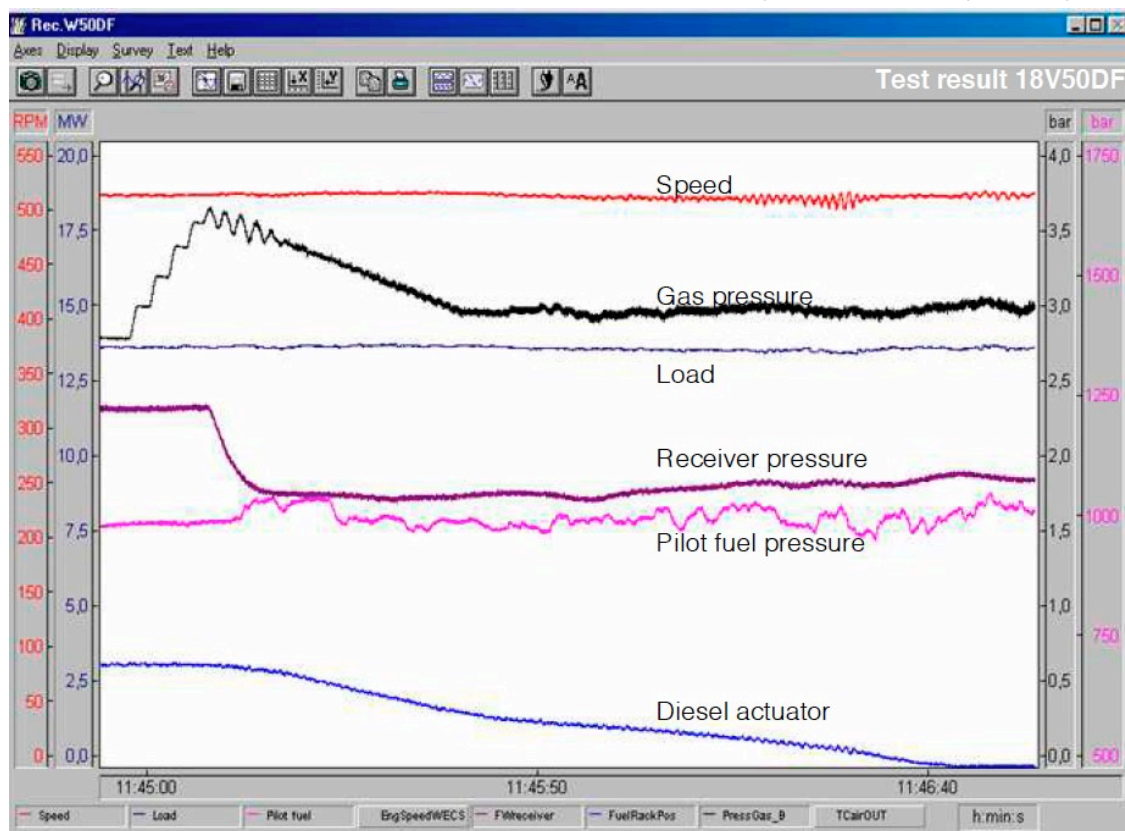


Рисунок 5 – Графік зміни палива з дизелю на газ при 80% навантаженні

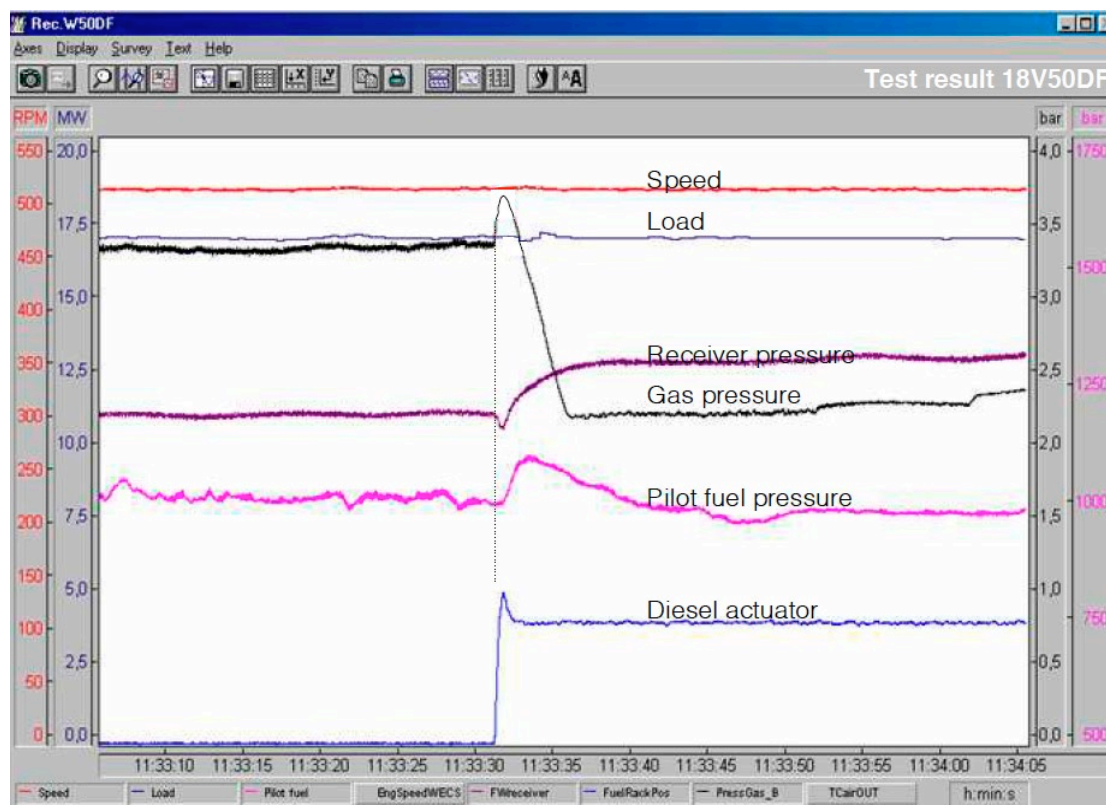


Рисунок 6 – Графік зміни палива з газу на дизель при 100% навантаженні
2.4 Режими роботи

Якщо на газу працює більше одного двигуна, навантаження, що відповідає природному википанню, буде розподілено симетрично між цими двигунами. У максимальному режимі для газових двигунів немає інших режимів розподілу навантаження. У випадку, якщо двигун працює з низьким навантаженням, система управління попередить оператора про низьке навантаження і розпочне перевіряти, який з двигунів здатний перейти в дизельний режим.

Асиметричний режим застосовується до змішаного режиму. Змішаний режим слід обрати, коли тиск у вантажному танку підвищиться до верхньої межі, а потім працювати на газі, поки тиск у вантажному танку не стане менше нижньої межі.

Блок керування силовою установкою підтримує два режими роботи: режим маневрування та морський режим. Блоки керування рушійною силою синхронізовані, так що зміна режиму роботи на будь-якому блоці керування силовою установкою вплине на обидва.

- **Режим маневрування**

У режимі маневрування швидкість і потужність обмежені діапазоном. Завдяки нелінійності пропелера в цьому діапазоні можна маневрувати без перевантаження силової установки. Вибір режиму маневрування запобігає виходу системи з діапазону швидкого реагування. Це гарантує, що система



залишатиметься чутливою, поки обрано режим маневрування. Швидкісний режим керування обирається автоматично, і не може бути змінено вручну.

- **Морський режим**

Морський режим – це робочий режим, при якому силові двигуни можуть працювати у повному діапазоні швидкостей. При спуску в морському режимі режим керування автоматично переходить із режиму швидкості на режим потужності на заданому рівні швидкості.

4.2.4. *Режими керування*

Блок керування силовою установкою підтримує два режими керування рушійними двигунами: **режим швидкості** та **режим потужності**.

Коли швидкість нижча за рівень для автоматичної зміни, дозволяється лише режим швидкості. Це забезпечує точний контроль швидкості під час маневрування. Режим потужності вибирається автоматично при переході до високої потужності руху. Це забезпечує стабільне навантаження на силову установку і дозволяє двигунам працювати в газовому режимі в будь-яких погодних умовах моря. Під час зниження режим автоматично змінюється на режим швидкості, коли швидкість нижче рівня для автоматичної зміни. Оператор може вручну перемикається між режимами швидкості та потужності, коли швидкість вища за рівень для автоматичної зміни.

- **Швидкий режим**

Швидкий режим дозволяє оператору контролювати швидкість пропелера. Положення важеля у вибраному місці керування відображає бажану швидкість пропелера. Фактична рушійна потужність змінюється в міру необхідності для досягнення та підтримки швидкості цієї установки. Програмне забезпечення блоку керування силовою установкою обробляє зміни обраного значення швидкості, щоб воно не перевищувало задану кількість обертів за хвилину.

- **Режим потужності**

Режим потужності дозволяє оператору контролювати потужність гвинта. Швидкість валу оператор може змінювати залежно від навантаження на гвинт, при цьому потужність залишається постійною. У режимі потужності крутний момент, який передається на перетворювач, відображає потужність та фактичну швидкість. Двигуни керуються відповідно до значення, яке розраховується з положення активного важеля керування. Розрахунок цього опорного значення залежить від обраного режиму керування.



4.2.5. Характеристики темпу енергоспоживання

Для досягнення оптимальної продуктивності силової установки блок керування потужністю має три види темпу: нормальний темп, швидкий темп та темп аварійної зупинки. Нормальний і швидкий темпи налаштовані для досягнення стабільного збільшення потужності під час збільшення швидкості, тоді як темп аварійної зупинки налаштований, щоб мінімізувати розсіювання енергії гальмування під час аварії.

Звичайний та швидкий темпи визначаються як точка коліна і сектори зниження навантаження. Існує три точки коліна, що дають чотири різні сектори зниження навантаження. Точки колін розміщуються зі швидкістю, що відповідає телеграфним командам «Найменший хід», «Середній хід» та «Повний хід».

У звичайних темпах сектори зниження навантаження налаштовані для досягнення безпечної роботи, коли двигуни працюють на газу, на дизельному паливі або при роботі на змішаному паливі.

У швидкому темпу сектори зниження навантаження налаштовані для досягнення безпечної роботи, коли двигуни працюють на дизельному паливі. Якщо під час роботи на газу обирається швидкий темп, двигуни можуть бути змушені автоматично перейти на дизельний режим. Вибір режиму темпу відповідно до режиму роботи палива є обов'язком оператора. Швидкий темп налаштований з урахуванням мінімум 22000 кВт вільної від генераторів енергії під час режиму маневрування до «Повний вперед» телеграфного замовлення («Повний вперед» відповідає 62,5% положенню замовлення навантаження). Нормальний темп – під час налаштування з телеграфного порядку «Повний» – від 62,5% до 100 % потужності електродвигунів.

Аварійна зупинка ініціюється, коли положення важеля перевищує 80%. Після початку аварійної зупинки режим спочатку автоматично встановлюється на швидкісний режим, тоді як активний сигнал аварійної зупинки надсилається в інтегровану систему автоматизації. Затримка застосовується до того, як режим темпу буде змінено на темп аварійної зупинки. За цей час інтегрована система автоматизації повинна перевести всі двигуни на дизельний режим. Після затримки у 10 секунд режим темпу змінюється, і гвинт швидко сповільнюється. Щоб запобігти перевантаженню редуктора і гальмівних резисторів, система управління силовою установкою запобігає гальмування, коли швидкість гвинта висока. Після зміни напрямку обертання гвинта темп аварійної зупинки скасовується, і рух продовжується в режимі, який було обрано раніше.



Розглянемо принцип використання енергії на прикладі морського переходу судна з порту Сабін Пасс (Сполучені Штати Америки) до порту Саїд (Єгипет). Початок рейсу – 06.04.2021 р., дата прибуття в Єгипет – 22.04.2021 р., дистанція з порту Сабін Пасс до порту Саїд складає 6983 морських миль. Весь рейс судно використовувало лише пари газу в якості палива для генерування енергії електрорушійної системи.

Розрахунок:

Тривалість: 15 днів 18 годин. У годинах: 378 годин. Ходовий час: 371 годин

Середня швидкість: 18,8 вузлів

Витрачено: 3530,71 куб. м. LNG; 14,1 Метрична Тонна LSMGO

Пройдено: 6983 морських миль

Мазутний еквівалент: 0.5151

Мазутний еквівалент – це коефіцієнт, який описує співвідношення між сумарною енергією в одному кубометрі ЗПГ і в одному МТ мазуту.

Для того, щоб розрахувати навантаження на генератор аналітичним методом скористаємося формулою (1.1) для подальшого аналізу використання енергоефективності судна.

$$Load(\%) = \left(\frac{\left(\frac{DG_{pr} * 1000}{t} \right)}{DG_{max}} \right) * 100 \quad (1.1)$$

де: DG_{pr} – це кількість виробленої електроенергії [МВт]

t – кількість годин роботи [год]

DG_{max} – максимальна кількість виробленої електроенергії яка вказана в характеристиках генератора [кВт/год]

У таблиці 1 відображена інформація щодо виробленої кількості енергії кожним генератором, кількість робочих годин та аналітично розраховане навантаження на кожний генератор.

Помаранчевим та червоним кольором позначені відхилення від максимально енергоефективного навантаження на генератори. При маневруванні судна під час лоцманської проводки режими роботи судновою рушійної установкою декілька відрізняються від максимально енергоефективного режиму у відкритому морі. За рахунок більш частішого реагування на телеграфні ордери суднова енергетична установка повинна бути підготовлена до стрімких змін енергоспоживання, для запобігання знеструмленню судна.



Таблиця 1 – Кількість виробленої енергії та аналітично розраховане навантаження на генератори під час першої частини рейсу

Дата та Час	ДГ1	ДГ2	ДГ3	ДГ4	ДГ1	ДГ2	ДГ3	ДГ4	Навантаження	Навантаження	Навантаження	Навантаження
	[МВт]	[МВт]	[МВт]	[МВт]	ГОД	ГОД	ГОД	ГОД	%	%	%	%
06.04.2021 20:00	1,8	13,2	6,2	13,4	1	2	1	3	31	56	53	38
07.04.2021 12:00	66,9	133,0		132,7	16	16		16	71	71	0	71
08.04.2021 12:00	106,8	212,3		211,8	24	24		24	76	76	0	75
09.04.2021 12:00	102,3	203,6		202,9	23	23		23	76	76	0	75
10.04.2021 12:00	14,1	208,7	186,4	208,8	4	24	22	24	60	74	72	74
11.04.2021 12:00		200,3	201,1	201,6		23	23	23	0	74	75	75
12.04.2021 12:00		218,7	217,9	218,4		24	24	24	0	78	78	78
13.04.2021 12:00		201,4	201,3	201,5		23	23	23	0	75	75	75
14.04.2021 12:00		203,6	202,9	203,3		24	24	24	0	73	72	72
15.04.2021 12:00		194,9	194,2	194,4		23	23	23	0	72	72	72
16.04.2021 12:00		203,7	202,7	203,3		24	24	24	0	73	72	72
17.04.2021 12:00		195,4	194,4	194,9		23	23	23	0	73	72	72
18.04.2021 12:00		203,5	202,7	203,1		24	24	24	0	72	72	72
19.04.2021 12:00		203,6	202,6	203,0		24	24	24	0	73	72	72
20.04.2021 12:00		194,7	194,3	194,5		23	23	23	0	72	72	72
21.04.2021 12:00		200,7	199,4	200,7		24	24	24	0	71	71	71
22.04.2021 12:00	2,4	181,1	161,0	183,8	1	23	20	23	41	67	69	68
22.04.2021 14:00	3,8	0	0	7,7	2			2	32	0	0	33

При виконанні рейсу важливо підтримувати безпечні параметри газу у вантажних цистернах, тому якщо судно довго не використовувало насоси або компресор, вантажні цистерни можуть застигнути, так як судно перевозить скраплений метан (CH_4) при температурі -162°C . Для таких випадків LNG-танкер має спеціальну установку – примусовий випарник. Примусовий випарник – це система для перетворення зрідженого природного газу у пари та подальше транспортування цих парів до системи трубопроводу з компресорів для підтримання тиску 5,1 бар у паливному газопроводі до машинного відділення.

Спочатку підготовлюється лінія транспортування з вантажного танку до системи примусового випаровування, відчиняються усі клапани, а далі з вантажного танку малогабаритним насосом відкачується ЗПГ у напрямку примусового випарника. За допомогою примусового випарника судно має можливість у будь-який час використовувати пари газу з вантажних танків як паливо, навіть якщо судно у баласті. Перед розвантажувальними операціями завжди робиться розрахунок щодо кількості вантажу, яку треба залишити для рейсу до іншого порту завантаження та заохолодження вантажних танків перед завантажувальними операціями. Розрахунок залишку вантажу на судні дуже важливий при завершенні вантажних операцій. В залежності від дистанції до наступного порту, погодних умов, дати заходу судна у порт та об'єму газу, потрібного для заохолодження вантажних танків, формуються спеціальні таблиці щоденного природного випаровування вантажу.



4.3. Система «зеленої енергетики» на газовозах LNG класу

Екологічні норми, що контролюють викиди SO_x, NO_x і парникових газів, змінюють світову судноплавну промисловість. Щоб відповідати правилам Міжнародної морської організації (IMO), з 1 січня 2020 року оголошено майбутні екологічні цілі для зменшення викидів, відповідно до яких власники судноплавних компаній повинні змінити способи живлення та палива для своїх флотів. Вибір суднового палива зараз є значущим інвестиційним рішенням, яке має бути прийняте.

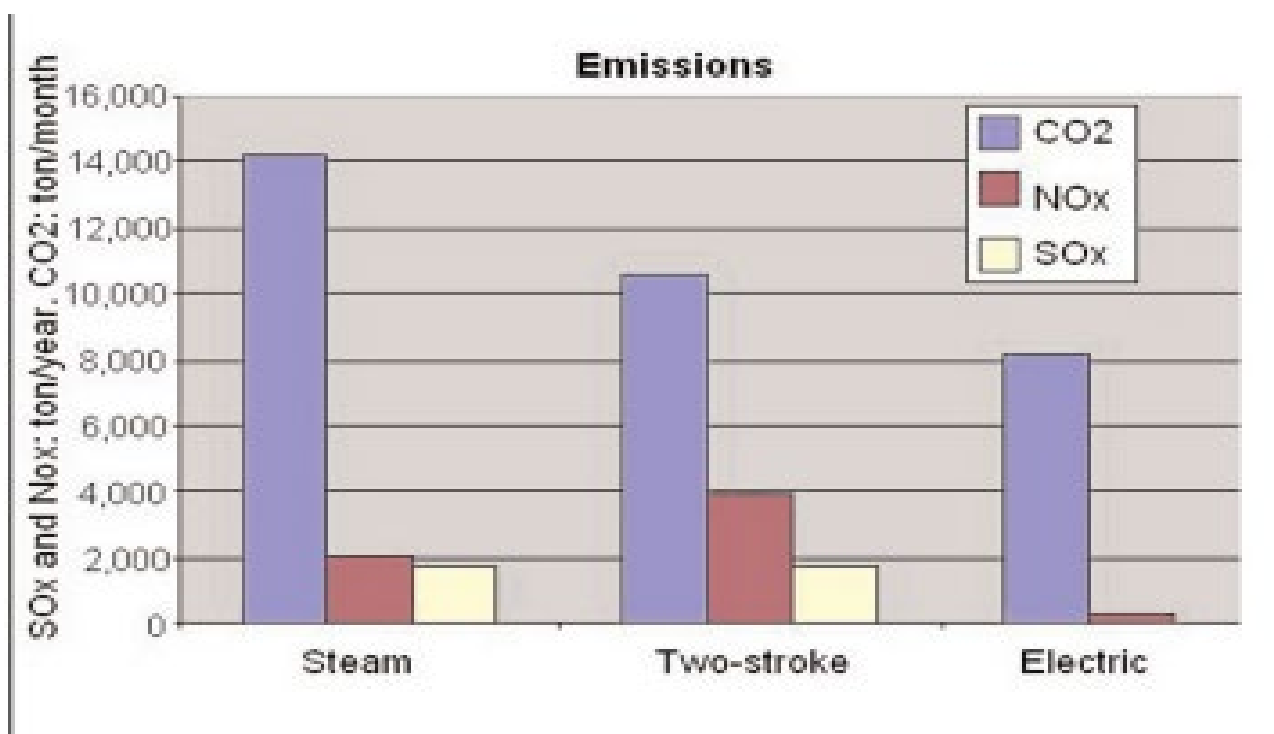


Рисунок 7 – Порівняння викиду CO₂, NO_x, SO_x від різних типів двигунів

Наприклад, компанія DNV GL провела комплексне дослідження для оцінки комерційної та експлуатаційної життєздатності альтернативного суднового палива. В дослідженні було оцінено шість основних і альтернативних видів палива (водень, аміак, метанол, LPG, біопаливо, зокрема гідроочищена рослинна олія, і повністю акумуляторні електричні системи) порівняно зі ЗПГ та застарілими видами палива.

ЗПГ є єдиним перевіреним і масштабованим паливом для судна, яке забезпечує скорочення викидів парникових газів, SO_x, NO_x та місцевих викидів. Використання ЗПГ як палива для судна показує переваги зменшення викиду парникових газів у порівнянні з поточним використанням суднових нафтових типів палива. Переваги скорочення викидів для двигунів, що



працюють на ЗПГ, порівняно з двигунами, що працюють на VLSFO, становлять від 20% до 30% .

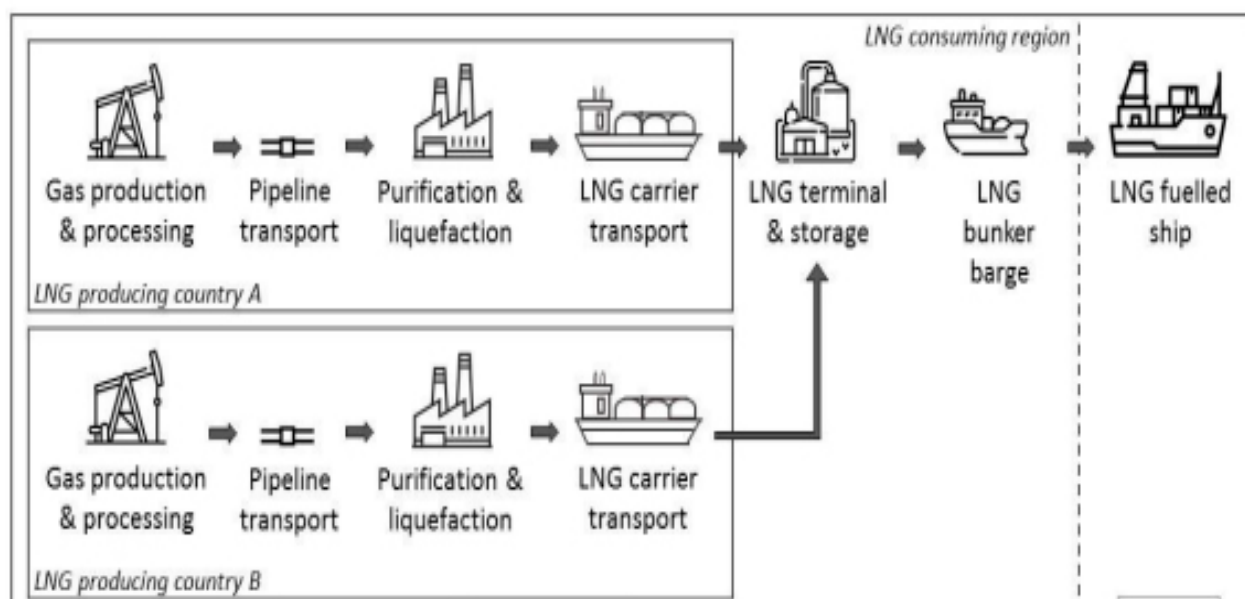


Рисунок 8 – Схема видобутку та споживання ЗПГ

До переваг зрідженого природного газу також можна віднести наступні фактори:

А) ЗПГ забезпечує велику перевагу з точки зору покращення якості повітря та здоров'я людей, що особливо важливо у портах і прибережних районах.

Б) Через незначну кількість сірки в паливі LNG, викиди SO_x скорочуються майже до нуля.

В) ЗПГ практично усуває тверді частки, включаючи чорний вуглець або сажу, які ще не регулюються, є зростаючою проблемою навколишнього середовища.

4.3.1. Дослідження життєвого циклу парникових газів при використанні ЗПГ як палива для судна

Цикл IMO E2/E3 – це стандартизований тип тестування двигунів внутрішнього згоряння. Інші цикли випробувань та вагові коефіцієнти повинні застосовуватися для перевірки відповідності судових дизельних двигунів.

Для цього дослідження використали дані про споживання палива та викиди на тестовому стенді для оцінки викидів метану поршневими двигунами в різних точках навантаження. Кожен з виробників двигунів надав від 1 до 3 наборів даних, кожен з яких представляє дані про споживання та викиди для одного окремого двигуна зі свого портфеля. Загалом зібрали та оцінили 39 наборів даних для двигунів від Caterpillar MaK, Caterpillar Solar Turbines, GE,



MAN, MTU (Rolls Royce), WinGD та Wärtsilä. Безсумнівно, викиди метану суден ЗПГ залежать від точки навантаження двигуна.

Таблиця 2 – Результати викиду хімічних речовин від газу та мазуту отримані на 2 тактних двигунах

Estimated emissions 6S70ME-C		Estimated emissions 6S70ME-GI	
Load 100%	g/kWh	Load 100%	g/kWh
CO ₂	577	CO ₂	446
O ₂ (%)	1359	O ₂ (%)	1340
CO	0.64	CO	0.79
NO _x	11.58	NO _x	8.76
HC	0.19	HC	0.39
SO _x	10.96	SO _x	0.88
PM (mg/m3)	0.54	PM (mg/m3)	0.34

Основаючись на отриманих даних, 2-тактні двигуни, що працюють на мазутному паливі, мають найменшу витрату палива при точці навантаження близько 60-65%. Аналізуючи двигуни з ЗПГ – ситуація інша: 2-тактні двигуни, що працюють на ЗПГ, мають найменшу витрату палива в точках навантаження 65-80%. Тобто вони, як правило, мають меншу витрату палива при більш високих точках навантаження, порівняно з двигунами, що працюють на HFO/MGO.

Для 4-тактних двигунів (тобто двигуни, що працюють на HFO/MGO та ЗПГ) мають найнижчу витрату палива в точках навантаження між 80-90%. Як наслідок, вважається, що двигуни, які працюють на HFO/MGO, можуть працювати в різних точках навантаження, порівняно з двигунами, що працюють на ЗПГ. Оператори судна можуть працювати з високою ефективністю двигуна – для HFO/MGO у точках навантаження між 60-65%, для ЗПГ з більш високою точкою навантаження – між 65-80%. Така поведінка також підтримує амбіції ІМО щодо скорочення викидів парникових газів на 50% до 2050 року, порівняно зі значеннями 2008 року. Експлуатація двигунів, що працюють на зрідженому природному газі, у точках з низьким навантаженням не буде ні екологічно, ні економічно вигідною, і, отже, надзвичайно важливо покращити сьогоденний профіль навантаження на майбутнє.



**Таблиця 3 – Результати викиду хімічних речовин від газу та мазуту
отримані на 4-х тактних двигунах**

6K50MC-C		6S50ME-GI	
Load 100%	g/kWh	Load 100%	g/kWh
CO ₂	556	CO ₂	469
O ₂ (%)	1223	O ₂ (%)	1255
CO	0.71	CO	0.89
NO _x	11.97	NO _x	10.51
HC	0.28	HC	0.57
SO _x	10.57	SO _x	0.85
PM (mg/m ³)	0.49	PM (mg/m ³)	0.31

Експлуатація двигунів ЗПГ на більш високих точках навантаження також допомагає зменшити ефект глобального потепління, що виникає в результаті прослизання метану, оскільки ці викиди нижчі при більших навантаженнях на двигун. Члени асоціації-учасники погодилися, що цикл ІМО E2/E3 є прийнятною, стандартизованою методологією, яка повторюється і відтворюється.

