



INNOVATION IN MODERN SCIENCE

BOOK 12.
PART 1

MONOGRAPHIC SERIES «EUROPEAN SCIENCE»



Katerynychuk I.S., Kosolapov A., Rohovyi Y.Y., Seledtsov A.M., Vorobiov L.Y. et al

INNOVATION IN DER MODERNEN WISSENSCHAFT
INNOVATIVE TECHNIK, INFORMATIK, PHYSIK UND MATHEMATIK, MEDIZIN,
KUNSTGESCHICHTE
INNOVATION IN MODERN SCIENCE
INNOVATIVE TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, PHYSICS AND MATHEMATICS,
MEDICINE, ART HISTORY

Monographic series «European Science»
Book 12. Part 1.

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

MONOGRAPHIE
MONOGRAPH

Authors:

Nesterenko T.M. (1), Vorobiov L.Y. (2), Dekusha L.V. (2), Gryshchenko T.G. (2),
Katerynychuk I.S. (3), Mul D.A. (3), Basarab O.K. (3), Khoptinskiy R.P. (3),
Vavrichen A.A. (3), Kosolapov A. (4), Egorov O. (4), Dziuba V. (4),
Parpolita A. (4), Siasiev A. (5), Rohovyi Y.Y. (6), Tsitrin V.Y. (6),
Seledtsov A.M. (7), Akimenko G. (7), Kirina Y.Y. (7), Fedoseeva I.F. (7),
Yamash Y.V. (8), Kovalenko O. (9)

Reviewers:

Igor Zhukovitsky, Professor, Doctor of Technical Sciences, Ukrainian State University of Science and Technology (4)
Anatoly Yakunin, Professor, Doctor of Technical Sciences, National Technical University "Dniprovsk Polytechnika (4)
Hart Eteri Lavrentjevna, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of Theoretical and Computational Mechanics, Oles Honchar Dnipro National University (5)
Kagadiy Tetyana, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Department of applied mathematics, Dnipro University of Technology (5)
Reheda Mykhailo, Doctor of medical sciences, professor, rector of the Lviv Medical Institute, academician of the Academy of Sciences of the Higher School of Ukraine, honored worker of education of Ukraine (6)
Hudyma Arsen, Doctor of medical sciences, professor, Head of the Department of Disaster Medicine and Military Medicine of Ternopil National Medical University named after I.Ya. Gorbachevskiy, Ministry of Health of Ukraine (6)
Ziablitsev Serhii, Doctor of medical sciences, Professor, Professor of the Department of Pathophysiology of the National Medical University named after O.O. Bogomolets of the Ministry of Health of Ukraine (6)

Innovation in der modernen Wissenschaft: Innovative Technik, Informatik, Physik und Mathematik, Medizin, Kunstgeschichte. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 12. Teil 1. 2022.

Innovation in modern science: Innovative technology, Computer science, Physics and mathematics, Medicine, Art history. Monographic series «European Science». Book 12. Part 1. 2022.

ISBN 978-3-949059-59-9

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01

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. *Nesterenko Tetiana Mykolaivna*, Zaporizhzhya National University, Candidate of Technical Sciences, associate Professor - *Chapter 1*
2. *Vorobiov Leonid Yosypovych*, Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, senior researcher - *Chapter 2 (co-authored)*
3. *Dekusha Leonid Vasylovych*, Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, senior researcher - *Chapter 2 (co-authored)*
4. *Gryshchenko Tetiana Georgievna*, Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, senior researcher - *Chapter 2 (co-authored)*
5. *Katerynychuk Ivan Stepanovych*, Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 3 (co-authored)*
6. *Mul Dmytro Anatoliyovych*, Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine, PhD in technical sciences, associate Professor - *Chapter 3 (co-authored)*
7. *Basarab Oleksandr Korniiiovych*, Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine, PhD in technical sciences, associate Professor - *Chapter 3 (co-authored)*
8. *Khoptynskiy Ruslan Petrovich*, Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine, PhD in technical sciences - *Chapter 3 (co-authored)*
9. *Vavrichen Alexey Anatolievych*, Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine - *Chapter 3 (co-authored)*
10. *Kosolapov Anatoliy*, Ukrainian State University of Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 4 (co-authored)*
11. *Egorov Oleg*, Ukrainian State University of Science and Technology, PhD in technical sciences, associate Professor - *Chapter 4 (co-authored)*
12. *Dziuba Volodymyr*, Ukrainian State University of Science and Technology, Senior Lecturer - *Chapter 4 (co-authored)*
13. *Parpolita Alexander*, Ukrainian State University of Science and Technology - *Chapter 4 (co-authored)*
14. *Siasiev Andrii*, Oles Honchar Dnipro National University, PhD in Physical and Mathematical Sciences, associate Professor - *Chapter 5*
15. *Rohovyi Yurii Yevhenovych*, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, Doctor of Medical Sciences, Professor - *Chapter 6 (co-authored)*



16. *Tsitryn Volf Yakovych*, Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine, graduate student - *Chapter 6 (co-authored)*
17. *Seledtsov Alexander Mikhailovich*, Doctor of Medical Sciences, Professor - *Chapter 7 (Co-authored)*
18. *Akimenko Galina*, associate Professor - *Chapter 7 (Co-authored)*
19. *Kirina Yulia Yuryevna* - *Chapter 7 (Co-authored)*
20. *Fedoseeva Irina Fosievna*, associate Professor - *Chapter 7 (Co-authored)*
21. *Yamash Yurii Volodymyrovych*, National Forestry University of Ukraine, PhD in History of Arts, associate Professor - *Chapter 8*
22. *Kovalenko (Khursina) Olena*, Cultural Development Agency "Baroque", - *Chapter 9*



Inhalt / Content

CHAPTER 1

MODERN STATE AND TECHNOLOGIES OF TITANIUM ALLOYS PRODUCTION

Introduction	8
1.1. Classification, structure, properties and application of titanium alloys.....	9
1.2. The features of technologies for the titanium alloys production	14
1.3. Technologies of titanium alloys melting.....	17
Conclusions	34

CHAPTER 2

BATTERY HEAT FLUX TRANSDUCERS FOR CONDUCTIVE CALORIMETRY

Introduction	35
2.1. Structure and principle of operation of conductive calorimeters.....	35
2.2. Overview of transducers (sensors) of conductive calorimeters	36
2.3. Battery converters with galvanic coating of paired thermoelectrode material.....	43
2.4. Construction and manufacturing technology of transducers in the form of cylindrical shells	44
Conclusions	49

CHAPTER 3

EXPERTISE OF SPECIAL PURPOSE TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Introduction	50
3.1. Structural and logical scheme of expertise of special purpose telecommunication systems	51
3.2. The method of taking into account the uncertainty of the initial data when finding expert indicators of the quality of the functioning of telecommunication systems	53
Conclusions	57

CHAPTER 4

BASIS FOR INNOVATION IN THE COMPUTERIZATION OF SOCIETY

Introduction	58
4.1. Machine? Computer System (CS)? Computer Complex (CC)?	58
4.2. WEB-systems	60
4.3. CS architectures and structures	61
4.4. Stages in the formation of the hierarchy of automated systems enterprises.....	63
4.5. The Paradigm of computerization.....	64
Conclusions	65

**CHAPTER 5****MATHEMATICAL MODELLING OF MANUFACTURING PROCESSES OF PARTS AND STRUCTURAL ELEMENTS BY BUILD-UP METHODS**

Introduction	66
5.1. Basics of the technology of build-up processes	67
5.2. Mathematical model of a growing linear viscoelastic body under small deformations in the case of a uniaxial stress state.....	73
5.3. The method of calculating the stress-strain state of viscoelastic growing bodies during the build-up process	80
5.4. Mathematical model of the build-up process of a viscoelastic hollow cylinder under the action of internal pressure.....	86
5.5. Effects of component material heterogeneity on the stress-strain state during the build-up and Analysis of the obtained results	94
Conclusions	103

CHAPTER 6**CONSIDERATION OF THE EFFECT OF AQUEOUS DIURESIS WITH MOLECULAR HYDROGEN SATURATION ON KIDNEY FUNCTION IN INTACT RATS**

Introduction	104
6.1. Indicators of redox potential of water and urine	105
6.2. Indicators of kidney function under the influence of water diuresis with molecular hydrogen saturation.....	105
6.3. Correlation and regression analysis under the influence of water diuresis with molecular hydrogen saturation	114
6.4. Multivariate regression analysis under the influence of water diuresis with molecular hydrogen saturation	120
Conclusions	132

CHAPTER 7**FORMING ENVIRONMENTAL THINKING STUDENTS IN THE PROCESS OF THEIR LEARNING AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT.....**

133

CHAPTER 8**TRUSH'S DISCOURSE ON THE PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF PHOTOGRAPHY AT THE BORDER OF THE 19TH - 20TH CENTURIES**

Introduction	141
8.1. Cognitive dissonance of photography and painting.....	141
8.2. Collisions of photography and painting in the landscape and portrait genres.....	147
Conclusions	157

**CHAPTER 9****SHOW AS A VISUAL EVENT**

Introduction	158
9.1. Category "spectacle" in the system of show theory	158
9.2. Category "event" in the system of show theory	161
9.3. Category "phenomenon" in the system of show theory	161
9.4. Natural phenomena of our planet - scientific or domestic?	162
Conclusions	164
 References	 165



KAPITEL 1 / CHAPTER 1 ¹

MODERN STATE AND TECHNOLOGIES OF TITANIUM ALLOYS PRODUCTION

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-020

Вступ

Розвиток науки та техніки неминує призводить до вдосконалення матеріалів і технологічних процесів їх отримання та обробки для створення нових конструкцій.

Титанові сплави мають унікальний комплекс фізико-механічних, хімічних та експлуатаційних властивостей, які роблять їх незамінними у багатьох галузях промисловості. Останніми роками найбільшим споживачем титанових сплавів є аерокосмічна галузь, далі йдуть суднобудування, хімічна промисловість, медицина, цивільне будівництво, індустрія розваг та ін. Широку потребу в титанових сплавах та високу ефективність їх застосування визначили такі властивості титану, як висока питома міцність, унікальна корозійна стійкість у різних середовищах, у тому числі в організмі людини, більшості органічних і мінеральних кислот, лугах, мінімальний серед металів температурний коефіцієнт лінійного розширення, досить висока температура плавлення.

До недоліків титанових сплавів слід віднести їх високу ціну, надзвичайно низькі триботехнічні властивості, що унеможлиблює застосування титану у вузлах тертя, високу хімічну активність титану при нагріванні вище температури 500 °С, що призводить до його окрихкнення внаслідок розчинення газів (O₂, N₂, H₂). До того ж високоміцні титанові сплави є чутливими до якості поверхні та концентрації напруг [1-3].

Як і раніше, дорогі титанові сплави переважно використовують для виготовлення військової техніки. Так, заміна сталевих гарматної вежі на титанову дозволить знизити вагу танка M1 Abrams на 4 т [4]. Фахівці з ВМФ США вивчають можливість знизити вагу наступальних амфібій заміненням деяких найважчих їх сталевих елементів на титанові. За прогнозами японських виробників, якщо лише 10 % автомобілів матиме титанову вихлопну систему, тоді світовий ринок збуту титану збільшиться на 48 тис. т [5]. Вперше у світовій практиці застосовані титанові елементи кріплення надпровідних

¹Authors: Nesterenko Tetiana Mykolaivna



магнітів Великого андронного колайдера, виготовлені з титанових сплавів BT6 та BT5-1 [6].

Потребу цивільних галузей промисловості в титанових виробах можна задовольнити зниженням витрат за виробництво сплавів створенням нових сплавів методом економного легування, вдосконаленням існуючих та запровадженням нових технологій отримання титанових сплавів, злитків і виробів.

1.1. Класифікація, структура, властивості та застосування титанових сплавів

Переваги титану як конструкційного матеріалу загальновідомі. Легування титану дозволяє вдвічі-втричі підвищити його міцність, тому в сучасному машинобудуванні основну роль відіграють титанові сплави.

Титанові сплави можна класифікувати за способом їх виробництва, призначенням, властивостями та структурним складом. Однак наведені класифікації є досить умовними.

За способом виробництва титанові сплави поділяють на деформовані, ливарні та порошкові (гранульні).

За призначенням титанові сплави класифікують на конструкційні, жароміцні, кріогенні, корозійностійкі, функціональні.

За механічними властивостями (величиною межі міцності) титанові сплави класифікують на високопластичні (межа міцності до 700 МПа), середньої міцності (межа міцності 750-1000 МПа), високоміцні [7]. Високопластичні титанові сплави допускають значну деформацію у холодному стані. Високоміцні титанові сплави, що термічно зміцнюються, є матеріалами майбутнього, оскільки вже сьогодні вдається отримати межу міцності 1800-2000 МПа при щільності 1,7 разів меншої, ніж у сталі.

Поліморфізм титану є основою класифікації титанових сплавів за структурним принципом. У зв'язку з наявністю поліморфного перетворення та впливом на стабільність α - та β -фаз легуючих елементів титанові сплави відрізняються між собою фізико-механічними властивостями та можуть зміцнюватися термічною обробкою.

Елементи, що використовують для легування титану, за характером впливу



їх на фазовий склад сплавів поділять на: α -стабілізатори (Al, Ga, In, O, N, C); β -стабілізатори (Mo, W, V, Nb, Ta, Cr, Fe, Si, Mn та ін.); нейтральні зміцнювачі (Zr, Hf, Sn, Ge, Th). Всі β -стабілізатори поділяють на ізоморфні (Mo, W, V, Nb, Ta) та евтектоїдоутворюючі (Si, Cr, Mn, Fe, Cu, Ni, Co, H).

У сплавах титану з ізоморфними β -стабілізаторами твердий β -розчин може зберігатися до кімнатної температури, не зазнаючи евтектоїдного розпаду. У сплавах титану з евтектоїдоутворюючими β -стабілізаторами при досить низькій температурі відбувається евтектоїдний розпад β -фази за реакцією $\beta \rightarrow \alpha + \gamma$, де γ – проміжні фази Ti_5Si_3 , $TiCr_2$, $TiMn$, $TiFe$ та ін. [8]. Наявність евтектоїдоутворюючих β -стабілізаторів у титанових сплавах, що працюють при підвищених температурах, може призвести до евтектоїдного розпаду β -фази, що спричинить різке зниження пластичності.

Сучасні промислові титанові сплави засновані, як правило, на α - та β -твердих розчинах або сумішах. Винятком є жароміцні сплави, які часто легують елементами в кількостях, дещо більших їх розчинності в α - та β -титані. Це, насамперед, стосується таких легуючих елементів як алюміній та евтектоїдоутворюючі β -стабілізуючі елементи з високою швидкістю евтектоїдного перетворення.

За структурним принципом визнаним є, запропонований Глазуновим С. Г., поділ промислових титанових сплавів за фазовим складом на α -, ($\alpha+\beta$)- та β -сплави з інтерметалідами і без них [9,10].

Оскільки промислові титанові сплави з ($\alpha+\beta$)-структурою відрізняються різним співвідношенням α - та β -фаз у стабільному стані, виникла потреба у більш детальній класифікації сплавів усередині кожного класу на: псевдо- α -сплави, сплави мартенситного класу, сплави перехідного класу та псевдо- β -сплави [11].

Для визначення за хімічним складом класу ($\alpha+\beta$)-титанового сплаву необхідно знати ступінь стабілізації β -фази у сплаві, що характеризується критичною концентрацією β -стабілізуючого елемента. Оскільки ця критична концентрація для більшості подвійних сплавів титану добре відома, вона прийнята за основу визначення дії легуючих елементів як умовний коефіцієнт стабілізації β -фази (K_β). Його визначають як відношення дійсної кількості β -стабілізуючого елемента у сплаві до його критичного вмісту у подвійному сплаві з титаном [10-12]. Отже, сплави критичного складу матимуть $K_\beta=1$, докритичного – $K_\beta<1$, закритичного – $K_\beta>1$. У багатокомпонентних сплавах K_β



знаходять за формулою:

$$K_{\beta} = C_1/C_{1кр} + C_2/C_{2кр} + C_3/C_{3кр} + \dots + C_i/C_{ікр},$$

де $C_1, C_2, C_3, \dots, C_i$ – дійсний вміст i -ого β -стабілізуючого елемента; $C_{1кр}, C_{2кр}, C_{3кр}, \dots, C_{ікр}$ – критичний вміст i -ого β -стабілізуючого елемента у подвійному сплаві з титаном.

За величиною коефіцієнта K_{β} промислові титанові сплави поділяють на шість груп: α -сплави (не містять β -стабілізаторів, $K_{\beta} = 0$); псевдо- α -сплави ($K_{\beta} = 0,09-0,25$); $(\alpha+\beta)$ -сплави мартенситного типу ($K_{\beta} = 0,27-0,83$); $(\alpha+\beta)$ -сплави перехідного типу ($K_{\beta}=1,0-1,1$); псевдо- β -сплави ($K_{\beta}=1,7-2,5$); β -сплави ($K_{\beta} \geq 3$).

До α -сплавів відносять сплави з переважним вмістом α -твердого розчину титану (BT1-0, ПТ-7М). Ці сплави, як правило, легуються α -стабілізаторами і нейтральними зміцнювачами. В області температури фазового перетворення $\alpha \rightarrow \beta$ гексагональна α -фаза має вищу жароміцність, ніж кубічна β -фаза. Додавання в сплав елементів, що стабілізують α -фазу, дозволяє підвищити його жароміцність. Ці сплави чутливі до водневої крихкості [13,14].

Для підвищення міцності і жаростійкості α -сплави можуть легуватися також розчинними в α -фазі металами V, Nb, Ta, Ag, які стабілізують β -фазу і підвищують жароміцність цих сплавів. α -сплави з добавкою β -стабілізаторів називають псевдо- α -сплавами (OT4-1, OT4, BT20). Структура таких сплавів представлена α -фазою і невеликою кількістю β -фази (до 5 %) або інтерметалідів [1,15]. Сплави практично не сприймають термічну обробку, що зміцнює.

Основою для створення промислових α -сплавів є система Ti–Al. Алюміній, за рідкісним виключенням, присутній практично у всіх сплавах титану. Тому ця система для титанових сплавів має таке саме значення, як система залізо–вуглець для сплавів на основі заліза. Алюміній є єдиним широко вживаним металом, що стабілізує α -фазу. Додавання алюмінію в кількості до 13 % дозволяє отримувати сплави з хорошою жароміцністю [16,17]. Крім того, алюміній знижує щільність сплавів і їх вартість.

В цілому α -сплави мають високу жароміцність. Такі сплави є термічно стабільними при тривалому нагріванні, добре чинять опір газовій корозії і зварюються. Проте пластичність сплавів цього класу і, отже, здатність до холодної деформації нижча, ніж у β -сплавів і титану технічної чистоти. α -сплави не зміцнюються термічною обробкою, що є істотним їх недоліком. Ці сплави піддають тільки відпалу для зняття напруги і нагартування.

$(\alpha+\beta)$ -сплави отримують легуванням титану елементами, що утворюють α -



і β -тверді розчини з різним співвідношенням цих фаз, і елементами, що розширюють температурну область фазових перетворень титану. Двофазна структура сплавів виникає при нагріванні під гартування і фіксується різким охолодженням. Термообробка ($\alpha+\beta$)-сплавів дозволяє помітно підвищити їх міцність при відносно невеликому погіршенні пластичності. Такі сплави мають обмежену зварюваність, після зварювання необхідна термообробка зварних швів [9,14,15,18].

Окрім алюмінію, найбільш важливими легуючими елементами титанових сплавів є ванадій і молібден. Система Ti–Al–V є основою більшості високоміцних титанових сплавів, а система Ti–Al–Mo є основою жароміцних титанових сплавів. Найбільш поширеним титановим сплавом загального призначення є розроблений Хансеном сплав, що містить 6 % Al і 4 % V, названий умовно сплавом 6-4. У виробництві титанових сплавів цей сплав зіграв таку саму роль, як дуралюміній у виробництві алюмінієвих сплавів. При виробництві титанових сплавів як легуючі компоненти, окрім Al, V, Mo, використовують також Cr, Mn, Fe, Cu, Sn, Zr, W і рідше Nb, Ta [8]. Для підвищення корозійної стійкості, зокрема в мінеральних кислотах, до чистого титану додають Pt і Pd.

До титанових сплавів мартенситного класу (BT6, BT16, BT3-1) відносять ($\alpha+\beta$)-сплави, що містять у стабільному стані від 5 % до 25 % β -фази і утворюють при різкому охолодженні з β -області мартенсит у вигляді α' - або α'' -фази [1].

До титанових сплавів перехідного класу (BT22, BT30) відносять сплави з ($\alpha+\beta$)-структурою. Такі сплави у стабільному стані містять від 25 % до 50 % β -фази, а при різкому охолодженні з температур β -області зберігають β -структуру, яка може в деяких умовах зазнавати ω -перетворення. Такі сплави мають високу гетерогенність структури (висока дисперсність суміші α - та β -фаз), відрізняються максимальним ефектом зміцнення під час термічної обробки, прожарюються у досить великих перерізах і не такі чутливі до якості структури, як титанові сплави мартенситного класу. Сплави перехідного класу доцільно застосовувати для виготовлення масивних великогабаритних поковок, штампувань та інших напівфабрикатів, для яких питання міцності, прожарювання та якості структури є найважливішими [7].

Псевдо- β -сплави (BT15, BT32, TC6) є високолегованими титановими сплавами, у яких загальний вміст легуючих елементів становить близько 20 %.



У структурі таких сплавів переважає β -фаза та наявна невелика кількість α -фази. Гартуванням цих сплавів або їх нормалізацією з β -області отримують однофазну β -структуру. Псевдо- β -сплави застосовують як болти та заклепки, отримані методом холодної висадки, пружини [2,3]. Оскільки термічною обробкою можна досягти високого рівня міцності, доцільно застосовувати псевдо- β -сплави у вигляді листів та фольги для стільникових панелей.

До β -сплавів відносять сплави, у структурі яких переважає твердий розчин на основі β -модифікації титану. Основними легуючими елементами є β -стабілізатори. До складу таких сплавів (наприклад, сплав 4201) майже завжди входить алюміній, який їх зміцнює. β -сплави завдяки кубічним решіткам легше піддаються холодній деформації, ніж α - і $(\alpha+\beta)$ -сплави. Ці сплави добре зміцнюються термообробкою, що полягає в гартуванні і старінні, задовільно зварюються. β -сплави мають достатньо високу жароміцність, проте при легуванні їх тільки β -стабілізаторами жароміцність зі зростанням температури вище 400 °С помітно знижується [8,18]. Опір повзучості і термічна стабільність сплавів цього класу нижчі, ніж у сплавів на основі α -твердого розчину.