Покладатися на визначений стандарт дає перевагу не тільки мати стандартизовану методологію, але й отримувати послідовні та, як сказано, результати, що повторюються. Крім того, різні застосування судна, маршрути, погодні умови тощо також можуть мати великий вплив на роботу двигунів і призвести до різних профілів навантаження від тих, які розглядаються циклом ІМО E2/E3. Ці впливи є додатковою причиною покладатися на визначений стандарт.

Світове товариство повністю підтримує ідею використання бортових даних вимірювань замість усталених даних із тестового стенду для згоряння палива. Необхідно розробити технології, які дозволять проводити бортові вимірювання з огляду на перехідну (реальну) роботу. Це допомогло б краще зрозуміти витрату палива в реальному часі, а також величину та значення ковзання метану. Тимчасові бортові вимірювальні дані з експлуатації судна можуть ще більше підвищити якість шляхів вдосконалення енергоефективності суден. Також зрозуміло, що вимірювання на борту приведуть до інших результатів у порівнянні з використанням даних із тестового стенду, і тому



зараз продовжують заохочувати судноплавну галузь працювати над цим аспектом.

Поки що не існує комплексних бортових вимірювальних систем, які б аналізували викиди парникових газів (та інших забруднюючих речовин) від 2-та 4-тактних двигунів, зосереджених на морському суднопластві, що становить понад 70% світового суднопластва операцій. Наприклад, SINTEF провів і опублікував бортові вимірювання на 4-тактних двигунах під час прибережних операцій у Північному морі, що є чудовою відправною точкою. Проте наразі охоплено тільки 4-тактні двигуни в прибережній експлуатації, які становлять лише незначну частку світового суднопластва, оскільки, як згадувалося, більшість палива, що спалюється в морському секторі, є глибоководним судноплавним простором, де використовуються 2-тактні двигуни.

Більш надійна інформація про споживання палива та дані про викиди в режимі реального часу допоможуть підтримати прийняття рішень, заснованих на фактах, і допоможе промисловості досягти стійкого успіху.

Що стосується покращення якості повітря та здоров'я людей, то LNG може похвалитися неперевершеними показниками викидів, скорочуючи викиди SOx та твердих частинок до незначної кількості, знижуючи NOx приблизно на 85%. Крім того, у поєднанні з індексом енергоефективності (EEDI) удосконалення конструкції суден, ЗПГ, за прогнозами, досягне цілі ІМО 2030 щодо декарбонізації на нових суднах. Дослідження викидів ПГ життєвого циклу, опубліковане Thinkstep у квітні 2019 року, широко вважається остаточним дослідженням викидів ПГ від сучасних судових двигунів, тобто тих, які доступні на ринку сьогодні. Він є вичерпним, використовує останні первинні дані для оцінки всіх основних типів судових двигунів і глобальних джерел постачання.

Це гарантована якість, яка оцінює постачання та використання СПГ як судового палива відповідно до стандартів ISO, і є об'єктивною, оскільки була перевірена групою незалежних експертів з аналізу життєвого циклу та технологій судових двигунів. Дослідження чітко показує, що на основі технології двигунів переваги скорочення викидів від резервуара для двигунів, що працюють на LNG, у порівнянні з суднами, що працюють на HFO, становлять від 18% до 28% для 2-тактних двигунів з повільною швидкістю, і від 12% до 22% для 4-тактні двигуни середньої швидкості.

Абсолютні переваги скорочення викидів від свердловини до пробудження, враховуючи викиди метану, для двигунів, що працюють на LNG, у порівнянні з



суднами, що працюють на HFO, сьогодні становлять від 14% до 21% для 2-тактних двигунів з повільною швидкістю, і від 7% до 15% для 4-тактних

Важливо, що близько 70% суднового палива, що споживається сьогодні, припадає на 2-тактні двигуни, а ще 18% використовують 4-тактні двигуни середньої швидкості. Очікувані зміни в LBM і LSM забезпечують користувачам СПГ шлях до 2050 року і далі. На молекулярному рівні LBM і LSM (отримані з викопного палива) ідентичні LNG, що означає відсутність проблем із змішуванням та існуючими активами. Таким чином, LNG із зростаючою заміною LBM та LSM, починаючи з цього моменту, представляє найбільш переконливий шлях декарбонізації для глибоководних суден.

Влітку 2019 року SEA-LNG оприлюднила результати свого дослідження альтернативних видів палива, яке було проведено DNV GL. У дослідженні підкреслюється, що досягнення вуглецевих цілей ІМО до 2050 року вимагає впровадження спеціальних технологій з нульовими викидами. Альтернативні види палива, такі як водень та аміак, можуть відігравати певну роль у певних морських застосуваннях у майбутньому. Але цим альтернативам наразі бракує нормативної бази, виробничих потужностей, прийнятних протоколів безпеки та інфраструктури бункерування для широкого застосування в глибоководних суднах.

Обмеження швидкості не враховують наслідків цієї дії для інших частин високоефективного міжнародного мультимодального логістичного ланцюга, де судноплавство відіграє життєво важливу роль. Ця дія може гальмувати судновласників і менеджерів до інновацій та впровадження альтернативних видів палива з нижчими викидами парникових газів, а також розвитку інших технологічних заходів.



Висновки

Енергоефективність танкера газовозу типу LNG на сьогоднішній день не достатньо вивчена. Існує багато методів зменшення викидів парникового ефекту від цих суден але найкращого та найпростішого ще досі не вибрано. В даній монографії зроблено розрахунки під час рейсу танкера LNG за вид палива приймався тільки зріджений Метан.

У роботі були також представлені дослідження інших іноземних компаній їх спостереження та результати, які показують ефективність використання природного газу перед звичайним паливом який використовується на всіх судах.

Проведено огляд систем які найчастіше зустрічаються в теперішній час на суднах типу LNG, докладно описано принцип роботи газової установки та систему моніторингу за цими параметрами.

Розглянуто вплив Метану (CH_4) на навколишнє середовище та прийнято рішення що до скорочення цих викидів. Досліджено, експериментально, викид так званої «Зеленого газу» при використанні такої паливної системи.

Як висновок до даної монографії можна сказати що ЗПГ є єдиним перевіреним і масштабованим паливом для судна, яке забезпечує скорочення викидів парникових газів, SO_x , NO_x та місцевих викидів. Використання ЗПГ як палива для судна показує переваги зменшення викиду парникових газів у порівнянні з поточним використанням суднових нафтових типів палива. Переваги скорочення викидів для двигунів, що працюють на LNG паливі, порівняно з двигунами, що працюють на VLSFO.

KAPITEL 5 / CHAPTER 5⁵

INFLUENCE OF CYLINDRICAL ROTOR ECCENTRICITY RELATING TO STATOR ON HYDRAULIC LOSSES IN AQUEOUS METAUPON SOLUTIONS

ВПЛИВ ЕКСЦЕНТРИСІТЕТУ ТА ВОДНИХ РОЗЧИНІВ МЕТАУПОНУ НА ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР ЦИЛІНДРИЧНОГО РОТОРА

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02-016

Вступ

Відомий змішувач (рис.1) [1], який може бути застосований у змішувальній техніці для приготування емульсій тощо. Його перевагами є посилення інтенсивності перемішування в об'ємі рідини та плавне регулювання швидкостей циркуляцій потоків у їх широкому діапазоні.

5.1. Аналіз літературних джерел

Ефективність використання міцелотвірних поверхнево-активних речовин (ПАР) для зміни втрат тиску в трубах, де рух робочих рідин забезпечують насоси, та в замкнених гідравлічних системах пов'язано зі зворотною механічною деструкцією цих ПАР.

Перевагою дослідження течії міцелотвірних ПАР (МПАР) між циліндрами є їхня набагато менша геометрія порівняно з геометрією звичайних випробувальних установок, таких як аеродинамічні труби, водяні та масляні канали або в трубах [2]. Так, при течії водно-сольових розчинів метаупону в зазорі між співвісними (концентричними) циліндрами (рис.2,а) протягом тривалого часу підтримуються певні напруги тертя на стінці обертового циліндра [3].

Розчини метаупону проявляють гідродинамічну активність лише за наявності електроліту, який сприяє мицелоутворенню в розчинах МПАР. Як електроліт у розчинах метаупону використовували хлористий натрій (кухонну сіль) NaCl, вміст якого складав 8% за вагою [4, с.96].

Гідродинамічна ефективність МПАР істотно залежить від їх концентрації та від будови вуглеводневого радикала молекули ПАР [4, с.97].

При $d/D = 0,80$ та $d/D = 0,52$ (табл.1) коефіцієнт тертя збільшується при зменшенні ширини проміжку. При $d/D = 0,80$ для всіх концентрацій метаупону

⁵ Authors: Orel V. I., Pitsyshyn B. S.h, Popadyuk I. Y.



зі збільшенням критерію Рейнольдса коефіцієнт тертя зменшувався. Зменшення його значень відбувалося також при співвісному розташуванні циліндрів (рис.1,а) [5].

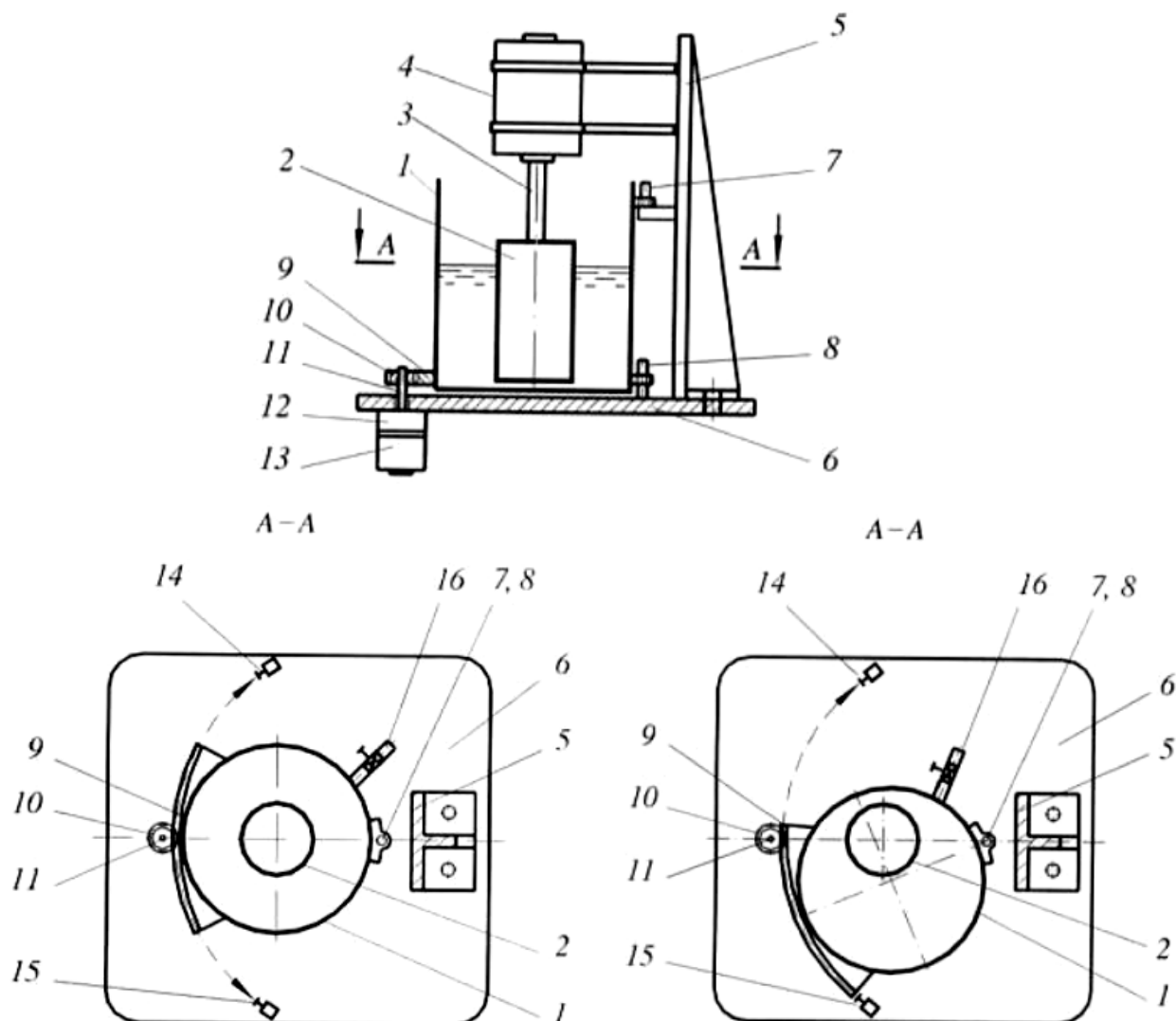


Рисунок 1. Схема змішувача при співвісному (зліва) та неспіввісному (справа) розташуванні внутрішнього циліндра та циліндричної ємності:

1 – циліндрична ємність-статор; 2 – внутрішній циліндр-ротор; 3 – вал привода; 4 – привод; 5 – стояк; 6 – плита 7, 8 – підвіс; 9 – частина сектора зубчатого колеса; 10 – шестірня; 11 – вал; 12 – редуктор; 13 – реверсивний привод; 14, 15 – кінцеві перемикачі полюсів обмоток; 16 – відповідний патрубок

Натомість при $d/D = 0,52$ для досліджених концентрацій метаупону (табл.1) модуль значення відносної зміни коефіцієнта тертя DR зростає до значень $b_e/b_k = 0,7$. З подальшим зменшенням b_e/b_k для концентрації $C = 0,3\%$ спостерігається збільшення DR до $b_e/b_k = 0,03$; для $C = 0,5\%$ – зменшення DR з мінімумом при $b_e/b_k = 0,4$, а далі збільшення [6].

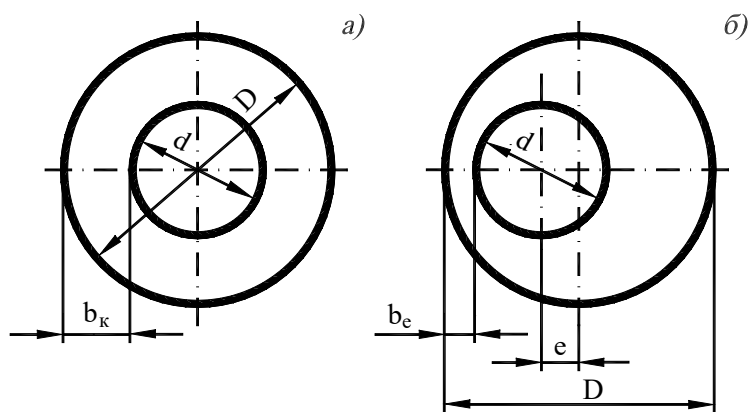


Рисунок 2. Ширина проміжку при співвісному (концентричному) b_k (а) та неспіввісному (ексцентричному) b_e (б) розташуванні ротора і статора

Таблиця 1. Дослідження впливу метаупону на гідравлічний опір ротора при його неспіввісному (ексцентричному) розташуванні зі статором

Ч/ч	Діаметри, мм		Співвідношення d/D	Концентрація метаупону, %	Джерело
	статора D	ротора d			
1.	142	112,9	0,80	0,3; 0,5	[5]
2.		73,5	0,52		[6]

5.2. Експериментальні дослідження

5.2.1. Експериментальний стенд

Детальний опис експериментального стенду наведено в [7]. Статор встановлено відносно ротора з можливістю радіального зворотно-поступального руху (рис.1). Поверхні ротора та статора є гладкими. Вихідний кільцевий проміжок між ротором та статором шириною b_k змінювався у замкнений конфузорно-дифузорний проміжок шириною b_e при утворенні ексцентриситету e за рахунок зміни положення статора.

У даному дослідженні діаметри статора та ротора відповідно становили $D = 142$ мм та $d = 52$ мм (табл.2). Висота ротора $H = 153$ мм.

5.2.2. Вибір робочої рідини

Досліджували течії води та водних розчинів метаупону масовими концентраціями 0,1 % та 0,5 %. У розчини метаупону додавали для загущення 7 % NaCl від маси розчину та для стабілізації 0,2 % гідрокарбонату натрію NaHCO_3 від маси розчину. Стабілізація потрібна для запобігання втрати гідродинамічної активності.



**Таблиця 2 Досліджені значення відносної ширини проміжку
між ротором та статором**

Діаметри, мм		d/D	Ексцентриситет e, мм	Відносна ширини проміжку	
статора D	ротора d			b_e/b_k	b_e/r
142	52	0,37	0	1,00	45
			10	0,78	35
			20	0,56	25
			30	0,33	15
			40	0,11	5
			45	0	0

5.2.3. Розрахункові формули

Коефіцієнт тертя у проміжку між ротором та статором:

$$C_f = \frac{G}{Re^2}, \quad (1)$$

де G – безрозмірний крутний момент на внутрішньому циліндрі в проміжку між ротором та статором:

$$G = \frac{T}{\rho \cdot v^2 \cdot H}, \quad (2)$$

де ρ – питома маса води; v – кінематична в'язкість води; T – сумарна сила тертя, прикладена до бічної поверхні ротора:

$$T = \frac{M}{r}, \quad (3)$$

де r – радіус ротора, $r = \frac{1}{2} \cdot d$; M – гальмівний момент, що діє на ротор:

$$M = \frac{N \cdot 60}{\Omega}, \quad (4)$$

де N – споживана потужність двигуна:

$$N = I \cdot U, \quad (5)$$

де I – сила струму; U – напруга; Ω – кутова швидкість обертання ротора:

$$\Omega = 2\pi \cdot n, \quad (6)$$

де n – кількість обертів ротора.

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\Omega_i \cdot r_i \cdot (r_o - r_i)}{\nu}, \quad (7)$$

де r_o – радіус статора, $r_o = \frac{1}{2} \cdot D$.



Критерій Тейлора:

$$Ta = \frac{V \cdot b}{\nu} \cdot \sqrt{\frac{b}{r}}, \quad (8)$$

де V – лінійна швидкість обертання ротора; b – ширина конфузorno-дифузornoго проміжку між ротором і статором:

$$b = (r_o - r) - e, \quad (9)$$

де e – ексцентриситет (рис.2, б).

5.2.4. Обговорення отриманих результатів

Досліди проводили при ексцентриситетах, наведених у табл. 2.

Для коефіцієнта тертя при течії води у проміжку між ротором і статором (рис.3) при великих значеннях критерію Рейнольдса експериментальні точки асимптотично наближаються до значень згідно з формулою для гідравлічно гладкого ротора [8]:

$$\frac{1}{\sqrt{C_f}} = 1,10 \log_{10} (Re_i \sqrt{C_f}) + 0,81. \quad (10)$$

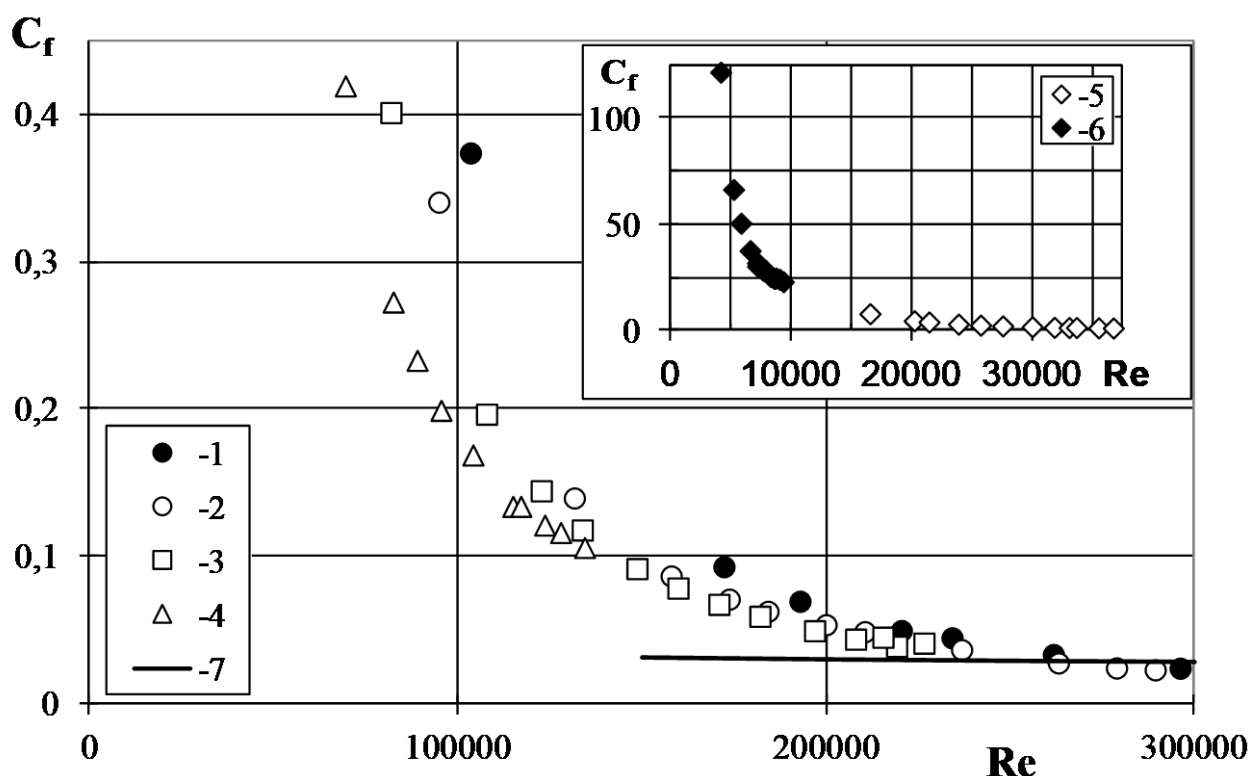


Рисунок 3. Залежність коефіцієнта тертя від критерію Рейнольдса на стінці ротора для води при ексцентриситеті e , мм: 0 (1); 10 (2); 20 (3); 30 (4); 40 (5); 45 (6); формула (10) – (7)

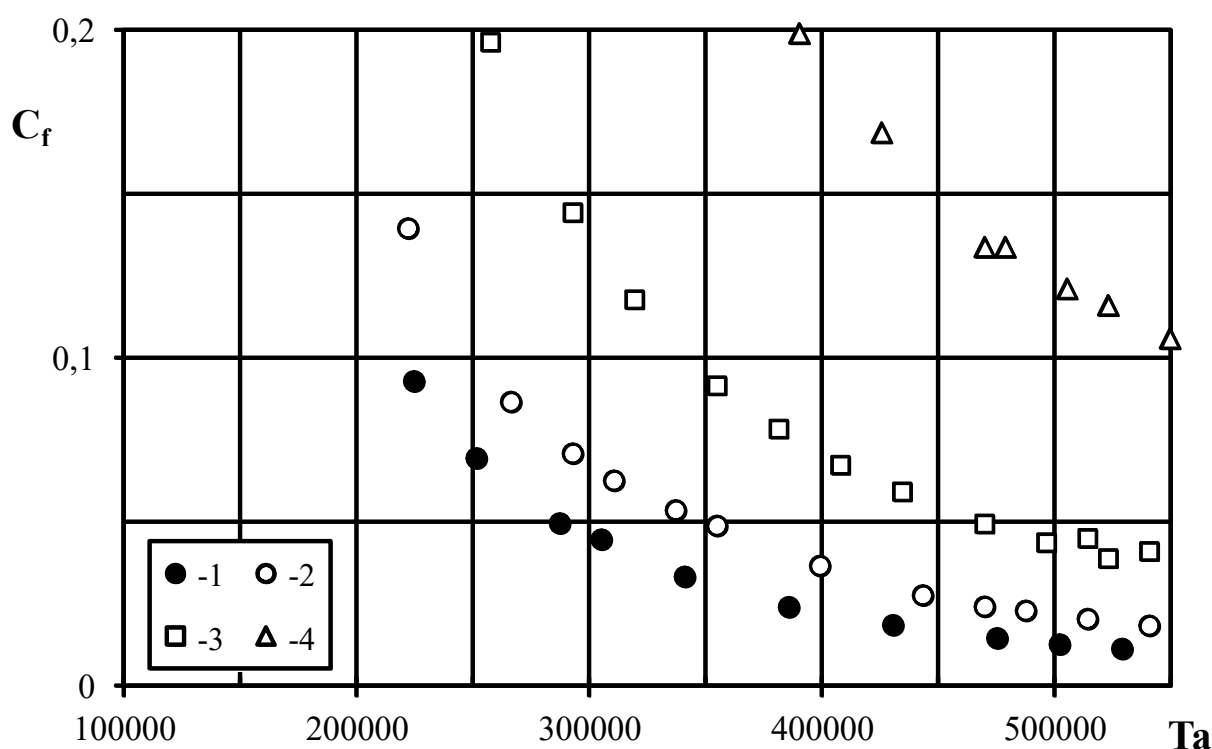


Рисунок 4. Залежність коефіцієнта тертя від критерію Тейлора на стінці ротора для води при ексцентриситеті e , мм: 0 (1); 10 (2); 20 (3); 30 (4)

При цьому коефіцієнт C_f зменшується зі збільшенням як критерію Re , так й ексцентриситету. Аналогічну ситуацію спостерігали й для розчинів метаупону.

Це підтверджує попередні дослідження з більшими діаметрами ротора, коли зменшення ширини проміжку між ротором і статором призводило до збільшення коефіцієнта тертя.

При течії води та розчинів метаупону в проміжку між ротором і статором (рис.4 – рис.6) коефіцієнт тертя зменшується зі збільшенням критерію Рейнольдса та зростає зі збільшенням ексцентриситету. Це збігається з попередніми дослідженнями з більшими діаметрами ротора.

Відносна зміна коефіцієнта тертя $(C_f)_s/(C_f)_w$ (де індекси «w» та «s» відповідають течії води та водних розчинів метаупону) при значенні критерію Тейлора $Ta = 500000$ від відносної ширини проміжку b_e/b_k (рис.7) та b_e/r (рис.8) підтверджує залежність гідродинамічної ефективності МПАР від концентрації. При концентрації метаупону 0,1% за значень ексцентриситету $e < 20$ мм коефіцієнт тертя порівняно з водою зменшується, за $e \geq 20$ мм – збільшується. При концентрації метаупону 0,5% за всіх значень ексцентриситету спостерігається зменшення коефіцієнта тертя. Останнє підтверджує попередні дослідження з ротором діаметром $d = 73,5$ мм.



Висновки

1. Підтверджено залежність гідродинамічної ефективності метаупону від концентрації.

2. Підтверджено зменшення коефіцієнта тертя зі збільшенням критерію Рейнольдса для всіх досліджених ексцентриситетах та зі збільшенням ексцентриситету при фіксованих значеннях критерію Рейнольдса як для води, так і для розчинів метаупону.

3. Підтверджено зменшення відносної зміни коефіцієнта тертя для концентрації водного розчину метаупону 0,5 % порівняно з водою. Для концентрації метаупону 0,1% при малих ексцентриситетах коефіцієнта тертя зменшувався, при великих – збільшувався.

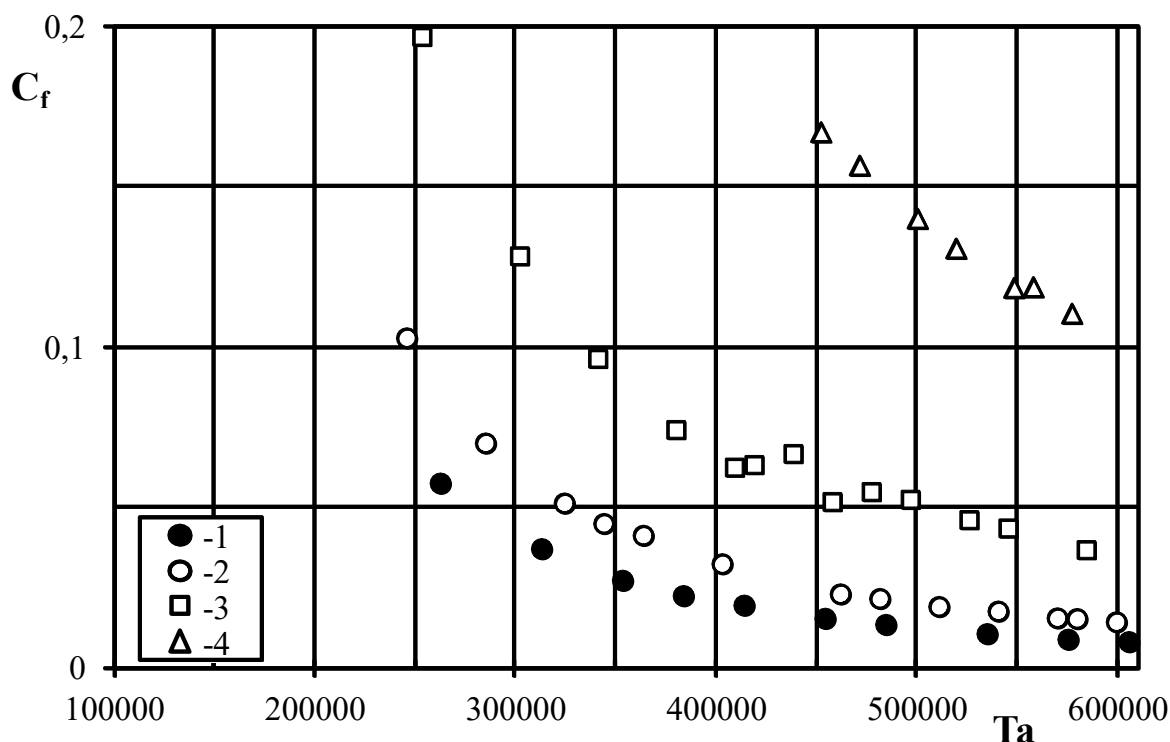


Рисунок 5. Залежність коефіцієнта тертя від критерію Тейлора на стінці ротора для метаупону концентрацією 0,1% при ексцентриситеті e , мм: 0 (1); 10 (2); 20 (3); 30 (4)

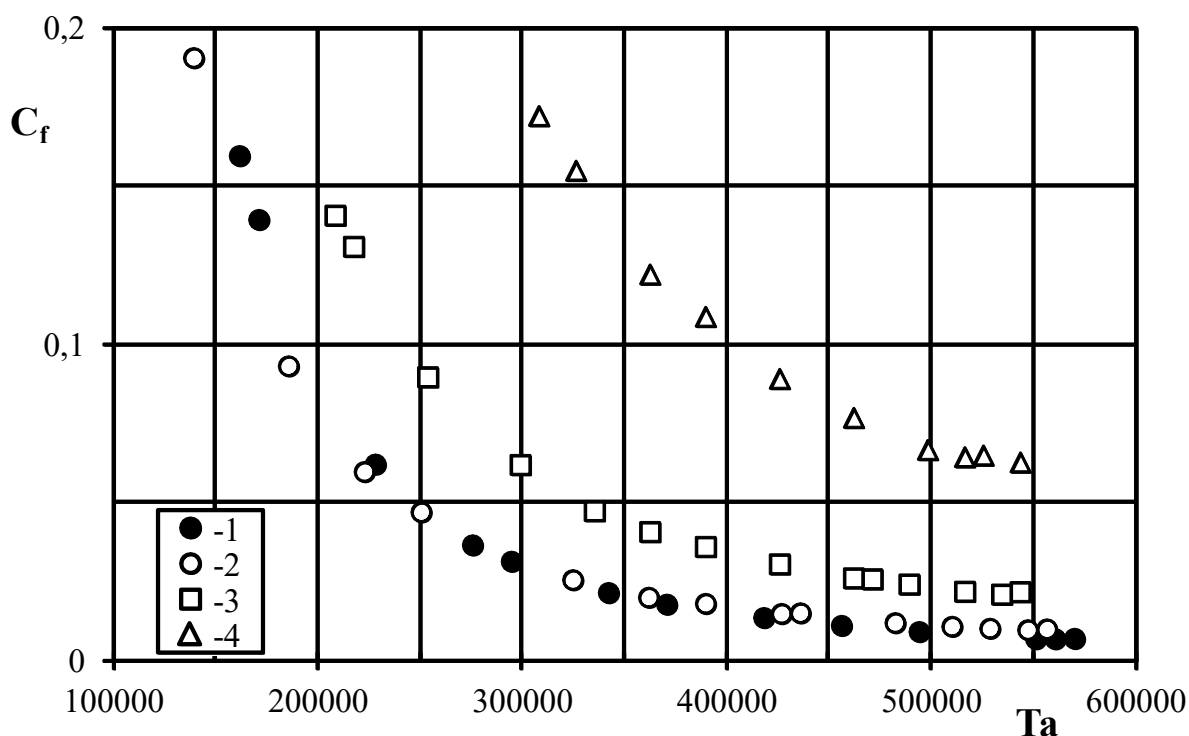


Рисунок 6. Залежність коефіцієнта тертя від критерію Тейлора на стінці ротора для метаупону концентрацією 0,5% при ексцентриситеті e , мм: 0 (1); 10 (2); 20 (3); 30 (4)

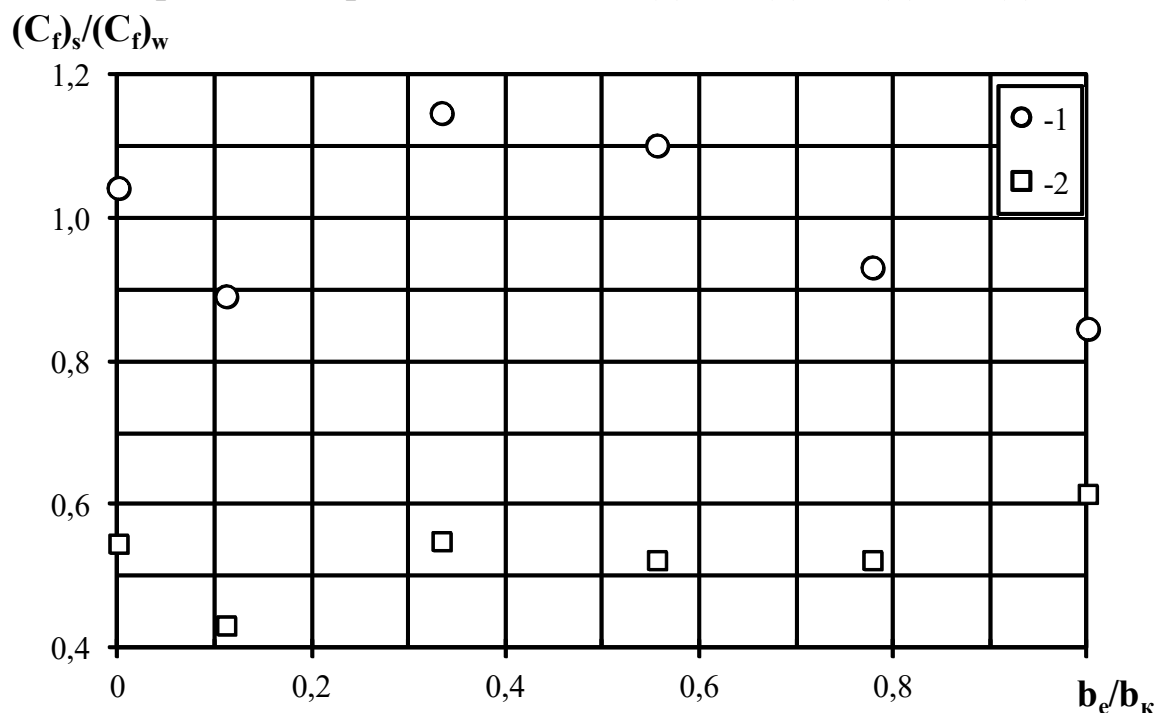


Рисунок 7. Залежність відносної зміни коефіцієнта тертя від значень відносної ширини проміжку b_e / b_k для водних розчинів метаупону концентраціями 0,1% (1) та 0,5% (2) при $Ta = 500000$

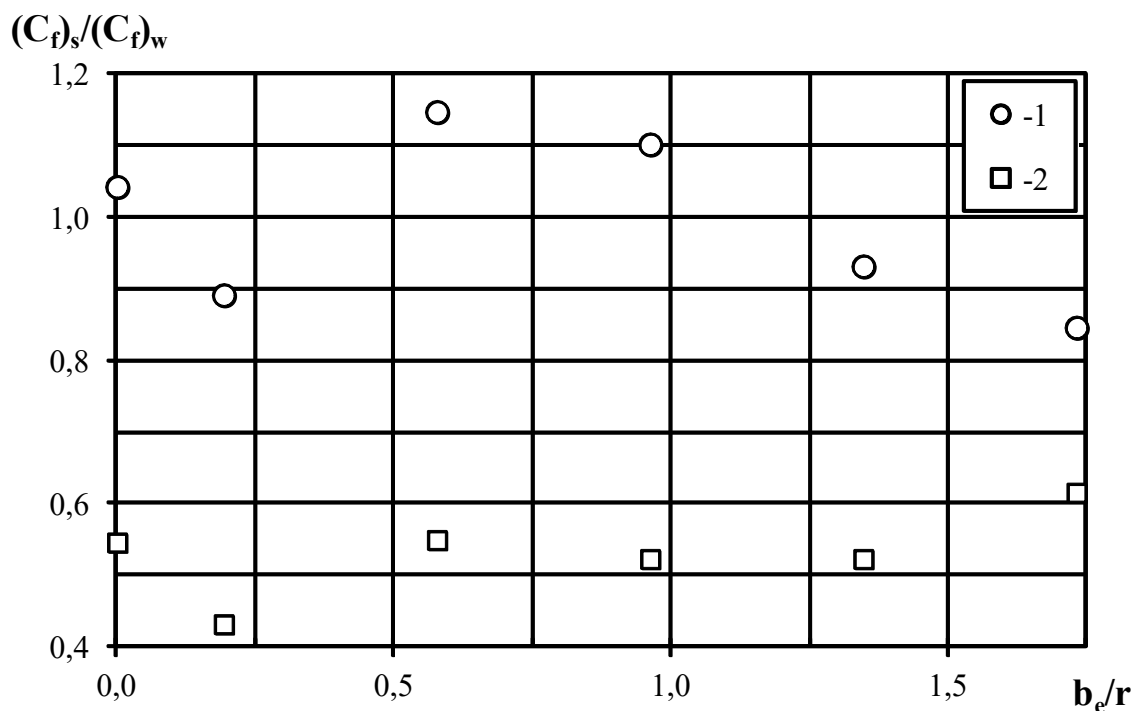


Рисунок 8. Залежність відносної зміни коефіцієнта тертя від значень відносної ширини проміжку b_c/r для водних розчинів метаупону концентраціями 0,1% (1) та 0,5% (2) при $T_a = 500000$

**KAPITEL 6 / CHAPTER 6 ⁶****HYGIENIC, EPIDEMIOLOGICAL, PSYCHOGENIC, AND URBAL ASPECTS OF MENTAL HEALTH FACILITIES COMPARED TO EU COUNTRIES***ГІГІЄНИЧНІ, ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ, ПСИХОГЕННІ ТА МІСТОБУДІВНІ АСПЕКТИ ЩОДО ЗАКЛАДІВ ПСИХІЧНОГО ЗДОРОВ'Я В ПОРІВНЯННІ З КРАЇНАМИ ЄС***DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02-033****Вступ**

У розділах монографії висвітлено особливості організації архітектурного середовища і санітарно-гігієнічних умов психіатричних лікарень України та країн ЄС, їх значення для процесу лікування, стан, самопочуття, тривалість перебування в лікарнях хворих. Проведено аналіз напрямків реформування закладів охорони психічного здоров'я у європейських країнах на основі вивчення рецензованої вітчизняної і закордонної літератури. Встановлено, що більшість психіатричних лікарень України розташовані у пристосованих зношених будівлях які будувались у XVIII-XIX столітті, що суперечить ключовій вимозі системи охорони психічного здоров'я у країнах Європейського союзу і не дозволяє створити «цілюще архітектурне середовище» для ефективного лікування хворих і створення умов «домашнього середовища». В Україні нормативний документ санітарного законодавства, який містив би санітарно-епідеміологічні та гігієнічні вимоги до проектування, будівництва, оздоблення, оснащення та експлуатації закладів охорони здоров'я із стаціонарами, на даний час формально не існує. Понад 300 нормативно-правових актів були скасовані, які були видані до прийняття Акту проголошення незалежності України, тобто нормативно-правові акти Союзу РСР та Української РСР. Із аналіз лабораторних досліджень за період 2014-2019 рр., проведених у лікувально-профілактичних закладах Вінницької області, дозволяє констатувати низький рівень штучного освітлення і порушення мікрокліматичних умов. У низці вітчизняних психоневрологічних лікарень виявлено грубі порушення прав людини, незадовільні матеріально-технічні умови і недотримання санітарно-гігієнічних вимог, на що також вказують результати анкетування родичів психічнохворих. В Україні особливого значення набуває проблема розробки нормативної бази санітарного та містобудівного законодавства щодо вимог до проектування нових закладів охорони здоров'я психоневрологічного профілю з залученням, за прикладом

⁶ *Authors: Chorna V. V.*



європейського досвіду, мультидисциплінарних робочих груп для створення максимально безпечних і комфортних умов перебування пацієнтів і медичного персоналу у психіатричних закладах

6.1. Гігієнічні аспекти архітектурно-планувальних рішень будівель психіатричних закладів охорони здоров'я на початку становлення психіатричної служби.

В будь який період розвитку психіатрії пацієнти з психічними розладами завжди були тягарем для суспільства і в будь якій держави, а особливо в Україні. В Україні кожного року за даними ВООЗ реєструють 628 нових випадків психічних захворювань (на 100 тис. населення), а особливо під час ведення довготривалої ООС/АТО на Сході країни. За останні сім років кількість людей, яким необхідна психіатрична допомога вразі зросла [1].

Ситуація, яка ще ускладнилась пандемією COVID-19, тривалим перебуванням людей в закритих приміщеннях на карантині, навчання онлайн для дітей, студентів також позначилась на психічному здоров'ї населення планети. Директор ВООЗ Тедроса Адханом Гебреєсус зазначив вагомість впливу пандемії COVID-19 на порушення психічного здоров'я мільйонів людей. Науковцями доведено, що погіршення психологічного здоров'я 52,7% респондентів оцінили вплив пандемії як "важкий", 18,6% респондентів наявність симптомів депресії, 26,5% симптоми тривоги, сильний рівень стресу як наслідок перенесеної хвороби COVID-19, 7,9 % респондентів відчували стурбованість щодо власного здоров'я та близьких, фінансових втрат із-за карантинних обмежень [2].

ВООЗ щорічно констатує, що головною причиною 128 000 самогубств, які стаються у країнах ЄС із-за депресивних розладів людей є не вчасне звернення за медичною допомогою як з тяжкими психічними розладами, так і з середній і легкою ступеню важкості, так і не отримали лікування. ВООЗ прогнозує, що психічні розлади, депресії до 2030 року можуть зайняти третє місце серед причин неінфекційних хвороб. Велику увагу ВООЗ, ООН приділяє психічному здоров'ю населення планети, розробляє плани, заходи, рекомендації для кожної окремо державі [3].

Початок психіатрії в Україні почався в часи Київської Русі. В той час вона мала два напрямки як розвиток «практичної психіатрії», так і розвиток «наукової психіатрії». У 996 році князь Київський Володимир вперше видає



Статут (закон), який передбачав нагляд і відкриття притулків для психічнохворих при Києво-Печерському монастирі, а також при церквах де були окремі приміщення для лікування/перебування хворих. В XI столітті у Київській Русі будуються окремі будівлі для лікування/перебування психічнохворих. Будівництво «братських шпиталів» в Україні почалось у XIV-XVI столітті для хворих з психічними розладами, де вони перебували і лікувались. В часи Запорізької Січі (до 1883 року) психічнохворі лікувались/перебували, як в приміщеннях великих монастирів, так і у звичайних сільських будинках, в яких були розташовані 600 шпиталів. У 1669 році був прийнятий закон «Про неосудність» щодо примусового лікування хворих з психічними розладами, а з 1690 року проводили психіатричну експертизу щодо «неспокійних хворих» [4].

Початок будівництва першого спеціального медичного закладу на 24 ліжка для психічнохворих відбулося в 1781 році на базі Максаковського монастиря Новгород-сіверської єпархії Чернігівської губернії. А з 1796 року у м. Харкові почали приймати перших хворих у психіатричну лікарню (Сабурова дача) на 225 ліжок, але із них 125 ліжок було відведено для хворих воєнного відомства. До цього двоповерхового приміщення у 1830 році добудовують і збільшують кількість ліжок до 400. У 1920 році це приміщення облаштовують під Український психоневрологічний інститут, а з 1932 року під Українську психоневрологічну академію і з 1955 року – це Харківська обласна клінічна психіатрична лікарня № 3, яка працює до наших днів [5].

У 1897 році відкрита спеціалізована психіатрична лікарня ім. О.І. Ющенка у м. Вінниця для психічнохворих Південно-Західного регіону, яка до цього часу працює як і у багатьох обласних центрах України: Чернігівська, Львівська, Херсонська та інші обласні психіатричні лікарні. Це 28,6 % психіатричних лікарень, які будували до 1945 року, які працюють по цей час, але в яких при будівництві не було передбачено гігієнічних вимог щодо комфортності хворого.

Значний розвиток будівництва психіатричних лікарень в Україні почався після II з'їзду психіатрів у 1905 році, де було прийнято рішення збільшити кількість ліжок шляхом будівництва нових лікарень для психічнохворих. Вже до 1912 року в Україні приймали психічнохворих 31 державна психіатрична лікарня на 8912 ліжок. На той час також працювали 34 приватних психіатричних лікарень в м. Києві, м. Харкові, м. Одесі, м. Чернігові, але різниця щодо гігієнічних аспектів між державними і приватними суттєво відрізнялась.



В приватних психіатричних лікарнях створювали гігієнічні умови, як для лікування, так і для «терапевтичного середовища». Наприклад у психіатричній лікарні доктора І.Я. Платонова у ХІХ столітті м. Харків психічнохворі знаходились в тих умовах, які сьогодні в Європейських країнах створюють для психічнохворих, один із головних принципів лікування є використання «терапевтичного ландшафта». Це означало, що кожна кімната хворого виходила в сад, де все було обладнано для хворого, де є квітники, фонтани тощо. В приміщеннях приватної психіатричної лікарні І.Я. Платонова були розташовані роялі, більйардні столи та інші предмети дозвілля, а саме унікальним в цій лікарні був «Цандерівський кабінет механотерапії», де хворі мали можливість займатись спортом на велосипедних тренажерах, тренажерах для греблі. Також в таких приватних лікарнях ХІХ століття хворим організовували трудотерапію, яка наприклад у країнах ЄС.

За 9 років в Україні з 2000 по 2009 р.р. у психіатричних лікарнях закрито 40 лікувально-трудова майстерень (з 64 до 24), а це скорочено 3543 місця (з 5882 до 2339) при тому, що в країнах ЄС соціальна та трудова реабілітація в структурі психіатричних лікарнях займає особливо місце [6].

Другий великий етап збільшення будівництва психіатричних лікарень відбулося з 1920-1980 р.р. і досягла до 70 205 ліжок в Україні. Проводячи екскурс в історію (1960-1980 р.р.) функцією психіатричних лікарень було здійснювати репресивні дії по відношенню до представників політичної опозиції, ідеологічно-несумісних із світоглядом лідерів держав, шляхом їх медикалізації. Проведений аналіз показав збільшення кількості ліжок-місць у психоневрологічних лікарнях з 1962 року до 1974 року у СРСР з 222600 до 390000 на 57,1% і в той час контроль над психіатричними лікарнями мали МВС СРСР та П'яте управління КДБ СРСР .

За статистичними даними МОЗ у 2012 році забезпеченість психіатричними ліжками становило 39 251 на 100 тис. населення, а у 2014 році 31 857 на 100 тис. населення майже на 18,8% скоротилося кількість ліжок в стаціонарах, які надавали психіатричну допомогу. При цьому не були створені умови як наприкладі в країнах ЄС: модель середовищної психіатрії щодо збереження та зміцнення психічного здоров'я шляхом надані медичної допомоги спочатку сімейними лікарями, медичними сестрами, психологами, а в складних випадках психіатрами, невропатологами, соціальними працівниками за місцем проживання і залишатимуться в своєму оточенні. Тільки з 2014 року в Україні почали створювати умови по мультидисциплінарному принципу і для лікування хворих з психічними розладами обладнали місця у 2 відділеннях в



обласних лікарнях та у 10 міських, одне відділення в дитячій міській лікарні. На сьогодні працює лише одна мобільна бригада (Донецька область). Але це недостатньо для всього населення України [7].

За останні 10 років в Україні (2011-2021 р.р) психіатричні заклади різко скоротились, так з 85 психіатричних лікарень загальна кількість ліжок 42185, на сьогодні 58 загальним ліжковим фондом 26915, які були побудовані більше 100 років тому: з них 28,6% побудовані в XVIII-XIX столітті (з 1786 до 1945 рр.), 28,6% після Великої вітчизняної війни (з 1945-1991 рр.), 42,8 % у часи незалежності України (з 1991-2013 рр.). Тривалість госпіталізації/лікування в Україні становить 48,7 днів (53,5 днів у 2017 р.) в порівнянні з європейськими країнами від 20-10 днів. Більшість дореволюційних будівель психіатричних закладів України використовувались за іншим призначенням – колишні казарми для солдат, конюшні, релігійні культові будівлі, будівлі для зберігання зброї. Тому взагалі не були передбачені санітарно-гігієнічні вимоги для перебування психічнохворих в цих пристосованих приміщеннях. За всі роки в Україні будівництво психіатричних лікарень проводилось за принципом “коридорного”, однотипного розташування приміщень лікарні і звичайно гігієнічні аспекти для хворих не враховувались щодо психологічного комфорту: палати розраховані на велику кількість хворих, умов для приватності відсутні (відсутні двері), ліжка розміщені у холах, тумбочок, шаф не достатньо для кожного хворого, умови для особистої гігієни не створені (туалет в кінці коридора, душові кімнати працюють за графіком). В порівнянні з Республікою Польща на сьогодні працюють понад 100 загальних лікарень, 200 денних відділень, які приймають хворих з психічними розладами і 27 центрів психічного здоров'я для хворих, які отримують безкоштовно консультацію психологів центру, а у складних випадках хворого лікують як в денних відділеннях, відділеннях загальної лікарні тощо. Фінансування багатьох проектів і наприклад: «Повернення до громади» в Республіці Польща проводиться Європейським Союзом з Європейського соціального фонду в галузі психічного здоров'я [8].

6.2. Нормативно-правові документи щодо будівель закладів охорони здоров'я в Україні та країнах ЄС.

Дослідження проведено на підставі аналізу ДБН В.2.2-10:2019 «Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я» (проект, остаточна редакція), наукових



джерел вітчизняних та зарубіжних вчених. Сьогодні на заміну чинному нормативному документу ДБН В.2.2-10-2001 «Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я» (із зміною № 2, Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 20.09.2013 № 454) готується новий ДБН В.2.2-10:2019 «Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я», який буде визначати основні вимоги до проектування психіатричних відділень (п. 8.2.15) [9].

Всесвітня психіатрична асоціація у 2020 році рекомендувала провести зміни в системі охорони психічного здоров'я Україні, змінивши підходи до фінансування шляхом поступового скорочення ліжок у психіатричних лікарнях (деінституціоналізація) та перерозподіл коштів на створення нових служб (за прикладом європейських місцевих мобільних команд, бригад домашнього лікування, центрів психічного здоров'я тощо), що було ефективно реалізовано у країнах ЄС [6]. Реформування цього напрямку вітчизняної медичної допомоги потребує не лише кількісних змін, але й реалізації істотно нових якісних проектних рішень для забезпечення комфортного перебування хворих та ефективної роботи персоналу.

Проектування нового психіатричного закладу (лікарні, відділення, клініки при університеті) повинно забезпечити ефективну роботу медичного персоналу, яка б мотивувала і задовольняла його професійні потреби, а саме: зменшувала емоційне виснаження; створювала відповідні умови для візуального нагляду за пацієнтами під час загострення їх поведінки та для захисту від їх агресивних дій; нівелювала прояви стигматизації [10]; створювала умови «цілющого архітектурного середовища», тобто безпечне, приватне, комфортне перебування пацієнтів до їх повного одужання та повернення до родини і суспільства.

В Україні нормативний документ санітарного законодавства, який містив би санітарно-епідеміологічні та гігієнічні вимоги до проектування, будівництва, оздоблення, оснащення та експлуатації закладів охорони здоров'я із стаціонарами, на даний час формально не існує. Радянський нормативний документ «Санитарные правила устройства, оборудования и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных стационаров. СанПиН 5179-90» який був затверджений Головним державним санітарним лікарем СРСР 29.06.1990 р., на сьогодні скасований розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.01.2016 р. № 94-р. Окрім цього документу, скасовані всі нормативно-правові акти (понад 300 документів), які були видані до прийняття Акту проголошення незалежності України, тобто нормативно-правові акти Союзу РСР та Української РСР. Будівництво та експлуатації стаціонарних



лікарень в Україні здійснюється на основі попереднього напрацьованого досвіду та використанні окремих елементів планувальних рішень та організаційних санітарно-протиепідемічних заходів, запозичених із практики інших країн ближнього та дальнього зарубіжжя. Проте, розробка нормативного документу санітарного законодавства України для сучасних стаціонарних лікарень, які є базовими закладами вторинної ланки за реформою галузі охорони здоров'я, є вкрай актуальною. До того ж вузькоспеціалізовані лікарні психоневрологічного профілю за медичною реформою відносяться до третинного рівня за профілем надання медичних послуг – з одного боку, за наявністю стаціонарів відносяться до вторинного рівня – з іншого, і тому основні санітарно-протиепідемічні та гігієнічні вимоги є спільними як для вузькоспеціалізованих лікарень, так і для лікарень загального типу [11,12].

У праці Ulrich R.S., Bogren L., Gardiner S. [13] проведено моніторинг за період 2005-2007 рр. умов перебування і лікування хворих у психіатричних лікарнях Швеції, які були побудовані в різні роки і відрізнялися підходами до проектування, оздоблення, оснащення, що дозволило виявити вагомий вплив планування внутрішньолікарняного середовища на прояви стресу і агресивності хворих: одномісні достатньої площі палати з окремими ванними кімнатами і туалетами; загальні приміщення, такі як кухні, кімнати для активних дій; окремий вихід до саду, де облаштовано місця для сидіння. Тому забезпечення належних умови приватності хворих і покращують їх лікування. У шведських (та інших країнах Північної Європи) спеціалізованих лікарнях більшість кімнат для пацієнтів розташовують навколо центральної робочої зони для медичного персоналу, що дозволяє їм спостерігати за хворими, мати постійний контакт з ними і більше часу проводити за межами медичних кабінетів. Додатково створюється візуальний нагляд за дверима спалень, душових, туалетів, кухні, садових альтанок. Сучасні проекти психіатричних лікарень відрізняються більшою площею палат на одного пацієнта (37,7 м² проти 36,9 м²), зони активного відпочинку (13,6 м² і 12,1 м²), меншою площею коридорів у зоні перебування медичного персоналу (6,9 м² і 10,1 м²), а також можливістю централізованого спостереження за приміщеннями для відпочинку й активними кімнатами (кухня, альтанка тощо), доступ до яких у старих лікарнях здійснювався з коридору (рис.1. А, Б).