Ливарні властивості сплавів залежать від величини їх температурного інтервалу кристалізації. Для промислових ливарних титанових сплавів ця величина не перевищує 50–70 °С, тому з ливарних титанових сплавів отримують складні за конфігурацією і тонкостінні виливки відповідального призначення. Титан і сплави на його основі мають хорошу рідкоплинність. Лінійна усадка їх складає 1,5 % під час лиття в керамічні форми і 2,0-2,3 % під час заливання в металеві форми. Об'ємна усадка при кристалізації не перевищує 3 %. Титанові сплави мають малу схильність до утворення усадкових тріщин. Міцнісні властивості ливарних титанових сплавів близькі до властивостей сплавів, що пройшли гарячу пластичну обробку. В той же час значення відносного подовження, відносного звуження, ударної в'язкості і характеристики втоми нижчі, ніж у деформівних сплавів.

За хімічним складом деформівні і ливарні сплави однакові. Відмінність полягає в тому, що в ливарних сплавах припустимий більший вміст домішок.

До конструкційних сплавів відносять нелегований титан (BT1-0), сплави потрібної системи Ti–Al–Mn (OT4) з гарантованою міцністю 500 МПа, 600 МПа і 700 МПа, сплави BT5-1 і BT20 з гарантованою міцністю 750 МПа і 950 МПа відповідно [7,8]. До високоміцних відносять сплави (BT6, BT14, BT16, BT22) з межею міцності понад 1000 МПа при кімнатній температурі. Всі вони,



окрім алюмінію, містять в своєму складі V або Mo і V. До жароміцних відносять сплави (BT3-1, BT9), леговані Al, Mo і Zr (або Cr). У групу сплавів зі спеціальними властивостями (корозійностійкі, для криогенних температур) входять сплави з Mo, Pd і сплави BT5-1 і BT6 підвищеної чистоти.

Сплави на основі інтерметалідів у недалекому майбутньому можуть створити ще один клас промислових титанових сплавів. В даний час відбуваються лабораторні та дослідно-промислові дослідження сплавів з «ефектом пам'яті» (відтворення форми) на основі еквіатомного інтерметаліду Ti-Ni (торгова марка «Нітінол») і високожароміцних сплавів на основі інтерметалідів Ti-Al (γ -фаза) та Ti_3Al (α'' -фаза) [19-22]. Ефект відтворення форми проявляється в тому, що матеріал нижче за певну температуру легко деформується, а після нагрівання відновлює свою вихідну форму. Під час відновлення форми в матеріалі генерується реактивна напруга, яка може виконувати роботу. На такому ефекті в даний час розроблено багато варіантів конструкцій, які виконують роль термомеханічних з'єднань (муфти для складання трубопроводів), термочутливих датчиків і виконавчих елементів (термостати, протипожежні системи), конструкцій, що трансформуються, медичних імплантатів та ін. Освоєння виробництва сплавів типу нітінол стримується необхідністю підтримувати хімічний склад сплавів у надзвичайно вузьких межах.

1.2. Особливості технологій виробництва титанових сплавів

При нагріванні на повітрі титан активно вступає у взаємодію зі всіма газами. Під час взаємодії з киснем на поверхні титану утворюється зовнішній щільний шар оксиду титану TiO_2 . Дифузія кисню в глиб титану спричинює утворення під шаром TiO_2 рихлого прошарку з TiO_2 і TiO та шару титану з підвищеним вмістом кисню, який називають газонасиченим. При кристалізації в системі Ti-O утворюється низка хімічних сполук: TiO , Ti_2O_3 , TiO_2 та ін. [16,17,23-25]. Зі збільшенням вмісту кисню підвищуються міцність і твердість титану, а ударна в'язкість, відносне подовження – різко зменшуються. У зв'язку з цим вміст кисню в титанових сплавах не має перевищувати 0,15–0,20 %. В межах до 0,2 % кожна сота частка відсотка кисню підвищує межу міцності на 12 МПа, твердість – на 40 МПа і знижує відносне подовження і відносне



звуження на 1–2 %.

Азот утворює з титаном розчини вкорінення, стабілізує α -фазу і зміцнює його. Кожна сота частка відсотка азоту підвищує межу міцності титану на 19,6 МПа і твердість – на 59 МПа. При вмісті 0,2 % азоту титан стає крихким [26].

Розчинення кисню і азоту в титані є необоротним процесом.

Вуглець з титаном утворює стійкий карбід TiC , підвищує температуру його поліморфного перетворення, і в області малих концентрацій кожна сота частка відсотка вуглецю збільшує межу міцності на 7 МПа і твердість – на 19 МПа.

Висока реакційна здатність, схильність до активної хімічної взаємодії з киснем, азотом, вуглецем і іншими елементами не дозволяють плавити титан і його сплави у звичайних металургійних печах. Титан необхідно плавити в умовах, що запобігають насиченню рідкого металу газами і іншими шкідливими домішками.

Висока температура плавлення титану (1668 ± 5 °C) в поєднанні з високою хімічною активністю створює великі труднощі під час плавлення і лиття сплавів на основі титану [14]. Для запобігання окрихлення титану внаслідок забруднення газами, плавлення і лиття проводять у високому вакуумі або в атмосфері інертного газу (Ar, He) високої чистоти, а також не припускають зіткнення металу з вогнетривкими матеріалами. Переважно використовують вакуумне плавлення при залишковому тиску в печі 1,33–0,13 Па [27].

В даний час розроблено декілька технологій виплавлення злитків титану та його сплавів, що запобігають забрудненню металу газами або вогнетривкими матеріалами та забезпечують виробництво більшості титанових сплавів: вакуумно-дугове переплавлення (ВДП); гарнісажне плавлення з електродом, що витрачається (ГРЕ); плавлення в електрошлаковій печі; плазово-дугове плавлення з холодним черенем; індукційне плавлення з секційним водоохолоджуванним тиглем; електронно-променеве плавлення та їх різновиди. Для більшості видів плавлення для формування злитка при плавленні титану застосовують водоохолоджуваний мідний кристалізатор, а під час гарнісажного плавлення – також графітовий тигель.

Основними промисловими технологіями виплавлення злитків титану в даний час є вакуумно-дугове переплавлення та електронно-променеве плавлення. В час вакуумно-дугових печах плавлення металу відбувається внаслідок «горіння» електричної дуги між розплавленим металом і електродом. Перебіг процесів плавлення і кристалізації злитків відбувається одночасно.



Спосіб гарнісажного плавлення дозволяє наплавляти рідкий метал відразу на весь злиток, фасонний виливок або заготовку, наприклад, електрод, що витрачається, для другого переплавлення. Під час плавлення на внутрішній поверхні плавильного тигля наявний шар твердого титану або «гарнісажу», з яким стикається розплавлений метал. Метал розплавляється електричною дугою в металевому або графітовому тиглі з титановим «гарнісажем», звідки рідкий титан зливається у форму, а гарнісаж або відокремлюють від металевого тигля і використовують під час подальшого плавлення як електрод, що витрачається, або залишають (наприклад, в графітовому тиглі) для захисту від забруднення вуглецем наступних плавок титану. Технологія гарнісажної плавки дозволяє переплавляти будь-яку кількість відходів, отриманий метал має високу однорідність, тугоплавкі включення «вмерзають» у гарнісаж і не переходять у злиток [27-29].

Для електрошлакового плавлення джерелом нагрівання є джоулева теплота, що виділяється при проходженні струму через шар флюсу (фториду кальцію), який є елементом опору. Процес відбувається за схемою електрода, що витрачається. Під час плавлення параметри процесу зручно регулювати, поверхня злитків виходить такою, що злитки можна використовувати для подальших переробок без обточування. Крім того, можна отримувати злитки плоского і квадратного перетину, що дуже зручно для прокатування.

Спосіб плазово-дугового плавлення дозволяє переплавити сипку шихту, що містить будь-яку кількості відходів. Як джерело теплоти в цьому процесі використовують потік йонізованого газу-плазми, що надходить у зону плавлення спеціальними пристроями – плазмотронами [30,31]. Під час плазового плавлення, що може здійснюватися також і за схемою електрода, який витрачається, підвищується безпека процесу, поверхня злитків поліпшується порівнянно з дуговим плавленням.

Спосіб індукційної плавлення передбачає використання графітового тигля. Весь метал, що переплавляють, знаходиться в розплавленому стані на відмінність, наприклад, від ВДП, при якому формування злитка з рідкої ванни металу в мідному водоохолоджуваному кристалізаторі відбувається поступово.

Щільний графіт є одним з тих небагатьох речовин, які витримують дію рідкого титану. Внаслідок взаємодії графіту з розплавленим титаном на поверхні графіту утворюється шар стійкого карбіду титану, який запобігає безпосередньому зіткненню розплавленого металу з графітом. Оскільки вуглець



переходить в титан тільки в результаті дифузії через шар карбіду, розчинення вуглецю в розплавленому титані відбувається повільно. У разі використання як тигель вогнетривких матеріалів титан ними забруднюється.

Окрім перелічених способів виплавлення титанових сплавів відбувається дослідно-промислове випробування нових технологій: індукційне плавлення з секційним водоохолоджуваням тиглем, дугошлакове переплавлення, дискове донне зливання (ДДЗ) та ін. [32-35].

1.3. Технології виплавлення титанових сплавів

Плавлення у вакуумно-дугових печах. Вакуумно-дугові печі є одними з основних електрометалургійних плавильних агрегатів, які застосовують у спеціальній металургії для виплавлення злитків високо реакційних і тугоплавких металів, зокрема титану.

Плавлення у вакуумі має істотну перевагу порівняно з плавленням у захисній атмосфері. Титанова губка містить деяку кількість домішок, зокрема летких: H_2 , $MgCl_2$, Mg , H_2O та ін. Процес видалення летких домішок під час плавлення відбувається значно швидше у вакуумі, ніж в нейтральному середовищі, оскільки тиск газу пригнічує процеси випаровування. Проте навіть у вакуумі домішки не видаляються повністю за одне переплавлення, тому злитки титанових сплавів обов'язково піддають другому переплавленню. Це дозволяє також для повніше усередити хімічний склад злитків, оскільки під час по одиночного переплавлення не забезпечується достатньо рівномірний розподіл легуючих компонентів у злитку.

Найбільшого поширення набула технологія виробництва злитків, що складається з приготування шихти, пресування електрода, що витрачається, першого вакуумно-дугового плавлення у водоохолоджуваному кристалізаторі, другого вакуумно-дугового плавлення в кристалізаторі більшого діаметру, механічної обробки злитків, контролю хімічного складу, механічних властивостей і наявності внутрішніх дефектів [14,26].

Шихта (суміш титанової губки, легуючих компонентів і зворотних відходів у заданих кількостях) після усереднювання формується в електроди, що витрачаються, на спеціальних пресах горизонтального або вертикального типу. Найкращі результати дає безперервний метод пресування на вертикальних



пресах, який забезпечує отримання одноріднішого у поперечному перетині і достатньо довгого електрода. Можливе отримання електродів, що витрачаються, діаметром 0,35–0,65 м.

Перше і друге переплавлення здійснюють в однакових за конструкцією печах, що розрізняються тільки розмірами кристалізатора і джерелами струму. Печі, що використовуються тепер в промисловості, дозволяють отримувати злитки першого переплавлення діаметром 0,56–0,85 м, завдовжки 2,0–2,6 м і масою 2,5–5,0 т. Діаметр злитків другого переплавлення дорівнює 6,5–9,5 м, маса близько 2,5–10 т. Для першого переплавлення використовують джерела з силою струму 25 кА, для другого – 37 кА [26].

Тенденція розвитку плавильного виробництва полягає в збільшенні маси злитків до 5–8 т [26,31]. Істотним недоліком цієї технології є обмежена можливість додавання відходів титанових сплавів в шихту (близько 30 %). Залучення відходів в більшій кількості зменшує міцність електродів, що витрачаються, і створює небезпеку їх руйнування під час транспортування і плавлення. Деякі пічні агрегати дозволяють під час плавлення з електродом, що витрачається, періодично додавати кускові відходи з бункера.

Висока активність щодо кисню і азоту повітря, а також практично до всіх вогнетривких матеріалів, зумовила створення спеціального вакуумного плавлення для отримання злитків.

Найбільш прийнятним виявилось плавлення дугою в металевій охолоджуваній формі – кристалізаторі. Під час плавлення на поверхні кристалізатора утворюється шар твердого металу, що не вступає у взаємодію з матеріалом форми. У практиці набули поширення два основні типи вакуумно-дугових печей: печі з електродом, що не витрачається (графітовим), і печі з електродом, що витрачається (титановим).

Під час плавлення з електродом, що не витрачається, титанову губку засипають в бункер, приєднаний до виливниці за допомогою патрубку. З бункера губку подають у виливницю, в зазор між електродотримачем і стінкою кристалізатора. У бункері розміщується дозатор, за допомогою якого витримується задане співвідношення між титаном і легуючими компонентами.

Як електрод зазвичай використовують графітовий стрижень, який під час плавлення не витрачається. Перед плавленням на дно виливниці засипають невелику кількість губки, електрод переміщається в нижнє положення до виникнення дугового розряду між електродом і піддоном. В міру плавлення



металу титанову губку і легуючі компоненти подають з бункера у виливницю. Злиток поступово наростає, а електрод піднімається вгору.

Отриманий у такий спосіб злиток має незадовільно проплавлену поверхню і нерівномірний хімічний склад, тому його потрібно переплавити вдруге за способом електрода, що витрачається. Однак спосіб ВДП в печі з електродом, що не витрачається, мало поширений внаслідок забруднення металу, що переплавлявся, матеріалом електрода. Тому отриманий злиток ще раз потрібно переплавляти методом ВДП з витратним електродом.

Сучасна технологічна схема виробництва злитків титанових сплавів складається з наступних основних операцій: підготовка шихти; пресування електродів, що витрачаються; перше переплавлення; обробка злитків першого переплавлення; друге переплавлення; механічна обробка злитків; контроль їх якості. Перевагою ВДП є можливість переплавлення титанових відходів.

Шихта для виплавлення злитків складається з губчастого титану, лігатур і легуючих елементів в чистому вигляді, відходів.

Додавання легуючих елементів у чистому вигляді або у вигляді лігатур визначається, в основному, можливістю їх розчинення в металі протягом плавлення. Лігатури вибирають так, щоб їх температура плавлення і щільність найбільшою мірою були близькі до відповідних показників титану.

У чистому вигляді застосовують наступні легуючі компоненти титанових сплавів: Al, Mn, Zr, Fe, Si, іноді Cr. У вигляді лігатур з алюмінієм додають V, Mo. Застосовують також комплексні лігатури, наприклад, для виплавлення сплаву ВТЗ-1, який містить у відповідній пропорції і інші легуючі елементи (Cr, Fe та ін.). Такі лігатури отримують алюмотермічним способом. Sn вводять у вигляді лігатури Al–Sn, яку виготовляють сплавленням чистих компонентів в індукційних печах.

До використання в шихті легуючі компоненти подрібнюють. Для подрібнення крихких металів і лігатур (Cr–Mn, Al–Mo, Al–V та ін.) застосовують щоківі або молоткові дробарки. Злитки (чушки) алюмінію та лігатури Al–Sn переводять у стружку на стругальних верстатах.

У шихті використовують такі види відходів: листові обрізки, кускові відходи від кованих або пресованих виробів, стружку. Заздалегідь відходи потрібно подрібнювати і видаляти з їх поверхні шар, що містить підвищену кількість газових домішок. Тому листові відходи заздалегідь протравлюють, подрібнюють на механічних ножицях і ексцентрикових пресах до розмірів



60x50 мм і потім знежирюють. Кускові відходи кують і рубують у нагрітому стані на куски розміром не більше 60x60x80 мм, а потім очищають у галтувальних барабанах для видалення шару оксидів.

Для переплавлення використовують стружку без видимих кольорів мінливості. Стружку подрібнюють для отримання фрагментів розміром до 70 мм і піддають магнітній сепарації для видалення уламків твёрдосплавних різців, що потрапляють у стружку під час токарної обробки титанових сплавів і, не розплавившись, можуть утворити в злитку включення.

При шихтуванні сплавів розраховують масу наважки легуючих компонентів і потрібну твердість губчастого титану, що забезпечує необхідну міцність сплаву. Розрахунок наважки легуючих компонентів, відповідно до їх вмісту в сплавах, виконують з урахуванням їх надходження з відходів і угару під час плавлення.

Для отримання електродів, що витрачаються, застосовують порційне пресування у прохідну конічну матрицю круглого перетину. Пресування проводять на потужних горизонтальних або вертикальних гідравлічних пресах. Переважно застосовують вертикальні преси, оскільки в цьому випадку розподіл компонентів шихти за горизонтальним і вертикальним перетином електродів більш рівномірний. Для зменшення зусиль пресування матрицю підігрівають до 250–300 °С. Для поєднання порцій шихти в електроді між собою передбачена фігурна поверхня торця прес-шайби.

Одною з основних умов отримання міцного електрода є досягнення достатнього питомого тиску пресування – близько 294–343 МПа, а в кінці циклу пресування – не менше 137 МПа [30].

Склад кожної порції пресування за співвідношенням компонентів має відповідати розрахунковому складу шихти. Розмір порції визначається діаметром пресованого електрода. За розрахунковими і практичними даними встановлено, що маса порції не має бути більше 1/2 маси ванни рідкого металу під час виплавлення злитка першого переплавлення. Дозування і подавання порції на пресування здійснюється зазвичай автоматичними пристроями.

Виплавлення злитків першого і другого переплавлення виконують у однотипних печах. Вакуумно-дугова піч складається з виливниці, піддону, електродотримача, робочої камери, вакуумної системи.

Найважливішою частиною печі є виливниця, в якій відбувається горіння дуги, плавлення електрода, кристалізація злитка. Вона складається з корпусу,



що виконується зазвичай з нержавіючої сталі, і кристалізатора – мідної труби круглого або квадратного перетину, що утворює внутрішню стінку виливниці. Воду для охолодження подають у виливницю під тиском в зазор між стінкою корпусу і кристалізатором. Висока теплопровідність і пластичність міді забезпечують тривалу роботу кристалізаторів в умовах великої термічної напруги, що виникає при безпосередній дії розплавленого металу і дугового розряду на кристалізатор.

Робоча частина водоохолоджуваного піддона також виготовляється з міді, оскільки в перший період плавки вона безпосередньо зазнає дію рідкого металу. Кришка і електродотримач сприймають тільки теплове випромінювання, тому схильні до менших теплових навантажень, їх зазвичай виготовляють зі сталі.

На корпус виливниці намотується соленоїд, що призначений для стабілізації дугового розряду і обертання рідкої ванни. Змінюючи струм на соленоїді, можна «стискати» або «розгортати» дугу, підсилювати або зменшувати обертання рідкої ванни.

Електродотримач призначений для вертикального переміщення електрода, що витрачається, в печі і подачі напруги на дугу. Його виготовляють зі сталі. Він складається з двох коаксіально розташованих труб, у внутрішню трубу подається вода для охолодження. Електродотримач вводять в робочий простір через кільцеве ущільнення в кришці. Знизу до зовнішньої труби приварений хвостовик з різьбою. На хвостовик нагвинчують титановий недогарок, який призначений для кріплення (приварювання) електрода, що витрачається.

Робоча камера призначена для розміщення частини електрода, що витрачається і зазвичай є довшим за кристалізатор, і для з'єднання кристалізатора з вакуумною системою. У верхній частині камери розташовані оглядові вікна, через які за допомогою перископів виконують візуальне спостереження під час плавлення. Камеру виготовляють з корозійностійкої сталі, вона витримує відносно невеликі теплові навантаження.

Вакуумна система складається з вакуумних насосів, вакуумпроводів, запірної арматури і приладів контролю. Система має забезпечувати швидке відкачування повітря з печі перед плавленням до тиску 13,3 Па і підтримувати під час плавлення тиск до 26,6 Па. Для відкачування використовують один або декілька механічних форвакуумних насосів типу ВН-6Г і механічних бустерних насосів типу 2ДВН-1500 або 2ДВН-3000.



Плавлення металу відбувається під дією теплоти, що виділяється електричною дугою, яка горить між електродом, що витрачається, і поверхнею ванни рідкого металу. Для плавлення титану використовують постійний струм: негативним полюсом є електрод, що витрачається, позитивним – злиток, що наплавляється. Як джерела живлення використовують машинні генератори або вентильні силіцієві випрямлячі. У сучасних промислових печах використовують силу струму до 37,5 кА при напрузі 30–80 В [28–30].

Плавлення злитків відбувається таким чином. Електрод, що витрачається, поміщають у піч і зварюють з недогарком. Далі, піднявши електрод, запалюють дугу між нижнім торцем електрода і піддоном. Під час виплавлення крупних злитків другого переплавлення на піддон кладуть темплет з того самого сплаву для захисту піддона від прямої дії дуги. Кінець електрода розігрівается дугою до температури, що перевищує температуру плавлення, на торці утворюються краплі рідкого металу. Коли маса краплі перевищить сили поверхневого натягнення, крапля відривається і падає на піддон. Поступово електрод подають вниз, а злиток наростає вгору, при цьому у верхній частині злитка утворюється ванна рідкого металу. Таким чином, одночасно відбуваються процеси плавлення і кристалізації злитка.

Протягом плавлення титанової губки відбувається перебіг таких основних фізико-хімічних процесів. На початку плавлення з пресованого електрода внаслідок його розігрівання видаляються вода і адсорбовані гази (N_2 , O_2). У зоні вищих температур, ближче до нижнього кінця електрода виділяються пари Mg і $MgCl_2$, які в основному конденсуються над розплавом на стінці кристалізатора і на електроді. Частина цієї пари захоплюється газами, що відходять до камери печі і до вакуумної системи.

Легколеткі легуючі компоненти поведуться аналогічно, з тією лише відмінністю, що їх випаровування відбувається в основному з поверхні рідкого металу на електроді і у ванні. На холодній стінці кристалізатора пари металів і солей конденсуються відповідно до значення тиску насиченої пари в такій послідовності: Al , Cr , Mn , Mg і $MgCl_2$.

Метал, що піднімається в кристалізаторі, покриває осаджений на стінці конденсат, частина його розчиняється у поверхневих шарах злитка, збагачуючи їх. Особливо помітно це явище у найбільш леткого легуючого компонента – Mn , вміст якого може підвищуватися у поверхневому шарі злитків першого переплавлення до 12–17 %.



Частина конденсату, нерозчинна в титані, залишається у вигляді включень і поверхневих плівок на злитку; частина перегрівається, проривається крізь розплавлений метал, розбризкуючи його. Бризки металу осідають на кристалізаторі і утворюють так звану «корону». Все це приводить до забруднення поверхні злитка і утворення на ньому кірки (шорсткої поверхні) з порами і раковинами.

Протягом плавлення важлива поведінка H_2 і натікаючих активних газів (N_2 , O_2). Розчинність H_2 в титані з підвищенням температури зменшується, тому найактивніше він видаляється з розплавленого шару на торці електрода. Основна частина його видаляється через вакуумну систему. Частина H_2 дифундує в холодніші частини витратного електрода і злитка, де розчинність його більша.

Натікаючі активні гази (N_2 , O_2) потрапляють у робочий простір печі крізь нещільності конструкції, переважно з верхньої частини. Вони незворотно вступають у взаємодію з рідким титаном, знижуючи якість злитків. Проте їх дифузії в зону плавлення перешкоджає зустрічний потік водню, тому правильно підібравши значення допустимого вакууму і натікання, можна створити такі умови, які забезпечать практично повну відсутність забруднення киснем і азотом протягом плавлення.

Описані вище фізико-хімічні процеси відбуваються і при другому переплавленні, але вони виявляються меншою мірою. Оскільки основна кількість домішок видаляється при першому переплавленні, тому в технології виробництва перше переплавлення є рафінувальним.

Злитки першого переплавлення вивантажують з печі гарячими (400–450 °C), очищують у проточній воді металевими щітками для видалення перегонів солей з їх поверхонь. Далі на токарному верстаті відрізають «корону».

Отримані злитки першого переплавлення зварюють один з одним позапічним аргано-дуговим зварюванням і використовують як електрод, що витрачається, для другого переплавлення. Останнім часом велике розповсюдження набуває технологія плавки «злиток у злиток», яка полягає у використанні для другого переплавлення одного довгого злитка першого переплавлення. Ця технологія виключає шкідливий вплив зварного шва, який приводить до утворення неоднорідності у злитках, що виплавляються.

Основним завданням другого переплавлення є отримання однорідного злитка з якісною поверхнею. Досягається це застосуванням значних щільностей



струму; підтримкою протягом плавлення невеликого тиску інертного газу (10–25 кПа), що особливо важливе для отримання однорідних злитків зі сплавів, що містять Mn; виведенням усадкової раковини зниження сили струму наприкінці плавлення.

Застосування вакууму і високих температур вимагає дотримання жорстких вимог обережності протягом процесу. Під час пропалювання водоохолоджуваних вузлів печі і надходження води у робочий простір рідкий титан реагує з нею, поглинаючи O_2 і виділяючи H_2 . У разі потрапляння в піч повітря через нещільності конструкції внаслідок різкого підвищення тиску, утвориться гримуча суміш і може відбутися вибух.

Злитки, що отримані дворазовим плавленням, обточують для видалення поверхневого шару, який має незлитини і пори. Механічну обробку виконують на токарних верстатах різцями з напайками твердого сплаву ВК8. Зону різання охолоджують стислим повітрям, щоб при подальшому використанні стружки у шихті її не доводилося знежирювати. Високоміцні сплави ВТ9, ВТ3-1, ВТ15 та ін. для зменшення зусиль при обточуванні обробляють в гарячому стані, безпосередньо після вивантаження з печі [26,28].

Контроль якості злитків складається з визначення хімічного складу виплавленого металу, випробування його механічних властивостей і ультразвукового контролю, що виявляє внутрішні дефекти у металі. Проби на хімічний аналіз у вигляді стружки відбирають з бічної поверхні та з торців злитків. Твердість визначають на бічній поверхні злитка за допомогою приладу Польді. При визначенні інших механічних властивостей від злитка відрізають темплет завтовшки 25–30 мм, з якого кують технологічні проби для виготовлення зразків на розрив і на ударну в'язкість.

Ультразвуковий контроль виявляє наявність несучільностей (усадкових раковин, пор) і сторонніх включень (частинки лігатур, що не проплавилися, уламки твердосплавних пластин). Дефектні частини злитків відрізають і направляють у відходи.

Вакуумно-дугова плавка з електродом, що витрачається, має низку істотних недоліків, основними з яких є:

- використання обмеженої кількості відходів у шихті внаслідок зниження міцності пресованих електродів при додаванні відходів понад 30 %;
- недостатня однорідність злитків і утворення в них тугоплавких дефектів у зв'язку з тим, що під час плавлення тільки мала частина злитка знаходиться в



рідкому стані;

- вибухонебезпека процесу;
- втрати металу під час обробки злитків, що пов'язані з недостатнім проплавленням поверхні.

Фасонно-ливарні вироби з титану та його сплавів отримують у вакуумно-дугових гарнісажних печах. Плавлення проводять з електродом, що витрачається. Метал наплавляють у тигель, з якого його потім виливають у форми з вогнетривких матеріалів.

Найбільше розповсюдження набули тиглі з графітовою футеровкою. Під час першого плавлення на поверхні тигля утворюється гарнісаж, який при подальших плавках захищає рідкий метал від зіткнення з графітом і насичення вуглецем. Застосовують також мідні водоохолоджувані тиглі і неохолоджувані масивні титанові тиглі.

Точні невеликі виливки з титанових сплавів виготовляють литтям за моделями, що виплавляються. Як матеріал форми використовують вуглеграфітні матеріали: оксид цирконію, корунд. Крупні виливки отримують литтям у магнезитові форми. Для виливок відносно простої конфігурації, що виготовляються крупними серіями, застосовують також металеві (сталеві) форми – кокілі.

У Росії розроблений процес отримання титанових виливок у відновному середовищі водню, що здійснюється у формах з воденьовмісним покриттям. В новому процесі не використовуються дефіцитні матеріалу, вдається значно підвищити якісні показники як самих виливок, так і литого металу. Джерелом водню є гідридні порошки титану, які розкладаються під дією теплоти виливок з виділенням водню. Розкладання гідридів титану, супроводжується поглинанням теплоти. Водень, що видаляється, на межі з виливком створює захисне середовище.

Оскільки печі для плавки титану є вибухонебезпечними агрегатами, тому для їх нормальної роботи слід ретельно дотримуватися вимог техніки безпеки.

Основною небезпекою під час вакуумно-дугового плавлення є пропалювання стінки кристалізатора електричною дугою. Це приводить до надходження води в плавильний простір, її взаємодії з рідким або розжареним титаном з утворенням водню (кисень води поглинається титаном). Проте сам водень ще не спричиняє вибуху. Якщо ж внаслідок бурхливого паротворення в стінці водоохолоджуваного кристалізатора або в інших місцях (плавильній



камері, піддоні, гумових вакуумних ущільненнях) з'являються розриви або нещільності, тріщини і через них в піч проникає повітря, то утворюється гримуча суміш (джерелом теплоти є рідкий або розжарений титан), при вибуху якої може бути зруйнована вся піч, оскільки тиск вибухової хвилі може досягати понад 1000 МПа.

Для забезпечення безпечної роботи обслуговуючого персоналу на випадок пропалювання і можливого вибуху, печі для плавлення титану розташовують в броньових камерах і оснащують запобіжними зворотними клапанами для випускання газів при підвищенні тиску в плавильному просторі, а сам процес плавлення автоматизують, щоб не допустити переміщення дуги на стінку кристалізатора.

Вивчення вибухів дугових печей показало, що не завжди їх спричинює пропалювання стінки кристалізатора. Недостатня подача води або припинення подачі її в охолоджувальну сорочку (кесон кристалізатора) може спричинити розплавлення мідного кристалізатора. Причиною вибуху може бути потрапляння в піч мастила з вакуумних насосів при їх випадковій зупинці (відключенні), а також проникнення вуглеводневої пари внаслідок розкладання гумових ущільнень під впливом місцевого перегрівання. На випадок раптової зупинки вакуумних насосів на вакуумпроводах встановлюють запобіжні клапани, які запобігають попаданню вакуумного мастила з насоса в піч.

Вибухонебезпечну суміш з повітрям можуть утворювати пилоподібні осадження титану і магнію, що утворюються під час плавлення внаслідок конденсації їх пари на внутрішніх холодних поверхнях кристалізатора і вакуумної камери. Щоб уникнути цього розкривання печі після чергового плавлення проводять з операцією повільного (невеликими порціями) випускання повітря в піч. Внаслідок цього відбувається поступове окиснення дисперсних перегонів титану і магнію киснем повітря.

За останні роки здійснений цілий комплекс технічних заходів, який дозволив практично повністю виключити випадки вибухів вакуумно-дугових печей для виплавлення титану. Основними з них є надійна автоматика, що управляє електричною дугою, оригінальна конструкція соленоїдів, надійне і інтенсивне охолодження кристалізатора водою, установка на печах вакуум-насосів, що мають високу швидкість відкачування, продуктивність яких зростає з підвищенням тиску у відкачуваному просторі та ін.

Технологія ВДП характеризується широкими технологічними



можливостями за значно менших витрат на виробництво сплавів порівняно з електронно-променевим плавленням.

Плавлення в печі з гарнісажем. Гарнісажне плавлення титану відрізняється від ВДП тим, що зона плавлення відокремлена від зони кристалізації злитка. Метал наплавляється в графітовому або водоохолоджуваному тиглі. Для виключення взаємодії розплавленого металу з матеріалом тигля процес здійснюється таким чином, що зі стінками форми завжди стикається гарнісаж – кірка титану і його сплаву, що затвердів на внутрішній поверхні стінки тигля.

Впровадження гарнісажного плавлення дозволяє відливати злитки різної форми перетину, забезпечує кращу гомогенність складу сплаву. Запобігання надходженню в злиток тугоплавких включень дає можливість вводити у шихту значну кількість відходів без трудомісткого їх подрібнення. Теплота від дуги у печах такого типу забезпечує отримання високогогомогенних злитків навіть таких складних у литті сплавів, як $Ti + 3 \% Mo$; $Ti + 5,5 \% Ni$ та ін. [14,26,31].

Особливістю конструкції вакуумно-дугової гарнісажної печі для плавлення титану ємкістю 600 кг є те, що заливальна камера в період заливання обертається навколо своєї осі. Електрод, що витрачається, плавиться у водоохолоджуваному тиглі, футерованому графітовими плитами. Подача електрода здійснюється вантажо-підйомником, плунжер якого жорстко закріплений на каркасі, а циліндр змонтований усередині електродотримача. Рідкий метал з тигля зливається шляхом нахилу плавильної камери відносно осі в лоток, по лотку передається в заливальну камеру і через воронку – у виливницю, яка встановлена на піддоні на столі, що обертається.

Основними напрямками розвитку гарнісажного плавлення є фасонне лиття, фасонно-заготовче лиття (кільцеві і трубні заготовки для подальших розкочування, штампування, пресування), заготовче лиття складних форм для прокатування і пресування.

Найбільш ефективним вважається спосіб гарнісажного плавлення з використанням як електрод, що витрачається, гарнісажу, який утворився при попередньому плавленні в тому самому тиглі. Такий спосіб не вимагає спеціального приготування електрода, що витрачається, окрім первинного плавлення. Як шихту для плавлення можна використовувати брикети, стружку і куски довільної форми, розміри яких не перевищують габаритних розмірів робочого простору тигля. Плавлення електрода-гарнісажу, що витрачається,



здійснюється електричною дугою постійного струму у вакуумі або у середовищі нейтрального газу. Після закінчення плавлення потрібна частина розплаву зливається у виливницю; гарнісаж з затверділими залишками металу, що не злився, витягується з тигля і використовується як електрод, що витрачається, при наступному плавленні даного сплаву. При масовому виробництві застосовують змінний гарнісаж, спеціалізований за найбільш розповсюдженими сплавам або групам сплавів, що виключає брак за хімічним складом при оплавленні гарнісажу протягом кожного плавлення.

Печі гарнісажного типу застосовують для фасонного лиття різних виливоч з титану з достатньо високими коефіцієнтами використання металу і необроблюваною поверхнею, тобто виливоч з максимально наближеною формою і геометричними розмірами до готової деталі. Ванну рідкого металу наплавають в графітовому тиглі з гарнісажем із титану. Розплавлений метал зливають в заздалегідь зібрану і встановлену заливальну камеру – форму. Установки такого типу дозволяють отримувати виливки масою в декілька десятків кілограмів. Цим способом відливають корпуси відцентрових насосів, вентилів і засувоч, робочі колеса насосів та інші вироби [26,27].

Гарнісажне плавлення є оптимальною технологією першого переплавлення, проте висока швидкість заповнення форми не забезпечує отримання крупних злитків без усадкових раковин і ликвационної неоднорідності. Такі злитки не використовуються безпосередньо для обробки тиском. Для другого переплавлення, крім існуючого процесу дугового плавлення з електродом, що витрачається, дуже перспективним є електрошлакове переплавлення або безперервне лиття з розплавленням електрода плазмою або електронним променем.

Плавлення в електрошлаковій печі. Електрошлакове переплавлення (ЕШП) є найбільш поширеною технологією отримання злитків. Процес ЕШП характеризується певними параметрами електричного режиму, співвідношеннями між діаметрами електрода і кристалізатора які впливають на якість рафінування металу і кристалізацію злитка. Процес ЕШП є циклічним, складається з періодів простою між плавленнями, наведення шлакової ванни, переплавлення електрода, виведення усадкової раковини та охолодження злитка. Особливістю цього процесу є короткочасність контактування металу з рафінувальним середовищем.

Під час ЕШП прогрівання розплавленого шлаку CaF_2 електричним



струмом над поверхнею металу в кристалізаторі дозволяє перегрівати метал вище за температуру його плавлення. При цьому вирівнюється теплове поле по поверхні металу, заглиблюється ванна рідкого металу, що покращує однорідність злитка. Як електроди, що витрачаються, використовують литі злитки або штанги діаметром близько 0,22 м і завдовжки 2,30 м [14,26,31].

Способом ЕШП можливо отримання злитки прямокутного перетину, що зручно для подальшого прокатування. Головним недоліком ЕШП є відсутність дегазації металу під час плавлення. Тому цей спосіб доцільно використовувати у поєднанні з одним зі способів першого переплавлення у вакуумі, що забезпечує достатньо повне видалення водню.

У стадії розробки знаходиться один з різновидів ЕШП – індукційне електрошлакове плавлення в мідному кристалізаторі, яке дозволяє отримувати однорідний метал і використовувати необмежену кількість кондиційних відходів. Роль гарнісажу в цьому випадку виконує шлаковий прошарок.

Плазмово-дугове плавлення. Використання методу плазмово-дугового плавлення (ПДП) у плазмотронах для переплавлення титану привертає стабільністю газового розряду, можливістю регулювати потужність та отримати високі температури, великою концентрацією енергії, підвищеною вибухобезпечністю процесу. Як газ, що утворює плазму, використовують аргон [26,31,36].

У плазмовій печі з водоохолоджуванним кристалізатором заготовку для переплавлення подають зі сталою швидкістю та оплавляють однією чи кількома плазмовими дугами, анодом для яких є поверхня ванни рідкого металу. Стікаючи із витратної заготовки рівномірними краплями, метал прогрівається дугою і розтікається по поверхні ванни. Плазмові струмені кожного плазмотрона спрямовані на ванну рідкого металу. Витратна заготовка подається механізмом вниз з обертанням навколо власної осі. Плазмотрони розміщують радіально навколо витратної заготовки і вони можуть переміщуватися за допомогою спеціального механізму. Це зумовлює реактивне обертання металу ванни та рівномірніший розподіл температури по її поверхні. Використання кількох плазмотронів дає змогу розосередити теплове навантаження і регулювати нагрівання різних ділянок ванни рідкого металу. Метал рафінується і, тверднучи завдяки холодним стінкам кристалізатора, витягується з нього зі встановленою сталою швидкістю у вигляді безперервного злитка круглого або прямокутного перерізів. Метал злитка характеризується високою щільністю,



структурною та хімічною однорідністю. За такого плавлення повністю виключається контактування рідкого металу з матеріалом тигля та його забруднення.

Недоліками плазових печей є обмежена дегазація під час плавлення і можливість забруднення титану домішками, що містяться в газі, що утворює плазму. Тому великий інтерес для виплавлення титанових сплавів має вакуумне ПДП, яке порівняно з ВДП забезпечує регулювання швидкості плавлення, можливість переплавлення некомпактної кускової шихти та використання простішого вакуумного устаткування і низьковольтних джерел струму.

Використання плазових печей перспективно для плавлення відходів титанових сплавів. Плавлення здійснюють у водоохолоджуваному мідному кристалізаторі з витягуванням злитка. Так, на заводі в м. Кантон (штат Огайо, США) для ПДП титанових відходів використовують плазові печі фірм Galt Alloy та RMI з річною продуктивністю 3,2 тис. т [30].

Індукційне плавлення. На ранній стадії розвитку виробництва титанових сплавів значного поширення набув спосіб плавлення у вакуумних індукційних печах. Як вогнетривкий матеріал для виготовлення тиглів використовували міцний високоякісний графіт. Вакуум або атмосфера інертного газу (найчастіше Ar) досить надійно оберігали метал від взаємодії з киснем і азотом повітря. Проте метал в процесі плавлення сильно насичувався вуглецем (0,7-2,0 %). Такий титан і сплави на його основі практично повністю втрачали пластичність і в литому стані нагадували чавун. Куванням вдавалося лише трохи поліпшити їх властивості.

Новий метод індукційного плавлення в печі з секційним водоохолоджуваним тиглем використовують для виплавлення складнолегованих сплавів на основі титану та його інтерметалідів (TiAl, TiNi) [32]. Плавлення рекомендується проводити у декілька етапів з поступовим підвищенням потужності до 300 кВт для забезпечення інтенсивного перемішування розплаву.

Тигель виготовлений з матеріалу з високою тепло- та електропровідністю і є сегментованим – розділеним на вертикальні, електрично ізольовані одна від одною секції. Кожна секція має систему водяного охолодження, що складається з одного або двох каналів, якими прокачується вода з температурою до 100 °С.

Така конструкція тигля та використання електромагнітного силового впливу, створеного змінним струмом в індукторі, дозволяють мінімізувати



зіткнення розплаву зі стінками холодного тигля і сприяють досягненню високої чистоти виготовленого сплаву.

Технологія, заснована на застосуванні «холодного» тигля, найчастіше є єдиною для виплавлення металу із заданими властивостями, складом і чистотою або для отримання сплаву металів, які не піддаються змішуванню при застосуванні інших технологій. Таким, наприклад, є сплав TiAl, що застосовується в масовому виробництві клапанів для двигунів автомобілів BMW.

Електронно-променеве плавлення. Суть електронно-променевого плавлення (ЕПП) полягає в горизонтальній подачі заготовки, що витрачається, із заданою швидкістю в зону плавки, її плавлення електронними променями над проміжною ємкістю. В міру наповнення проміжної ємкості рідкий метал зливають у кристалізатор, де відбувається формування злитка необхідної довжини [31,37].

Під час ЕПП потужність електронних променів витрачається на оплавлення торця заготовки, що переплавляється, і на підтримку в кристалізаторі ванни рідкого металу. Теплове поле, що встановлюється на поверхні рідкої ванни металу в кристалізаторі, є в основному наслідком розподілу потужності електронних променів. Дослідженням розподілу потужності електронного променя для систем з кільцевим катодом виявлено відносно “холодну” середину і “гарячі” краї ванни. У системах з чотирма аксіальними гарматами досягається досить велике розігрівання центральної зони ванни і в той же час є зони з низькою температурою на краях ванни. У системах з трьома плоскопроменевими гарматами виявлено також нерівномірність нагріву поверхні рідкої ванни металу. Тому найбільш рівномірного розподілу потужності, а отже, і температури, можна досягти за допомогою багатогарматних електронно-променевих нагрівачів [37-40].

При програмованому керуванні променем енергія розподіляється рівномірніше, завдяки чому в певних умовах уникають нерівномірності температурного поля. Під час плавлення в кристалізатор діаметром 0,23 м порівнянням температурних полів при круговому і програмному веденні променя виявлено відносно високу нерівномірність в розподілі енергії при круговій розгортці з частотою 50 Гц. Для підтримання оптимального теплового режиму ЕПП з рівномірним нагріванням поверхні ванни і мінімальним угаром нагрівання слід здійснювати розгорткою променів з частотою більше 100 Гц.



Електронно-промене́ве виплавлення титанових сплавів в останні роки набуло промислового використання. Технологія цього способу в даний час є найбільш перспективним процесом отримання злитків титану та його сплавів. До її переваг відноситься висока ефективність рафінування, зумовлена високим вакуумом в камері електронно-променевої установки. Незалежне джерело теплоти під час плавлення дає можливість в широких межах регулювати швидкість плавлення злитка і, відповідно, тривалість перебування металу в рідкому стані. Як шихтові матеріали можна використовувати титанову губку різних фракцій, яка, на відміну від технології ВДП, не вимагає попереднього пресування в електрод, що витрачається, а також можна використовувати грудкові відходи титанового виробництва. Як шихтову заготовку, що витрачається, можна використовувати насипні шихтові матеріали (брухт, губчасті напівфабрикати), цілісні зварні заготовки для отримання титанового сплаву.

Після завантаження шихтової заготовки установку вакуумують до залишкового тиску 0,10-0,01 Па, потрібного для стійкої роботи електронно-променевих гармат. Далі заготовку сплавляють в проміжну ємкість до її заповнення і періодично зливають рідкий метал в кристалізатор. В процесі плавлення застосовують кристалізатор і циліндрової, і прямокутної форми, оснащений піддоном з поглибленням у вигляді «ластівчиного хвоста» або із заздалегідь встановленими «заставами», що вертикально переміщується.

Першими порціями зливу формують затравку майбутнього злитка до висоти, рівної внутрішньому діаметру кристалізатора, на якій процес переходить в квазістаціонарний режим. Потім на досягнутому технологічному режимі виплавляють злиток потрібної висоти. Обігрівання злитка в кристалізаторі проводиться скануванням по його поверхні променя однієї або декількох електронних гармат. Після плавлення злиток знаходиться в камері в умовах вакууму до повного його охолодження.

Для плавлення титану без спеціальної попередньої підготовки (наприклад, пресування) з отриманням великогабаритних злитків масою 3 т і розмірами 0,245x1,125x0,245 м, а також масою до 10 т застосовують електронно-променеві плавильні агрегати [38,39]. Такі агрегати дозволяють отримати придатні злитки під час одноразового плавлення, оскільки первинне і вторинне плавлення можна проводити в безперервному режимі за допомогою електронних гармат, що встановлюються на черевній частині та під тиглем. За



даною технологією отримують плоскі злитки, готові для безпосереднього прокатування.