Нові психіатричні відділення в Україні будуть розташовуватися на першому поверсі будівлі, ізольованими від усіх груп приміщень лікарні для гарантування безпеки та приватності. Вхід до приміщень відділень буде контролюватися персоналом. Передбачено не менше двох одномісних палат



площею 12 м², решта – двохліжкових, при цьому окремо розміщуватимуться палати для чоловіків і жінок [14].

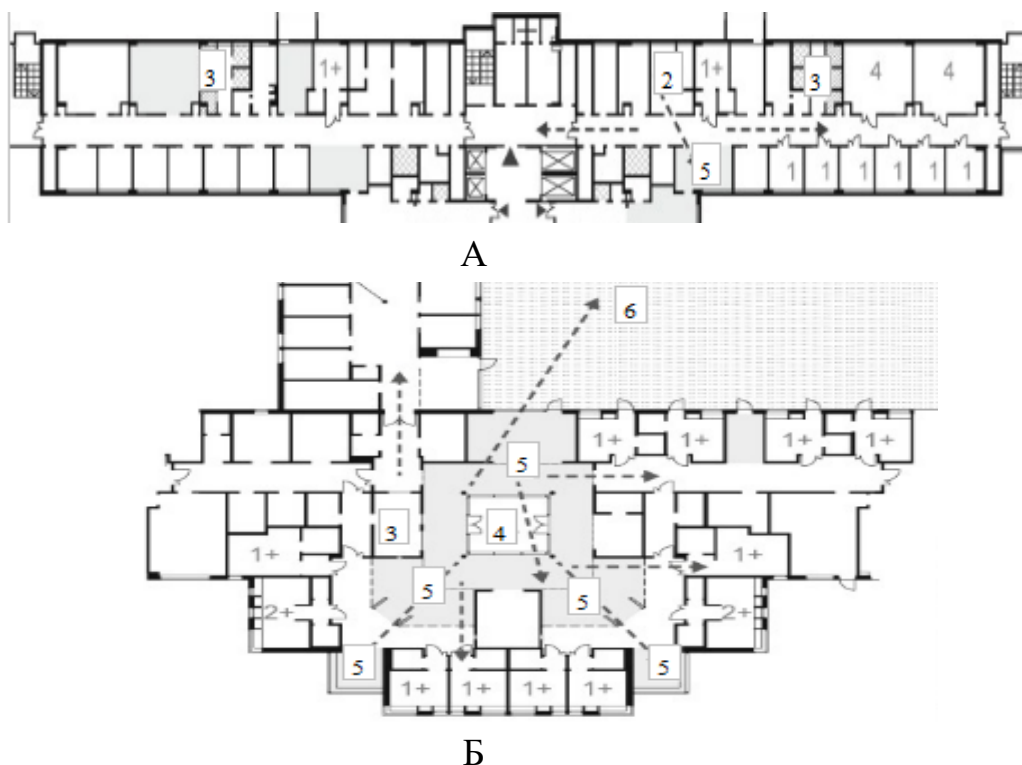


Рис 1. Поверховий план старої (А) і нової (Б) психіатричних лікарень у Швеції:

на плані А: 1 - одноліжкові палати, 1+ – одноліжкові палати з туалетом/душом, 2 – пост медичної сестри, 3 – туалет/душ, 4 – чотирьохліжкові палати, 5 – загальна територія перебування хворих;

на плані Б: 1 – одноліжкові палати з туалетом/душом, 2 – двохліжкові палати з туалетом/душом, 3 – пост медичної сестри, 4 – атриум, 5 – загальна територія перебування хворих, 6 – зелена зона, сад.

У нових державних будівельних нормах (п. 8.2.15.4) знаходимо вимоги до опорядження туалетних і ванних кімнат з урахуванням безпеки пацієнтів, проте не зрозумілим залишається розташування цієї групи приміщень – у кожній палаті чи загальне приміщення на поверсі? У переліку «рекомендованих приміщень та зон в психіатричному відділенні» (п. 8.2.15.6) зазначені лише туалети для персоналу та відвідувачів. Умови розташування стаціонарних відділень, їх зонування, склад і площі приміщень, вимоги до забезпечення безпечного перебування хворих у палатах, туалетних і ванних кімнатах регламентуються у новому ДБН В.2.2-10:2019, які повторюють по суті санітарно-гігієнічні вимоги попереднього документу ДБН В.2.2-10:2001



«Заклади охорони здоров'я», тобто відсутні будь-які зміни, спрямовані на створення екологічного середовища та комфортних умов для пацієнтів та медичних працівників психіатричних закладів охорони здоров'я.

Аналіз цього ж пункту (п. 8.2.15.6) дозволяє констатувати наявність великої кількості приміщень, у т.ч. «прогулянковий двір», які не орієнтовані на створення комфортних і приватних умов перебування хворого.

Не зазначено у ДБН В.2.2-10:2019 України (проект, остаточна редакція) місце локації чергового посту медсестри, що нашоухує на думку про його розташування орієнтовно по середині лікарняного коридору, за конфігурацію яких також не згадується. Слід зазначити, що на сьогоднішній день коридорна система розташування приміщень в лікарнях поступається «трикутній концепції» архітектури сучасних лікувальних будівель, за якої палати розташовують рівно віддалено і в прямій видимості для медсестринського посту.

У вітчизняних психіатричних відділеннях температурний режим палат повинен становити 20-25°C, також слід обладнати їх системою аварійного освітлення, не менше ніж третина розетками для живлення на кожне ліжко і системою виклику з акустичним та світловим сигналом. Водночас у проекті нових будівельних норм відсутня інформація щодо географічного розташування вікон у палатах для забезпечення достатньої інсоляції [9,11,12,14].

Дослідженнями D'Agostino (2020), Markus Canazei M. (2017), Gregory L. Sahlem (2014) доведено покращання стану хворих у психіатричних клініках за умови достатнього природного (інсоляція не менше 3 годин) і штучного освітлення в палатах. У праці Hunt J., Sine D. (2015) за результатами опитування хворих і медичних працівників закладів охорони здоров'я Італії, Нідерландів і Росії також виявлено зменшення кількості стресових ситуацій, істотний позитивний вплив на перебіг процесу лікування, скорочення термінів одужання, зменшення тривалості медикаментозного лікування за належного природного і штучного освітлення приміщень (спальні кімнати, кабінети лікарів і медичних сестер). Навпаки, за дефіциту денного світла у медичних приміщеннях спостерігали прояви зорового напруження, збільшення помилок у роботі, поширення окремих ознак синдрому емоційного вигорання медичних працівників [15]. Європейською економічною комісією у Компендіумі, прийнятому ООН у 1991 році, визначено час тривалості надходження прямих сонячних променів і коефіцієнт природної освітленості (КПО), який визначається з врахуванням зміни освітлення протягом дня. Норми EN щодо денного освітлення, які розробляються у Європі, передбачатимуть відповідні



ВИМОГИ.

Європейською хартією про сонячну енергію в архітектурі і містобудуванні визначено, що видобування не відновлюваних викопних видів палива та процеси його перетворення у енергію тривалий час створює негативний вплив на навколишнє середовище шляхом викидів. Це питання вимагає вирішення шляхом залучення архітекторів та установ, які беруть участь у процесі будівництва громадських об'єктів. Архітектори повинні розробляти концепції щодо планування громадських будівель із використанням природних і поновлюваних форм енергії, направлені на зменшення її споживання та будівництва енергоефективних будівель. Тому, при проектуванні будівель психіатричних лікарень необхідно передбачати використання природних поновлюваних ресурсів, особливо сонячну енергію. Нові дизайн-концепції при проектуванні об'єктів будівництва, в тому числі психіатричних ЗОЗ, повинні збільшувати обізнаність про сонце як джерело світла і тепла, та широкого застосування сонячних технологій у будівництві [11,12].

Тому вважаємо за необхідне розширити п. 8.3.2.9 ДБН В.2.2-10:2019 України із зазначенням регламентованих величин природного освітлення згідно з ДСП №173-96, ДБН В.2.2-3:2018 та ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010, які на разі регламентують інсоляцію лікувальних закладів в Україні.

За даними авторів Hsu T. (2012), Jue K. (2017), які вивчали негативний вплив на пацієнтів високих рівнів шуму в лікарнях, неконтрольований, непередбачений шум у лікарнях збільшує стрес як у хворих, так і медичного персоналу, викликає або погіршує агресивну поведінку у хворих і, таким чином, сприяє загостренню перебігу захворювання, погіршує результати лікування. Тому застосування шумопоглинаючих технологій при проектуванні і будівництві психіатричних закладів покращить їх акустичний режим [16,17].

Наступними важливими критеріями при розміщенні психіатричних ЗОЗ є дотримання нормативних рівнів фізичних факторів: шуму за «Державними санітарними нормами допустимих рівнів шуму в приміщеннях громадських будинків. ДСН №463-19», мікроклімату (температура, вологість та швидкість руху повітря) за «Санітарними нормами мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99», вібрації за ДСП №173-96 (Додатки №17 та №17а), електромагнітного випромінювання за «Державними санітарними нормами і правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів. ДСанПіН 3.3.6-096-2002» та іонізуючого випромінювання за «Гігієнічними вимогами до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур. ДСанПіН 6.6.3-150-2007» та Державними



санітарними правилами «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. ОСПУ-2005», як у медичних приміщеннях ЗОЗ, так і на при лікарняній території [12,14].

Одним із негативних фізичних факторів в лікарнях, якій опосередковано діє на здоров'я людини, є високий рівень звуку. За таких умов ймовірні загострення хвороби, збільшення часу лікування, поява додаткових ознак тривожного та депресивного реагування пацієнтів, особливо психічно хворих. Рівень шуму згідно з рекомендаціями ВООЗ у лікарнях повинен дорівнювати середньому еквівалентному рівню звуку (L_{Aeq}) $56,22 \pm 1,65$ дБА. За кордоном унормовані допустимі рівні звуку як для денного, так і нічного періоду доби у закладах охорони здоров'я [18].

В Україні акустичний режим території ЗОЗ регламентується “Державними санітарними правилами планування та забудови населених пунктів. ДСП № 173-96”, затвердженими наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 р. № 173, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 24.07.1996 р. за № 379/1404 (із змінами) (п.8.36-8.45) та Додатком № 16 до цього документа. Зокрема на території лікарні, що безпосередньо прилягає до будівлі лікарні допустимі рівні звуку становлять: у денний час доби – 45 дБА, у нічний – 35 дБА.

Новим національним нормативним документом “Державними санітарними нормами допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови”, затвердженими наказом МОЗ України від 22.02.2019 р. № 463, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України від 20.03.2019 р. № 281/33252, унормовані допустимі рівні звуку в приміщеннях палат з урахуванням кількості одночасного перебування хворих: у палаті на одного пацієнта допустимі рівні звуку становлять: у денний час доби – 35 дБА, у нічний – 25 дБА; у палаті на двох і більше пацієнтів: у денний час доби – 40 дБА, у нічний – 30 дБА. Для робочих місць медпрацівників при цілодобовому режимі роботи допустимі рівні становлять 35 дБА. Новітній вітчизняний норматив допустимого рівня звуку у палатах є більш вимогливим і меншим, ніж міжнародний (ВООЗ) в 1,6 рази.

Разом з тим іншим нормативним документом “Санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99”, затвердженими постановою Головного державного санітарного лікаря України №37 від 01.12.1999 р., нормується допустимий еквівалентний рівень звуку на робочих місцях медпрацівників у приміщенні прийому хворих на рівні 50 дБА, що не співпадає з новітнім нормативом у 35 дБА за «Державними санітарними



нормами допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови», затвердженими наказом МОЗ України від 22.02.2019 р. № 463. Зазначені відмінності у вітчизняних нормативних документах є суттєвими і потребують коригування шляхом приведення до однозначного читання нормативів, що важливо при проектуванні нових закладів охорони психічного здоров'я [12,14,18].

Наступні нормативні документи містять санітарно-протиепідемічні вимоги до поводження з твердими побутовими відходами як у приміщеннях, так і на лікарняній території ЗОЗ, це: «Державні санітарні норми та правила утримання території населених місць. ДСанПіН №145-2011» та «Державні санітарно-протиепідемічні правила і норми щодо поводження з медичними відходами», затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 08.06.2015 р. №325.

Вітчизняним законодавством встановлені чіткі вимоги до оздоблення медичних та допоміжних приміщень психіатричних ЗОЗ, зокрема, будівельних матеріалів та виробів для оздоблення, які повинні бути безпечними і відповідати вимогам Державних санітарних норм та правил «Полімерні та полімервмісні матеріали, вироби і конструкції, що застосовуються у будівництві та виробництві меблів. Гігієнічні вимоги. ДСанПіН 8.2.1-181-2012», «Основним вимогам до будівель і споруд. Безпека життя і здоров'я людини та захист навколишнього природного середовища. ДБН В.1.2-8-2008» та Державним Стандартам: ДСТУ ISO 14024:2002 «Екологічні маркування та декларації Екологічне маркування типу I. Принципи та методи», ДСТУ ISO 14020:2000 «Екологічні маркування та декларації Загальні принципи», ДСТУ ISO 14021:2016 «Екологічні маркування та декларації Екологічні самодекларації (Екологічне маркування типу II)». Згідно із зазначеними нормативними документами у складі будівельних матеріалів (виробів), призначених для внутрішніх робіт забороняється використання продуктів, що містять сполуки фталатів які перевищують 0,1% від маси пластифікованого матеріалу. Ефективна питома активність природних радіонуклідів не повинна перевищувати 370 Бк/кг у всіх матеріалах, що використовуються для обладнання території закладу охорони здоров'я (майданчиків відпочинку тощо) відповідно до вимог «Державних гігієнічних нормативів. Норми радіаційної безпеки України» (НРБУ-97) [12,14].

Вимоги до опалення, вентиляції, кондиціонування приміщень, в т.ч. приміщень психіатричних ЗОЗ регламентуються Державними будівельними нормами «ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування» (із



змiнами).

Підсумовуючи закордонний досвід щодо архітектурно-планувальних рішень з проектування психіатричних лікарень, можна констатувати наступні обов'язкові вимоги: облаштування інклюзивного середовища для пацієнтів з особливими потребами всередині будівель закладів охорони здоров'я психіатричного профілю; створення пристосованих умов для бариатричних пацієнтів (людей з надмірною вагою тіла) шляхом наявності спеціального обладнання та додаткової фізичної підтримки для таких пацієнтів, а також забезпечення достатнього простору, пристосування меблів для таких пацієнтів; по можливості проектування палат таким чином, щоб забезпечити краєвид, а також обов'язково доступ свіжого повітря; одномісна палата повинна мати площу не менше 15 м² включаючи ванну, проте для пацієнтів з особливими палати площа палати повинна бути більшою, зокрема для пацієнтів з інвалідністю, які користуються інвалідними візками розмір палати повинен бути збільшений до 17-19 м², а для бариатричних пацієнтів 26-29 м² з ванною кімнатою площею мінімум 7 м²; мінімальна ширина дверей палат повинна бути 1,32 м; необхідно забезпечити у психіатричному відділенні наявність спеціальної ванної кімнати 15 м² для пацієнтів з особливими потребами; оздоблення медичних та допоміжних приміщень психіатричних лікарень повинно забезпечувати умови санітарно-гігієнічної обробки поверхонь [14,18].

Рекомендовано проектування зазначених лікарень поверховістю в один поверх з метою вільного доступу пацієнтів до внутрішніх двориків. Ширина коридорів повинна бути мінімум 1,83 м для забезпечення умов інклюзивності; палати, санвузли, ванні кімнати для пацієнтів також повинні забезпечувати умови інклюзивності; підлога повинна мати неслизьке покриття світлих кольорів (листовий вініл, лінолеум); за показниками мікроклімату в палатах повинно бути забезпечено підтримання температури повітря на рівні +21-24 °С, та необхідно підтримувати достатній повітрообмін. В Україні вимоги до лікувальних корпусів психіатричних лікарень для забезпечення умов доступу маломобільних пацієнтів встановлюються «ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення» [12].

Для забезпечення транспортної доступності медичного персоналу до закладу охорони здоров'я, передбачається облаштування на території лікарні автостоянки для тимчасового зберігання автотранспорту медпрацівників.

Закордонний досвід сприяв запровадженню у нормативні документи містобудівного законодавства України положення про розміщення автомобільних паркінгів на території лікарні у підземному просторі суміжно з



фундаментом лікарняної споруди.

Розміщення підземного паркінгу (одно-, двоповерхового) на лікарняній території вимагає дотримання санітарно-гігієнічних та протипожежних вимог нормативних документів санітарного та містобудівного законодавства України.

Згідно з вимогами п. 5.29 «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів. ДСП №173-96», затверджених наказом МОЗ України від 19.06.1996 р. №173, зареєстрованим в Мін'юсті України 24.07.1996 р. №379/1404 та п. 6.50 ДБН Б.2.2-12:2018, в'їзди-виїзди з окремо розташованих підземних гаражів повинні розташовуватися від вікон прилеглих медичних приміщень на відстані не менше ніж 15 м.

У порівнянні із закордонним досвідом та на підставі нормативних документів містобудування інших країн (Велика Британія, США) можна констатувати, що у доповнення до розміщення підземних паркінгів поширена практика розміщення гостьових автостоянок на території поблизу лікарень. Зазначене положення, на відміну від вітчизняного законодавства, є унормованим, згідно з яким розміщення паркомісць для автотранспорту пацієнтів маломобільних груп населення безпосередньо біля входної групи до лікарень є обов'язковою вимогою.

Відповідно до вимог ДСП №173-96 (Додаток №10) в Україні санітарна відстань нормується від земельних ділянок лікувальних закладів зі стаціонарами, тобто за межами території земельної ділянки лікарні.

Зазначене положення ДСП №173-96 є застарілим і потребує перегляду.

Необхідно врахувати, що в Україні впроваджуються Європейські екологічні норми (стандарти) для двигунів внутрішнього згорання автомобілів, що значно зменшує викиди від них. Україна розпочала впроваджувати європейські норми з 2006 р. на рівні Євро-2. Законами України, зокрема "Про деякі питання ввезення на митну територію України та проведення першої державної реєстрації транспортних засобів" від 06.07.2005 р. №2739-IV (із змінами) передбачається поетапне запровадження міжнародних екологічних вимог Євро-5 та Євро-6 до транспортних засобів, що передбачені Регламентом (ЄС) №715/2007 про викиди шкідливих речовин від автомобілів. З 2016 р. врегульовано питання щодо виготовлення в Україні транспортних засобів та ввезення на територію України автомобілів з технічними характеристиками їх конструкцій, що відповідають екологічним нормам не нижче рівня "Євро-5", що забезпечить зменшення вмісту шкідливих речовин у вихлопних газах: СО – в 2,2 рази, СН – в 2,6 рази, NOx – в 2,5 рази. Поява нового типу автомобілів - електромобілів, що приводять в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів



або паливних елементів тощо, а не двигуном внутрішнього згоряння, потребує перегляду та внесення змін як у санітарне, так і містобудівне законодавство.

На підставі викладеного відкрита міні-автостоянка для медичних працівників може бути облаштована біля господарської зони з виконанням вимог п. 5.29 ДСП №173-96 [11,12,21].

Зазначені пропозиції щодо розміщення відкритих міні-автостоянок для медичних працівників потребують внесення до нової редакції «Державних санітарних правил панування та забудови населених місць» та у остаточну редакції проекту ДБН В.2.2-10:2019 у передбаченому законодавством порядку.

На Рис.2 показаний приклад архітектурно-планувальних рішень з облаштування посту чергової медичної сестри у закладі охорони здоров'я психіатричного профілю із застосуванням оздоблюваних матеріалів кольорової гами, яка створює умови житлового середовища.



Рисунок 2 - Вигляд посту чергової медичної сестри у закладі охорони здоров'я психіатричного профілю США.

У психіатричних лікарнях США практикується облаштування закритого подвір'я для відпочинку пацієнтів психіатричної лікарні на свіжому повітрі (Рис.3).

Обов'язковою вимогою для психіатричних лікарень США є наявність окремої при лікарняній території для прогулянок пацієнтів на свіжому повітрі (Рис.4).

На етапі проектування психіатричних закладів в країнах ЄС не залишають поза увагою «терапевтичний ландшафт» всередині відділення у вигляді невеликих оранжерей чи назовні поруч з палатами хворих. Це сприяє концентрації уваги, зниженню стресу, покращанню настрою, поповненню обмежених когнітивних ресурсів, підвищенню почуття енергії та життєвих сил, швидшому одужанню [18,19].



Рисунок 3 - Вигляд закритого подвір'я для відпочинку пацієнтів психіатричної лікарні на свіжому повітрі (США, штат Алабама, м. Тускалуза).



Рисунок 4 - Вигляд відкритого внутрішнього дворику психіатричної лікарні Шеппард-Пратта для прогулянок пацієнтів на свіжому повітрі (США, штат Меріленд, м. Таусон).

Варто також при проектуванні спеціалізованих відділень перейняти закордонний досвід вибору кольорової гами для опорядження палат з урахуванням віку пацієнтів. Світові дизайнери з цією метою використовують за основу праці Рудольфа Штейнера про значення кольорів у терапії хворих. Найбільш сприятливими для лікування пацієнтів з психічними розладами він вважав блакитний і рожевий. Зокрема, доведено, що правильна колористика палати і відділення загалом зменшує прояви прихованої ворожнечі та депресії. Рожевий колір, наприклад, заспокоює і розслаблює; кольори на підлозі допомагають хворим орієнтуватись у різних за призначенням групах приміщень. Досить часто практикується прикрашання стін закладу художніми роботами самих пацієнтів (арт-терапія), при цьому хворий не тільки



самостверджується, але й отримує лікувальний ефект [22].

Обов'язковим є дотримання вимог умов праці медичного персоналу та відповідність вимогам Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» та Державним стандартам України (табл.1) [12,14].

Таблиця 1 - Додаткові нормативні документи, в яких регламентуються вимоги, що поширюються на будівлі закладів охорони здоров'я

ДСТУ Б EN 15251:2011 «Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики»	Державний стандарт України
ДСТУ Б EN 15459:2014 «Процедура економічної оцінки енергетичних систем будівель (EN 15459:2007, IDT)»	Державний стандарт України
ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 «Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2005, IDT)»	Національний стандарт України
<i>Нормативні документи екологічного законодавства</i>	
ДСТУ ISO 14024:2002 Державний стандарт України Екологічні маркування та декларації «Екологічне маркування типу I. Принципи та методи»	Державний стандарт України
ДСТУ ISO 14020:2003 Державний стандарт України «Екологічні маркування та декларації. Загальні принципи»	Державний стандарт України
ДСТУ ISO 14021:2002 Екологічні маркування та декларації. «Екологічні само декларації (Екологічне маркування типу II)»	Державний стандарт України

Відомо, що середня тривалість перебування дорослих пацієнтів у психіатричних закладах становить до 53,5 днів в Україні, до 20,8 днів у Литві, до 20,3 днів у Польщі, що, ймовірно, не в останню чергу, зумовлено якістю архітектурно-планувальних рішень терапевтичного середовища в установах цих країн [6].

Водночас проведені власні дослідження дозволяють констатувати досить поверхневу реорганізацію психіатричних відділень, яка не відповідає мультидисциплінарному підходу до проектування Європейських закладів



охорони психічного здоров'я із залученням у робочу групу керівника закладу, архітектора, медичного персоналу, зокрема, медичних сестер. Істотно, що набір приміщень в нових психіатричних лікарнях країн ЄС орієнтований на пацієнтів, на забезпечення їх максимально комфортного перебування у цих закладах. При цьому чіткими є вимоги щодо проектування не лише психіатричних лікарень, але й психіатричних відділень інтенсивної терапії, психіатричних відділень для ветеранів тощо [23].

З огляду на все вищевикладене, вважаємо за потрібне більш ретельно представити архітектурно-планувальні рішення у відповідному розділі ДБН В.2.2-10:2019 (проект, остаточна редакція) або ж скористатися можливістю, зазначеною у вступі до цих Норм, і доповнити їх Посібником з проектування психіатричних закладів охорони здоров'я з урахуванням досвіду країн Європейського Союзу, як це зроблено у Республіці Польща.

6.3. Сучасні підходи до архітектурно-планувальних рішень будівель закладів психічного здоров'я для створення внутрішньолікарняного комфорту медичному персоналу, так і пацієнтам в Україні.

Сучасний підхід до реалізації принципів функціональної та естетичної організації інтер'єрів і оздоблювальних матеріалів приміщень психіатричних закладів охорони здоров'я, визначення особливостей впливу природного та штучного освітлення на психофізіологічний стан організму хворих і медичних працівників потребує суттєвих змін як в нормативно-правових, фінансових, так і в інших напрямках. В результаті вивчення досвіду Європейських країн щодо створення внутрішньолікарняного комфорту для хворих та медичного персоналу психіатричних закладів охорони здоров'я встановлено наступне: врахування санітарно-гігієнічних вимог при проектуванні і облаштуванні закладів для психічнохворих осіб повинне відповідати терапевтичному середовищу та сприяти створенню найкращі умови для організації лікувально-охоронного режиму, покращення лікувально-профілактичної роботи, запобігання внутрішньо-лікарняних інфекцій і, отже, бути одне із пріоритетних напрямків реформи охорони психічного здоров'я в Україні. За результатами вивчення закордонного досвіду на основі системного та ергодизайнерського підходу при перепрофілюванні і реконструкції існуючих психоневрологічних лікарень в Україні, визначено, що його основною метою є забезпечення комфортних умов перебування пацієнтів та створення умов для проведення



психосоціальної терапії і реабілітації осіб з психічними розладами. Тому адаптація гігієнічних вимог під час проектування та облаштування приміщень психіатричних закладів охорони здоров'я має бути спрямована на забезпечення оптимального індивідуально-психологічного стану пацієнтів і відповідних параметрів внутрішньолікарняного середовища та його санітарно-гігієнічних характеристик, які повинні відповідати новітнім технологіям щодо надання на сучасному рівні кваліфікованої медичної допомоги із використанням біопсихосоціального підходу, що сприятиме переходу на європейські стандарти [24].

Використовуючи дані форми № 18 МОЗ України «Звіт про роботу з контролю за факторами навколишнього середовища, що впливають на стан здоров'я населення» за період 2016-2019 роки ми провели аналіз внутрішньолікарняного середовища лікувально-профілактичних закладів охорони здоров'я Вінницькій області. За результатами лабораторних вимірів освітлення у палатах, на робочих місцях медичних працівників лікувально-профілактичних закладів охорони здоров'я було виявлено: природне освітлення відповідало санітарно-гігієнічним вимогам у 100 % випадків (КПО становив 1,0-1,5%), питома вага вимірів штучного освітлення не відповідала у 3,4% випадків (2015 р.), цей показник був у 3 рази більший і становив 11,8% вимірів (2017р.), що не відповідали нормативним вимогам ДСП №173-96, ДБН В.2.5.-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Кількість обстежених робочих місць кожного року змінювалась у зв'язку із введенням Законом України «Про тимчасові особливості здійснення заходів державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» (статті 2 та 3) мораторієм на проведення органами державного нагляду (контролю) планових заходів із здійснення державного нагляду (контролю) за закладами охорони здоров'я у період 2014-2019 рр. (див. рис. 5).

За даними форми №18 МОЗ України також виявлено, що рівні еквівалентного звуку у лікувально-профілактичних закладах Вінницької області відповідають вимогам ДСН ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму».

Дані щодо параметрів мікроклімату при проведенні вимірів згідно ДСН 3.36.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» за 2014-2019 рр. представлені на рис. 6.

Найбільший показник не відповідний по метеофакторів становив у 2016 р. – 12,9% та 2015 р. – 11,3 % і найменший у 2014 р. – 3,2%.