Магнітокероване електрошлакове плавлення (МЕП) призначено для виробництва круглих і плоских злитків багатокомпонентних високоміцних і жароміцних сплавів титану. Відмітними особливостями технології магнітокерованої електрошлакового плавлення, порівнянно з традиційним ВДП, є використання хімічно активної шлакової ванни і електромагнітного управління рухом розплаву в шлаковій і металевій ваннах, а також захист металургійної ванни і електрода, що витрачається, камерою з інертним газом від взаємодії металу зі шкідливими атмосферними газами.

Технологія МЕП економічно ефективніше за технологію ВДП. Це пов'язано з дешевшим устаткуванням технології МЕП, ніж ВДП і меншою кількістю повторних переплавлень металу при технології МЕП. Новизною і основними перевагами технології МЕП, порівнянно з традиційними технологіями плавлення, зокрема, з ВДП, є те, що така технологія забезпечує у 1,5-2,0 рази вищий експлуатаційний ресурс титанових сплавів завдяки таким перевагам: дрібнозерниста структура злитків, аналогічна структурі поковок; висока хімічна і фізична однорідність металу; малий вміст шкідливих домішок (атмосферних газів) в металі; щільний метал, повна відсутність пор і шкідливих включень; жароміцні сплави технології МЕП з інтерметалідним зміцненням зберігають жароміцність при температурах 750-800 °С.

Багатокомпонентні високоміцні і жароміцні сплави, що отримані за технологію МЕП, призначені для виготовлення деталей і вузлів, які працюють в умовах складних знакозмінних навантажень при нагріванні до температур 700-750 °С [7,29,31]. Найбільш ефективно використання жароміцних сплавів з інтерметалідним типом зміцнення при виготовленні лопаток, дисків і інших деталей газотурбінних авіадвигунів. В той же час високоресурсні сплави можуть бути успішно використані в силових вузлах літаків. В даний час технологія магнітокерованого електрошлакового плавлення набула промислового використання в авіаційному моторобудуванні.



Висновки

1. Потребу цивільних галузей промисловості в титанових виробках можна задовольнити зниженням витрат за виробництво сплавів створенням нових сплавів методом економного легування, вдосконаленням існуючих та запровадженням нових технологій отримання титанових сплавів, злитків і виробів.

2. Поліморфізм титану є основою класифікації титанових сплавів за структурним принципом. Легування титану впливає на структуру титанових сплавів, їх фізико-механічні властивості, визначає вибір технології термічної обробки і напрями подальшого застосування виробів з них.

3. Сплави на основі інтерметалідів титану можуть створити у недалекому майбутньому новий клас промислових титанових сплавів. Практичне освоєння виробництва сплавів типу нітінол стримується необхідністю підтримувати хімічний склад сплавів у надзвичайно вузьких межах.

4. Для виплавлення складнолегованих сплавів на основі титану та його інтерметалідів опрацьовуються нові технології: індукційне плавлення в печі з секційним водоохолодженням тиглем, дугошлакове переплавлення та ін.



KAPITEL 2 / CHAPTER 2²

BATTERY HEAT FLUX TRANSDUCERS FOR CONDUCTIVE CALORIMETRY

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-014

Вступ

Більшість фізичних, хімічних, біологічних або інших процесів, пов'язаних з перетворенням одних видів енергії в інші, супроводжуються виділенням або поглинанням теплоти. Тому інформація про значення параметрів теплових ефектів та про тепловий характер перебігу процесу є однією з основних як для наукових досліджень, так і для оптимізації або контролю виробничих процесів. Впровадження нових нетрадиційних видів палива, створення і дослідження нових матеріалів, вдосконалення теплотехнологій потребує широкого впровадження калориметричних методів вимірювання, тобто методів визначення теплоти, що виділяється або поглинається у досліджуваному процесі. Історія калориметрії налічує два з половиною століття, проте ця галузь вимірювальної техніки продовжує активно розвиватись. У другій половині 20 століття з'явилися і досі активно розвиваються методи і прилади диференціальної сканувальної калориметрії (ДСК), в останні роки створені калориметри на мікросіпах, у тому числі і високошвидкісні нанокалориметри. В той же час дослідження неомогенних природних і штучних речовин та матеріалів, реакцій і процесів з інтенсивним тепловиділенням, а також живих біологічних об'єктів спонукають до створення калориметрів з високим об'ємом комірок і реакційних посудин та розширеним діапазоном вимірювання.

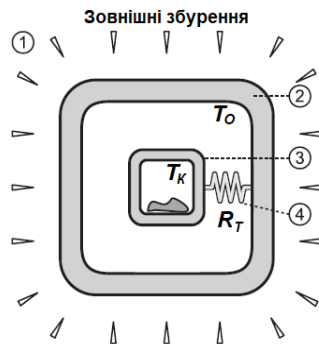
2.1. Структура та принцип дії кондуктивних калориметрів

В цій роботі увага зосереджена на групі калориметрів, дія яких заснована на вимірюванні локальної різниці температури, що отримали назви «калориметр типу Тіана-Кальве», «кондуктивний калориметр», «калориметр теплового потоку» або «теплопровідний калориметр» [1...5]. До них відносяться не тільки прилади, в яких досліджуваний зразок пасивно виділяє або поглинає теплоту, але і калориметри, де між речовинами протікає хімічна реакція. На рисунку 1

²Authors: Vorobiov Leonid Yosypovych, Dekusha Leonid Vasylovych, Gryshchenko Tetiana Georgievna



наведена умовна теплова схема кондуктивного калориметру (теплового потоку) [2].



- 1 - навколишнє середовище;
- 2 - калориметрична оболонка з температурою T_O ;
- 3 - калориметрична комірка (посудина) з температурою T_K ;
- 4 - тепловий опір R_T

Рисунок 1 – Умовна теплова схема кондуктивного калориметру (теплового потоку) [2].

У кондуктивному калориметрі (див. рис. 1) між коміркою і термостатом розміщують речовини або елемент з відомим тепловим опором R_T , так званий теплопровідник. Кількість теплоти, що виділяється в одиницю часу, тобто тепловий потік від комірки до термостата W_q , визначають по результату вимірювання різниці температури між ними ΔT за формулою:

$$W_q = R_T \cdot \Delta T . \quad (1)$$

Загальна кількість теплоти, що виділяється при реакції за проміжок часу $(t_k - t_n)$ від початку до кінця експерименту, знаходиться інтегруванням за формулою:

$$Q = \int_{t_n}^{t_k} W_q(t) \cdot dt . \quad (2)$$

У кондуктивному калориметрі для зменшення впливу зовнішніх теплових впливів також застосовують диференціальні схеми з двома ідентичним калориметричними (вимірювальними) комірками, вмонтованими в загальний термостатований корпус (блок) [1...5].

2.2. Огляд перетворювачів (сенсорів) кондуктивних калориметрів

Основним елементом будь-якого кондуктивного калориметра є перетворювач (сенсор, вимірювач) теплового потоку. Такий перетворювач



часто є батареєю термопар (термоелектричних перетворювачів, елементів, сенсорів). Термопара є широко вживаним перетворювачем температури, особливо зручним для вимірювань різниці значень температури точок, рознесених у просторі. Для виготовлення термопар використовують різноманітні пари термоелектричних матеріалів – чисті метали, сплави, напівпровідники [3, 4, 6, 7]. У кондуктивних калориметрах для збільшення чутливості термопари підключають послідовно за електричним сигналом та паралельно за тепловим потоком, тобто гарячі спаї – на поверхні комірки, а холодні – на поверхні термостатованого блоку. Така батарея термопар одночасно є чутливим елементом калориметра і елементом, який забезпечує стабільний тепловий зв'язок між коміркою і термостатованим блоком.

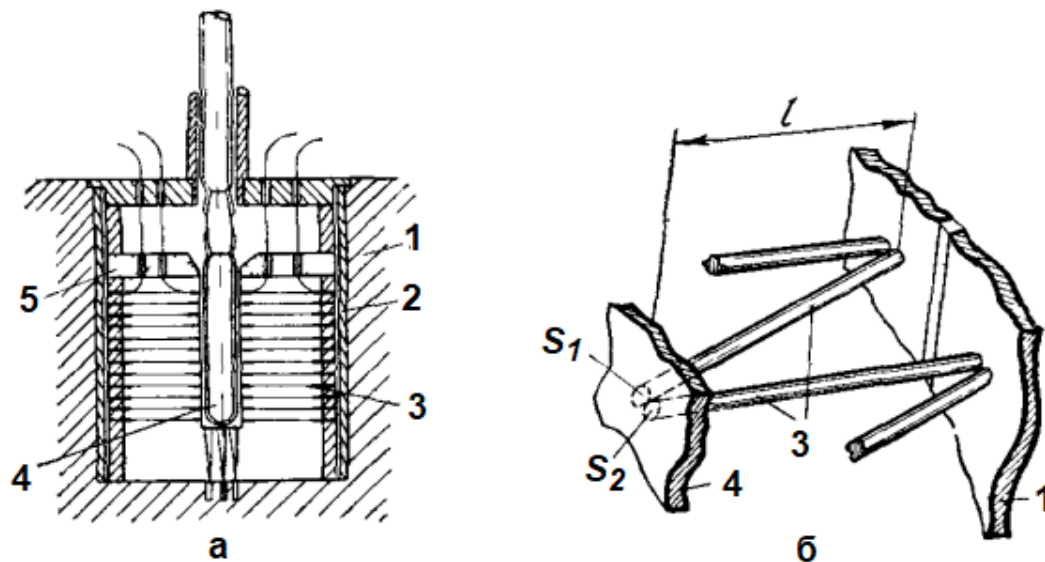
Тепловий опір батареї термопар суттєво впливає на метрологічні і динамічні характеристики калориметра. Зазвичай, чим більший тепловий опір, тим більша чутливість приладу. Однак, з іншої сторони, стала часу калориметра приблизно дорівнює добутку теплоємності комірки з реакційною посудиною і зразком на тепловий опір батареї термопар, тобто збільшення опору призводить до збільшення сталої часу і динамічних похибок.

Нижче представлені різні конструкції і варіанти монтажу термобатарей, широко застосовуваних у калориметрах.

Перші перетворювачі у кондуктивних калориметрах Тіана-Кальве [1...5] представляли собою термопарні батареї, спаї якої встановлені безпосередньо на зовнішній поверхні калориметричної комірки (реакційному патроні) та внутрішній стінці циліндричної порожнини масивного термостатованого блоку або між двома калориметричними комірками (рисунк 2). Спаї термопар індивідуально монтувалися на поверхнях теплових колекторів (рисунк 3). Зварні термопари і батареї термопар побудовані на використанні ефекту Зеєбека і дуже зручні для вимірювання різниці температур.

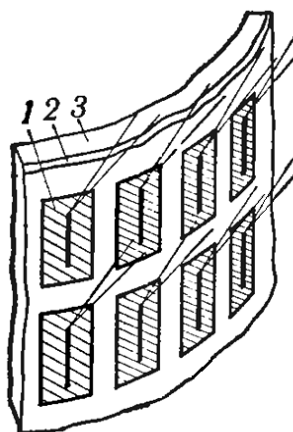
Кальве [5] запропонував розташовувати термопари навколо калориметричної комірки таким чином, щоб вся її поверхня була покрита спаями. У цих умовах ТЕДС термобатарей пропорційна загальному тепловому потоку, що виходить від комірки.

Матеріал термопар хромель - алюмель, хромель – копель, залізо – константан, діаметр гілок 0,2...0,8 мм, довжина ~ 30 мм, кількість термопар – близько 1000 [5]. Такі перетворювачі низько технологічні та трудомісткі.



1 – термостатований блок; 2, 5 – елементи конструкції; 3 – гілки термопар; 4 – реакційна камера.

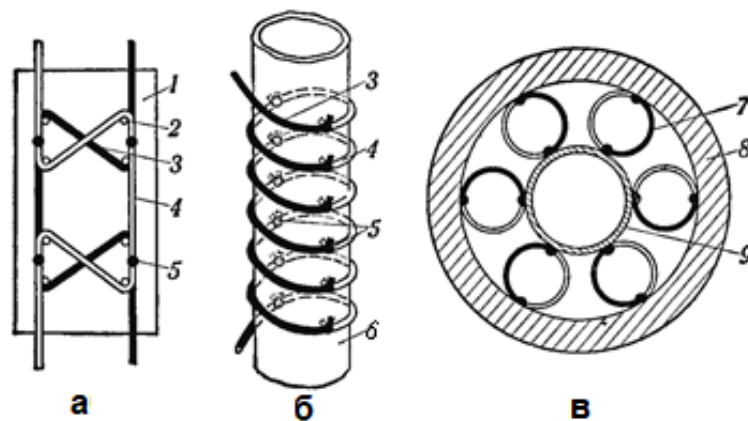
Рисунок 2 - Типова схема розміщення термопарного перетворювача (а) та варіант конструкції термопари (б).



*1 – тепловий колектор;
2 – електрична ізоляція;
3 – тонкостінний реакційний патрон (комірка)*

Рисунок 3 - Монтаж термобатареї до реакційного патрону (комірки).

Безкаркасні перетворювачі створюють і на основі спіральних циліндричних термобатарей зі зварними напіввитками. Кожен напіввиток є гілкою термопари (рисунок 4) [4]. При виготовленні такого перетворювача попередньо на шаблоні виготовляють дротяний ланцюг з послідовно з'єднаних відрізків термопари (див. рис. 4а). Потім дріт намотують на циліндричний накачаний повітрям гумовий патрон так, щоб спаї розташовувалися на двох діаметрально протилежних твірних лініях циліндру (див. рис. 4б). Отримані таким чином термобатареї вклеюють в вимірювальну комірку епоксидною смолою, після полімеризації якої патрон видаляється (див. рис. 4в). [4].



1 - плита; 2 - стрижні; 3, 4 - дротяні термоелектроди;
 5 - спаї термопар; 6 - гумовий патрон; 7 - секція термобатареї; 8 -
 зовнішній термостатований корпус; 9 - реакційна камера (комірка)
 а - пристрій для виготовлення спіральної термобатареї;
 б - спіральна термобатарея на гумовому патроні;
 в - термобатарея в вимірю-котельної осередку

Рисунок 4 - Безкаркасна спіральна термобатарея

Іноді для монтажу термобатарей використовують різні додаткові елементи конструкції, які забезпечують надійний тепловий контакт і одночасно електричну ізоляцію спаїв. Для цієї мети використовують обжині кільця, пластини, каркаси. На рисунку 5 показані термобатареї, змонтовані на поверхнях циліндричних комірок (а), на прямокутному каркасі з тefлону (б) і на кільцевому каркасі (в) [3, 4].

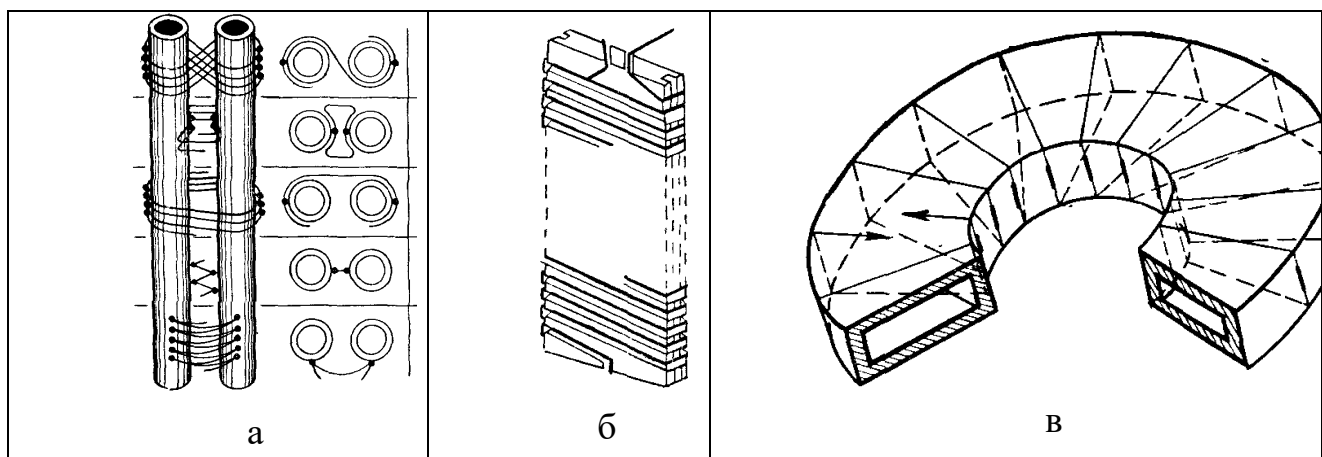


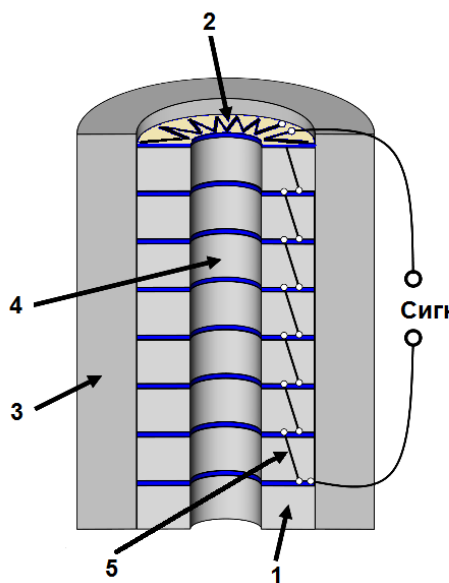
Рисунок 5 - Варіанти монтажу дротяних термобатарей у кондуктивних калориметрах – безкаркасного (а) та каркасного (б, в).



Наприклад, для мініатюрного диференціального калориметра (див. рис. 5а), одна з двох батарей термоелементів (наприклад хромель-константових) вмонтована між комірками, а інша охоплює їх зовнішні поверхні [4]. Для подолання труднощів низькотехнологічної по-елементної збірки термобатарей у калориметрах розроблені різні варіанти батарей галетного типу, які можуть бути виконані на прямокутному (див. рис. 5б) або кільцевому несучому каркасі (див. рис. 5в) з електроізоляційного матеріалу. При цьому внутрішня циліндрична поверхня контактує з реакційної камерою, а зовнішня - з термостатованим блоком. Матеріал каркаса вибирається по можливості мінімальної теплопровідності і з достатньою механічною і термічною міцністю [3, 4].

Сучасним методом виготовлення каркасних перетворювачів для кондуктивних калориметричних приладів є застосування технології спільного обжигу низькотемпературної кераміки (LTCC – Low Temperature Co-fired Ceramics) [8, 9]. Циліндрична калориметрична комірка оточена кількома керамічними кільцевими каркасами (рис. 6) на плоскій поверхні яких «надруковані» батареї термопар у яких «гарячі» спаї наближені до комірки, а «холодні» - до оточуючого теплорозсіювального корпусу. Батареї всіх дискових каркасів послідовно з'єднані між собою перемичками, для яких передбачені канали у дисках. Низькотемпературна кераміка створюється на основі кристалізованого скла або суміші скла та кераміки (Al_2O_3 , SiO_2 , PbO і т. д.). Для нанесення провідних елементів термопар і з'єднань застосовують електропровідні пасти, сумісні з низькотемпературної керамікою. Провідні пасти легко наносяться трафаретним друком, що дозволяє отримувати топологію з високою роздільною здатністю. При спільному обжигу важливими параметрами металізації є усадка і теплове розширення матеріалів, які повинні бути порівнянні з параметрами використовуваної кераміки.

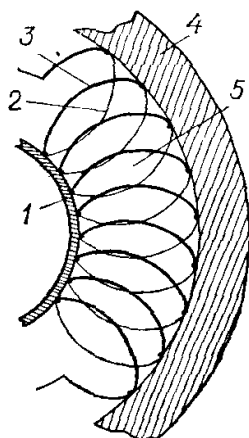
Розповсюдження набули спіральні безкаркасні термобатареї, виготовлені за допомогою технології гальванічного осадження. Найбільш часто для цього застосовують термоелектричну пару мідь – константан. Для виготовлення такої термобатареї навивають на каркас спіраль з константового дроту. Спіраль з каркасом занурюють у електроліт так, щоб покрити шаром міді половину кожного витка спіралі. Товщину шару міді вибирають такою, щоб забезпечити максимально термо-ЕРС термоелементу при мінімальній його теплопровідності. Оптимальна товщина шару покриття досягається при



- 1 - керамічний кільцевий каркас;
 2 - «надрукована» батарея термопар;
 3 - теплоізолювальний корпус;
 4 - канал для калориметричної комірки;
 5 - перемичка.

Рисунок 6 - Каркасний перетворювач із застосуванням технології спільного обжигу низькотемпературної кераміки (LTCC).

виконанні умови $S_1/S_2 = \sqrt{\lambda_1 \cdot \rho_1 / \lambda_2 \cdot \rho_2}$, де S_1/S_2 - поперечний переріз дроту та покриття, ρ_1 , ρ_2 , λ_1 , λ_2 - питомі опори та теплопровідність матеріалів дроту та покриття. Варіант монтажу спіральної термобатареї з гальванічно осадженими електродами наведений на рис. 7.



- 1 - реакційна камера (комірка);
 2 - константова гілка;
 3 - гілка з мідним покриттям;
 4 - термостатована оболонка;
 5 - спіральна термобатарея

Рисунок 7 - Монтаж спіральної термобатареї з гальванічним покриттям.

Дві такі гальванічні константан-мідні термобатареї застосовані у перекидному мікрокалориметрі для дослідження реакцій з декількома реагентами [3, 4], в якому термостатований блок циліндричної форми



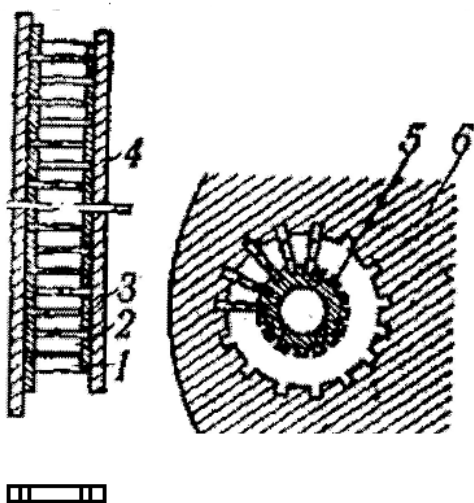
теплоізолюваний посудиною Дьюара.