Рисунок 5 - Кількість обстежених робочих місць в лікувально-профілактичних закладах Вінницької області за 2014-2019 рр. та кількість вимірів штучного освітлення, що не відповідала нормативним вимогам за ДСП №173-96, ДБН В.2.5.-28:2018 (у %)

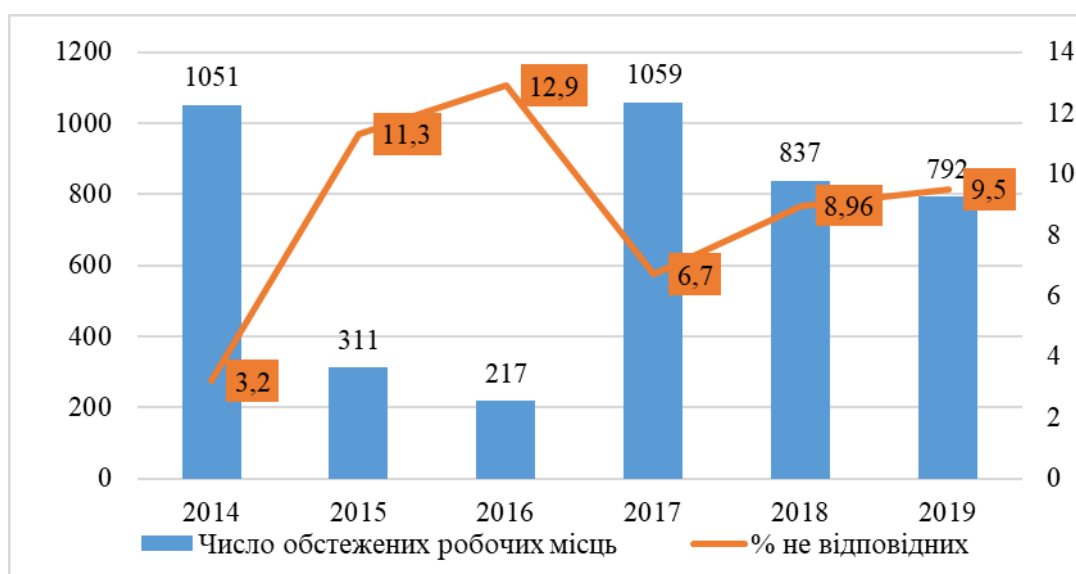


Рисунок 6 - Показники метеофакторів у лікувально-профілактичних закладах Вінницької області за 2014-2019 рр. (у %)

В приміщеннях лікарень (в палатах, кабінетах лікарів, обідніх залах та інших приміщень) одна із найважливіших санітарно-гігієнічних вимог є створення тиші, тобто сила шуму в цих приміщеннях не повинна перевищувати 30 дБ. За даними аналізу форми №18 за ці роки було проведено 1611 вимірів які відповідали згідно вимог.

Великий вплив на санітарно-гігієнічний і протиепідемічний режим лікувально-профілактичних закладів охорони здоров'я спричиняють зміни



параметрів мікроклімату і повітряного середовища за які відповідають медичні працівники закладів охорони здоров'я. Створення санітарно-гігієнічних умов в стаціонарах є важливий фактор у запобіганні внутрішньолікарняних інфекцій, оптимізації лікарняного середовища, покращенні умов у лікувальній роботі медичного персоналу, а також швидкому видужанню хворих [23-25].

Для створення комфортних та безпечних умов в палатах психіатричних лікарень за якістю повітря, необхідно забезпечити ефективну роботу системи вентиляції.

За літературними даними вимоги до вентиляції та якості повітря приміщень у Європейських країнах досить різні. У рамках проекту HealthVent, який діє при підтримці Європейської комісії для розвитку нормативів ЄС по вентиляції, проводились дослідження у 16 Європейських країнах (Болгарія, Польща, Чехія, Норвегія, Великобританія, Франція, Фінляндія, Литва, Італія, Німеччина, Угорщина, Нідерланди, Португалія, Греція, Словенія, Румунія). За результатами досліджень виявлено, що повітрообмін у різних країнах розраховується по-різному. Найчастіше на кількість людей, на площу приміщення, на кількість кімнат, фіксоване значення на приміщення в залежності від його призначення і в різних одиницях вимірів. У більшості Європейських країн повітрообмін для громадських приміщень визначався на одну людину і знаходиться у діапазоні від 30 до 90,0 м³/год [12].

У проведеному анкетуванні головних лікарів психіатричних лікарень України для визначення безпечних санітарно-гігієнічних, протиепідемічних умов функціонування психіатричних закладів охорони здоров'я було виділено блок санітарно-протиепідемічних та санітарно-гігієнічних параметрів, що характеризують будівлі психіатричних лікарень України. За допомогою санітарно-гігієнічної оцінки було визначено розміщення лікувальних корпусів та допоміжних підрозділів на земельній ділянці тобто дизайну корпусів і встановлено, що психіатричні лікарні, які розміщені у комбінованих корпусах становлять – 50%, мають павільйонну систему (окремі корпуси) – 25%, централізовану систему (все в одному корпусі) – 12,5% і блочну систему – 12,5%. Поверховість корпусів психіатричних лікарень України до 2 поверхів складає – 50%, до 3 поверхів – 37,5% і до 5 поверхів, які будувались з 1960 року – 12,5%.

Щодо планувальних вимог до організації ділянок на території психіатричних лікарень відмічаємо, що в середньому питома вага площі ділянки лікарень на 1 хворого складає 237,4м². Огородження територій лікарень наявності у 87,5% і частково обладнано у 12,5%, але при цьому висота



огорожі досягає до 1,5 метрів – 12,5 %, до 2 метрів – 50 % і більше 3 метрів у 37,5%. І частіше паркан бетонний у 37,5 %, комбінований (бетонний і сітчастий) у 37,5%, сітчастий у 12,5% і лише з зелених насаджень – 12,5%.

По відношенню до функціонального зонування ділянки згідно вимог ДБН В.2.2-10-2001 України «Будинки і споруди Заклади охорони здоров'я» складу і кількості споруд для спорту, культури (кіномайданчики, танцювальні майданчики) та дозвілля у психіатричних лікарнях обладнано фізкультурна зона у 50%, частково обладнано у 12,5% і у 37,5 % вона відсутня. Прогулянкові дворики для кожного відділення є у 75 % цих закладів, але вказані данні не дійсні. Тільки на прикладі Комунального некомерційного підприємства «Вінницька обласна клінічна психоневрологічна лікарня ім. акад. О.І. Ющенко Вінницької обласної Ради» із 22 відділень лише у 9% є такі дворики закриті парканом (до 3 метрів). Площа озелененої ділянки психіатричних лікарень складає 83,3% [23]. Зони відпочинку мають наступні майданчики (таб.2).

Таблиця 2 - Питома вага майданчиків в зоні відпочинку психіатричних закладів охорони здоров'я України, %

	Назви майданчиків	Обладнані	Відсутні
1	Майданчик для рухових ігор (для настільного тенісу)	12,5%	87,5%
2	Майданчик для тихого відпочинку (шахи, доміно)	25%	75%
3	Майданчик для проведення фізкультурно-оздоровчих заходів (спортивні тренажери)	12,5%	75%

На питання в якому стані знаходяться ці майданчики, які обладнані в психіатричних лікарні України із них – 37,5 % в задовільному стані і 62,5% – незадовільному стані.

Блок питань анкети «Анкета наукової санітарно-епідеміологічної оцінки умов розміщення психіатричної лікарні» містила інформацію щодо умов перебування, лікування, реабілітації психічнохворих. Так, наприклад, щодо трудотерапії у психіатричних лікарнях обладнані майстерні у 12,5% закладів де хворі можуть здобути собі професію. Фізіотерапевтичні кабінети обладнані у 50% психіатричних лікарень.

Щодо безпечних, комфортних умов перебування психічнохворих дані анкети наступні: забезпеченість власним письмовим столом на одного хворого складає – 25% мають частково, 75% – відсутні взагалі столи; власні тумбочки мають – 62,8%, частково – 37,5%; забезпеченість шафами для зберігання



особистого одягу – 25% мають, частково забезпечені – 37,5 % і 37,5 % взагалі не мають; забезпеченість стільцями – 50% мають, частково – 25 % і 25 % взагалі не мають [14,23].

Цілюще та безпечне середовище у психіатричних закладах є найважливішим питанням в Європейських країнах для комфортного перебування хворих, швидкого одужання. І для створення таких умов в країнах ЄС при проектуванні нових або реконструкції старих закладах охорони психічного здоров'я особливу увагу приділяють на етапі проектування, будівництва, оздоблення беруть до уваги всі гігієнічні аспекти.

6.4. Новий погляд країн ЄС щодо гігієнічного, епідеміологічного, психогенного комфорту особам з порушенням психічного здоров'я.

Психічне здоров'я населення світу з кожним роком погіршується. За останні роки виявлено близько одного мільярда людей з розладами психіки та поведінки, які згідно з переліком Міжнародної класифікації захворювань (МКХ-10) належать до класу F00-F99: депресивний епізод, тривожні розлади, реакції на тяжкий стрес та розлади адаптації, соматоформні розлади тощо. Окрім того, кожні 40 секунд на планеті одна людина закінчує життя самогубством.

Лікування психічних розладів повинно проводитися у «терапевтичному середовищі» до повного одужання і повернення хворих до повноцінного самостійного життя в суспільство. «Терапевтичне середовище» включає в себе вимоги як до архітектурного середовища, так і санітарно-гігієнічного стану приміщень (рівні природного і штучного освітлення, шум, мікроклімат тощо). У країнах Європейського союзу одним із головних пріоритетів національних програм охорони психічного здоров'я є надання якісного лікування психічно хворим в «цілющому архітектурному середовищі».

У США, ще в 1997 році, затверджено список елементів інтер'єру для закладів охорони здоров'я психіатричного профілю які справляють позитивний терапевтичний ефект та підвищують якість життя пацієнтів в ході лікування психічнохворих шляхом застосування сучасних дизайнерських поєднань: світла і кольору, фактурних і природних матеріалів, звуків (приємні мелодії) та інших елементів для задоволення потреб пацієнтів і персоналу. Під час проектування враховують ключові компоненти остаточного дизайну, а саме: середній термін перебування пацієнтів, особливості діагнозів, гостроти захворювань, віку та супутніх медичних станів, незалежно від того, чи є вони добровільним



прийняттям або вчинені судом. Для дизайнера психіатричних лікарень головним завданням слід вважати забезпечення безпеки пацієнтів та медичного, удосконалення просторової орієнтації приміщень лікарні, зручність користування її устаткуванням, профілактики самогубств тощо [15,24].

За результатами, як об'єктивних досліджень, так і суб'єктивного опитування хворих та медичних працівників закладів охорони здоров'я в Росії, Італії, Нідерландах щодо впливу природного, так і штучного освітлення на психофізіологічний стан пацієнтів і лікарів, виявлено що у досліджуваних чотирьох психіатричних закладах охорони здоров'я виявлені зменшення кількості стресових ситуацій, наявність їх вираженого позитивного впливу на перебіг процесу лікування, скорочення часу одужання, зменшення тривалості медикаментозного лікування тощо. Разом з тим при дефіциті денного світла в медичних приміщеннях закладів охорони здоров'я спостерігали наявність явищ вираженого зорового напруження, збільшення помилок у роботі, вираження поширення окремих ознак синдрому емоційного вигорання медичних працівників. Об'єктивні дослідження проводились у 70 різних приміщеннях, як у спальних кімнатах, так і кабінетах лікарів і медичних сестер, як у будівлях XIX століття, так і в сучасних. В ході проведених досліджень встановлено, що потужність штучного електричного освітлення, виміряна над поверхнями, оглядовими ліжками і письмовими столами лікарів в 90,0% випадків не відповідали існуючим нормативним значенням, що засвідчує необхідність більш точного проектування типу світильників в психіатричних закладах охорони здоров'я [24].

При проектуванні психіатричних лікарень архітектори Європейських країн звертають увагу на наступні принципи безпеки:

- використання природних, фактурних, кольорових матеріалів, які забезпечують більш затишну, майже домашню атмосферу.
- забезпечення достатнього природного освітлення та розташування джерел штучного освітлення таким чином, щоб доступ пацієнта до лампочок, і отже, до їх скляних та електричних контактів, був обмежений, світильники повинні мати великі лінзи, надійно закріплені на місці.
- м'які меблі мають бути виготовлені із дерева та бути міцно закріплені на місці, щоб уникнути травматизму або смерті хворого, шафи з дверима для особистих речей повинні бути замінені лише полицями, які надійно закріплені.
- ванні кімнати мають бути розроблені з урахуванням необхідності забезпечення безпеки, тобто таким чином, щоб не призвести до катастрофічних наслідків.



Вікна не завішують шторами або вертикальними жалюзіями будь-якого типу для того, щоб мінімізувати ризик самогубства. У психіатричних установах для вікон використовують спеціальні скляні матеріали та плівки, що стійкі до ураганів та огнепальної зброї, які суттєво підвищують ступінь їх стійкості до руйнування.

Сушарка для рушників – один із найсуттєвіших прикладів суперечливих питань, що повинні вирішуватись архітекторами негайно. Ці пристрої завжди надійно закріплені, і, таким чином, становлять велику небезпеку для підвищування (самогубство) [26]. Кількість самогубств, скоєних у психіатричних відділеннях складає 8,6%. Причому після аналізу самогубств в психіатричних закладах було встановлено, що 50 відсотків повішень були з висот нижче талії жертви [27].

Під час проектування закладів охорони здоров'я психіатричного профілю архітектори приділяють увагу до всіх аспектів дизайну кімнати, включаючи наступне: вже декілька років перевага надається інституційному типу душових кабін, які працюють досить добре у цьому середовищі, різноманітним клапанам регулювання води для контролю температури води та тривалості потоку не має бути, ємкість для миття рук повинна бути заглиблена і не мати ручок, душові кабінки проектують таким чином, щоб була не потрібною духова завіса. Використання штор для душу в психіатричних закладах також не рекомендується з точки зору безпеки пацієнта [15,28].

В США у державних психіатричних лікарнях закритого типу в 1955 році перебувало 559 тисяч осіб при загальній кількості населення 165 млн., а вже у 1998 році при збільшені населення країни до 275 млн. – на лікуванні у психіатричних лікарнях знаходилось 57 тисяч хворих. Так, наприклад у Каліфорнії на 100 тис. населення зайнято було менше трьох ліжок. Результати деінституціоналізації в США показало основні шляхи вирішення усіх головних проблем сучасної психіатрії, а саме: викорінення явища стигматизації психічно хворих з боку суспільства та з боку самих хворих; забезпечення житлом бездомних психічно хворих людей, яких в той час в США нараховувалось до 75% від їх загальної кількості, і в яких діагностували важкі психічні захворювання, викликані вживанням психоактивних речовин, та інших категорій психічно хворих – для здійснення шляхом лікування у так званій середовищній моделі. Зокрема, до 78,0% хворих отримували лікування, консультації та реабілітацію у гуртожитках психосоціальної допомоги, 11,0% хворих самостійно мешкали у гуртожитках, 7,0% хворих перебували в гуртожитках без спеціального персоналу, 4% хворих мешкали з родиною [6].



Відповідно до даних, наведених в сучасній науковій літературі [29,30], в теперішній час у США при проектуванні закладів для психічно хворих виділяють п'ять рівнів занепокоєння щодо безпеки пацієнтів, які визначені в матриці оцінки ризику пацієнта та мають свої унікальні обмеження щодо дизайну:

I рівень: прямий нагляд з боку медичного персоналу, що постійно присутній. Тобто мають бути передбачені лише зони перебування хворих, де пацієнти знаходяться під постійним наглядом.

II рівень: висока спостережливість. Це зони (коридори, консультаційні кабінети, кімнати для активних занять), де пацієнти проходять повний нагляд і залишаються наодинці лише на дуже короткі періоди часу. Коридори часто мають високі стелі та стандартні світильники. В таких зонах медичний персонал може не завжди бути присутнім.

III рівень: періодичне спостереження. До цих зон відносяться: телевізійні та оглядові кімнати, зали та денні кімнати, де хворі проводять час з мінімальним наглядом. Рішення щодо необхідності проектування таких приміщень обговорюють з працівниками закладу.

IV рівень: мінімальне спостереження. Зони, де пацієнти проводять велику кількість часу на самоті з мінімальним наглядом медичних працівників або в умовах відсутності такого нагляду, наприклад, кімнати для пацієнтів (напівприватні та приватні), душові і туалети для пацієнтів.

V рівень: приміщення для огляду, обстеження та приймальні, в яких персонал взаємодіє з новоприйнятими пацієнтами, котрі можуть перебувати у сильно збудженому стані. У цих приміщеннях повинно бути мінімум меблів, і все повинно бути надійно закріплено на місці. Комп'ютери, телефони, шнури та кабелі слід тримати якомога далі від пацієнтів. Сигналізація в таких приміщеннях обов'язкова передбачається під час проектування [31].

У Республіці Польщі дуже має попит і використовується в психіатричних лікарнях сьогодення – це майстерня для гончарства, майстерні для малювання, перукарів, для жінок – майстерні крою і шиття, вишивки та інше. Арт-терапію використовують у багатьох лікарнях Європейських країн і прикладом є програма Art Therapy Programme психіатричної клініки Psychiatric University Hospital of the Charite' at St. Hedwig в США (див.рис.1,2)



Рис. 7, 8. Виставка робіт пацієнтів лікарні Psychiatric University Hospital of the Charite' at St. Hedwig (США).

Цілюще та безпечне середовище перебування хворих у психіатричних закладах є найважливішим питанням в Європейських країнах. Для створення таких умов у країнах ЄС при проектуванні нових або реконструкції старих закладів охорони психічного здоров'я особливу увагу приділяють гігієнічним аспектам проектування, будівництва і оздоблення медичних споруд.

Відповідно до рекомендацій архітектурно-планувальні рішення закладів охорони здоров'я психіатричного профілю є важливим чинником, спрямованим на відновлення психічного здоров'я пацієнтів. Вони повинні бути спрямовані на створення безпечних, комфортних, спокійних умов перебування, а також створювати відчуття житлового середовища та підтримувати конфіденційність і гідність пацієнта.

Висновки

1. Для завершення реформи охорони психічного здоров'я в Україні необхідно прийняття всіх необхідних нормативно-правових документів, постанов, законів, ДБН та забезпечити надійним фінансуванням.

2. У новому ДБН В.2.2-10:2019 (проект, остаточна редакція) регламентуються умови розташування психіатричних відділень, їх зонування, склад і площі приміщень, вимоги до забезпечення безпечного перебування хворих у палатах, туалетних і ванних кімнатах. Проте, при цьому відсутнє чітке розуміння як розташування цих приміщень, так і чергового посту медичної сестри; не передбачено зон для приватного перебування хворих у середині відділення і за його межами; не вказано більшості регламентів систем життєзабезпечення відділення (освітлення, шуму, повітрообміну тощо).



3. «Терапевтичне середовище» у Європейських психіатричних клініках передбачає наявність одно- і двомісних палат, площа яких майже у тричі перевищує площу вітчизняних палат з розрахунку на одного пацієнта, окремих ванних кімнат і туалетів, загальних приміщень, окремого виходу до саду, де створюються умови приватності хворих; розташування більшості кімнат для пацієнтів навколо центральної робочої зони для медичного персоналу; створення візуального нагляду за дверима спалень, душових, туалетів, кухні, садових альтанок; дотримання відповідної колористики стін палат і коридорів відділень.

4. Для створення належного «терапевтичного середовища» у нових вітчизняних закладах охорони психічного здоров'я необхідно імплементувати Європейські вимоги у проектування цих закладів та доповнити ДБН В.2.2-10:2019 «Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я» посібником з проектування закладів нового типу «Центрів психічного здоров'я».

5. Створення в Україні різних форм надання медичних послуг щодо психічних розладів шляхом створення госпітальних округів: на базі ПМСД окремого центру психічного здоров'я (психіатр, психолог, соціальний працівник, представник громади та релігійних конфесій), у відділень загальних лікарень на другому рівні системи ОЗ для швидкого повернення в громаду, знищення явища стигматизації, «госпіталізму».

**KAPITEL 7 / CHAPTER 7⁷****CONTROL OF FAT FRESHNESS BY EXPRESS METHOD FOR ESTABLISHING SAFETY AND QUALITY OF CHICKEN-BROILER MEAT***КОНТРОЛЬ СВІЖОСТІ ЖИРУ ЕКСПРЕСНИМ МЕТОДОМ ЗА ВСТАНОВЛЕННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ М'ЯСА КУРЧАТ-БРОЙЛЕРІВ***DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02-013****Introduction.**

Risk-oriented control over the observance of sanitary and hygienic requirements during the implementation of the HACCP system must be carried out at the facilities for the production and circulation of broiler carcasses [1]. The management of the enterprise for the production and storage of chilled carcasses of broiler chickens strives for continuous improvement and implementation of best practices to ensure the production of safe and high quality food products at all stages. Therefore, the development of rapid methods for controlling the safety and quality of fat from broiler carcasses for storage and sale is relevant in the work of veterinary inspectors in the implementation of risk-based control at the facility.

The implementation of the HACCP system is promising for the enterprises of the food industry of Ukraine, as it considers not only the elements of risk identification and analysis, but also the elements of critical point management with evaluation of the results of this management. In poultry meat production enterprises, the development and effectiveness of the HACCP system will provide the population with safe and high-quality food products [2].

In connection with Ukraine's accession to the World Trade Organization and future integration into the European Union, there is a need to bring Ukraine's national standards and regulations in line with European legislation to avoid differences in the assessment of poultry meat when exported to European countries. Commonwealth [3]. The issue of control over the establishment of criteria for safety and quality of poultry meat in accordance with international requirements for the implementation of safety systems (HACCP) in Ukrainian processing plants is relevant globally [4].

When carrying out risk-based controls, veterinary inspectors should use simple rapid tests to establish the safety and quality of broiler meat at poultry production and handling facilities to confirm the appropriate sanitary requirements for the timing and conditions of production and storage. products [5].

Scientists have paid considerable attention to the development of new rapid methods of controlling the safety and quality of food, namely meat and meat products

⁷ Authors: Bogatko A. F.



to determine their degree of freshness [6], the degree of freshness of minced meat [7], the safety of poultry meat according to the developed express methods [8].

Therefore, our research was to develop an express method for controlling the degree of freshness of broiler chickens and test it in state laboratories of veterinary medicine of the State Food and Consumer Services of Ukraine.

7.1. Methodology for determining the safety and quality of broiler carcasses

The material was chilled carcasses of broiler chickens and their fat in a total of 36 samples of different degrees of freshness for storage in the refrigerator at a temperature of 0–4 °C: fresh carcasses - for 5 days; doubtful freshness - for 6-7 days; stale - for 8 days. Organoleptic evaluation of meat and fat of broiler chickens at different storage times (color, odor, consistency, condition of the carcass surface, muscle and fat, cooking test) was performed. The degree of freshness of broiler chicken fat of chilled carcasses was determined at a temperature of 0–4 °C: fresh - for 5 days of storage; of doubtful freshness - for 6-7 days of storage; stale for 8 days using the express patented method "Method for determining the degree of freshness of poultry fat using neutral red" using a molten sample of poultry fat in the amount of 1.0-1.1 g, which was placed in a porcelain cup and added with a graduated pipette 2.0 -2.5 cm³ of neutral red aqueous solution with a mass concentration of 0.01% and rubbed with a pestle for 1-2 minutes, washed with distilled water and after 1-2 seconds set the absence or presence of pink color of varying intensity depending on the degree of freshness [9].

7.2. Organoleptic evaluation of meat and fat of broiler carcasses

Organoleptic evaluation of broiler carcasses was performed at different storage times. Fresh carcasses of broiler chickens for 5 days at a temperature of 0–4 °C had the following characteristic organoleptic characteristics: the surface of the broiler carcass is clean, dry, without damage and hemorrhage, specific odor, muscles well bled, dense, elastic, pit when pressed with a spatula quickly leveled; plumage completely removed; bone system without fractures and deformities; the color of muscle tissue is pale pink; pale yellow skin color; the color of subcutaneous adipose tissue - light yellow, internal adipose tissue - white; the smell on the surface of the carcass is characteristic of good quality poultry meat, without foreign odors; broth of



a pleasant smell, transparent, on a surface of broth a considerable quantity of balls of fat, without extraneous smells; questionable freshness of broiler carcasses - for 6-7 days at a temperature of 0-4 °C: satisfactory bleeding, slight slipperiness of the carcass surface and sour smell on the carcass surface; the consistency is less elastic - the hole when pressed with a spatula is slowly leveled, flesh color is pinkish-gray; the color of the subcutaneous and internal adipose tissue is pale yellow with a gray tinge, with a slight sour odor; unpleasant-smelling broth, with a foreign sour smell, cloudy, a small number of balls of fat on the surface of the broth; stale carcasses of broiler chickens - for 8 days at a temperature of 0-4 °C: poor bleeding, mucus on the surface of the carcasses and sour odor on the surface of the carcasses; the consistency is not elastic - the hole when pressed with a spatula is not aligned, the color of the flesh is grayish; the color of the subcutaneous and internal adipose tissue is yellow-gray with a significant odor of oxidation; unpleasant-smelling broth, with a foreign musty odor, cloudy, no fat balls found on the surface of the broth.

7.3. Risk-oriented control of safety and quality of broiler meat production for the implementation of the HACCP system at production and circulation enterprises

The production and storage of broiler carcasses was carried out in accordance with the requirements of DSTU 3143: 2013 "Poultry meat. General technical conditions» [10].

For the implementation and application of permanent procedures based on the principles of the food safety management system (HACCP), prerequisite programs have been established: for proper planning of industrial, ancillary and domestic premises; regarding the territory, condition of premises, equipment, repair works, equipment maintenance, calibration; regarding the planning and condition of communications (ventilation, water supply, lighting, etc.); on the safety of water, steam, objects and materials in contact with food; regarding the cleanliness of surfaces, procedures for cleaning production, ancillary premises, etc .; on staff health and hygiene; on waste management; on pest control, prevention and means of prevention and control; on safe storage and use of toxic compounds; regarding the specification and control of suppliers; regarding storage and transportation of poultry meat and auxiliary materials; on control of technological processes of poultry slaughter, cooling of carcasses and their storage; on the labeling and packaging of poultry carcasses.



During the preparation of the model HACCP plan for the production and storage of poultry carcasses, the following types of hazards were identified, which are recorded in the journal of the appropriate form: acceptance and exposure of poultry, pre-slaughter inspection - biological risk substances) where precautionary measures have been taken, such as veterinary inspection of poultry, good farming and veterinary practices; for stunning, slaughter and exsanguination of poultry - biological risk (microorganisms) and physical risk (bone fragments) during preventive actions - control on the line for electrical stunning of birds in water and sterilization of knives; for scalding in a bath at a water temperature of $65 \pm 2^{\circ} \text{C}$ - biological risk (microorganisms of the skin and feathers) during preventive actions - control of water temperature, regular water change, chlorination of water, compliance with sanitary requirements of equipment; for consumption of carcasses, removal of internal organs, ox, removal of limbs - biological risk (microorganisms) in preventive actions - control on the lines of technological processes; for cooling carcasses in a water bath at a temperature of $4-12^{\circ} \text{C}$, control of feather residues, final washing with precautionary measures - control of safety and water quality, equipment maintenance; for packaging of poultry carcasses - biological risk (microorganisms) and chemical risk (detergent residues) during precautionary actions - control of containers, chlorination of water, loading of containers with carcasses, control of washing and disinfection of containers; for cooling poultry carcasses in the cooling chamber №1 at temperatures from -2 to 4°C and relative humidity $78 \pm 2\%$ and storage - biological risk, chemical risk during precautionary measures - control of chamber load, proper maintenance of equipment, temperature control in the m thighs of chilled carcasses from 0 to 4°C not more than 5 days of storage, adjustment of time and temperature, heat treatment or removal of inappropriate products. At this stage, the CCP (Critical Control Point) has been established, where records on monitoring of temperature, humidity, time, as well as control of washes and product samples of each shift are checked on a monthly basis.

As well as the establishment of hazards for packing poultry carcasses in transport containers - biological risk (microorganisms), chemical (detergents) and physical (impurities) in precautionary measures - control of packaging, proper washing, disinfection and storage of packaging, documents, contracts for precautionary actions - constant control by the responsible employee, daily report on the implementation (sanitary condition of vehicles).



7.4. Development of a methodology for determining the degree of fat to assess the safety and quality of broiler meat

One of the elements of the HACCP system is to control the safety and quality of meat and fat of broiler chickens for production and circulation for the implementation of good laboratory practice (GLP) due to the development of simple rapid tests by state veterinary inspectors.

In developing an express method for determining the degree of freshness of broiler chicken fat used an analogue of the developed method - determining the acid number of poultry fat [11] when processing poultry fat using a mixture of diethyl ether and ethyl alcohol with a mass fraction of 96.0% and subsequent titration of free fatty acids potassium hydroxide. The disadvantage of this method is that it is cumbersome, requires two parallel determinations and calculation of results by formula. In addition, this method gives an error of 30-35%.

The prototype of the developed method is a method for determining the degree of freshness of animal fat for the presence of aldehydes for the formation of red color [12] using solutions: phloroglucin in acetone with a mass fraction of 1.0% and concentrated sulfuric acid. The disadvantage of this method is that a solution of phloroglucin in acetone is not stable, used immediately. In addition, the method gives an error in determining 20-25%.

The basis of this express method was to determine the degree of freshness of broiler fat for the accumulation of free fatty acids during spoilage of poultry meat, which allowed to establish the safety and quality of broiler meat, as poultry fat is fusible and spoils faster than poultry meat for violation of sanitary and hygienic conditions and storage times, using an aqueous solution of neutral red with a mass concentration of 0.01% for the establishment of yellow or yellow-brown or pink color of varying intensity depending on the degree of freshness. which will ensure the reliability of the results for determining the safety and quality of broiler fat.

Comparative evaluation of the test results of the developed express method for determining the degree of freshness of broiler chicken fat using neutral red to the prototype is presented in table 1.

From the data of table 1 it is established that the reliability of qualitative indicators in determining the degree of freshness of broiler chicken fat using neutral red according to the developed express method was 99.9%. The results of the research showed that more reliable data in comparison with the results of studies for the determination of peroxide content of poultry fat - in 99.2-99.9% and in the acidic number of poultry fat - in 99.5-99.8% were obtained at application of the developed



Table 1 - Comparison of methods for determining the degree of freshness of broiler fat using neutral red to the prototype

Comparable indicators	Prototype	Developed express method
Sample of melted poultry fat, r	3–5	1.0–1.1
Adding reagents: A solution of phloroglucin in acetone concentration, % quantity, cm ³	1.0 3–5	— —
aqueous solution of neutral red concentration, % quantity, cm ³	— —	0.01 2.0–2.5
Exposition of rubbing with a pestle, min	—	1–2
Color exposure, minutes / seconds	10–12 min	1–2 sec
Intensity of color in the presence of spoilage of poultry fat	red	light pink (doubtful freshness) or bright pink (stale)
Intensity of color in the absence of spoilage of poultry fat	brown	yellow or yellow-brown
The speed of determination of the experiment, min	18–20	4–5
Stability of color intensity indicators during tests, %	78.9	99.9
% of the ratio of research results to the peroxide value of poultry fat	79.0–81.1	99.2–99.9
% ratio of research results to the acid number of poultry fat	79.9–82.5	99.5–99.8

express method for determining the degree of freshness of broiler chicken fat using neutral red. At present, the acid number of fresh poultry fat was up to 1.0 mg *NaOH*; questionable freshness - from 1.1 to 2.5 mg of *NaOH*; stale - more than 2.5 mg of *NaOH*, and the peroxide value of fresh fat was up to 0.010% iodine; questionable freshness - from 0.010 to 0.040% iodine; stale - more than 0.040% iodine [13].

Studies have established the degree of freshness of meat of broiler chickens



chilled carcasses and their fat by the developed express method using a solution of neutral red with a mass concentration of 0.01% for 5 days at a temperature of 0-4 °C - fresh in the presence of yellow or yellow. brown; doubtful freshness for 6-7 days of storage (0-4 °C) - in the presence of light pink color (up to 1.5% of free fatty acids); stale for 8 days (0-4 °C) - in the presence of bright pink color (from 1.6 to 3.5% of free fatty acids).

Using the developed express method, we determined the degree of freshness of broiler chicken fat of chilled carcasses at different times and storage temperatures of poultry carcasses by color intensity on 36 samples.

The results are presented in table 2.

Table 2 - Indicators of the degree of freshness of poultry fat by color intensity

The total number of researchers poultry fat samples, n=36	Indicators of color intensity according to the developed express method when determining the degree of freshness of poultry fat using neutral red with a mass concentration of 0.01%
for storage of broiler carcasses in the refrigerator at a temperature of 0-4 °C for 5 days	
The number of fresh poultry fat samples, n=17	no pink color of varying intensity, but the presence of yellow or yellow-brown color
for storage of broiler carcasses in the refrigerator at a temperature of 0-4 °C for 6-7 days	
The number of samples of poultry fat of questionable freshness, n = 12	presence of light pink color (up to 1.5% of free fatty acids)
for storage of broiler carcasses in the refrigerator at a temperature of 0-4 °C for 8 days	
The number of samples of stale poultry fat, n=7	presence of bright pink color (from 1.6 to 3.5% of free fatty acids)

The quality of broiler chicken fat can be used to determine the freshness of broiler carcasses. The research showed (Table 1) that of the 36 studied samples of broiler fat: 17 samples of broiler carcasses - corresponded to the fresh degree of broiler carcasses - the presence of yellow or yellow-brown color; 12 samples of broiler carcasses - corresponded to the questionable freshness - the presence of light pink color with the use of neutral red (up to 1.5% of free fatty acids); 7 samples of broiler carcasses - corresponded to stale - the presence of bright pink color (from 1.6



to 3.5% of free fatty acids).

In addition, it should be noted that the developed rapid new method of determining the degree of freshness of fat using neutral red are effective and economical in the preparation of reagents, and their results gave specific quantitative indicators of safety and quality of poultry carcasses, as fat is fusible and hygienic requirements and temperature regimes deteriorate faster, which is a sign of poor quality poultry carcasses.

We have developed an express method for determining the degree of freshness of poultry fat using neutral red in state laboratories of the State Food and Consumer Service of Ukraine, as a quality way to establish the safety and quality of broiler meat, along with other common methods - organoleptics of broiler carcasses and determination of acid and peroxide levels of fat [14].

Conclusions

1. The safety and quality of meat of broiler chickens according to organoleptic parameters and the degree of freshness of fat from chilled carcasses by the express method using a neutral red solution with a mass concentration of 0.01% during storage at 0-4 ° C: fresh - 5 day in the presence of yellow or yellow-brown color; doubtful freshness - for 6-7 days in the presence of light pink color (up to 1.5% of free fatty acids); stale - for 8 days in the presence of bright pink color (from 1.6 to 3.5% of free fatty acids). The reliability of the developed express method was 99.9%.

2. The developed express method for determining the degree of freshness of poultry fat can be used in production laboratories of facilities for production and processing of poultry meat and meat products, wholesale bases, supermarkets, state laboratories of the State Food and Consumer Services of Ukraine and state laboratories of veterinary and sanitary examination. with generally accepted methods of controlling the safety and quality of poultry meat during production and storage.

KAPITEL 8 / CHAPTER 8 ⁸ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF ROOT CHICORY GROWING WITH
COMBINED INTERWIDE ROW*ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ ЦИКОРІЮ КОРЕНЕПЛІДНОГО З
КОМБІНОВАНОЮ ШИРИНОЮ МІЖРЯДЬ*

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-08-02-011

Вступ

Продуктивність рослин і особливо цикорію коренеплідного визначається насамперед їх фотосинтетичною діяльністю, що створює до 90-95 % сухої біомаси урожаю. Відповідно теорії фотосинтетичної продуктивності рослин, урожайність розглядається як «ценотичне» явище і є результатом продуктивності не стільки окремих рослин, скільки їх сукупністю. Тому, важливою умовою підвищення урожайності культури є створення такої структури посіву, при якій форма площі живлення і просторове розміщення рослин відносно центру її симетрії забезпечували б найбільш повне поглинання і використання рослинами поступаючої фотосинтетичної радіації (ФАР) з максимальним ККД фотосинтезу.

8.1. Продуктивність цикорію коренеплідного залежно від способу вирощування

Однак, можливість підвищення продуктивності посівів цикорію коренеплідного за рахунок оптимізації густоти насадження рослин і рівномірності розміщення їх на площі далеко від їх реалізації в даний час. Крім того в цьому напрямку практично відчувається недостатність наукової інформації про реакцію сучасних сортів і гібридів на змінювання геометричної структури агроценозів як за довжиною рядків, так і за шириною міжрядь.

В зв'язку з цим була проведено ряд дослідів по вивченню геометричної структури площі живлення рослин і оптичних властивостей посівів цикорію як основних факторів їх фотосинтетичної продуктивності.

З метою створення різниці в світловому режимі рослин при інших рівних умовах в схеми дослідів було включено варіанти з однаковою площею живлення, але з різною її геометричною формою, яку умовно класифікували за такими ознаками:

- 1 - площа живлення прямокутна з розміщенням однієї, двох і трьох

⁸ Authors: Tkach O. V.



рослин з місцем положення їх в безпосередній близькості від центру симетрії площі живлення;

2 - площа живлення ромбічна з розміщенням однієї рослини в центрі напроти вільних від рослин проміжків в суміжних рядках;

3 - площа квадратна з розміщенням рослин в щільних посівах на суміжних рядках.

Вирощування рослин за такими способами розміщення проводили на 3-х фонах мінерального живлення.

Одержані дані показали, що при рівних площах живлення для однієї рослини (1012,5 см²), але при різних способах розміщення їх в рядку відносно центра її симетрії, різко змінюється освітленість асиміляційного апарату. З погіршенням умов освітленості (квадратно-гніздове зближене розміщення) спостерігалася посилений ріст надземної маси і сповільнений ріст коренеплоду, підвищення показника відношення листя до маси коренеплоду.

Відзначена закономірність ще в більшій мірі виявилася при підвищених дозах добрив. Відношення загальної маси листя до маси листових пластинок наприкінці вегетації при квадратно-гніздовому розміщенні на підвищеному фоні живлення складає 70-75%, а при ромбічному лише 55-60% або в 1,3 разу менше.

Дослідження показали, що різниця у світловому режимі, створена різними способами розміщення рослин в рядках, істотного впливу на розміри фотосинтетичного апарату не спричиняє ($\Psi = 4,0; 3,7; 3,9$) і тільки при збільшенні кількості рослин в гнізді до трьох, спостерігалася незначне зменшення площі листової поверхні ($\Psi = 3,6$). Погіршення умов освітленості негативно позначалося на фотосинтетичній діяльності цикорію коренеплідного. Найбільш високими показниками чистої продуктивності фотосинтезу відрізнялися варіанти з розміщенням рослин поодиночі на площі (прямокутне 45×22,5 і ромбічне 45×22,5). Рівномірне розміщення рослин з інтервалом 20-25 см вздовж рядка позитивно впливає на урожайність коренеплодів та вміст у них полісахариду інуліну (табл. 1).

Отже, геометрична структура площі живлення з розміщенням рослин в поодиночі є важливою умовою для вирощування цикорію коренеплідного і забезпечення високої продуктивності коренеплодів з підвищеним вмістом полісахариду інуліну і високими технологічними якостями.

Особливої уваги заслуговує вивчення впливу на продуктивність раціональне розміщення рослин при формі площі живлення близької до квадрату.



Таблиця 1 - Вплив форми площі живлення на продуктивність цикорію коренеплідного та вихід інуліну

Показники	Форма площі живлення, см (фактор А)							
	прямокутна						ромбічна	
	45х22,5		45х(27+18)		45х(40+27)		22,5х45	
	Сорт насіння (фактор В)							
	Уманський-97	Уманський-99	Уманський-97	Уманський-99	Уманський-97	Уманський-99	Уманський-97	Уманський-99
Урожайність коренеплодів, т/га	28,2	28,7	27,4	27,8	26,5	26,8	28,5	28,9
Вміст інуліну, %	18,3	18,4	18,0	18,2	17,7	18,0	18,4	18,5
Збір інуліну, т/га	5,1	5,2	4,9	5,1	4,6	4,8	5,2	5,3

Примітка: 45 – ширина міжрядь, см; 22,5 – інтервал між рослинами в рядках, см; 27 і 40 – інтервал між букетами у рядках, см; 18 і 27 – довжина букету з двома і трьома рослинами, см; ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу.

Одержані дані показали, що при рівних площах живлення для однієї рослини (1012 см²), але при різних способах розміщення їх у рядку значно змінюється освітленість асиміляційного апарата. З погіршенням умов освітленості (квадратно-гніздове зближене розміщення) спостерігався посилений ріст надземної маси і сповільнений ріст коренеплодів, підвищення показника відношення листя до маси коренеплоду (рис.1).

Погіршення умов освітленості негативно позначалося на фотосинтетичній діяльності цикорію коренеплідного. Найбільш високими показниками чистої продуктивності фотосинтезу відрізнялись варіанти з розміщенням рослин поодиноці (прямокутне і ромбічне 45x22,5 см).

Отже, однією із умов одержання високої врожайності коренеплодів з підвищеною цукристістю і високим технологічними якостями є геометрична структура площі живлення з розміщенням рослин поодиноці.

Особливої уваги заслуговує вивчення впливу раціонального розміщення рослин (при формі площі живлення близькій до квадрата) на продуктивність цикорію коренеплідного. У цьому напрямі нами були проведені досліді, в яких сукупність геометричної структури посівів створювали у вигляді квадратної



форми площі живлення для однієї рослини – 25×25; 30×30; 35×35, 45×45; 60×60 см і прямокутної – 45×22,5 см. Дані досліджень свідчать про те, що посіви з квадратною формою площі живлення 35×35 см і густотою рослин 81,6 тис./га забезпечили більший збір коренеплодів, що на 1,4 т/га більше ніж на контролі (45×22,5 см з густотою рослин 98,8 тис./га) (табл.2).

Таблиця 2 - Фотосинтетичний потенціал (ФП, млн.м² діб/га) і чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ, г/м² листа за добу) в залежності від густоти рослин, величини і форми площі живлення

Показник	Форма площі живлення, см (Фактор А)							
	60×60		45×45(κ)*		35×35		45×22,5	
Густота рослин, тис./га	30		50		80		100	
Площа живлення, см ²	3600		2025		1225		1012,5	
Сорт насіння (Фактор В)	Уманський-97	Уманський-99	Уманський-97	Уманський-99	Уманський-97	Уманський-99	Уманський-97	Уманський-99
Дні обліку	ЧПФ, г/м ² добу							
10.07	3,5	3,7	3,7	3,9	3,9	4,2	3,5	3,6
26.07	7,8	8,1	7,3	7,5	7,1	7,3	5,8	6,0
28.08	6,7	7,0	5,7	5,9	6,0	6,2	3,7	3,9
30.09	5,3	5,5	3,8	3,9	3,3	3,4	2,9	3,1
Дні обліку	ФП, тис. м ² /га добу							
10.07	0,6	0,7	1,0	1,1	1,3	1,5	1,2	1,4
26.07	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,2	3,5
28.08	5,8	6,0	6,8	7,1	7,6	7,7	7,4	7,5
30.09	9,2	9,3	9,8	10,1	10,6	10,8	10,2	10,4

Примітка: (κ)* - контроль

В цьому напрямку були проведені додаткові польові досліді, в яких сукупність геометричної структури посівів створювали у вигляді квадратної форми площі живлення для однієї рослини – 25×25; 30×30; 45×45; 60×60 см і прямокутної 45×22,5 см.

Дані досліджень на рис. 1, табл. 2, 3 свідчать про те, що в перший період вегетації внаслідок малих розмірів асиміляційної поверхні листового апарату рослин частина використання ФАР для всіх варіантів незначна, але різниця між

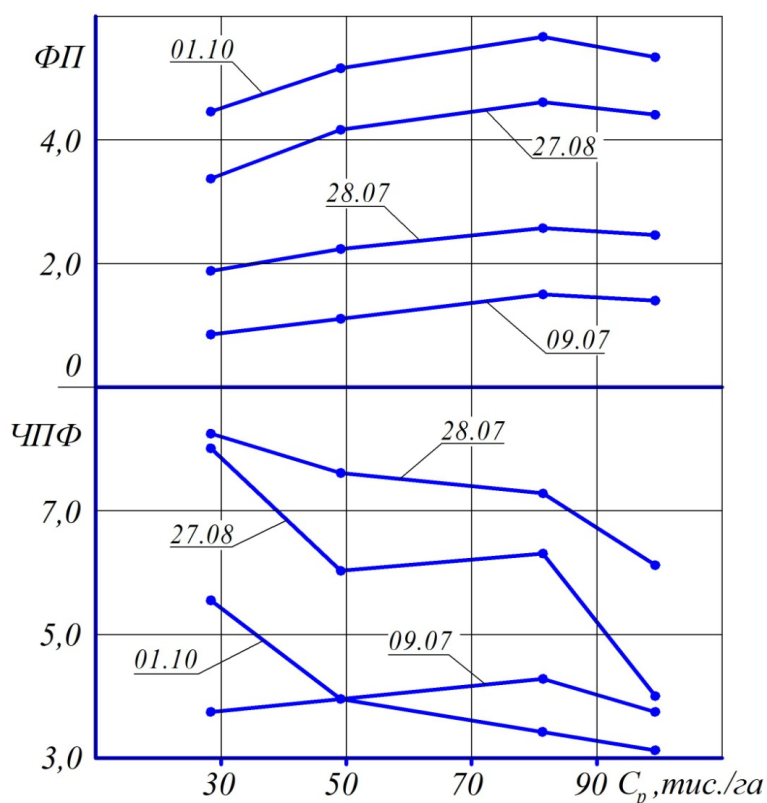


Рисунок 1 - Залежність фотосинтетичного потенціалу (ФП, млн.м² діб/га), чистої продуктивності фотосинтезу цикорію коренеплідного (ЧПФ, г/м² листа за добу) від густоти насадження рослин (C_p , тис./га), величини і форми площі живлення.

варіантами була помітна. При чому у варіантах з більшою площею живлення використання ФАР цикорієм коренеплідним було меншим, ніж у варіантах з більшою густотою рослин.

На використання ФАР значно впливають дози внесення добрив. Так у варіанті без добрив (45×45 см) використання ФАР в кінці липня було лише 0,759 %, а на фоні підвищеної дози добрив воно було в 2,3 рази більше. При цьому найбільше поглинання і використання сонячної енергії спостерігалася в другу половину вегетаційного періоду, коли листкова поверхня рослин досягала своєї найбільшої величини.

Зміни у фотосинтетичній діяльності рослин, які викликані різними умовами світлового режиму і коренеплідного живлення, в кінцевому підсумку визначають продуктивність цикорію коренеплідного, як інтегрованого результату усіх біологічних процесів, що підтверджується даними табл. 3.3, які свідчать про те, що посіви з квадратною формою площі живлення (35×35 см) і густотою рослин 81,6 тис./га забезпечили збір полісахариду інуліну 5,6 т/га або на 0,7 т/га більше ніж на контролі (45×22,5 см з густотою рослин 98,8 тис./га). Така ж закономірність спостерігалась і при збільшених дозах добрив.



Отже, одержані дані підтверджують висновки, що для формування високої продуктивності посівів цикорію коренеплідного, рівномірність розподілу рослин на площі має більше значення, ніж їх загальна кількість на одиниці площі. До того ж чим більше площа живлення відхиляється від оптимуму (квадрату), тим значніше спостерігається зниження урожайності.

Аналіз результатів досліджень показав, що відносно високий урожай коренеплодів можна отримати як в розріджених, так і загущених агроценозах (табл. 3). Проте в першому випадку урожай формується за рахунок більшої маси окремих коренеплодів, а в другому – при більшій їх кількості на площі.

Таблиця 3 - Продуктивність цикорію коренеплідного в залежності від форми площі живлення рослин

Показник	Форма площі живлення, см (фактор А)							
	квадратна						прямокутна	
	60×60		45×45(к)*		35×35		45×22,5	
	Сорт насіння (фактор В)							
	Уманський-97	Уманський-99	Уманський-97	Уманський-99	Уманський-97	Уманський-99	Уманський-97	Уманський-99
Урожайність коренеплодів, т/га	24,0	24,1	30,1	30,3	31,1	32,4	27,5	28,7
Вміст інулїну, %	16,7	16,8	17,7	17,9	18,5	18,7	18,2	18,4
Збір інулїну, т/га	3,3	3,4	5,3	5,4	5,9	6,1	5,1	5,2

Примітка (к)* - контроль

Так, при густоті рослин 60 і 120 тис./га (табл. 3.4) урожайність коренеплодів складає в межах 30 т/га. Середня маса коренеплоду відповідно – 500 і 250 г., вміст інулїну полісахариду – 15,3 і 17,0 %, вихід інулїну – 3,88 і 4,32 т/га. При цьому в розрідженому посіві в загальній масі урожаю коренеплоди масою більше 500 г. складають біля 55 %, а в загущеному – 1,3 %. Дані табл. 3-4 також показують, що під час збирання частина головки великих коренеплодів становить 12,3 % маси, середня частина коренеплоду – 82,7 %, хвостова – 5,0 %. Це свідчить про те, що вміст інулїну в коренеплоді в цілому в значній мірі визначається питомою масою головки коренеплоду, що має низький його вміст. Необхідно також відмітити, що при зрідженій густоті рослин збільшується кількість дуплистих коренеплодів, відповідно у варіанті 60



тис/га їх було – 12,3 %, то при 120 тис/га – 0,9 %.

Аналіз даних (табл. 4) показує, що між якісними ознаками цикорію коренеплідного і густотою рослин – агроценозом C_p в межах 60-120 тис./га при майже постійній урожайності коренеплодів 30 т/га, а саме: масою коренеплоду – P_k , г; добовим приростом маси коренеплоду за вегетаційний період – $m_{кц}$, г; масою головки коренеплоду – $m_{гк}$, % по відношенню до маси коренеплоду – P_k ; дуплистістю коренеплодів – D , %; розчиненою золою – P_z , % існує аналітична залежність, яка визначається рівнянням показової функції виду:

$$\bar{y} = a \times b^x \quad (1)$$

А між вмістом інуліну полісахариду – C , %; збором Z_{in} і виходом інуліну полісахариду – B_{in} з одного гектару, т /га; масою середньої частини коренеплоду – $m_{счк}$, % – рівнянням логарифмічної кривої виду:

$$\bar{y} = b \times \log x - a; \quad (2)$$

між масою хвостової частини коренеплоду – $m_{хвч}$, %; а також між вмістом інуліну полісахариду – C , % коренеплоду і масою його головки – $m_{гк}$, % – рівнянням прямої виду:

$$\bar{y} = a + bx \quad (3)$$

Таблиця 4 - Взаємозв'язок густоти рослин цикорію коренеплідного з її якісними ознаками

Показник	Густота рослин, тис./га			
	60	80	100	120
Середня маса коренеплоду, г	500	375	300	250
Добовий приріст маси коренеплоду, г	4,16	3,12	2,5	2,08
Вміст інуліну, %	17,3	18,1	18,7	19,0
Збір інуліну, т/га	5,19	5,43	5,64	5,7
Кількість розчиненої золи, %	0,362	0,271	0,217	0,181
Відношення загальної маси коренеплоду, % до маси:				
голівки	12,3	9,5	7,1	5,1
середньої частини	82,7	84,2	87,2	91,6
хвостової частини	5,0	6,3	5,7	3,3



Розрахункові значення коефіцієнтів «a» і «b» рівнянь, які одержані методом найменших квадратів приведені у таблиці 5.

Таблиця 5 - Математичні моделі залежності якісних ознак цикорію коренеплідного від густоти рослин, C_p тис./га

Показник	Рівняння регресії	Множинний коефіцієнт кореляції, r	Коефіцієнт детермінації, R^2
P_k , г	$y = -82,5x + 562,5$	0,95	0,96
m_{kc} , г	$y = -0,686x + 4,68$	0,98	0,96
C , %	$y = 1,2458 \ln(x) + 17,285$	0,96	0,99
Z_{in} , т/га	$y = 0,174x + 5,055$	0,97	0,94
P_z , %	$y = -0,131 \ln(x) + 0,3618$	0,98	0,99

Примітка. P_k – маса коренеплоду, г; m_{kc} – добовий приріст маси коренеплоду за вегетаційний період, г; $m_{гк}$ – маса головки коренеплоду по відношенню до загальної маси P_k , %; D – дуплистість коренеплодів, %; P_z – розчинена зола, %; C – вміст інуліну полісахариду в коренеплодах, %; Z_{in} і B_{in} – збір і вихід полісахариду інуліну з одного гектару, т/га; $m_{счк}$ і $m_{хвч}$ – маса середньої і хвостової частин коренеплоду по відношенню до загальної маси P_k , % (рис. 2).

Отже, встановлені аналітичні залежності між густотою рослин цикорію коренеплідного (в межах 60-120 тис/га) і її якісні ознаками дозволяють на підґрунті комплексного методичного підходу відшукати можливість реалізації біологічного потенціалу цикорію коренеплідного по відношенню до його продуктивності (поряд з живильним режимом, розміщенням в сівозміні і іншими факторами), перш за все за рахунок оптимізації густоти рослин і рівномірності їх розміщення на площі шляхом створення геометричної структури агроценозів (посівів) з формою площі живлення, що наближається до оптимуму (квадрату) з врахуванням технологічної якості коренеплодів, що забезпечуватимуть максимальний збір первинної сировини і вихід інуліну полісахариду при обробці.

Крім того, одержані залежності можуть бути використані як вихідні дані для розрахунку і обґрунтування оптимально необхідної площі посіву і можливого її скорочення без зменшення обсягу виробництва інуліну полісахариду для задоволення потреб у ньому як всередині країни, так і експортній реалізації за її межами.