У термоелектричних анізотропних сенсорах використовують елементи у вигляді брусків або спіралей з монокристалів, що мають анізотропію ТЕРС. Протилежні грані елементів призводять до теплового контакту з поверхнями калориметричної комірки і термостата. Теплові процеси в комірці викликають зміну її температури і тепловий потік через грані елементів, внаслідок чого виникає поперечна тепловому потоку ТЕРС і різниця потенціалів на електричних виводах перетворювача. Різні види конструкцій зварних батарей термопар і анізотропних термоелементів, а також методи їх розрахунку розглянуті в [3, 4]. Загальним недоліком цих пристроїв є складність технології їх виготовлення.

Спіральні вихрові термоелектричні перетворювачі та короткозамкнені термоелементи та їх характеристики також розглянуті у [3, 4].

Найбільшу чутливість мають перетворювачі, виготовлені з напівпровідникових матеріалів. У більшості випадків застосовують термоелектричні модулі з матеріалів на основі Bi_2Te_3 , призначені для термоелектричного охолодження [3...5, 10]. Використовують і спеціально створені для мікрокалориметрії напівпровідникові термобатареї.

У мікрокалориметрі типу Кальве [10] використані напівпровідникові термоелементи n- та p-типу ($\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SB}_2\text{Te}_3$; $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$), які скомпоновані в галети з 13 термопар кожна і розміщені в вертикальних пазах на зовнішній стороні реакційної комірки і на внутрішній поверхні термостатованого блоку, як і показано на рисунку 8.



- 1 - n-гілка; 2 - p-гілка;
- 3 - мідні перемички;
- 4 - алюмінієві теплові переходи (колектори);
- 5 - реакційна камера;
- 6 - термостатований блок

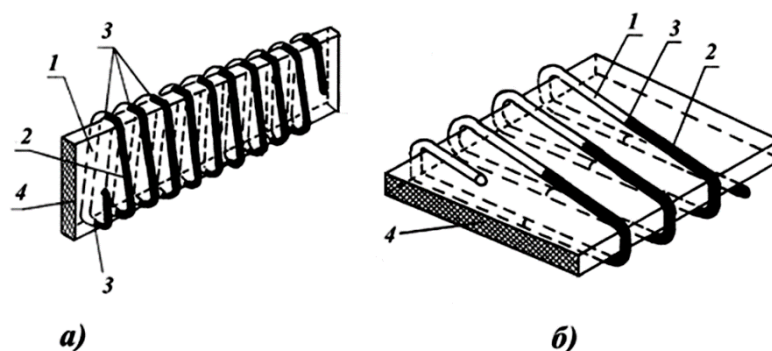
Рисунок 8 - Монтаж термобатареї з напівпровідниковими термоелементами [10]



У реакційній камері діаметром 17,5 мм і висотою 80 мм змонтовано 15 галет. Їх послідовне з'єднання виконано як для вимірювальної термобатареї, так і для компенсувальної батареї елементів Пельтьє.

2.3. Батарейні перетворювачі з гальванічним нанесенням парного термоелектродного матеріалу

Відомі батарейні перетворювачі теплового потоку (ПТП), виготовлені зі дротової спіралі одного термоелектродного матеріалу, на яку гальванічним способом нанесені окремі ділянки парного термоелектродного матеріалу [11...14]. Такі перетворювачі отримали широке розповсюдження для вирішення завдань діагностики і моніторингу різноманітних об'єктів у енергетиці, будівництві та аерокосмічній техніці, для побудови різноманітних вимірювальних засобів [15]. Основою такої батареї термоелементів є навита на стрічковий каркас з електроізоляційної плівки пласка спіраль (рис. 9), яка виготовлена з дроту основного термоелектродного матеріалу, з періодично нанесеним покриттям парного термоелектродного металу. При цьому межі переходу від основного (несучого) термоелектрода 1 до біметалевого 2 є «спаями» 3, які розміщені або уздовж обох ребер каркасної стрічки (а) або на центральних лініях поверхонь стрічки (б).



1 - основний термоелектрод; 2 - біметалевий термоелектрод; 3 - спай термоелементів; 4 - стрічковий каркас з електроізоляційної плівки

Рисунок 9 - Батареї термоелементів з гальванічним нанесенням термоелектричного матеріалу: а) - термобатарея ПТП у вигляді стрічкоподібної спіралі, зі спаями на ребрі; б) - термобатарея ПТП у вигляді стрічкоподібної спіралі, зі спаями на пласкій грані.



При виготовленні традиційних плоских ПТП спіраль термоелементів укладають у спеціальну матрицю і заливають електроізоляційним епоксидним компаундом з теплопровідним наповнювачем для придання йому форми монолітної пластини. Такий перетворювач є так званою «додатковою стінкою», на протилежних сторонах якої розміщені спаї термоелементів. При наявності теплового потоку, що проходить крізь додаткову стінку, тобто пластину перетворювача, і відповідно, паралельно через всі елементи термобатареї, виникає перепад температури між спаями, внаслідок чого, в кожному з включених послідовно термоелементів генерується електричний сигнал. Сумарний вихідний сигнал перетворювача пропорційний значенню теплового потоку [11, 12].

Найбільш поширеними є перетворювачі, виготовлені з термоелектричних пар константан-мідь і ніхром-нікель. Розроблено методи розрахунку і конструювання гальванічних ПТП, а також технологія і механізоване обладнання для виготовлення спіралі з гальванічним покриттям [11]. Такі перетворювачі мають високу чутливість, оскільки технологія їх виготовлення дозволяє розміщувати до кількох сотень термоелементів на квадратний сантиметр поверхні перетворювача.

2.4. Конструкція та технологія виготовлення перетворювачів у вигляді циліндричних оболонок

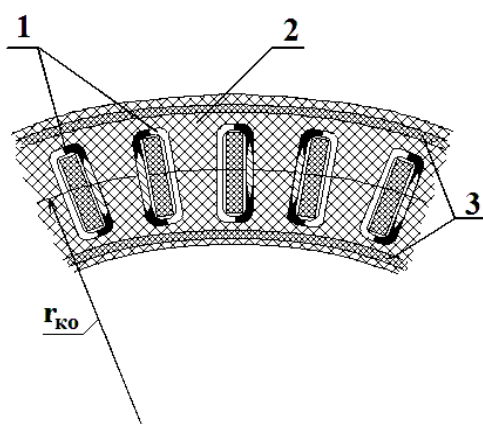
В залежності від призначення та особливостей досліджуваних зразків, комірки кондуктивних калориметрів та перетворювачі теплового потоку можуть мати різні геометричні форма та розміри. Різноманіття форм комірок вимагає створення різних за формою та розмірами перетворювачів теплового потоку. Найбільш часто застосовують плоскі перетворювачі або циліндричні у вигляді оболонки. Іноді застосовують сферичні та конічні оболонки перетворювачів.

При проектуванні калориметричного засобу в залежності від його необхідних характеристик вибирають вид спіралі термоелементів - зі спаями на ребрі або зі спаями на плоскій грані. Перший вид спіралі забезпечує більшу відстань між спаями термобатареї і, відповідно, більший тепловий опір, більшу чутливість та більшу сталу часу калориметричного приладу. Другий вид спіралі



дозволяє зменшити тепловий опір і сталу часу, але програє за чутливістю перетворювача. Устрій та технологія виготовлення циліндричних оболонок з різних видів спіралі також дещо різняться.

На рис. 10а показаний поперечний переріз циліндричної оболонки площиною, перпендикулярною до її вісі при використанні спіралі термоелементів зі спаями на ребрі, а на рис. 10б – фотографія готової оболонки. При виготовленні такої оболонки виконують зазначену нижче послідовність операцій. Готують спеціальну матрицю з фторопласту, яка відповідає розгортці оболонки. На фторопластовий лист матриці накладають тонку бавовняну тканину, проколюючи яку в підготовлені отвори вводять сталеві напрямні кілочки. Встановлюють прямокутну рамку, що обмежують розміри заготовки, при цьому товщина рамки відповідає товщині оболонки, що виготовляється, а матеріал або покриття рамки не повинні склеюватися з епоксидним компаундом. Укладають спіраль в матрицю у вигляді "меандру" так, щоб довгі прямолінійні ділянки були орієнтовані вздовж лінії, котра буде паралельна вісі циліндра. Спіраль має бути покладена рівномірно, притиснута до поверхні матриці і не мати перекручень. До кінців спіралі підпоюють вихідні дроти.



а



б

1 – спіраль термоелементів; 2 – епоксидний компаунд; 3 - бавовняна тканина

Рисунок 10 - Батарейний перетворювач у вигляді циліндричної оболонки з використанням спіралі термоелементів зі спаями на ребрі: а) - поперечний переріз площиною, перпендикулярною до осі оболонки; б) – фотографія оболонки

Готують заливний компаунд з епоксидної смоли, порошкоподібного наповнювача (мелене кварцеве скло) і отверджувача. Компаунд заливають в матрицю, ретельно розрівнюючи його і заповнюючи всі проміжки між



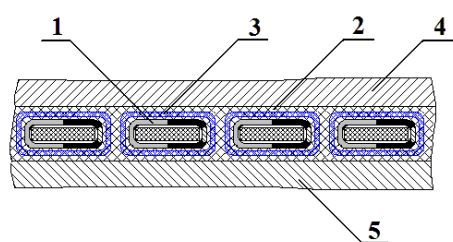
ділянками спіралі. Закривають заготовку іншим шаром бавовняної тканини, а потім шаром фторопласту. Матрицю з заготовкою поміщають в струбцину або під прес з регульованим підігрівом і нагрівають до температури (333 ± 5) К. При цій же температурі витримують пробу компаунда, по якій контролюють стан заливного матеріалу. Приблизно через 1...1,5 години, коли компаунд втрачає клейкість, стає еластичним і гумоподібним, матрицю виймають з-під преса, видаляють з заготовки сталеві напрямні кілочки і обмежувальну рамку, обрізають виступаючі краї тканини. Потім еластичній заготівці надають циліндричну форму, обернувши нею циліндричну або конічну калориметричну комірку. Зверху оболонка обертається матерчатою стрічкою і в такому вигляді витримується в повітряно-сухому термостаті при температурі 353 К протягом 3...4 годин до затвердіння. Потім матерчату стрічку знімають і, при необхідності, обрізають і вирівнюють краї оболонки. Далі знову обмотують оболонку стрічкою і поміщають в термостат при температурі 353 К на 48 годин. Протягом цього часу відбувається повна полімеризація компаунда і фіксація форми оболонки. Виготовлена таким чином оболонка має форму циліндра з вузьким технологічним зазором уздовж твірної і відкритими торцями, армована зсередини і зовні шарами тканини, а теплочутлива спіраль термоелементів рівномірно розподілена по всій поверхні. При збиранні калориметру оболонка вклеюється в зазор між калориметричною коміркою і зовнішнім блоком за допомогою епоксидного клею без наповнювача.

Виготовлення циліндричної оболонки з спіралі термоелементів зі спаями на пласкій грані проводиться за іншою технологією. Спіраль попередньо протягують у електроізоляційну трубку зі склотканини, а потім намотують на бокову поверхню циліндричної калориметричної комірки по спіралі. Готують заливний компаунд з епоксидної смоли, отверджувача і порошкоподібного наповнювача (мелене кварцове скло). Спіраль просочують епоксидним компаундом, після чого калориметричну комірку з оболонкою вклеюють у зовнішній блок. На рисунку 11 представлені поперечний переріз оболонки площиною, в якій знаходиться вісь комірки, та фотографії спіралі термоелементів у трубці зі склотканини, а також калориметричної комірки з намотаною спіраллю.

Полімеризація епоксидного компаунда, що використовується для формування і вклеювання перетворювача, супроводжується електрохімічними ефектами, з виділенням летючих компонентів, зміною електричного опору



ізоляції та термічного опору оболонки. Процес полімеризації носить тривалий характер, причому, вихід летючих речовин і стабілізація властивостей оболонки значно сповільнюються внаслідок того, що після вклеювання відкритими залишаються лише дуже малі торцеві поверхні, а внутрішня і зовнішні поверхні оболонки закриті. Для прискорення процесу полімеризації оболонка в зборі з корпусом і стаканом калориметричної комірки піддається термоциклічним навантаженням шляхом щоденного нагріву до 353...358 К протягом 7...8 годин.



а



б



в

1 – спіраль термоелементів; 2 – епоксидний компаунд; 3 – трубка зі склотканини; 4 – калориметрична комірка; 5 – зовнішній блок.

Рисунок 11 - Циліндричний батарейний перетворювач зі спіралі термоелементів із спаями на плоскій грані: а) - поперечний переріз оболонки площиною, в якій знаходиться вісь комірки; б) - фотографія спіралі термоелементів у трубі зі склотканини; в) - калориметрична комірка з намотаною спіраллю.

Полімеризація епоксидного компаунда, що використовується для формування і вклеювання перетворювача, супроводжується електрохімічними ефектами, з виділенням летючих компонентів, зміною електричного опору ізоляції та термічного опору оболонки. Процес полімеризації носить тривалий характер, причому, вихід летючих речовин і стабілізація властивостей оболонки значно сповільнюються внаслідок того, що після вклеювання відкритими залишаються лише дуже малі торцеві поверхні, а внутрішня і зовнішні поверхні оболонки закриті. Для прискорення процесу полімеризації оболонка в зборі з



корпусом і стаканом калориметричної комірки піддається термоциклічним навантаженням шляхом щоденного нагріву до 353...358 К протягом 7...8 годин. До закінчення полімеризації компаунд має електричну провідність і електролітичні властивості, які зручно використовувати для контролю процесу. Так, для оболонки з внутрішнім об'ємом близьким до 1 дм³ і товщиною циліндричної стінки 0,6 мм, безпосередньо після вклеювання оболонки в один із калориметричних приладів, гальванічна напруга між її вихідними виводами і коміркою при температурі 323 К складає 0,5...1 В і поступово зменшується до 0,010...0,015 В протягом 30 діб. На рисунку 12 представлені експериментальні дані про характер зміни напруги відносно початкового значення E_0 .

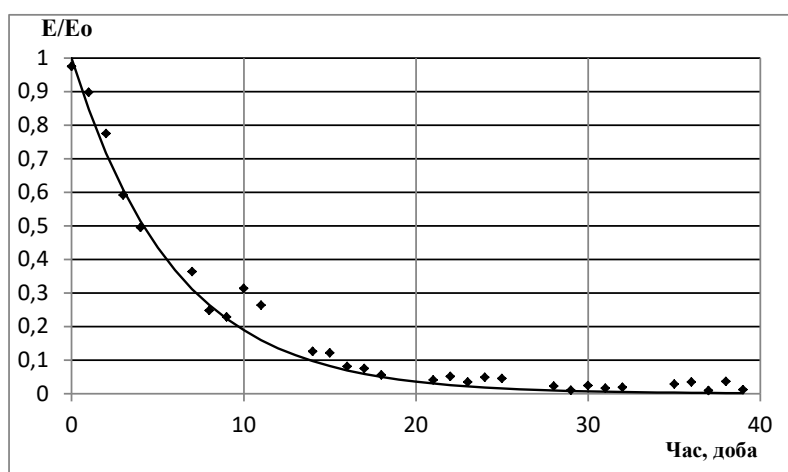


Рисунок 12 - Експериментальні дані про характер зміни гальванічної напруги між вихідними виводами і коміркою калориметра.

Виміри проводилися в стаціонарному тепловому режимі при температурі (323 ± 5) К цифровим приладом з автономним живленням і вхідним опором більше 20 МОм. Функція зміни напруги у часі близька до затухаючої експоненціальної зі сталою часу 6 діб, яка на рис.3.5 показана неперервною лінією. Після закінчення полімеризації електричний опір ізоляції між виводами оболонки і корпусом при температурі 323 К має значення не менше 10 МОм.

За аналогічною технологією можуть виготовлятися конічні теплотиметричні оболонки та перетворювачі інших форм.



Висновок.

Основним елементом будь-якого кондуктивного калориметра є перетворювач теплового потоку. Застосування перетворювачів для кондуктивних калориметрів на базі гальванічних ПТП, зважаючи на їх високу чутливість та технологічність виготовлення, є перспективним напрямом вдосконалення систем калориметрії.



KAPITEL 3 / CHAPTER 3³
EXPERTISE OF SPECIAL PURPOSE TELECOMMUNICATION SYSTEMS
DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-013

Вступ

Експертиза телекомунікаційних проектів є важливим етапом в процесі розробки телекомунікаційних систем (ТКС), яка проводиться практично на кожному етапі розробки ТКС і являє собою складну організаційно-технічну процедуру. Основною метою проведення експертизи ТКС є обґрунтування висновку щодо якості технічних рішень в ході проектування та їх розроблення. Телекомунікаційні системи спеціального призначення в порівнянні із звичайними системами мають свої характерні риси, а саме: більшу територіальну протяжність; багаторівневість та забезпечують велику кількість сервісів; для цих систем характерно коливання внутрішніх та зовнішніх параметрів; для ТКС спеціального призначення характерна стохастичність більшості процесів обробки інформації та необхідність їх оптимізації. Прикладом телекомунікаційної системи спеціального призначення може слугувати телекомунікаційна система Державної прикордонної служби України.

Процедурам проведення експертизи телекомунікаційних проектів присвячено широке коло робіт вітчизняних та зарубіжних авторів [1-13], аналіз яких свідчить, що процедура побудови системи показників якості, яка б дозволила забезпечити експертне оцінювання проектних рішень щодо ТКС потребує подальшого розвитку. Методи формування системи показників якості, які пропонуються, побудовані на основі формалізації телекомунікаційної системи на базі еталонної моделі взаємодії відкритих систем.

У ході дослідження встановлено, що у процесі експертизи під час визначення показників якості функціонування ТКС джерелами появи невизначеності є: нечітке уявлення цілі операції, що може привести до неоднозначного трактування відповідності реального результату до запланованого; недостатнє вивчення деяких явищ та процедур, які супроводжують процеси, що реалізовані в рамках функціонування ТКС; висока імовірність невідомого цілеспрямованого стороннього деструктивного впливу

³*Authors: Katerynychuk Ivan Stepanovych, Mul Dmytro Anatoliyovych, Basarab Oleksandr Korniiiovych, Khoptinskiy Ruslan Petrovich, Vavrichen Alexey Anatoliievych*



на функціонування ТКС; невизначеність, яка обумовлена неточністю математичних моделей функціонування складних ієрархічних ТКС. Така неточність може виникати завдяки зайвій ідеалізації процесів функціонування та управління, або невірній декомпозиції ТКС. В процесі проведення експертизи формується базова система показників якості, яка дозволяє оцінити телекомунікаційний проект. Разом з тим, у ході експертизи доволі часто виникає проблема оперування інформацією, яка є нечіткою, розмитою або такою, що не може бути виражена кількісно.

3.1. Структурно-логічна схема проведення експертизи телекомунікаційних систем спеціального призначення

Експертиза проектів телекомунікаційних систем - це комплексна, цілеспрямована інформаційно-аналітична діяльність експерта (групи експертів) телекомунікаційних проектів по оцінці якості проектних технічних рішень і формуванню пропозицій щодо оптимізації технічних рішень, які застосовуються в ході розробки телекомунікаційної системи.

Головними завданнями експертизи телекомунікаційних систем та засобів є [6] визначення характеристик та параметрів телекомунікаційних систем та засобів; встановлення фактів та способів передачі (отримання) інформації в телекомунікаційних системах; встановлення фактів та способів доступу до систем, ресурсів та інформації у сфері телекомунікацій; визначення якості телекомунікаційних послуг; встановлення технічного стану телекомунікаційних систем та засобів; встановлення типу, марки, моделі та інших класифікаційних категорій телекомунікаційних систем та засобів; дослідження алгоритмів обробки інформації та її захисту у сфері телекомунікацій.

Об'єктами експертизи телекомунікаційних систем та засобів є телекомунікаційні системи, засоби, мережі і їх складові частини та інформація, що ними передається, приймається та обробляється.

Як було зазначено у [1-2], під ефективністю функціонування системи розуміється комплексна властивість процесу функціонування, яка характеризується оціночним твердженням відносно придатності або пристосованості технічних засобів передачі інформації і управління до вирішення поставлених задач на основі визначення показників якості системи



або показників ефективності процесу функціонування системи. Показник ефективності функціонування складної системи є міра відповідності реального результату процесу функціонування системи необхідному.

Враховуючи вимоги до показників ефективності функціонування системи та особливості процесу функціонування ТКС в якості показників ефективності може бути використана імовірність відповідності системи своєму функціональному призначенню (імовірність досягнення цілі).