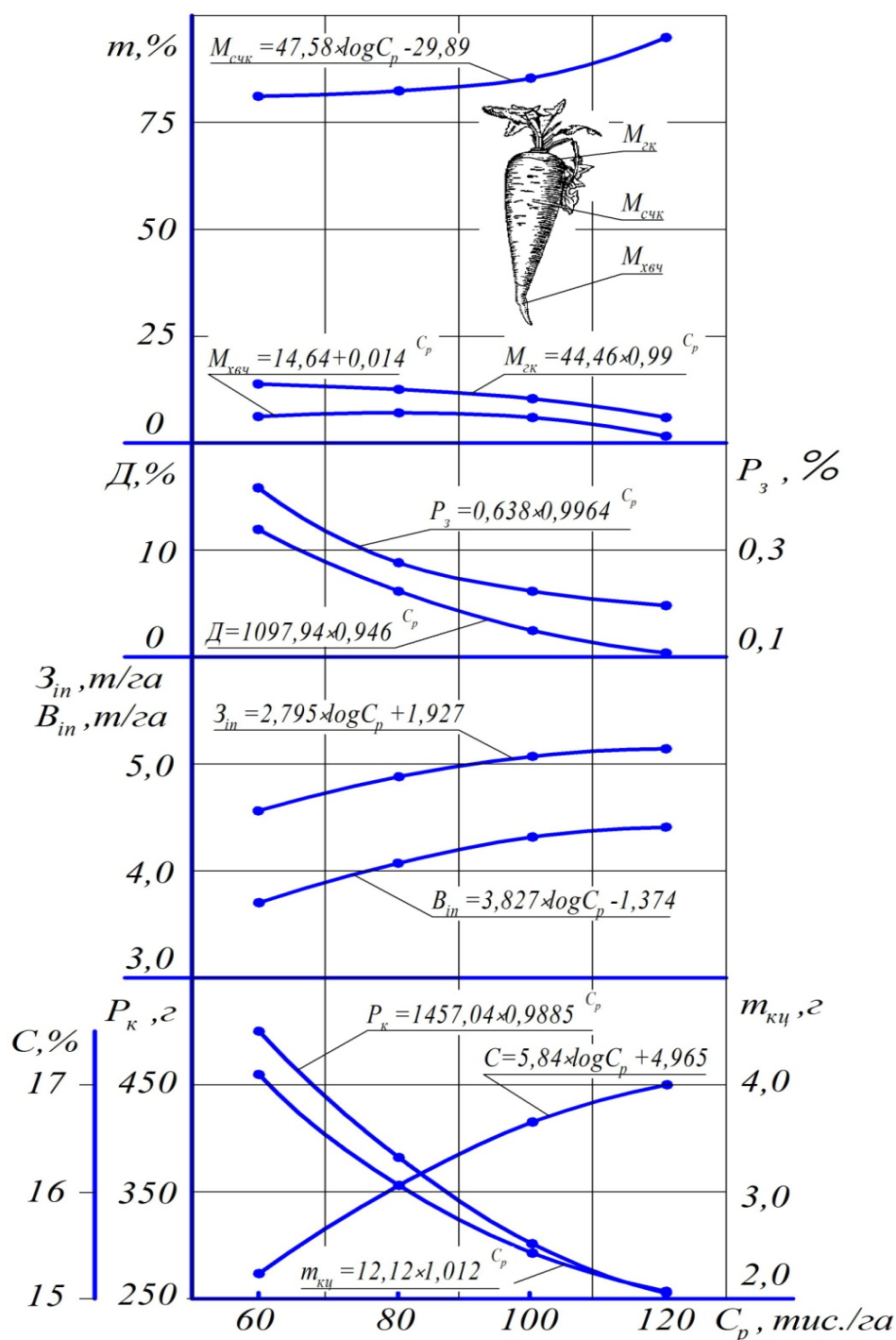


Рисунок 2 - Залежність якісних ознак цикорію коренеплідного від густоти рослин C_p , тис./га

Показники агротехнічного стану дослідної ділянки цикорію коренеплідного за розподілом відстані між коренеплодами, величиною, формою і співвідношенням сторін площі живлення, а також за розподілом коренеплодів відносно розмірів і маси та їх значимості у формуванні урожаю при вихідних параметрах до збирання: густоті рослин 90 тис./га, урожайності коренеплодів 32,0 т/га і листя 19,0 т/га приведені в таблицях 6 і 7.



Таблиця 6 - Показники площі живлення та інтервали між коренеплодами цикорію сорту Уманський-99 перед збиранням

Показник	Інтервали між коренеплодами, см			
	0-15	15-30	30-45	45-60
Площа живлення, $\frac{\text{см}^2}{\%}$	<u>337,5</u> 24,3	<u>1012,5</u> 47,6	<u>1687,5</u> 20,9	<u>2362,5</u> 7,2
Форма площі живлення, см×см	7,5×45	22,5×45	37,5×45	52,5×45
Відношення сторін площі живлення, $K = \frac{L_p}{M}$	0,17	0,5	0,83	1,17

Примітка. L_p – відстань між коренеплодами в рядку; M – ширина міжрядь ($M = 45$ см).

Аналіз даних (табл. 6) показав, що площа живлення рослин цикорію коренеплідного, яка обумовлюється структурою посіву при існуючій технології вирощування з шириною міжрядь 45 см при густоті рослин майже 90 тис/га (близькій до оптимуму) змінюється у великих межах ($V = 64,5$ %). Причому кількість рослин з розміщенням на зближених інтервалах в рядку (0-15 см) і площею живлення 337,5 см² досягала 24,3 %. Це призводить до зниження ступеня освітленості листяного апарату (затіненню) суміжних рослин, а також до зниження чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ). І навпаки, при розміщенні рослин з інтервалами 40 см з площею живлення біля 2000 см² ЧПФ підвищується (рис. 1). Проте, на таких інтервалах розміщується тільки 7,2 % рослин. Збільшення ж площі живлення, як правило, зв'язане із зменшенням густоти рослин, а тому із зниженням продуктивності цикорію коренеплідного на одиниці площі.

Отже, оптимальну площу живлення рослин цикорію коренеплідного, яка наближається до квадрату, слід формувати структурою посіву з урахуванням її біологічних особливостей як за рахунок вибору раціональної ширини міжрядь, так і за рахунок рівномірного розміщення рослин в рядках з інтервалами не менше 25 і не більше 35 см із співвідношенням сторін площі живлення, що відповідає прямокутнику $K = 0,8-1,2$.

8.2. Обґрунтування вибору раціональної схеми розміщення рослин цикорію коренеплідного з комбінованою шириною міжрядь

Величина і форма площі живлення мають значний вплив на розміри і масу коренеплодів, а отже на і формування маси урожаю (табл. 7). Якщо



кількість коренеплодів діаметром 10-20 мм відповідала відсотковому значенню 9% від загального їх збору, то їх значимість у формуванні маси урожаю складала лише 2,1 %. Тоді як при 7% коренеплодів діаметром 80-100 мм значимість їх маси складала 16,7% урожаю або 5,3 т/га, тобто у вісім разів більше, ніж маса коренеплодів фракції 10-20 мм.

Таблиця 7 - Розподіл якісних показників сорту Уманський-99 залежно від діаметра коренеплоду

Показник	Діаметр коренеплоду, мм				
	10-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Кількість коренеплодів, %	19	41	26	11	3
Значимість у формуванні маси урожаю, %	12,1	15,2	34,5	27,5	10,7
Маса коренеплоду P_k , г	77,9	164,4	274,2	384,3	575,7
Відношення маси листя до коренеплоду, P_ℓ/P_k	1,68	1,57	1,14	0,82	0,69

Слід відмітити, що найбільшим утрудненням для якісного зрізу листя являються коренеплоди малих розмірів ($d_k = 10-20$ мм), які, як правило, розміщуються в рядку на малих інтервалах (до 10 см) і залягають нижче рівня поверхні ґрунту, тому потрапляючи у кагати (бурти) коренеплодів не зрізаними або з високим зрізом листя, забруднюють його зеленою масою більше встановленої норми (3%).

У зв'язку з цим, як за показниками підвищення якості сировини цикорію при збиранні урожаю, так і за підвищенням виходу інуліну полісахариду при заводській переробці, даним вимогам відповідають коренеплоди розміром від 40 до 90 мм, яких повинно бути не менше 85% за масою.

Недостатня густина рослин (зрідженість посівів) і нерівномірність їх розміщення – одна із основних причин недобору урожаю і особливо зниження вмісту інуліну полісахариду та технологічної якості коренеплодів. Для прикладу якщо цикорієва плантація господарства займає 700 га, то при густоті рослин 65 тис/га (при оптимальній густоті 100 тис/га) безпосередньо цикорієм зайнято 455 га, що відповідає 35 % посівної площі, то при низькій культурі землеробства 245 га знаходиться під бур'янами. В даному випадку при урожайності 30 т/га і вмісту інуліну полісахариду 16 % недобір урожаю коренеплодів складає 7350 т, а дефіцит інуліну полісахариду 1176 т.

Крім того, зрідженість посівів поряд з недобором урожайності приводить до значного ущільнення ґрунту в рядках (особливо в сухий період) в місцях пропусків, що погіршує збирання урожаю, сприяє збільшенню забрудненості



зібраної маси коренеплодів грудками землі до 20-30 % а отже і вимушеного підвищення енерговитрат на перевезення близько 15,0 тис. тон верхнього шару ґрунту. Все це також змушує застосовувати більш затратний перевалочний спосіб збирання, при якому додаткові втрати урожайності сягають 2,0-3,0 т/га.

Перехід до інтенсивних технологій виробництва та необхідності розширення енергозберігаючих технологій вирощування цикорію коренеплідного з малими нормами висіву насіння сучасних сортів і гібридів, що вимагає забезпечення густоти рослин 90-110 тис/га з рівномірним їх розміщенням при існуючих 45 см міжряддях пов'язано із великими труднощами. При цьому збільшення густоти рослин понад 120 тис/га не забезпечує подальшого росту урожайності і збільшення збору інуліну полісахариду.

Результати польових і виробничих дослідів, проведених в різних ґрунтово-кліматичних зонах України, показали, що важливим резервом підвищення продуктивності цикорію коренеплідного є створення оптимальної густоти рослин з необхідною формою площі живлення, що наближається до квадрату за рахунок зменшення ширини міжрядь і збільшення відстані між рослинами в рядках.

Теоретично і експериментально встановлено, що раціональною формою площі живлення кожної окремо взятої рослини є приближення її до квадрату. На основі цих передумов і можливості здійснення механізованого догляду за посівами і збиранням цикорію коренеплідного нами розроблена методика досліджень щодо вибору раціональної схеми розміщення рослин на площі при комбінованій ширині міжрядь.

При міжряддях 45 см форма площі живлення рослин у вигляді квадрату забезпечується співвідношенням сторін, що дорівнює:

$$K = \frac{L_p}{M} = \frac{45 \text{ см}}{45 \text{ см}} = 1,0$$

де L_p – сторона квадрата вздовж рядка, см;

M – ширина міжряддя, см.

При наближенні площі живлення до квадрата, тобто розміщення рослин в рядках з інтервалом 45 см, значно знижується густина рослин (до 49,4 тис/га), що негативно відзначається на продуктивності цикорію коренеплідного.

При необхідній густоті рослин цикорію коренеплідного до збирання, близької до 110 тис/га або 5 шт. (коренеплодів) на метрі з розміщенням на



інтервалах $L_p = 20$ см, норма висіву при 90% польовій схожості насіння повинна складати 10-12 шт./м. В цьому випадку конфігурація площі живлення приймає вид прямокутника, витягнутого в бік міжрядь, із співвідношенням сторін:

$$K = \frac{L_p}{M} = \frac{20 \text{ см}}{45 \text{ см}} = 0,44$$

що свідчить про значне її відхилення від раціональної площі живлення – квадрата.

В практиці вирощування коренеплодів відомий спосіб сівби цикорію коренеплідного з більш вузькими (30-35 см) міжряддями. За такої ширини міжрядь найбільш імовірне зниження зрідженості сходів цикорію коренеплідного, а отже, при малих нормах висіву, можливе більш раціональне розміщення рослин з оптимальною площею живлення. В цьому випадку для одержання заданої густоти рослин до 110 тис/га при міжряддях 30 см і раціональній площі живлення рослин, близькій до квадрату ($K = \frac{30 \text{ см}}{30 \text{ см}} = 1,0$), з розміщенням в рядках з інтервалом 30 см норму висіву насіння при 90 % польовій схожості можна зменшити до 7-8 шт. на метр рядка. Отже, при зменшених (30 см) міжряддях виникають такі можливі позитивні наслідки:

- більша кількість рядків на одиниці площі, що дозволить одержати необхідне число рослин при сівбі на кінцеву густоту з більш рівномірним їх розміщенням за рахунок компенсації пропусків в суміжних рядках;

- раніше змикання листя рослин в міжряддях сприятиме зниженню розвитку бур'янів та їх пригніченню.

Тому, при росту і такій ширині міжрядь можливе збільшення виходу товарних коренеплодів з одиниці площі придатних до машинного садіння при висадковому насінництві цикорію коренеплідного. Проте при сучасному стані вітчизняної техніки та відповідно до неспроможності малих та середніх господарств забезпечитися новою сучасною імпоротною технікою і комплексній механізації технологічних процесів вирощування цикорію коренеплідного при зменшених (30-35 см) міжряддях, практично не вирішується проблема механізованого догляду за посівами рослин і збирання урожаю.

В зв'язку з цим для підвищення продуктивності цикорію коренеплідного і забезпечення механізованого догляду за посівами та збирання урожаю пропонується технологія виробництва фабричного і маточного цикорію коренеплідного при комбінованій ширині міжрядь з чергуванням основних і



технологічних міжрядь в робочому захваті посівного агрегату за схемою:

$$B = (n \times m + M) \times i, \quad (4)$$

де B – ширина робочого захвату посівного агрегату, м;

n – кількість основних міжрядь в блоці;

m – ширина основних міжрядь, $m = 0,3$ м;

M – ширина технологічних міжрядь, $M = 0,45$ м;

i – число сполучень (блоків), що повторюються в робочому захваті сівалки $(n \times m + M)$.

При цьому сівбу цикорію коренеплідного на задану густоту рослин здійснюють відповідно до встановленої схеми, при якій площа живлення кожної рослини приймається рівною прямокутнику із співвідношенням сторін $K = 0,9-1,2$, що визначається за формулою:

$$K = \frac{L_p}{\bar{M}}, \quad (5)$$

де L_p – сторона прямокутника, яка дорівнює сумі двох півінтервалів відносно рослини в рядку;

$\bar{M}$ – середня ширина міжряддя.

$$L_p = \frac{N}{C}, \quad (6)$$

де N – число лінійних метрів рядків на 1 га, м;

C – густина насадження, тис./га.

$$N = \frac{S}{\bar{M}}, \quad (7)$$

де S – площа рівна 1,0 га, $S = 10000$ м².

$$\bar{M} = \frac{n \times m + M}{n + 1}, \quad (8)$$

де n – кількість основних (вузьких) міжрядь в блоці, які розміщуються між технологічними міжряддями M ;

m – ширина основних міжрядь, $m = 0,3$ м;

M – ширина технологічних міжрядь, $M = 0,45$ м;

$$\bar{M} = \frac{3 \times 0,3 + 0,45}{3 + 1} = 0,3375 \text{ м.}$$

Підставивши (5) в (4) матимемо:

$$N = \frac{S \times (n + 1)}{n \times m + M} \quad (9)$$

$$N = \frac{10000 \times (3 + 1)}{3 \times 0,3 + 0,45} = 29630 \text{ м.}$$



Тоді відстань між рослинами L_p буде дорівнювати:

$$L_p = \frac{S \times (n+1)}{C \times (n \times m + M)} \quad (10)$$

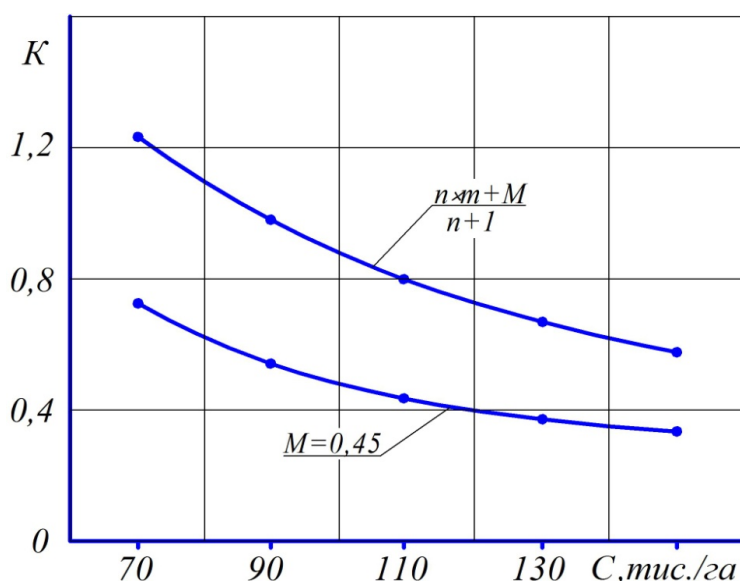


Рисунок 3. - Вплив ширини технологічних міжрядь "М" і густоти насаджень "С" на співвідношення сторін "К" площі живлення рослин:

$$K = \frac{L_p}{\bar{m}} = \frac{S \times (n+1)^2}{C \times (n \times m + M)^2}$$

де L_p – сторона прямокутника, яка дорівнює сумі двох напівінтервалів між рослинами в рядку, м;

$\bar{m} = \frac{n \times m + M}{n+1}$ – середня ширина міжряддя при комбінації основних $m = 0,3$ м з технологічним $M = 0,45$ м; $n = 3$ – число основних міжрядь в блоці;
 $S = 10000$ м² – площа 1 га.

Тобто, при густоті рослин 100 тис/га з комбінованою шириною міжрядь співвідношення сторін прямокутника площі живлення рослин близьке до квадрату (рис. 3).

При такому розміщенні рослин, з площею живлення наближеною до конфігурації квадрату, забезпечується підвищення продуктивності цикорію коренеплідного при гарантованій густоті рослин 100-110 тис/га через збільшення на площі вирощування кількості лінійних метрів в 1,33 рази або на 33-34% порівняно з вирощуванням цикорію з міжряддями 45 см.

Крім того, при комбінуванні основних міжрядь « m » з необхідною кількістю технологічних міжрядь « M » = 45 см, які в 1,5 рази більше основних, забезпечується більш якісний механізований догляд за рослинами і збирання



цикорію коренеплідного.

За формулою $K = \frac{S \times (n+1)^2}{C \times (n \times m + M)^2}$, яка враховує конфігурацію площі живлення рослин, проведено розрахунок і вибір схеми розміщення рослин при комбінованій ширині міжрядь. Результати розрахунків приведені в таблиці 8.

Таблиця 8 - Вибір схеми комбінованої ширини міжрядь залежно від співвідношення сторін " K " прямокутника і площі живлення рослин (густота рослин 100 тис./га)

Варіанти	Параметри формули	Формула: $K = \frac{(n+1)^2}{10 \times (n \times m + M)^2}$	Чисельник формули $(n+1)^2$	Знаменник формули $10(n \times m + M)^2$	Довжина рядка з рослинами, м/га
1	2	3	4	5	6
1	n = 5; m = 0,3 м; M = 0,45 м	0,95	36	38,025	30770
2	n = 3; m = 0,3 м; M = 0,45 м	0,9	16	18,225	29630
3	n = 5; m = 0,3 м; M = 0,6 м	0,82	36	44,1	28571
4	n = 3; m = 0,3 м; M = 0,6 м	0,77	16	22,5	26667
5	n = 3; m = 0,3 м; M = 0,7 м	0,63	16	25,6	25000

Дані таблиці 8 показують, що у варіантах 1 і 2 при комбінації основних міжрядь « m » = 0,3 м в кількості « n » = 3-5 з чергуванням технологічного міжряддя « M » = 0,45 м за схемою $(n \times m + M) = [(3-5) \times 0,3 + 0,45]$ забезпечується збільшення кількості метрів рядків з рослинами на площі 1 га порівняно з іншими варіантами на 3,0-4,0 тис. метрів, а порівняно із звичайною (існуючою) шириною міжрядь 45 см – на 7,5-8,5 тис. метрів, що дозволяє одержати оптимальну густоту рослин на період збирання 100 тис/га з площею живлення близькою до квадрату із співвідношенням сторін $K = 0,9 - 0,95$, при якій підвищується продуктивність, а отже і вихід полісахариду інуліну цикорію коренеплідного.



Висновки

1. Аналіз результатів досліджень вирощування цикорію коренеплідного з різною шириною міжрядь показав, що для підвищення їх продуктивності оптимальною є ширина міжрядь 22-30 см. Але при такій ширині міжрядь та існуючому у виробництві комплексі машин неможливо провести сівбу, механізований догляд за посівами і збирання врожаю відповідно до агротехнічних вимог.

2. У зв'язку з цим, розроблено методику вибору раціональної схеми розміщення рослин цикорію коренеплідного при комбінованій (3×30+45 см) ширині міжрядь за коефіцієнтом «К» з урахуванням співвідношення сторін прямокутника площі живлення близької до квадрату ($K = 0,9-1,2$) і можливості забезпечення виконання механізованих технологічних процесів: сівби, догляду за посівами та збирання цикорію коренеплідного.

3. При вирощуванні цикорію коренеплідного з комбінованою шириною міжрядь цілком виправдана мала норма висіву насіння (8-10 шт. на 1 метр рядка при 85 % польовій схожості), яка майже при повній частоті ризику в зрідженості сходів дозволяє сформувати оптимальну густоту насадження в процесі сівби з площею живлення рослин близькою до квадрату. Додатково одержати з 1 га 6,0-8,0 т коренеплодів з підвищеним вмістом інуліну полісахариду на 0,6-0,95 пунктів, із зниженням вмісту зольних елементів на 10 %, нітратного азоту і зменшення дуплистості коренеплодів.



Verweise / References

Chapter 1.

75. Bernal I. D. Geometrical approach to the structure of liquids/ J.Appl.Phys.Lett. 2000. Vol. 44, N 9. P. 874-876.

76. Шанявский А. А. Синергетический подход к построению единой диаграммы роста усталостных трещин в материалах. А. А. Шанявский, Е. М. Григорьев//Синергетика и усталостное разрушение материалов. М.: Наука, 1989. -246 с.

77. Жиленко А. Металлизированные краски и их рынок в Украине/ Жиленко А.//Принт плюс. – 2004. №6(14). – С. 57-59.

78. Емельянова Т. Металлизированные краски: бледно-богатое золото красок/ Емельянова Т.// Полиграфист и Издатель. – 2002. – №7. С.43-49.

79. Эффектные пигменты для печати этикеток. Effect pigments for label printing Buchweitz Jorg. Narro Web Tech, 2003.6, №2. С. 10-11 (РЖ "Издательское дело и полиграфия"– М.: ВИНТИ, 2007г.)

80. ГОСТ 6591-73. Краски печатные. Методы определения времени высыхания или пленкообразования.

81. Якуцевич С. Властивості паперу і фарб, які обмежують можливості лакування відбитків/ С.Якуцевич// Друкарство. – 2000. – № 1. – С.41-43.

82. Никитин Л. Металлизированные пигменты для этикеточной печати/ Никитин Л.// Новости полиграфии. – 2003.- №4. – С.22-27.

83. Цыренова С. Б. Коллоидная химия (поверхностные явления и дисперсные системы)/ Цыренова С. Б., Балдынова Ф. П.// Улан-Уде: ВСГТУ, 2004.- 50 с.

84. Симонов-Емельянов И. Ю. Влияние размера частиц наполнителя на некоторые характеристики полимеров/ Симонов – Емельянов И. Ю., Кулезнев В. Н., Трофимичева Л. З.// Пластические массы.- 1989. – №5. – С.61-64.

85. Морозов А. С. Адсорбційна рівновага водяних парів при акліматизації паперу/ Морозов А. С. // Технологія і техніка друкарства.- №1. - С. 145-150.

86. Воловик Л. С. Фізична хімія/ Воловик Л. С.,Ковалевська В. С., Манк В. В., Мірошников О. М, Федоренко Г. Л.// К: Фірма "Інкос", 2007. - 196 с.

87. Бобрівник Л. Д. Органічна хімія/ Бобрівник Л. Д., Руденко В. М., Лезенко Г. О., – К.: Ірпінь: ВТФ "Перун", 2005. - 544 с.

88. Сминтина В. А. Фізико-хімічні явища на поверхні твердих тіл/ Сминтина В. А. – Одеса: Астропринт, 2009. - 187 с.

89. Пеку Г. П. Поверхневі та контактні явища у напівпровідниках/ Пеку Г. П., Стріха В. І.// – К.:Либідь, 1992. - 240 с.

90. Kimiuki Oqura. Technology for Powder Production and Evalution of Powders. Jornal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy. 2015, Vol.53, issue 4, p.340.

91. Robert FRYKHOLM, Yoshinoby TAKEDA, Bo-Goran ANDERSSON, Raif CARLSTROM. Solid State sintered 3-D Printing Component by Using .Jornal of the Japan Society of Powder Metallurgy Inkjet(Binder) Methods. 2016, vol.63,



issue 7, p.p. 421-426.

92. Yingchao Zhang, Hongqi Ye, Hui Liu. Preparation and characterization of blue color aluminum pigments Al/SiO₂/Pb with double-layer structure. Powder Technology, 2012, vol.217, p.p.614-618.

93. Rungrot Kitsomboonoha, T.Bera, Joydeep Dutta. Direct Synthesis of Anisotropic Metal Particles by Ink Printing Technique. Advanced Materials Research. 2008, vol.55-57, p.p 585-588.

94. R.Kronberger, Volker Wienstroer. 3-D printer FSS using printing filaments with enclosed metal particles. Progress in Electromagnetics Research Symposium-Fall(PIERS-FALL). 19-22 November 2017, Singapore.

95. Zhao-Hui Zhang, Zhen-Feng Liu, Ji-Fang Lu, Xiang-Bo Shen(2014)

The sintering mechanism in spark plasma sintering. Scripta Materiala, 81, 56-59.

96. J.Millgan, J.M.Shockley, R.R.Chromik, M.Brochu(2013) Tribological performance of Al-12Si coating created via Electrospark Deposition and Spark Plasma Sintering. Tribology International, 66, 1-11.

97. Jin X., Gao L., Sun J.(2010) Highly Transparent Alumina Spark Plasma Sintered from Common-Grade Commercial Powder. The Effect of Powder Treatment Journal of the American Ceramic Society, 93, 1232-1236.

98. Kolomeichenko A V., Kuznetsov I.S., Kravchenko I.N.(2015) Investigation of the thickness and microhardness of electrospark coatings of amorphous and nanocrystalline alloys. Welding International, Vol.19, №10, 823-825.

99. Paras Kumar, Ravi Parkash(2016) Experimental investigation and optimization of electro discharge machining of aluminum boron carbide(Al-B₄C) composite. Machining Science and Technology, 20, 330-348.

100. H.Khalid Rafi, Thomas L.Starr, Brent E.Stucker(2013) A comparison of tensile fatigue and fracture behavior Ti-6Al-4V and 15-5 PH stainless steel parts made by selective laser melting The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 69, 1299-1309.

101. Morozov A.(2019) Analysis of technological and morphological peculiarities of bronzed powders production from the swarf wastes. Technology audit and production reserves, № 1/3(45), 24-26.

Chapter 2.

1. AI for social good. Applying AI to some of the world's biggest challenges. – URL: <https://ai.google/social-good/> (дата обращения: 02.01.2022).

2. Bringing the world closer together by advancing AI. Meta AI Research. – URL: <https://ai.facebook.com/research> (дата обращения: 02.01.2022).

3. Netflix Research. Research Areas: Machine Learning. Learning How to Entertain the World. – URL: <https://research.netflix.com/research-area/machine-learning> (дата обращения: 02.01.2022).

4. Google Research. Research Areas: Speech Processing. – URL: <https://research.google/research-areas/speech-processing/> (дата обращения: 02.01.2022).

5. Mirco Ravanelli, Yoshua Bengio. Speaker Recognition from Raw Waveform with SincNet. Electrical Engineering and Systems Science / Mirco Ravanelli, Yoshua



Bengio, 2019.

6. Нейросетевой анализ и сопоставление частотно-временных векторов на основе краткосрочного спектрального представления и адаптивного преобразования Эрмита. / Жирков А.О., Корчагин Д.Н., Лукин А.С., Крылов А.С., Баяковский Ю.М. – ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Москва, 2001.

7. Harris, Fred. On the Use of Windows for Harmonic Analysis With the Discrete Fourier Transform. / Harris, Fred. – Proceedings of the IEEE. 66. 51-83, 1978.

8. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Оконные функции для гармонического анализа сигналов / Дворкович В.П., Дворкович А.В. - М.: Техносфера, 2014. – 112 с.

9. Г. Нуссбаумер. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления свертки. / Г. Нуссбаумер. Перевод с английского Ю. Ф. Касимова и И. П. Пчелинцева; под редакцией чл.-кор. АН КазССР В. М. Амербаева и Т. Э. Кренкеля - Издательство «Радио и связь», 1985.

10. Распознавание речи на основе сверточных нейронных сетей. / Белоруцкий Р.Ю., Житник С.В. // Вопросы радиоэлектроники. 2019;(4):47-52.

11. Automatic Speech Recognition of Spoken Digits / Davies, K.H., Biddulph, R. and Balashek, S. // The Journal of the Acoustical Society of America; 24 (6): 637—642, 1952.

12. Automatic Speech Recognition. / Levis, John & Suvorov, Ruslan, 2012.

13. IBM Archives. IBM Special Products: IBM Shoebox – URL: https://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/specialprod1/specialprod1_7.html (дата обращения: 12.11.2021).

14. Approach to Computer Speech Recognition by Direct Analysis of the Speech Wave / Reddy, D.R. // The Journal of the Acoustical Society of America 40, 1273-1273, 1966.

15. Fiber Optic Device Recognizes Signals. / Klass, Philip J. // Aviation Week & Space Technology. — N.Y.: McGraw-Hill, 1962. — Vol. 77 — No. 20 — P. 94-101.

16. Memory Cells. // Military Review. — April 1963. — Vol. 43 — No. 4 — P. 99.

17. Armagnac, Alden P. “Tell It to Sceptron!” // Popular Science. — April 1963. — Vol. 182 — No. 4 — P. 120.

18. Voice-operated Computer Tested. // Air Defense Artillery. - Spring 1983. - No. 2 - P. 54.

19. WAV Audio File Format Specifications – URL: <http://www-mmmsp.ece.mcgill.ca/Documents/AudioFormats/WAVE/WAVE.html> (дата обращения: 17.09.2021).

20. Александр Петрович Загуменнов. Компьютерная обработка звука / А.П. Загуменнов, 2000. – 260 с.

21. Ashby, Michael, & John Maidment. Introducing Phonetic Science. Cambridge: CUP, 2005.

22. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Оконные функции для гармонического анализа сигналов / Дворкович В.П., Дворкович А.В. - М.:



Техносфера, 2014. – 112 с.

23. Современные тренды радиорелейной связи. / Слюсар В.И. // Технологии и средства связи. – 2014. №4, 32-36.

24. The voice in the machine. Building computers that understand speech. / Pieraccini R., Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2012. 360 p.

25. Stanford Vision Lab. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC 2017) – URL: https://www.researchgate.net/publication/265295439_ImageNet_Large_Scale_Visual_Recognition_Challenge (дата обращения: 01.12.2021)

26. Хуршудов А.А. Разработка системы распознавания визуальных образов в потоке данных / Хуршудов А.А., Кубанский Государственный Технологический университет, 2015.

27. Simple convolutional neural network on image classification. / Guo T., Dong J., Li H., Gao Y. // IEEE 2nd International Conference on Big Data Analysis (ICBDA). Beijing, 2017. P. 721–724.

28. Understanding of a convolutional neural network / Albawi S., Mohammed T. A., Al-Zawi S. // International Conference on Engineering and Technology (ICET). Antalya, 2017. P. 1–6.

29. Self-Normalizing Neural Networks / Günter Klambauer, Thomas Unterthiner, Andreas Mayr, Sepp Hochreiter // Advances in Neural Information Processing Systems. — 2017. — Июнь (т. 30, вып. 2017).

30. Метод автоматического определения ключевых точек объекта на изображении. / Зубов И.Г. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника, 23 (6), 6-16., 2020.

31. Компьютерное зрение. / Горячкин Б.С., Китов М.А. // E-Scio, (9 (48)), 317-345, 2020.

32. Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting / Nitish Srivastava, Geoffrey Hinton, Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Ruslan Salakhutdinov // Journal of Machine Learning Research. — 2014. — Т. 15.

33. An empirical analysis of dropout in piecewise linear networks / Warde-Farley, David; Goodfellow, Ian J.; Courville, Aaron & Bengio, Yoshua, arXiv:1312.6197, 2013.

34. Программные среды для изучения основ нейронных сетей / П.Ю. Богданов, Е.В. Краева, С.А. Веревкин, Е.Д. Пойманова, & Т.М. Татарникова // Программные продукты и системы, 34 (1), 145-150, 2021.

35. Исследование архитектуры сверточных нейронных сетей для задачи распознавания образов / Землевский Андрей Дмитриевич // Вестник науки и образования, 2 (6 (30)), 36-43, 2017.

36. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей / Созыкин Андрей Владимирович // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика, 6 (3), 28-59, 2017.

Chapter 3.

1. Lim, K.Y.H., Zheng, P., Chen CH. A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation



perspectives // Journal of Intelligent Manufacturing. 2020 Vol. 31. P. 1313–1337.

2. Top 10 Strategic Technology Trends for 2019 / Gartner – Stamford. 2018. – 46 p. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gartner.com/en/doc/3891569-top-10-strategic-technology-trends-for-2019> (дата обращения 15.11.2021).

3. Dertien S., Lang J., Immerman D. Digital Twin: A Primer for Industrial Enterprises / PTC Inc. 2019. – 11 p. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ptc.com/-/media/Files/PDFs/IoT/digital_twin_industrial-enterprises-6-11-19.pdf (дата обращения 15.11.2021).

4. Luca Lattanzi, Roberto Rafaeli, Margherita Peruzzini and Marcello Pellicciari Digital twin for smart manufacturing: a review of concepts towards a practical industrial implementation // International Journal of Computer Integrated Manufacturing 2021, Vol. 34, NO. 6, P. 567–597

5. Grieves, M. Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products through Product Lifecycle Management. – Space Coast Press, 2011. 370 p.

6. Fei Tao, He Zhang, Ang Liu, and A. Y. C. Nee Digital Twin in Industry: State-of-the-Art // IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 15, № 4, 2019. P. 2405-2415

7. Fei T., Jiangfeng C., Qinglin Q., Meng Z., He Z., Fangyuan S. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data // International Journal Advanced Manufacturing Technologies. 2018. Vol. 94. P. 3563–3567

8. Elisa N., Luca F., Marco M. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems // Procedia Manufacturing. 2017. Vol. 11. P. 939–948.

9. N. Demkovich, E. Yablochnikov, and G. Abaev. Multiscale Modeling and Simulation for Industrial Cyber-Physical Systems // 2018 IEEE Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), 2018 P. 291–296.

10. Digital Twin: Analytic Engine for the Digital Power Plant / General Electric Company. 2016. – 30 p. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/Digital-Twin-for-the-digital-power-plant-.pdf (дата обращения: 16.11.2021).

11. Industry 4.0 and the digital twin: Manufacturing meets its match / Deloitte University Press. 2017. – 18 p. [Электронный ресурс]. – URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf (дата обращения: 17.11.2021).

12. Demystifying the Digital Thread and Digital Twin Concepts / IndustryWeek [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/systems-integration/article/22007865/demystifying-the-digital-thread-and-digital-twin-concepts> (дата обращения 15.11.2021).

13. Kunath M., Winkler H. Integrating the Digital Twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process. 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems 2018. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/326032091_Integrating_the_Digital_Twin_of_the_manufacturing_system_into_a_decision_support_system_for_improving_the



order management process (дата обращения 16.11.2021).

14. Wang J., Zhang W., Shi Y., Duan S. Industrial Big Data Analytics: Challenges, Methodologies, and Applications. [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1807/1807.01016.pdf> (дата обращения 15.11.2021).

Chapter 4.

1. Mitsui OSK Lines Ltd., (2007). LNG Carrier Operation Technology Text.
2. Hamworthy Gas Systems AS, (2006). QGII QFLEX Operational Manual.
3. Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals, SIGGTO, Witherby Publishers. IMO
4. (2009). Gas Tanker Advanced Course.
5. LNG Custody Transfer Handbook, (2001). G.I.I.G.N.L. DS TML/Z-CG-2001. European Commission, (2016).
6. Methane emissions from LNG-powered ships higher than current marine fuel oils, Science for Environment Policy
7. Emission calculation check guide –IMO NOx Technical Code 2008
8. Wärtsilä Power Management System
9. A Study of the Method for Calculating the Optimal Generator Capacity of a Ship Based on LNG Carrier Operation Data
10. Independent study confirms LNG reduces shipping GHG emissions
11. An analysis of the energy efficiency of LNG ships powering options using the EEDI
12. Formal Safety Assessment of LNG tankers
13. Ozaki, Y. et. al., 2010: “An Evaluation of the Energy Efficiency Design Index (EEDI) Baseline for Tankers, Containerships and LNG Carriers,” Climate Change and Ships: Increasing Energy Efficiency, SNAME and Marine Board Symposium.
14. Shutpyak .K., Serov A.A., Assessment of the influence of the main ship systems on the indicators of the energy efficiency of the vessel // Scientific and technical collection of the Russian Maritime Register of Shipping. 2017. - №48/49. - С. 95-103.
15. Handbook of natural gas transmission and processing: principles and practices, Elsevier. DeLancey G., (2013).

Chapter 5.

1. Пат. на винахід 120181 Україна, МПК В01F 9/10, В28С 5/32. Змішувач / В.В. Чернюк, Б.С. Піцишин (Україна); Нац. ун-т “Львівська політехніка”. – №а201612982; Заявлено 19.12.2016; Опубл. 25.10.2019, Бюл. № 20. – 3 с.
2. Koeltzsch, K., Qi, Y., Brodkey, R.S. et al. (2003). Drag reduction using surfactants in a rotating cylinder geometry. Exp Fluids. 34, 515–530.
3. Симоненко А.П. Турбулентное течение водных растворов мицеллообразующих ПАВ в зазоре между коаксиальными цилиндрами // Инженерно-физический журнал. – 1980. – Т. XXXVIII, № 2. – С. 231-234.
4. Гидродинамически-активные композиции в энергосбережении и



экологии: Монография / Симоненко А.П. [и др.] ; под общ. ред. А.П. Симоненко. – Донецк: ДонНУ, 2019. – 207 с.

5. Pitsyshyn B.S., Orel V.I., Popadyuk I.Y. Influence of eccentricity and aqueous solutions of metaupon on hydraulic resistance of a cylindrical rotor // *Wissenschaft für den modernen Menschen: physik, mathematik, chemie, medizin, biologie, ökologie, landwirtschaft, geologie. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft»*. Buch 4. Teil 5. 2021. – S.9-16, 181-182.

6. Popadyuk I.Y., Orel V.I., Pitsyshyn B.S. Influence of the gap width and concentration of metaupon aqueous solutions on the hydraulic resistance of a cylindrical rotor // *Intellektuelles Kapital - die Grundlage für innovative Entwicklung: Technik, Informatik, Sicherheit, Verkehr, Physik und Mathematik, Biologie und Ökologie, Landwirtschaft. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft»*. Buch 6. Teil 4. 2021. – 113–120, 176–177.

7. Чернюк В.В., Піцишин Б.С. Установка для дослідження структури потоку рідини між неспіввісними статором і ротором // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". Серія: Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 1996. – № 304. – С. 80 – 84.

8. Bakhuis, D., Ezeta, R., Berghout, P. et al. (2020). Controlling secondary flow in Taylor-Couette turbulence through spanwise-varying roughness. *Journal of Fluid Mechanics*, 883, A15. <https://doi.org/10.1017/jfm.2019.878>.

Chapter 6.

1. Корольчук О.Л. Охорона психічного здоров'я в умовах ведення АТО. *Інвестиція: практика та досвід*. 2016. № 18, С. 96-109.

2. Chorna V.V., Podolian V.M. Changes in mental health after COVID-19 transfer and health care resources. *PNAP Scientific Journal of Polonia University Peridyk Naukowy Akademii Polonijnej*. 2020. Том 43, №6. С. 263-268. <https://doi.org/10.23856/4334>

3. Cao D., Bray F., Ilbawi A., Soerjomataram I. Effect on longevity of one-third reduction in premature mortality from non-communicable diseases by 2030: a global analysis of the Sustainable Development Goal health target. *Lancet Glob Health*. 2018. № 6(12):e1288-e1296.doi: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30411-X](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30411-X)

4. Напрєєнко О.К., Влох І.Й., Голубков О.З. (2001). Психіатрія. К.:Здоров'я, 584с.

5. Куделко С.М. Очерк истории развития психиатрии в Харьковском классическом университете. *Психіатрія, неврологія та медична психологія*. 2014. №1 (1), С. 89-93.

6. Чорна В.В. Детермінація психічного здоров'я населення України та країн ЄС. Довкілля та здоров'я. 2020. № 2 (95), С.47-53. <https://doi.org/10.32402/dovkil2020.02.047>

7. Концептуальна записка. Експертний комітет ВПА щодо кризи психічного здоров'я в Україні. червень 2020. World Psychiatric Association. Advance Psychiatry and Mental Health Across the World. URL: <https://www.gip-global.org/files/ukraine-policy-brief-final-ua.pdf>

8. Чорна В.В. Гігієнічні аспекти становлення психіатричної служби в



Україні: минуле, теперішнє, майбутнє. *Журнал Молодий вчений*. – 2021. – №2(90). – С. 47-51 <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-2-90-9>

9. Державні будівельні норми України «Будинки і споруди Заклади охорони здоров'я» проект (перша редакція) ДБН В.2.2-10:2019 <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2019/08/Persha-redaktsiya-DBN-Ohorona-zdorovya.pdf>

10. Чорна В.В., Махнюк В.М., Хлестова С.С., Гуменюк Н.І. До питання стигматизації психично хворих з боку студентів медиків та медичного персоналу психіатричних закладів та заходи її мінімізації. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2020. №2, Т.24. С. 309-316 [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2020-24\(2\)-19](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2020-24(2)-19)

11. Очеретяна Г.В., Махнюк В.М., Чорна В.В., Горваль А.К., Мір Редан Нормативно-правове регулювання гігієнічних питань щодо розміщення вбудованих закладів охорони здоров'я в Європейських країнах. *Журнал Молодий вчений*. 2020. №10(86). С. 272-278. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-10-86-56>

12. Махнюк В.М., Сердюк Є.А., Чорна В.В., Гаркавий С.С., Лаптев В.Е. Нові гігієнічні підходи до сучасного містобудування в Україні. Київ: Міжрегіональний видавничий центр «Медінформ». 2021. 369 с.

13. Ulrich R.S., Bogren L., Gardiner S. Psychiatric ward design can reduce aggressive behavior. *Journal of Environmental Psychology*. 2018. Vol.57, P.53-66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.05.002>

14. Чорна В.В., Махнюк В.М., Чайка Г.В., Юрченко С.Т., Ковалів М.О. Обґрунтування санітарно-епідеміологічної складової до нової редакції державних будівельних норм України «ЗАКЛАДИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я» щодо проектування психіатричних лікарень з урахуванням міжнародного досвіду. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2021. №1, Т.25. С. 118-125 [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2021-25\(1\)-22](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2021-25(1)-22)

15. Hunt, J., Sine, D. (2015) Facility Guidelines Institute *Design Guide for the Built Environment of Behavioral Health Facilities*. Edition 7.0. 114 p. URL:https://www.fgiguideguidelines.org/wp-content/uploads/2017/03/DesignGuideBH_7.2_1703.pdf

16. Hsu T., Ryherd E., Wayne K. & Ackerman J. Noise pollution in hospitals: Impact on patients. *Journal of Clinical Outcomes Management*. 2012. Vol. 19 (7), P.301-309.

17. Jue K., Nathan-Roberts D. How noise affects patients in hospital. *Sage Journal*. 2019. Vol. 63(1), P.1510-1514. doi: <https://doi.org/10.1177/1071181319631325>

18. Приміщення лікарні: вимоги до архітектури й облаштування. <https://www.medsprava.com.ua/article/627-primshchennya-lkarn-vimogi-do-arhitekturi-oblashtuvannya>

19. Design Guidance for Psychiatric Intensive Care Units (2017). Low Secure Units (NAPICU) Design in Mental Health Network. <https://napicu.org.uk/wp-content/uploads/2017/05/Design-Guidance-for-Psychiatric-Intensive-Care-Units-2017.pdf>



20. Patient Safety Standards, Materials and Systems Guidelines (24 Edition). Recommended by the New York State Office of Mental Health Office of Mental Health. (2020) https://omh.ny.gov/omhweb/patient_safety_standards/guide.pdf

21. Махнюк В.М., Чайка Г.В., Чорна В.В., Волощук О.В., Мельниченко С.О., Пелех Л.В. Експертна оцінка архітектурно-планувальних рішень та умов експлуатації вбудованих закладів охорони здоров'я за методом Т.Сааті *Довкілля та здоров'я*. 2021. № 2(99). С.62-71 <https://doi.org/10.32402/dovkil2021.02.062>

22. Ковальов Ю.М., Кфіа Д.В. Кольорове рішення інтер'єрів психіатричних лікарень. *Теорія та практика дизайну*. 2013. 3, 58-59 <http://nbuv.gov.ua/UJRN/>

23. Чорна В.В., Махнюк В.М., Юрченко С.Т., Сердюк Є.А., Назаренко В.І. Вплив архітектурно-планувальних рішень на санітарно-гігієнічні умови праці медпрацівників, пацієнтів психіатричних лікарень України та країн ЄС. *Журнал Молодий вчений*. 2021. №1(89). С. 20-27 <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-1-89-5>

24. Чорна В.В., Сергета І.В., Махінюк В.М. Сучасні підходи до створення внутрішньолікарня-ного комфорту для хворих та медичного персоналу в психіатричних закладах охорони здоров'я. *Biomedikal and Biosocial anthropology*. – 2019. – №35. – Р. 48-53

25. Derby, M.M., Hamelkasi M., Eckels S., Hwang G.M., Jones B., Maghirang R., and Shulan D. (2017) Update of the scientific evidence for specifying lower limit relative humidity levels for comfort, health, and indoor environmental quality in occupied spaces. ASHRAE RP-1630. <http://dx.doi.org/10.1080/23744731.2016.1206430>.

26. Valerio, R. M., Lo Verso, Federica Caffaro, Chiara Aghemo. Luminous environment in healthcare buildings for user satisfaction and comfort: an objective and subjective field study. *Indoor and Built Environment*. 2016. VOL. 25(5), P.809–825. DOI:10.1177/1420326x15588337.

27. Marian E., Betz, MD, MPH*; Edwin D.Boudreux, PhD. Managing Suicidal Patients in the Emergency Department. *Annals of Emergence Medicine*. 2016. Vol.67.2/276-282. <http://dx.doi.org/10.1016/j.annemergmed.2015.09.001>.

28. Dainius Puras, Piers Gooding Mental health and human rights in the 21st century. *World Psychiatry*. 2019. Vol.18 (1), P.42–43. doi:10.1002/wps.20599

29. Facility Guidelines Institute; American Society for Healthcare Engineering *Sustainable Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Outpatient Facilities*. 2014, 21 p. URL : https://www.fgiguilines.org/wp-content/uploads/2015/08/2014_FGI_SustainableDesign_HOP.pdf.

30. Carr R.F. NIKA. For VA Office of Construction & Facilities Management (CFM) Psychiatric Facility <https://www.wbdg.org/building-types/health-care-facilities/psychiatric-facility>.

31. James, M., Hunt, AIA, NCARB David M. Sine, DrBE, CSP, ARM, CPHRM (2015) Common Mistakes in Designing Psychiatric Hospitals. FACILITY GUIDELINES INSTITUTE. 24p.



Chapter 7.

1. Al-Kandari D., Jukes D. J. A situation analysis of the food control systems in Arab Gulf Cooperation Council (GCC) countries. *Food Control*. 2009. 20 (12). P. 1112–1118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2009.02.012>.

2. On the hygiene of foodstuffs: Regulation (EC) No 852/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004. Requirements of European food law. Collection of information materials. K.: Limited liability company “Vetinform». 2009. P. 34–50.

3. Bogatko N.M., Bukalova N.V., Sakhnyuk V.V., Dzmil V.I. Peculiarities of HACCP system implementation at meat, milk and fish processing enterprises of Ukraine: textbook. Bila Tserkva, 2016. 283 p.

4. Oluwafemi R., Edugbo O., Solanke E. Meat quality, nutrition security and public health: a review of beef processing practices. *African Journal of Food Science and Technology*, 2013. V. 4 (5). P. 96–99.

5. Regulation (EC) No 854/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down special rules for the official control of products of animal origin intended for human consumption. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_002-04#Text.

6. Doosti A., Ghasemi D. P., Rahimi E.J. (2014). Technol Molecular assay to fraud identification of meat products. *Food Sciences and Technology*. 51 (1). P. 148–152. doi: 10.1007/s13197-011-0456-3.

7. Yatsenko I.V., Bogatko N.M., Busol L.V., Zhilina V.M., Parilovsky O.I. Determining the degree of spoilage of minced meat in the forensic examination of food. Abstracts of the II International Scientific and Practical Conference “Innovative development of science and education” Athens, Greece. 26–28 April 2020, 26–38. <https://sci-conf/com.ua>.

8. Bogatko N.M., Melnik A.Yu., Bukalova N.V., Bogatko L.M., Yatsenko I.V., Bogatko A.F Control of safety of meat of slaughter animals and poultry for their falsification during storage and sale. Proceedings of the scientific-practical and educational-methodical conference of scientific and pedagogical workers of the Kharkiv State Zooveterinary Academy for 2015–2016. "Problems, latest developments and prospects for the development of veterinary medicine" (May 17–18, 2016). P. 6–8.

9. Bogatko A.F., Bogatko N.M., Melnik A.Yu., Mazur T.G., Diman T.M., Sakara V.S., Bogatko L.M. The method of determining the degree of freshness of poultry fat using neutral red. Patent of Ukraine for utility model 147144, IPC G01N 33/12 (2006.01). № in 2020 07809; stated 12/08/2020; publ. 14.04.2021, Bull. №15. 4 p.

10. Poultry meat. General technical conditions: DSTU 3143:2013. K.: Ministry of Economic Development of Ukraine, 2013. 20 p. (National Standard of Ukraine).

11. Bogatko N.M., Bukalova N.V., Sakhnyuk V.V. Methods of controlling the safety and quality of food of animal and plant origin: guidelines for postgraduate students and students of FVM. Bila Tserkva, 2017. 141 p.

12. Rules for ante-mortem veterinary inspection of animals and veterinary examination of meat and meat products. Order of the State Department of Veterinary



Medicine № 28, 2002. 68 p.

13. Shchurevich G.P., Bogatko N.M., Golub O.Yu. Veterinary examination of poultry meat: guidelines. Bila Tserkva, 2017. 75 p.

14. Poultry meat. Methods of chemical analysis of freshness: DSTU 8253:2015. K.: State Enterprise Ukrainian Research Center. 2017, 13. (National Standard of Ukraine).

Chapter 8.

1. Бахмат М.І., Ткач О.В. Обґрунтування площі живлення рослин для технології вирощування цикорію коренеплідного. *Таврійський науковий вісник. Науковий журнал*. Херсон, 2018. Вип. 104. С. 16-20.

2. Бахмат М.І., Ткач О.В. Бахмат О.М. Формування насінневої продуктивності цикорію коренеплідного залежно від способу та схеми розміщення рослин. *Зб. наук. праць Вісник Уманського НУС. Науковий журнал*. Умань, 2021. №. 1. С.8-14

3. Енергозберігаюча технологія вирощування цикорію коренеплідного з комбінованою шириною міжрядь (рекомендації) / М.І. Бахмат, О.В. Ткач, В.Л. Курило, В.Г. Молдован, А.В. Моргун. Кам'янець–Подільський: Аксіома, 2019. 54 с.

4. Борисюк В.А., Зуев Н.М., Паламарчук В.И. Возделывание сахарной свеклы при комбинированной ширине междурядий // Сб. научных трудов Института сахарной свеклы «Механизация технологических процессов в свекловодстве». - К.: ИСС. - 1994. - С. 3-16.

5. Роїк М.В., Мазуренко А.М. Перспективна колійна технологія вирощування та збирання цикорію коренеплідного // Пропозиція. - 2002. - №4. - С. 96-100.

6. Борисюк В.О., Зуев М.М., Курило В.Л., Пачевський І.А. Технологія вирощування і збирання цикорію коренеплідного при комбінованій ширині міжрядь // Хімія, агрономія, сервіз. - 2005. - №33. - С. 6-7. - №34. - С. 6-7. - №35-36. -С. 6-7.

7. Зуєв М.М., Курило В.Л., Гументик М. Я. Вплив густоти рослин на агрофізичні параметри коренеплодів і якість збирання // Цикорій коренеплідний. - 2001. - №2. - С. 12,19.

8. Ткач О.В. Цикорій і особливості його вирощування. Наукові праці:Зб. наук. праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. Київ, 2012. Вип. 15. С. 343–348.

9. Ткач О.В., Курило В.Л. Особливості вирощування цикорію кореневого з комбінованою шириною міжрядь. *Зб. наук. праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. Київ, 2012. Вип. 14. С. 295 -299.

10. Ткач О.В. Система обробітку ґрунту під цикорій коренеплідний. *Зб. наук. праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. Київ, 2013 Вип. 17. С. 319-323.

11. Ткач О.В. Алгоритм вибору раціональної схеми розміщення рослин цикорію коренеплідного при комбінованій ширині міжрядь. *Зб. наук. праць ПДАТУ*. Кам'янець-Подільський, 2015. Вип. 23. С. 110-117.



12. Ткач О.В. Енергозберігаючий спосіб вирощування цикорію коренеплідного з комбінованою шириною міжрядь. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Кам'янець-Подільський, 2019. Вип. 31. С. 30-36.

13. Ткач О.В. Урожайність коренеплодів цикорію залежно від густоти рослин *Таврійський науковий вісник. Науковий журнал*. Херсон, 2020. Вип. 112. С. 150-156.

14. Ткач О.В. Продуктивність цикорію коренеплідного залежно від способу вирощування з комбінованою шириною міжрядь. *Зб. наук. праць Уманського НУС*. Умань, 2020. Вип. 96. Ч. 1. С.592-605.

15. Шпаар Д., Роїк М., Драгер Д. та ін. Цикорій коренеплідний. Вирощування, збирання, зберігання, видання 5-е. -К.:ННЦ, 2005.-340 с.



SCIENTIFIC EDITION

MONOGRAPH
WISSENSCHAFT FÜR DEN MODERNEN MENSCHEN
INNOVATIVE TECHNIK UND TECHNOLOGIE, INFORMATIK,
VERKEHRSENTWICKLUNG, PHYSIK UND MATHEMATIK, MEDIZIN, BIOLOGIE,
LANDWIRTSCHAFT

SCIENCE FOR MODERN MAN
INNOVATIVE ENGINEERING AND TECHNOLOGY, INFORMATICS, TRANSPORT
DEVELOPMENT, PHYSICS AND MATHEMATICS, MEDICINE, BIOLOGY, AGRICULTURE
MONOGRAPHIC SERIES «EUROPEAN SCIENCE»
BOOK 8. PART 2

Authors:

Chorna V.V. (6), Bogatko A.F. (7), Lvovich I.Y. (2), Lvovich Y.E. (2), Morozov A. (1),
Orel V.I. (5), Pitsyshyn B.S. (5), Popadyuk I.Y. (5), Preobrazhenskiy A.P. (2),
Preobrazhenskiy Y.P. (2), Stengach O.V. (4), Sukhomlinov A.I. (3), Tkach O.V. (8)

The scientific achievements of the authors of the monograph were also reviewed and recommended for
publication at the international scientific symposium
«Wissenschaft für den modernen Menschen '2022 / Science for modern man '2022»
(January 30-31, 2022)

The monograph is included in
International scientometric databases

500 copies
January, 2022

Published:
ScientificWorld -NetAkfiatAV
Lußstr 13,
Karlsruhe, Germany



Monograph published in the author's edition

e-mail: editor@promonograph.org
<https://desymp.promonograph.org>

ISBN 978-3-949059-47-6





ProMonograph

<https://desymp.promonograph.org>

e-mail: editor@scilook.eu