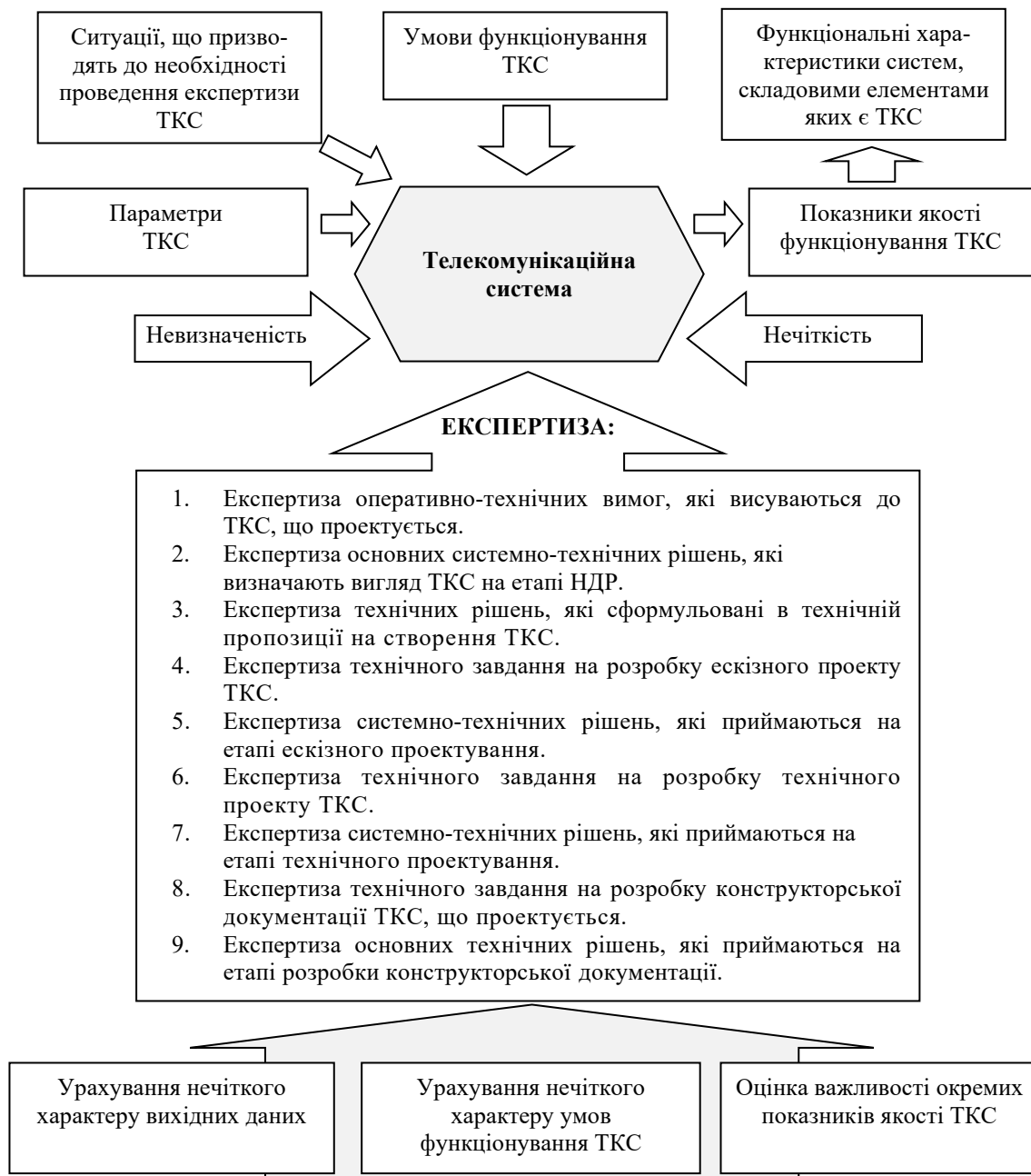


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема проведення експертизи телекомунікаційних систем

Багатокритеріальний характер вимог до якості інформаційного обміну і



управління, врахування процесів, які протікають в системі, приводить до постановки векторної задачі аналізу ефективності функціонування ТКС. Загальноприйнятим підходом до розробки системи показників якості таких систем є формування такої множини локальних показників якості, яка відповідає сукупності властивостей ТКС, що впливають на виконання поставлених перед нею завдань. Процес функціонування ТКС можна представити як сукупність процесу інформаційного обміну в ТКС і процесу управління якістю обміну інформацією.

Процес проектування телекомунікаційної системи представляє собою складний багатоетапний процес формування взаємопов'язаних технічних рішень, які мають на меті створення ТКС, здатної забезпечити надання сервісів користувачам з урахуванням специфіки вимог функціонування. Специфіка вимог до перспективних ТКС обумовлюється предметною областю їх застосування. Експертиза, як невід'ємна частина процесу проектування телекомунікаційної системи (рис. 1), може здійснюватися в умовах детермінованості, стохастичності і невизначеності функціональних і структурних параметрів ТКС та процесів інформаційного обміну.

Отже, експертиза телекомунікаційних проектів є важливим етапом в процесі розробки ТКС, який у значній мірі впливає на якість телекомунікаційних систем, що розробляються. Експертиза проводиться практично на кожному етапі розробки ТКС і представляє собою складну процедуру, яка здійснюється в умовах об'єктивно існуючої невизначеності. Врахування умов невизначеності повинно забезпечити підвищення адекватності та достовірності експертизи ТКС.

Врахування невизначеності пропонується проводити на двох рівнях: на рівні визначення часткових показників якості функціонування ТКС та на рівні визначення ваги кожного часткового показника для загальної оцінки ефективності ТКС.

3.2. Методика урахування невизначеності вихідних даних під час знаходження експертних показників якості функціонування телекомунікаційних систем

Неврахування умов невизначеності при знаходженні експертних



показників якості функціонування телекомунікаційних систем (ТКС) призводить до спрощення (ідеалізації) отриманих результатів, які, у свою чергу, не повною мірою відповідають вимогам до ефективності проведеної експертизи ТКС, що проектується. Найбільший вплив на результат моделювання має невизначеність вихідних даних (близько 82–84 %), відповідно вплив невизначеності математичної моделі (або чисельного методу) оцінюється як 16–18 %. Ця обставина надає підстави пропонувати до врахування в розроблюваній методиці вплив невизначеності вихідних даних. Таким чином, проведений аналіз свідчить про необхідність узагальнення та вибору єдиного підходу до врахування невизначеності в процедурі експертизи ТКС.

Аналіз математичних методів, придатних для врахування характеру невизначеності вихідних даних, дає можливість ці методи розділити на дві основні групи: методи зменшення впливу неточної інформації з подальшим використанням звичайних детермінованих алгоритмів; методи переходу (за наявності неточної інформації) до спеціальних алгоритмів (стохастичних, нечітких, інтервальних). Для першого напрямку характерним є застосування різних методів фільтрації й згладжування вихідної інформації, усереднення й порівняння даних. Застосовуються також методи відновлення відсутніх даних, інтерполяції й екстраполявання. Під час використання стохастичних моделей виникає цілий ряд труднощів, пов'язаних зі складністю одержання розподілу щільностей імовірностей для параметрів, нерегулярними явищами при розв'язанні стохастичних диференціальних рівнянь.

Таким чином, спроби застосування якого-небудь конкретного математичного апарату (інтервального аналізу, статистичних методів, теорії ігор, детермінованих моделей тощо) для прийняття рішень в умовах невизначеності дозволяє адекватно відтворити в моделі лише окремі види даних і призводить до безповоротної втрати інформації інших типів. За браком інформації для суворого застосування імовірнісних моделей і труднощів оперування випадковими величинами, а також у зв'язку з тим, що з інтервальними величинами можна працювати в рамках теорії нечітких множин, остання набуває важливого значення. Отже, як основний інструмент для врахування невизначеності доцільно вибрати методи теорії нечітких множин.

Наступним етапом методики слід вважати формалізацію вихідних даних у вигляді нечітких величин. Відомо, що як базове поняття теорії нечітких множин використовується «нечітка множина», основною та єдиною можливою



характеристикою якої є функція належності. Враховуючи характер невизначеності та переваги методів теорії нечітких множин для її формалізації оберемо як основний спосіб формалізації вихідних даних використання апарату нечітких чисел. Нечітке число $\tilde{x} = (a, \gamma, \delta)$ представляє собою нечітку множину з функцією належності вигляду [3; 5]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{a-x}{\gamma}, & \text{для } a - \gamma \leq x \leq a \\ 1, & \text{для } a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{x-b}{\delta}, & \text{для } b \leq x \leq b + \delta \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (1)$$

Графічну інтерпретацію функції належності наведено на рис. 2.

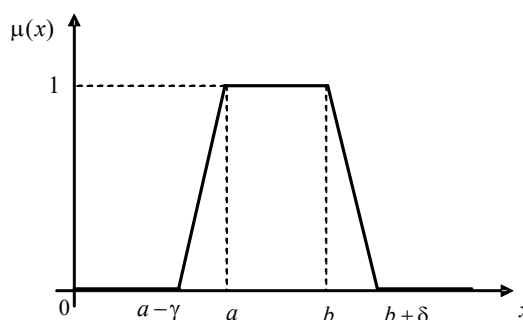


Рисунок 2 – Графік функції належності нечіткого числа $\tilde{x}$

Аналіз вигляду нечіткої функції та наведені вище правила виконання арифметичних операцій дають можливість знайти мінімальне та максимальне значення нечіткої функції від нечітких аргументів за кожним з α -рівнів. Використання того чи іншого принципу узагальнення призведе до знаходження функції належності нечіткого результату множини всіх можливих та множини найбільш імовірних значень параметра, який моделюється.

Враховуючи нечіткість та слабку структурованість задачі визначення важливості експертного показника якості функціонування ТКС в системі показників якості, її можна представити кортежем: $\langle S, X, Y_X, P, A, A_X, D \rangle$, де S – множина критеріїв оцінки показника якості; X – множина характеристик оцінюваних показників якості; Y_X – множина припустимих значень характеристик показників якості; P – система переваг, що задає відносини між множинами S, X, Y_X ; A, A_X – множина показників й оцінок їх характеристик; D – вирішальне правило: $D: A \rightarrow [0, 1]$. Потрібно знайти вирішальне правило D , що забезпечує одержання оцінок важливості експертних показників з одиничного інтервалу.



Структура методики врахування невизначеності вихідних даних при знаходженні експертних показників якості функціонування ТКС наведена на рис. 3.

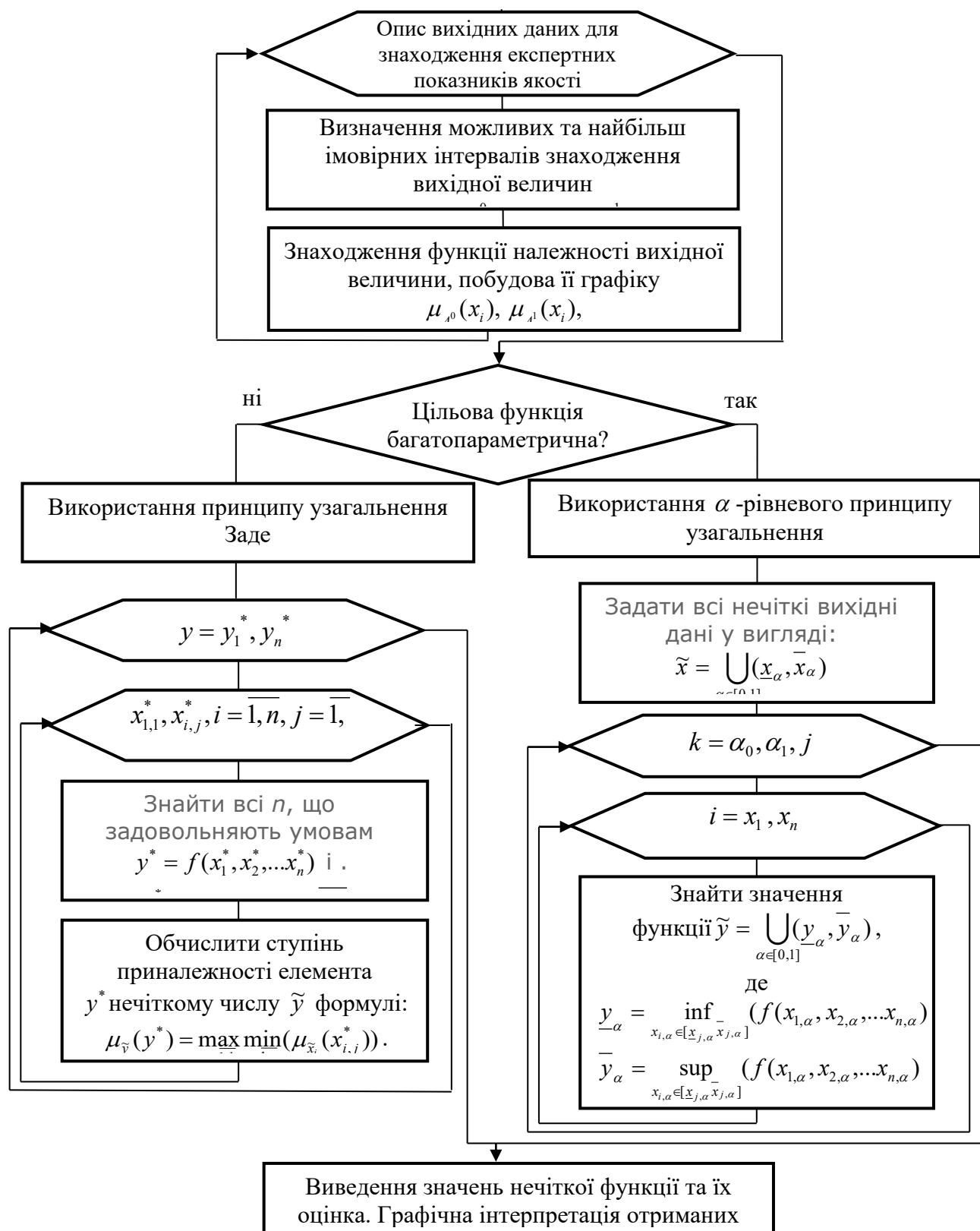


Рисунок 3 – Структура методики врахування невизначеності в вихідних даних при визначенні експертних показників якості функціонування



Висновки

Таким чином, формалізація функціонування телекомунікаційної системи представляє собою сукупність двох функціональних підсистем, а саме системи інформаційного обміну та системи управління якістю інформаційного обміну. Система показників якості функціонування ТКС представляє собою множину локальних показників якості інформаційного обміну і показників якості управління інформаційним обміном.

KAPITEL 4 / CHAPTER 4⁴

BASIS FOR INNOVATION IN THE COMPUTERIZATION OF SOCIETY

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-019

Introduction

In this chapter, the authors have tried, in the context of the high rate of innovation in the computerization of society, to highlight the immutable in their view basic concepts and their definitions, which make it possible to understand the essence of the ongoing transformations. As Confucius said, "the right name is the right understanding". The paper considers the main stages and levels of the implementation of enterprise automation systems and components of their structures. A formula for describing the concept of "CS architecture" is proposed, a generalised structure of a WEB-system and its safe implementation is given [1, 2, 5].

We live in that wonderful time when the half-life of knowledge is 1 to 2 years. At the same time, not only the names of the specialties are changing, but new ones are appearing as well.

For example, the specialties of our department in these years 1964 – 2015 have been transformed during its existence as follows:

- Calculation and resolution instruments and devices
- Electronic computing machines - Intelligent computer systems and networks -

Computer systems and networks

- Computer engineering
- What's next?

What do our basic terms mean - Machine? System? Complex?

4.1. Machine? Computer System(CS)? Computer Complex (CC)?

Consider the hierarchy of concepts (Figure 1).

A computer (machine, computer) is a generalised concept corresponding to a Program-Controlled Device that processes digital information represented in binary notation. Used in the home, in conversation without specifying its technical specifications. Technically, $A \text{ computer} = PCD + 2n$.

⁴Authors: Kosolapov Anatoliy, Egorov Oleg, Dziuba Volodymyr, Parpolita Alexander

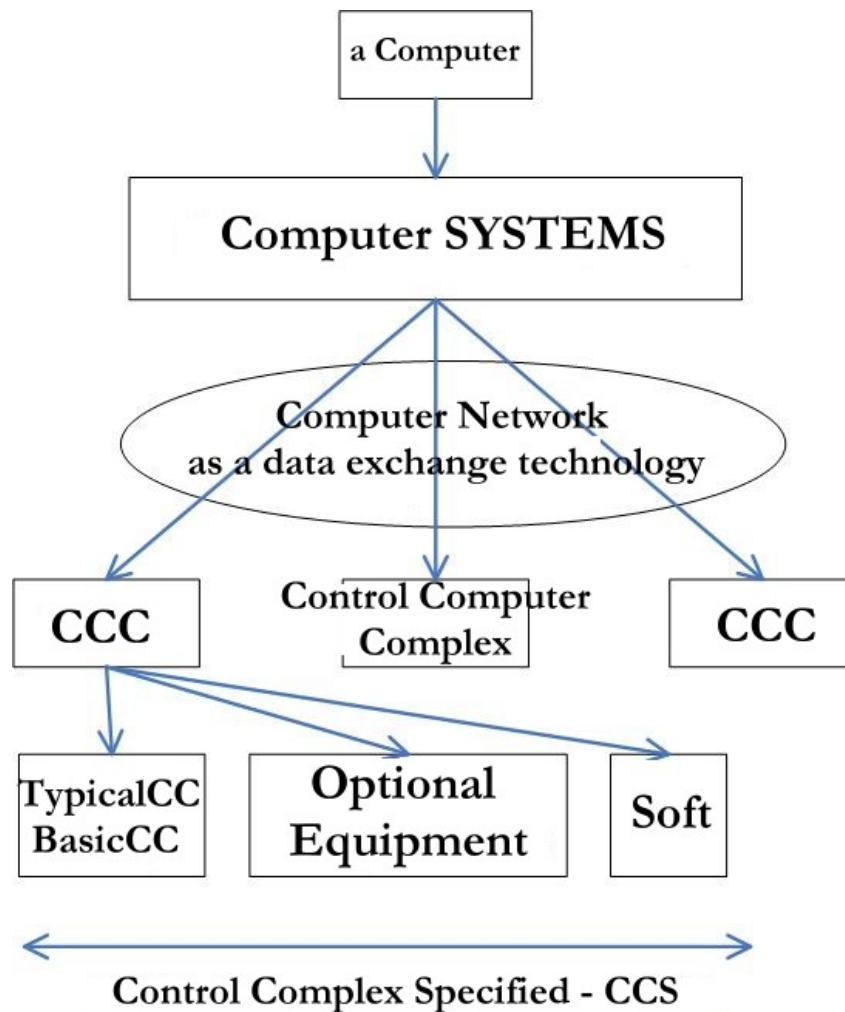


Figure 1 - Hierarchy of key concepts

SYSTEM (computer system (CS), information system (IS), intelligent information system (I2S) *is the result of selection or design where the requirements for the characteristics of the system to perform certain tasks are defined.*

That is, the required processor clock speed, number of processors, amount of RAM and external memory, video boards, signal input/output modules.

Modern constructive definition according to ISO IEC 15288-2005: a system is a combination of interacting elements organised to achieve one or more set objectives.

What are these elements?

A CS can be made (assembled) in-house from one or more Control Computer Complexes (CCCs). In other words, the CS is broken down into a number of CCCs when designing the CS.

A CCC is a unit of production of the manufacturer (supplier) of the CS for an object of automation.



The CCC consists of a TYPICAL (BASIC) CCC, or TCC, or BCC. There can be up to some variants of such TCCs. For example, TCC for office, for gamer, for student (budget variant), for servers, etc. Customer can supplement the basic configuration with modules and devices, as well as with software in accordance with SPECIFICATION. The resulting CCCs are called SPECIFIED COMPLEXS (CCS)

All CCSs are combined into a system by means of an information network. In this case, *NETWORK is the technology for organising data exchange between CCSs in the CS*. This is the definition of NETWORK in the LEAST sense of the word.

Network is an integral part of the CS and should be designed when designing the SYSTEM! A special place among modern systems is occupied by WEB-systems.

4.2. WEB-systems

In order to define a WEB system, it is necessary to know what the INTERNET and the WWW, or WEB, are.

INTERNET is a set of *geographically distributed CSs* and networks interacting with each other based on a standard protocol stack based on *the Open Systems Interconnection (OSI) model through data transmission channels to share information, software and technical resources* of the network.

In fact, the *INTERNET is an infrastructure* for hosting and transmitting the above resources.

And the WEB (WWW) - is a *network of interconnected information resources in the INTERNET by means of URL* - Uniform Resource Locator - a uniform locator (method locator) of resources (Figures 2,3).

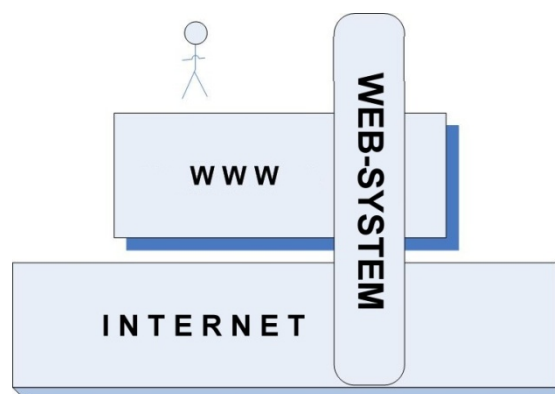


Figure 2 – General structure of the WEB system

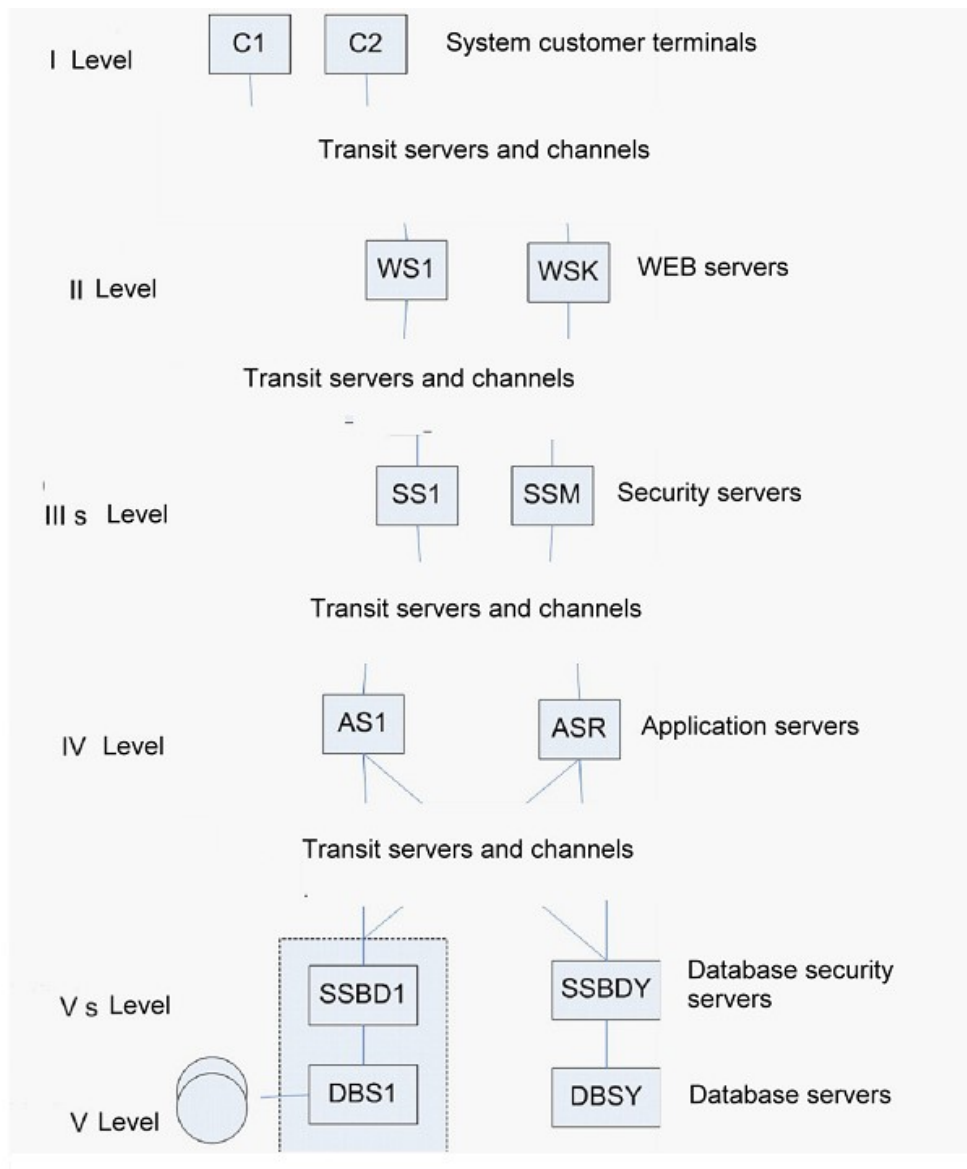


Figure 3 – An example of a complex distributed secure WEB system [5]

4.3. CS architectures and structures

An important characteristic of CS is ARCHITECTURE (ACS).

It can formally be represented as the following formula

$$ACS = Goals \cap (\exists \text{ types of Ware}) = Goals \cap (HardWare + SoftWare + MathWare + InfoWare + LingvoWare + OrgWare + MetWare + MetroWare)$$

This formula uses well-known components or terms. Let us briefly note their purpose:



- HW - complex of technical means; The HW is a set of technical means for data entry, processing, storage, display, output and transmission, switching and routing. Sometimes referred to as information infrastructure.

- MathW - a set of mathematical models, methods and algorithms for problem solving.

- SoftWare is a set of system and application programs (operating systems, compilers and interpreters of programming languages, program editors and debuggers, libraries of subprograms and functions, application software packages, etc.).

- Info Ware - a set of methods and tools that regulate the interaction of employees with technical means and among themselves during the development and operation of the information system.

- LingvoW is a set of linguistic tools that ensure the adequate functioning of language in the CS in a particular sphere.

- OrgW - a set of methods and means that regulate the interaction of workers with technical means and among themselves during the development and operation of an CS (organisational structure).

- MetWare - A set of all the tools needed to provide effective training for staff. This is usually a set of documentation and videos.

-MetroWare - approval and application of metrological norms, rules and procedures for measurement performance (MMP), as well as development, manufacture and application of technical means to ensure the uniformity and required accuracy of measurements.

The development of the CS is accompanied by a change in system requirements and some concepts, which is referred to as the development of a PARADigm in computerization.

One of the characteristics of ware types is structure. *Structure is a set of elements of any nature and the links between them.*

The technical structure of a computer system consists of CCC and channels of inter-unit machine links (Figures 4,5).

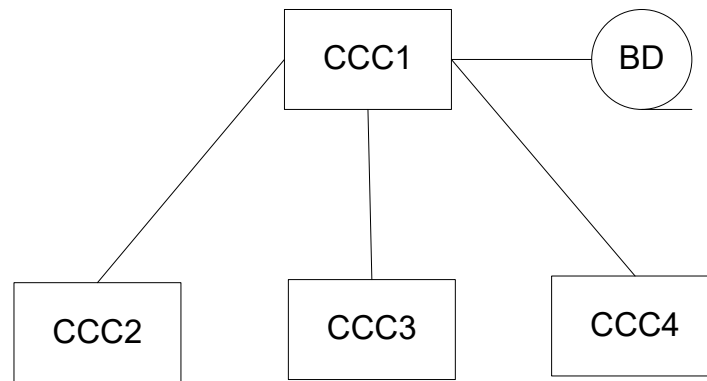
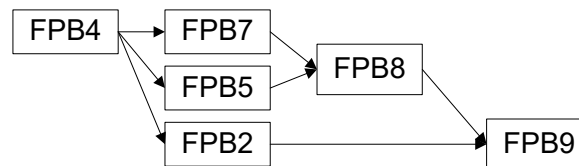


Figure 4 - Technical structure of the CS



**Figure 5 - Functional and programmatic structure of the CS
(piece of φ -transaction [3])**

a shows the structure of a computer system from a real project.

The structure of a φ -transaction consists of a sequence of FPB and links between them. The information support structure consists of database arrays and information flow links. There can be combined types of structures e.g. software and hardware structures.

4.4. Stages in the formation of the hierarchy of automated systems enterprises

Having dealt with the problems of automation of various enterprises for more than 40 years and having analyzed stages and perfection of computer systems in enterprises the authors propose a generalized structural scheme of various enterprise automation structures (Figure 6).

1. Older control systems (SC)

$$SC = TP + GFA + \text{Control Desk}$$

2. First generation. Enterprise Control Systems (ECS)

$$ECS = SC + ACS$$

3. Second generation - Integrated Plant Management System (IPMS)

$$IPMS = ACS + APCS + SC + DC$$

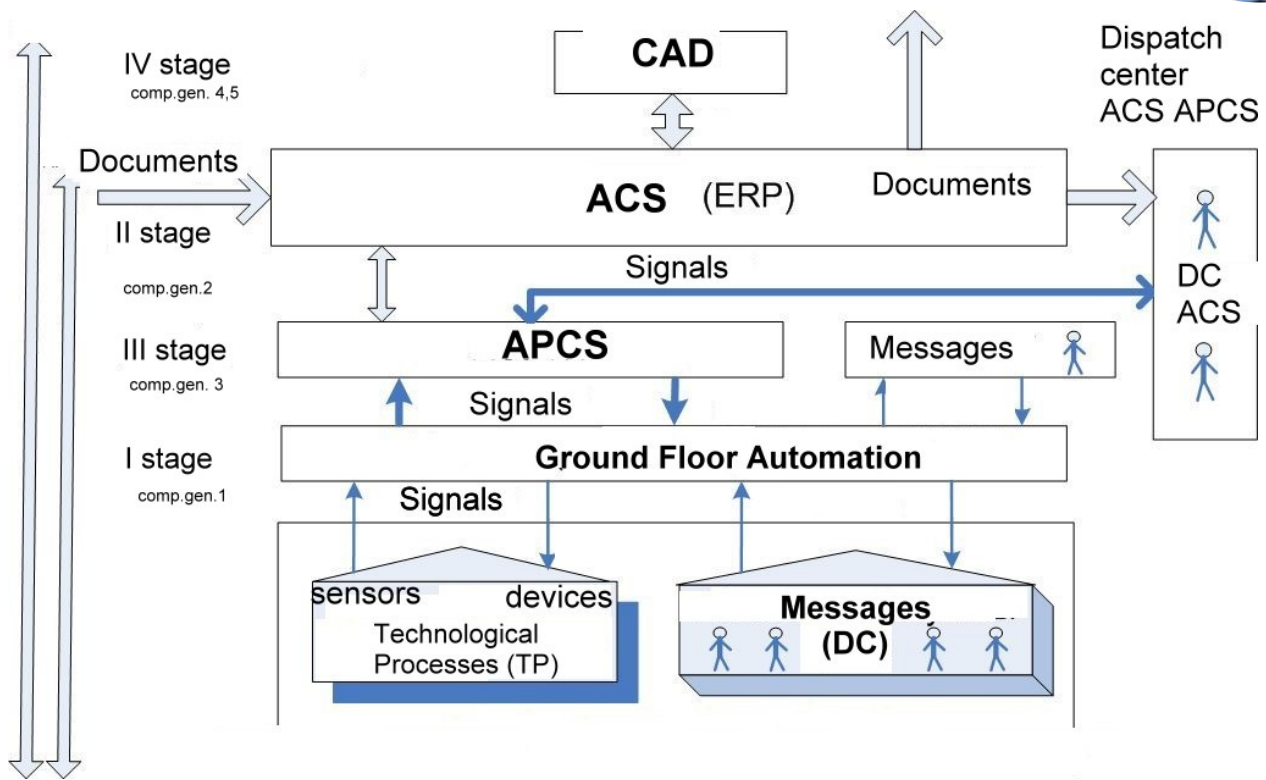


Figure 6 - Levels and stages of implementation CS for integrated automation enterprises [3]

4. Third generation - Flexible Automated Production (FAP)

FAP = IPMS + CAD

CAD - Computer Aided Design System

ERP (Enterprise Resource Planning, European standard) is an organisational strategy for integrating production and labour management, financial management and asset management operations.

4.5. The Paradigm of computerization

Innovation in computerisation in industry and transport leads to a change in terminology and rules for the implementation and use of new computer systems. Innovation on a global scale can be represented by the shifting paradigms of computerisation described in the table. It presents the main user requirements for new systems as a hierarchy of characteristics of performance, interface, user access to data. The top positions in the table correspond to higher priorities. each paradigm is associated with a change in the naming of systems. The table shows the variations of



these names. In fact, there are no clear boundaries between when paradigms change completely, they go away gradually with new generations of computer system users and developers (table 1).

(Paradigm - (from Greek "example, model, pattern") - a set of fundamental scientific attitudes, ideas and terms accepted and shared by the scientific community and uniting the majority of its members. It ensures the continuity of the development of science and scientific creativity).

Table 1 - Innovation in light of the paradigm of computerisation

Computerization Paradigm			
Computers (CS)>>	Information Systems (IS)>>	Intellectual Systems (IntS)>>	Socio-Technical Systems (STS)
performance	access to data here and now	intelligent interface	social networks, access to data «here and now», IoT
interface	interface	access to data «here and now»	intelligent interface
access to data	performance	performance	performance
1944 - 2000	2000 - 2010	1991 - now	2000 - now

In addition to the requirements for the three main characteristics, the paradigm also includes the dominant types of computer system support.

Conclusions

This work proposes a systematic and historical approach to the analysis of the state and prospects of innovation in the field of computerization. The work is based on the clarification of names and definitions of basic terms. Examples are given of the improvement of structural schemes and functions of computer systems for various purposes. The characteristics of shifting computerization paradigms are described. The paper can be useful for engineers and students in computer science and engineering.

**KAPITEL 5 / CHAPTER 5 ⁵****MATHEMATICAL MODELLING OF MANUFACTURING PROCESSES OF PARTS AND STRUCTURAL ELEMENTS BY BUILD-UP METHODS****DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-002****Introduction**

We encounter build-up processes in the study of various technological and natural processes such as winding, sputtering, deposition, freezing, accretion, as well as in the sequential erection and loading of structures and building constructions, crystal growth, phase transformations in solids [1 – 8], etc.

The theoretical substantiation of new technologies for the production of shells, pipes and other parts of rotation by the build-up [5 – 8], requires the development of calculation methods that more fully reflect the properties of the material from which this or that part is made. It is known, in particular, that polymers and composite materials [1, 3, 5, 9], which are used in the manufacture of various parts and structural elements, have pronounced creep properties. This circumstance leads to the redistribution of stresses in the parts during the build-up process, changes in shape and size after manufacturing and when loaded.

The mechanics of such processes can be studied from different points of view. One of them is a model representation of the processes of building up real structures based on the theory of creep of heterogeneously ageing bodies [10, 11] (the theory of growing bodies). They are characterized by the fact that during the build-up, different elements of these bodies are produced (originated) at different moments of time, that is, the age of the material in these bodies is not the same and depends on spatial coordinates. Therefore, along with the traditional heterogeneity, there is a specific heterogeneity due to the fact that the process of natural or artificial ageing in these bodies proceeds differently in all elements.

Depending on specific conditions, the process of building up viscoelastic bodies can occur both discretely and continuously. In the first case, elements of finite dimensions made of material of different ages are successively attached to the body at separate moments of time. In the second case, i.e. with continuous growth, an element of infinitesimal thickness is added to the body for each infinitesimally small interval of time.

Before moving on to the modelling of the building-up process, we make one

⁵*Authors: Siasiev Andrii*



remark concerning the general concepts of the build-up of deformable solids.

It is not difficult to imagine the process of building up a completely solid body, when the volume element added to it immediately after joining, as it were, "freezes" and loses the ability to deform in the future. In this case, the configuration of the body observed by us at any arbitrary stage of growth is "frozen", that is, it does not undergo any further changes in volume or shape. This "solidified body" simply "overgrows" with new material, as a result of which the shape and volume of the entire growing body are constantly changing.

Thus, when we talk about the changeability of the configuration and dimensions of a growing solid body, we will mean the change of these parameters not as a result of a force-deforming effect on the body, but as a result of joining it with new elements, adding material, imposing additional connections, etc.

In this work, we do not dwell in detail on the types of augmentation [1, 12] and their comparative analysis [13 – 15], but examines the problems that arise, mainly, in the manufacture of rotation parts and structural elements from polymer material using build-up methods.

It is known from the literature [10; 11] that solutions to viscoelasticity problems for growing bodies, model, mainly, the processes of manufacturing rotation parts and erecting construction structures from concrete. In these tasks, the build-up process is assumed to be carried out from the outside of the part with a given law of change of radius and external surface load.

This chapter deals with the problems of the internal and external build-up of an empty circular viscoelastic cylinder made of polymer material, which is in the conditions of a uniaxial stress state in the case of a linear creep law to simulate the process of manufacturing rotating parts by build-up methods.

5.1. Basics of the technology of build-up processes

We focus on the modelling of such build-up processes as winding and sputtering, which are used during the manufacture of thermal insulation of pipes and tanks, as well as during the manufacture of various rotating parts.

We consider several options for sputtering thermal insulation. Among the materials used for thermal insulation of tanks, polyurethane foam has become widespread. Thermal insulation from it can be block and monolithic [16]. Monolithic



insulation is made by spraying on the walls of the tank with the help of special machines. Foam plants for applying thermal insulation to tanks up to 14 m high are a dosing unit consisting of two gear pumps of the HIII20ДO2 type, driven by an electric motor and a gearbox, which ensures the specified mode of operation of the pumps. Components of thermal insulation (polyester resin and diurethane diethylene glycol) are taken from the containers with separate hoses and fed to the dispenser gun. A hose for supplying compressed air is connected to it. The components in the containers are heated and continuously mixed by gear pumps of the P3 type. The air that is sprayed is cleaned with the help of a moisture-oil separator and an oil-capturing filter. All modes of operation of the plant are carried out from the control panel, which is located at a distance from the spray gun. The spray gun, which is on a special carriage, moves vertically and horizontally. The movement mechanism has a special device for reciprocating movement.

An approximately similar design of the device for spraying polyurethane foam on tanks is proposed by the Shell Company. It consists of a guide rail, which is mounted at a distance of 80 cm from the bottom of the tank, along which the trolley moves with the help of a special motor. A vertical rack is attached to the cart, along which the spray gun, which is driven by a special motor, can move up and down. The initial components of thermal insulation are supplied by flexible hoses to the sprayer and are applied to the wall of the tank under the action of compressed air. The required thickness of thermal insulation is provided by the specified number of passes. Externally, thermal insulation can be covered with a protective cover. Sometimes, the same polyurethane foam is used as a protective cover, but in a different proportion. As a result of sputtering, the outer layer of thermal insulation turns out to be very dense and strong, well confronting external loads, penetration of moisture and exposure to ultraviolet rays.

To prevent cracking of the monolithic thermal insulation during emptying and filling of the tank (a sudden change in the temperature of the inner wall of the tank), sometimes before applying the main thermal insulation to the outer surface of the tank, a buffer insulating gasket is applied with the help of adhesives. This gasket absorbs all the thermal fluctuations of the tank walls, and the main insulating material practically does not deform.

To improve the coating (increase its homogeneity and thermophysical properties), it is necessary to thoroughly mix the components of the thermal insulation before feeding them into the spraying device. This can be provided by a



special unit (Fig.1), consisting of cylinder 3, inside which moves a piston 2, which is driven by device 1. The cylinder passes into chamber 4, above which hopper 5 for the mixture is located. The mixture from the hopper is fed to the chamber through the inlet valve 6. From chamber 4, it is squeezed out through the discharge valve 7 into the mixing chamber 8. Inside the mixing chamber, there is a splitter 10. Compressed air is supplied to the mixing chamber through a pipe 9. The heat-insulating mixture supplied to the mixing chamber, is pressed against its walls thanks to the splitter and well mixed with compressed air. The formed aerosol mixture moves through the hose 11 and is sprayed onto the protected object through a special device 12.

For the insulation of tanks intended for the preservation of liquids with high temperatures or liquefied natural gases, a folded metal shell with a felt pad between the surface to be protected and the shell, is proposed. Polyurethane foam is pumped into the shell through an opening. After filling, the opening is closed. A set of these shells forms the thermal insulation of the tank. They are attached to the wall either with the help of whiskers or with the help of bandage belts.

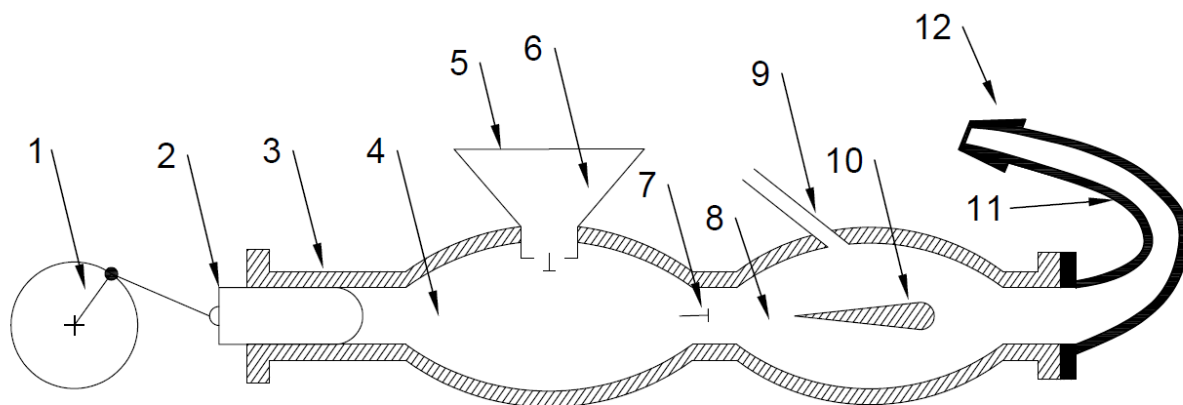


Figure 1 – The device for mixing and supplying components of polyurethane insulation

Thermal insulation of pipes by sputtering requires special conditions and plants, but this method is more technological. The specified thickness of thermal insulation can be obtained in one or more passes along the pipe of the thermal insulation plant. The same equipment can be used to insulate pipes of different diameters. The quality and thickness of the insulating coating are continuously monitored during the works. Applying the insulating coating can be done both in the factory and under semi-stationary conditions, and at the same time rhythmicity and continuity of work are ensured.



To protect the thermal insulation from mechanical damage and the penetration of moisture to it, it is protected from the outside with casings: made of tape or other materials. In complex sections of pipelines (crossings through rivers, roads, swamps, etc.), the thickness of the thermal insulation is much greater than on the main highway, and the protective casing is made thicker and completely airtight.

The principle of operation of plants for sputtering thermal insulation is as follows. Various containers contain a polyester mixture with additives for extinguishing the flame, the required amount of water, catalysts and diurethane diethylene glycol. Components from containers are fed into the mixing chamber of the spray gun by dosing pumps. Compressed air is supplied to the same chamber, which intensively mixes the components and ejects it through a hose with a nozzle onto the surface being processed. Obtaining the specified qualities of the heat-insulating coating is ensured by the necessary adjustment of the supply speed of the components and the speed of their hardening on the surface, taking into account the temperatures of the environment, components and the object being insulated. In this way, pipes are insulated both in the factory and in the field. Compared to the pouring method, polyurethane foam thermal insulation by sputtering has better uniformity in the axial and radial directions, its density decreases (up to 30 kg/m^3). This method allows you to obtain thermal insulation of any thickness due to one or more passes of the spray gun relative to the surface to be protected.

The main disadvantage of this method is the insufficient adhesion of the protective casing to the insulation material. The protective casing is most often made of the pellicle, but other materials are also used. Their connection with thermal insulation occurs with the help of various glues.

A significant number of plants for applying polyurethane foam thermal insulation by the sputtering method have been proposed. We consider some of them.

A rotary spray gun plant consists of a carriage that is moved along the pipe by a motor, and cleaning and atomization systems that rotate around the pipe. The rotation and translational movement of the cleaning and dusting systems is carried out by a gear driven by the trolley wheels. The cleaning system consists of metal brushes mounted on the inside of the drum, and the spray system includes a spray gun that also rotates evenly around the pipe. The big disadvantage of this plant is the combination of the process of cleaning the pipe and dusting the insulation since the dust generated during cleaning sharply worsens the working conditions. In addition, the plant is quite complicated due to the presence of a rotating spray gun. Heat-



insulating mass and compressed air are supplied to the gun through a system of small-diameter pipelines in special drums that rotate around the pipe. The need for various gaskets and seals does not eliminate the cost of heat-insulating mass. To improve the adhesion of the heat-insulating mass to the surface to be insulated, the latter is heated to 313 K, and the heat-insulating mass to 300 K. Externally, the thermal insulation is protected by special fabrics, paper or pellicle, which are wound from coils fixed on a cart. The following parameters are recommended for the operation of the plant during the insulation of pipes with a diameter of 219 mm: the thickness of the insulating layer is 50 mm, the rotation frequency is 0.416 s^{-1} , the linear speed of the carriage is 0.05 m/s. Using a self-propelled plant, a pipeline with a diameter of 0.168 m was covered with polyurethane foam insulation with a thickness of 76 mm at a speed of 0.1 m/s. Pipe cleaning was not carried out in this plant. The entire plant is mounted on a special frame of a crawler tractor. Externally, thermal insulation was protected by a polyethylene pellicle wound from bobbins fixed on a drum. The polyethylene pellicle was wound on the surface of the thermal insulation covered with glue. The places where the pellicle was joined were also glued.

The plant with stationary spray guns is shown in Fig.2. Pipe 1 being insulated passes through the cleaning device 5. Moving in the axial direction and rotating around its axis, the pipe passes the first isolation post (6, 7) where a layer is applied to the surface of the pipe adhesive 4. It consists of a flat nozzle 7 and a worm gear 6. The adhesive is applied to the pipe rotating in the form of a flat tape 8. The speed of the axial movement of the pipe is selected so that the adhesive is applied with an overlap. The next insulation post applies thermoplastic insulation to the pipe. Here, a heat-insulating mass is applied to the pipe with a flat tape 11 through a flat mouthpiece 10, fixed in a worm gear 9. The frequency of rotation and movement of the pipe is selected so that the thickness of the thermal insulation 3 corresponds to the calculation. The pipe with insulation is covered with glue through pipe 2. The outside of the insulated pipe is covered with polyethylene pellicle, which is placed on top of the glue. Flat mouthpieces together with reducers have the possibility of horizontal movement in the case of insulating pipes of different diameters.

The principle of rotation and axial movement of the pipe is used in various plants. In them, thermal insulation is applied to a rotating pipe, and the spray gun is moved along the axis of the pipe in both forward and reverse directions. To speed up the insulation process, some plants are provided with thermal devices for drying the insulation. These devices are mounted in such a way as not to interfere with the



process of applying insulation. The applied layer of insulation is dried with thermal devices, and then another dose is applied. The speed of insulation drying is regulated by the temperature of thermal devices and the speed of movement of the insulating layer relative to the device. The operating mode is selected so that when the pipe is rotated and the nozzles are moved (in one or more passes), the specified thickness of polyurethane foam insulation is obtained. For this purpose, the plants are equipped with appropriate control and measurement equipment. They are designed to work in stationary conditions (a factory, a pipe welding base in highway conditions or a specially created production area).

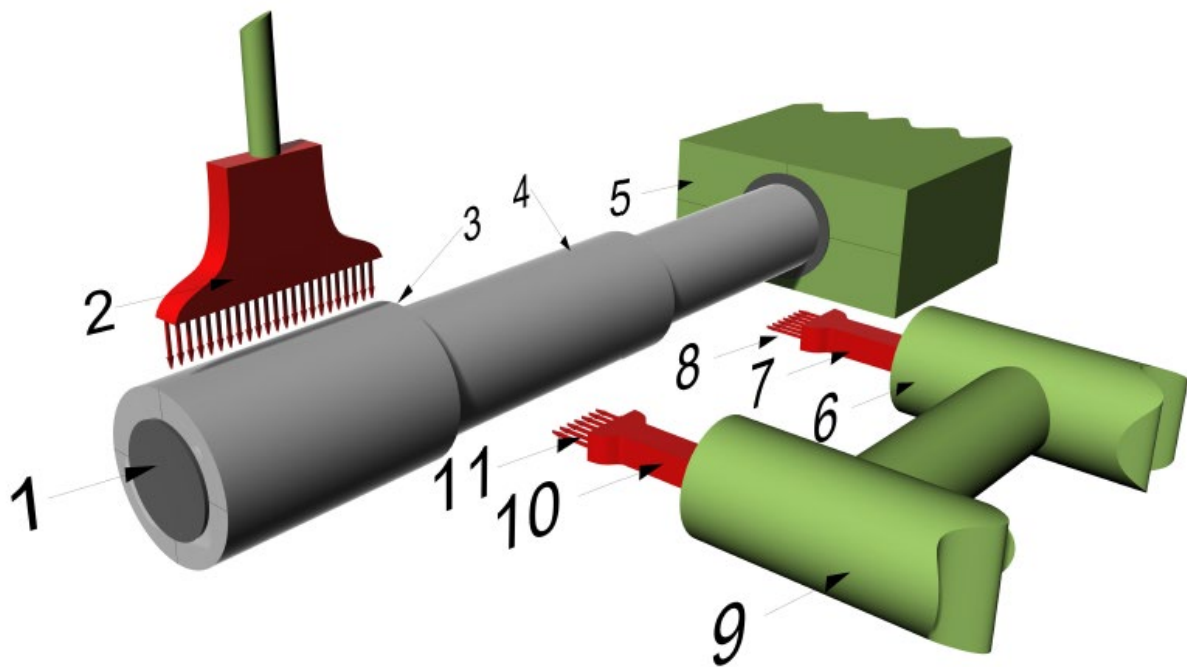


Figure 2 – Plant with fixed spray guns for applying polyurethane foam insulation

Fig.3 shows a diagram of *a plant with a mobile spray gun*, which can insulate pipes with a diameter of 500 to 1200 mm and a length of up to 12 m. The main units of the plant are a roller stand for fixing and rotating the pipe and a spraying device capable of moving along the pipe. They consist of cones 3 and 13, on which the insulated pipe 4 is installed. Cones are fixed on supports 2 and 14 with foundations 15, 16. Cone 3 is driven by an electric motor with a gearbox 1. A frame with rail 7 and sprockets 6 and 11 is attached to the foundation. A carriage 10 is installed on the rail, on which a hose 9 with a sprayer is fixed for feeding heat-insulating mass to the rotating pipe. The carriage 10 is set in motion by the chain transmission 8, which is



powered by the electric motor 5. The polyurethane foam component, applied to the pipe by the moving carriage, is foamed, forming a given thickness of thermal insulation 12. The given thickness of the insulation is ensured by the appropriate selection of the rotation frequency of the pipe and the movement of the carriage in one or several passages. Sometimes, instead of a carriage, a self-propelled cart is used, on which, in addition to the spraying device, containers for insulation components, pump dosing units with control devices and controls are installed.

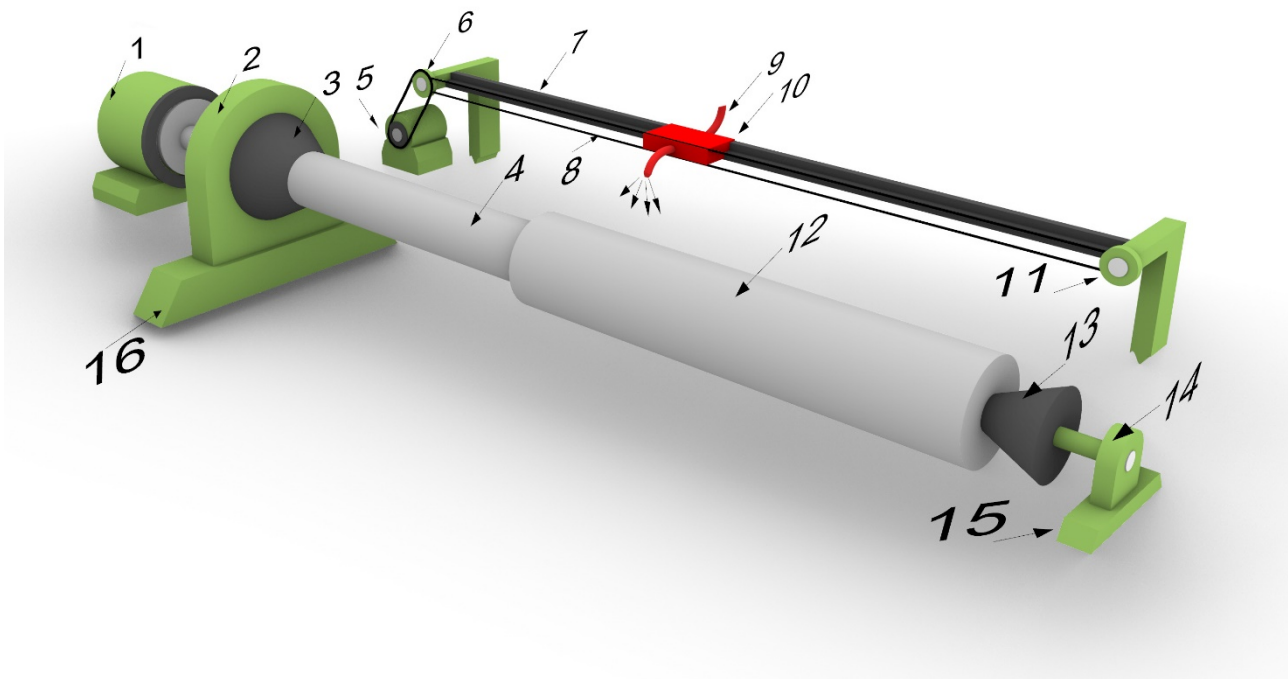


Figure 3 – Plant scheme with a mobile spray gun for applying polyurethane foam insulation

Thus, various devices can be used to apply thermal insulation to tanks and pipelines. The choice of the device should be based on the heat-insulating material and take into account the economic factors of the work.

5.2. Mathematical model of a growing linear viscoelastic body under small deformations in the case of a uniaxial stress state

The production of a viscoelastic body begins at the moment $t = 0$ on the absolute time scale. The moment of nucleation (production) of the element of this body around the point $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)$ on the absolute time scale is denoted by $\tau^*(\mathbf{x})$.



The function of spatial coordinates $\tau^*(\mathbf{x})$ determines the speed and sequence of production of a viscoelastic body or the law of assembly of a structure from viscoelastic elements. General restrictions imposed on the function $\tau^*(\mathbf{x})$ are usually boundedness and piecewise continuity requirements.

If the material, of which a viscoelastic body is made or construction is erected, has the property of ageing, and the manufacturing (construction) process is stretched over time, then the body or construction under consideration will have age heterogeneity, as a result of which its physical and mechanical properties will depend both on time and spatial coordinates.

The dependence of elastic and rheological properties on spatial coordinates in such bodies is caused by the fact that the ageing process in individual elements proceeds with one or another delay or advance, which depends on the age of a given element of the body. Such bodies are called *heterogeneously ageing*.

We can talk about age heterogeneity of a different nature when the body is exposed to a heterogeneous external field (temperature, radiation, etc.), and therefore the ageing process proceeds differently in all its elements. Then the age of the elements will depend on the characteristics of the external field, and therefore on the spatial coordinates, as in the previous case.

We consider a prismatic sample made of ageing viscoelastic material of the same age and loaded with a longitudinal force. We will assume that the sample is in a uniaxial stress state. The total specific deformation of the sample $\delta(t, \tau)$ until the moment of time t under the action of the axial unit load applied at the age τ , is determined by the dependence [10]

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau), \quad (1)$$

where $E(\tau)$ is the age-dependent instantaneous modulus of elasticity of the material,

$C(t, \tau)$ is, so-called, *measure of creep*, equal to the creep deformation of the sample up to the moment of time t . Thus, the total specific deformation consists of two terms, the first of which is the instantaneous elastic deformation that occurs at the moment of application of a unit load and is equal to $\frac{1}{E(\tau)}$ and the second is the creep deformation caused by the action of the same unit load.

At the instant of time, $\tau = \tau_0$ stress is applied to the prismatic sample under consideration, which changes according to the law $\sigma_1 = \sigma_1(t)$ under $t \geq \tau_0$. Then, on



the basis of relation (1) and *the principle of superposition*, the complete *relative deformation* is expressed as dependence

$$\varepsilon_1(t) = \sigma_1(t)\delta(t, \tau_0) + \int_{\tau_0}^t \frac{d\sigma_1(\tau)}{d\tau} \delta(t, \tau) d\tau. \quad (2)$$

Integrating by parts the second term in (2), we obtain

$$\varepsilon_1(t) = \frac{\sigma_1(t)}{E(t)} - \int_{\tau_0}^t \sigma_1(\tau) \frac{d}{d\tau} \delta(t, \tau) d\tau. \quad (3)$$

This ratio is a rheological equation of the creep theory of a homogeneously ageing medium under uniaxial stress. It can be seen from equation (3) that the total longitudinal strain $\varepsilon_1(t)$ of elastic moment strain (first term) and creep strain (second term).

It can be shown that there is an inequality in the interval $\tau_0 \leq \tau \leq \infty$

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \delta(t, \tau) = \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) \right] \leq 0,$$

from which it follows that the creep strain is always integral at $\sigma_1 \geq 0$.

In some cases, it is advisable to write the rheological equation (3) in the form

$$\varepsilon_1(t) = \frac{\sigma_1(t)}{E(t)} - \int_{\tau_0}^t \frac{\sigma_1(\tau)}{E(\tau)} \left[E(\tau) \frac{d}{d\tau} \delta(t, \tau) \right] d\tau.$$

Now we consider a prismatic sample (rod) that is inhomogeneous in time, made of an ageing material and which is in a uniaxial stress state. The heterogeneity of the rod is that the age of the rod material is a function of the longitudinal coordinate x_1 . The moment of material nucleation in the vicinity of the point with the coordinate x_1 , in the absolute time scale, will be denoted by $\tau^*(x_1)$.

We select an elementary segment of the rod and introduce a local time scale t' , for this element, considering that the zero moment of time ($t' = 0$) corresponds to the moment of material nucleation in this element. We write the defining equation for a locally homogeneous rod element in the form

$$\varepsilon'_1(t) = \frac{\sigma'_1(t')}{E(t')} - \int_0^{t'} \frac{\sigma'_1(\tau')}{E(\tau')} Q(t', \tau') d\tau', \quad (4)$$

where $\varepsilon'_1, \sigma'_1$ – axial strain and stress at the point x_1 , $Q(t', \tau')$ – *core of material creep*. Dashes mean, as already noted, that the beginning of time (local time zero) for



the element of the rod under consideration coincides with the moment of its origin in the absolute time scale.

We replace the variable in (4): $t' = t - \tau^*(x_1)$ ($\tau' = \tau - \tau^*(x_1)$), where t is time of the absolute scale, the same for all elements. We get

$$\varepsilon_1(t) = \frac{\sigma_1(t)}{E(t - \tau^*(x_1))} - \int_{\tau_0}^t \frac{\sigma_1(\tau)}{E(\tau - \tau^*(x_1))} Q(t - \tau^*(x_1), \tau - \tau^*(x_1)) d\tau, \quad (5)$$

where ε_1 , σ_1 are deformation and stress corresponding to the moment t in an absolute time scale, a $\tau_0 = \tau_0(x_1)$ is the moment of applying forces to a body element around a point with a coordinate x_1 , in the same timeline.

For each x_1 and given strain $\varepsilon_1(t)$, relation (5) is the Volterra integral equation of the second kind with respect to the stress $\sigma_1(t)$. An overview of works devoted to these equations can be found, for example, in [7, 11]. In particular, if at a fixed x_1 , the core $Q(t - \tau^*(x_1), \tau - \tau^*(x_1))$ and the functions $\varepsilon_1(t)$, $E(t - \tau^*(x_1))$ are integrated in quadratures at $\tau_0(x_1) \leq t \leq T$, then equation (5) has a unique solution $\sigma_1(t)$ in the interval $\tau_0(x_1) \leq t \leq T$, which is expressed in elementary functions.

Ratio (5) determines the equation of state of the linear theory of creep (viscoelasticity) for heterogeneously ageing bodies under uniaxial stress in the case of small deformations.

Due to the fact that the creep cores in these equations clearly depend on the spatial coordinate, nonuniformly ageing viscoelastic bodies will sometimes be called *nonuniformly viscoelastic* bodies.

The main aspect of problems of solid body creep is the need to take into account the time factor when determining the stress-strain state.

This statement of the problem assumes that the creep characteristics of the material of the given body are known – some functions of time and constants determined from the experiment [10, 17]:

- a) instantaneous deformation modulus;
 - b) measure of creep for a uniaxial stress state;
 - c) measure of creep in pure shear;
 - d) coefficient of transverse compression for elastic deformation,
- as well as some parameters included in these functions.

It is very difficult to obtain analytical expressions for these functions in the general case of a spatial stress state. Therefore, when constructing the theory of



creep, it is necessary to proceed directly from experimental creep curves. At the same time, the structure of analytical expressions for the above-mentioned characteristics should reflect the main properties of the creep process in real bodies and not contradict the results of experimental data. At the same time, the theory of creep should be such that it can be counted on to solve its main problems by the usual means of mathematical analysis.

The idea of describing phenomena such as aftereffect and creep using integral equations with a variable upper limit belongs to Boltzmann. It was further developed by Volterra. In most works devoted to the continuous theory of elasticity, the cores of integral equations are assumed to depend on the difference between two arguments – the time of application of the load τ and the moment of observation t . This condition follows the requirement to implement a closed Volterra cycle, which expresses the invariance of the integral relation with respect to the change in the start of the time countdown.

It is known [7; 11] that integral equations with such cores reduce to linear equations with constant coefficients and the theory of heredity is interpreted as the Maxwell-Thomson theory of an elastic-viscous or elastic-relaxing body.

When choosing an analytical expression of the creep rate $C(t, \tau)$ for some materials that have this property, it is necessary to take into account the basic conditions that this expression must satisfy.

Numerical experiments [10, 17 – 19] show that

a) $C(t, \tau) > 0$ for all values $t > \tau$; $C(t, \tau) = 0$ under $t = \tau$;

b) $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\partial C(t, \tau)}{\partial t} = 0$ for all values $0 < \tau \leq t$;

c) the creep function $C(t, \tau)$ should monotonically decrease depending on the age of the material $\frac{\partial C(t, \tau)}{\partial \tau} < 0$, and so that $\lim_{\tau \rightarrow \infty} C(t, \tau) = C_0$, where C_0 is the limiting value of the creep rate for this material;

d) starting from a certain age $\tau = \tau_0$, the value of the creep function $C(t, \tau)$ should differ arbitrarily little from the creep function for old or already ageing material.

Based on these understandings, the expression for the creep rate $C(t, \tau)$ is accepted

$$C(t, \tau) = \varphi(\tau)f(t - \tau). \quad (6)$$

The sum of exponential functions is used to approximate the function $f(t - \tau)$



$$f(t - \tau) = \sum_{k=0}^m B_k e^{-\gamma_k(t-\tau)}, \quad (7)$$

where B_k and γ_k – constants that are selected appropriately for this material, moreover $B_0 = 1$, $\gamma_0 = 0$ i $\gamma_k > 0$ ($k = 1, 2, 3, \dots, m$), a $\varphi(\tau)$ – while the arbitrary monotonically decreasing function meets the condition

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \varphi(\tau) = C_0. \quad (8)$$

Then the relation (6) for $C(t, \tau)$ finally takes

$$C(t, \tau) = \varphi(\tau) \sum_{k=0}^m B_k e^{-\gamma_k(t-\tau)}. \quad (9)$$

This representation of the creep rate $C(t, \tau)$ is characterized in that it reflects the main properties of the phenomenon of material creep over time, namely, its ageing and continuity.

Due to condition (8), expression (9), starting from some age $\tau \geq \tau_0$, will satisfy the asymptotic equality

$$C(t, \tau) \approx C_0 \sum_{k=0}^m B_k e^{-\gamma_k(t-\tau)},$$

which coincides quite well with the experimental creep curves for a number of materials, at their old age, and the difference in the properties of these materials will be determined by the proper selection of parameters C_0 , B_k i γ_k ($k = 1, 2, 3, \dots, m$).

It follows from this that the speed of the function $\varphi(\tau)$ going to a constant value C_0 characterizes the moment when the old age of this material is approaching. In addition, the form of the function $\varphi(\tau)$ should be chosen so that for the age of the material $0 < \tau \leq t$, the expression of the function $C(t, \tau)$ agrees well with the experimental creep curves of this material.

Based on the above considerations and as a result of processing a number of experimental data [17] the function $\varphi(\tau)$ in the general case is represented by the expression

$$\varphi(\tau) = C_0 + \sum_{k=1}^m \frac{A_k}{\tau^k} \quad (\tau > 0), \quad (10)$$

where C_0 is the limit value of creep rate for this material, A_k – some parameters depending on the properties and aging conditions of the material. The values A_k



should be selected so that equation (9) best describes the experimental creep curves of this material.

In [10, 11, 17] some experimental data related to the creep of various materials, including metals exposed to high temperatures, are presented. When analysing and evaluating them, it turns out that in relations (7) and (10) it is enough to limit ourselves to two members of the series, that is, to accept

$$\varphi(\tau) = C_0 + \frac{A_1}{\tau}, \quad f(t - \tau) = 1 + B_1 e^{-\gamma_1(t-\tau)}.$$

The numerical values A_1 , B_1 , C_0 and $\gamma_1 = \gamma$ are selected so as to obtain maximum agreement with the experimental creep curves of the required material. From the same sources, the specified parameters will be selected when solving the problems discussed below.

Thus, if the law of change of creep rate is represented in the general case by the expression

$$C(t, \tau) = \varphi(\tau) [1 - e^{-\gamma(t-\tau)}], \quad (11)$$

where

$$\varphi(\tau) = C_0 + \frac{A_1}{\tau},$$

then it gives a fairly close coincidence with the experimental curves of the creep of metals (at elevated temperatures) both in their old and young ages, and also reflects the main properties of the phenomenon of material creep over time, namely its ageing and heredity.

It is possible that in some cases, for a better match with the experimental creep curves of the material under study, it will be necessary to preserve not two, but more terms of the series in expressions (7) and (10), or even choose a different form of dependence for $\varphi(\tau)$.

Therefore, in the future, when solving the main equations of the theory of viscoelasticity, in order to preserve commonality, we will assume that the measure of creep $C(t, \tau)$ is expressed by a dependence of the general form (11), in which the function $\varphi(\tau)$ should only be monotonic and satisfy the condition (8).

In addition to the creep rate, a few words should be said about one more characteristic – the elastic moment deformation modulus $E(\tau)$.



Numerical studies show [11, 17], that the modulus of elastic instantaneous deformation of ageing materials with increasing age τ grows, approaching the limit value of the modulus of elasticity E_0 for curves of very old age. At the same time, it follows from the experimental curves of elastic moment deformations that in the case of natural ageing, the function $E(\tau)$ is a continuous and limited function of the age τ over the entire interval of its change $\tau^* \leq \tau < \infty$, τ^* – is the time of manufacturing (nucleation) of the material. Summarizing the available experimental data, it can be assumed that the function $E(\tau)$ satisfies the following conditions:

$$E(\tau) > 0, \quad \lim_{\tau \rightarrow \infty} E(\tau) = E_0,$$

$$\frac{dE(\tau)}{d\tau} \geq 0, \quad \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{dE(\tau)}{d\tau} = 0 \quad \forall \tau \geq \tau^*.$$

In the future, we will use the form of the dependence of the instantaneous modulus of elasticity of the ageing material on age $E(\tau) = E_0(1 - A e^{-\beta \tau})$, where A, β are positive constants. This type of dependence is experimentally confirmed in [10, 11, 17].

The values of the creep parameters adopted in the calculations are given when solving specific problems.

5.3. The method of calculating the stress-strain state of viscoelastic growing bodies during the build-up process

We consider an empty homogeneous viscoelastic circular cylinder, the cross-section of which is a circular ring of inner radius a_0 and outer radius b_0 (Fig.4). Starting from the moment of time $t = 0$, an internal pressure $P(t)$, $P(0) = P_0$ is applied to the cylinder from the inside and its continuous increase with a homogeneous viscoelastic material begins, so that the inner radius of the cylinder decreases monotonically according to the law $a(t)$, $a(0) = a_0$. At the moment of time T , the inner radius of the cylinder reaches the value a_1 , and the growth process stops, i.e. $a(t) = a_1$ at $t \geq T$.

The functions $a(t)$ and $P(t)$ are assumed to be continuously differentiable on the interval $0 < t < T$. It is necessary to determine the stress-strain state in the cylinder for all $t \geq 0$.

Solving the given problem, we use the approach outlined in [7, 9, 20, 21].



We consider the plane deformation of the cylinder, that is, we set $u_z = 0$. Here, the z -axis is directed along the axis of the cylinder, and the symbol z denotes the displacement of the points of the cylinder along the z -axis.

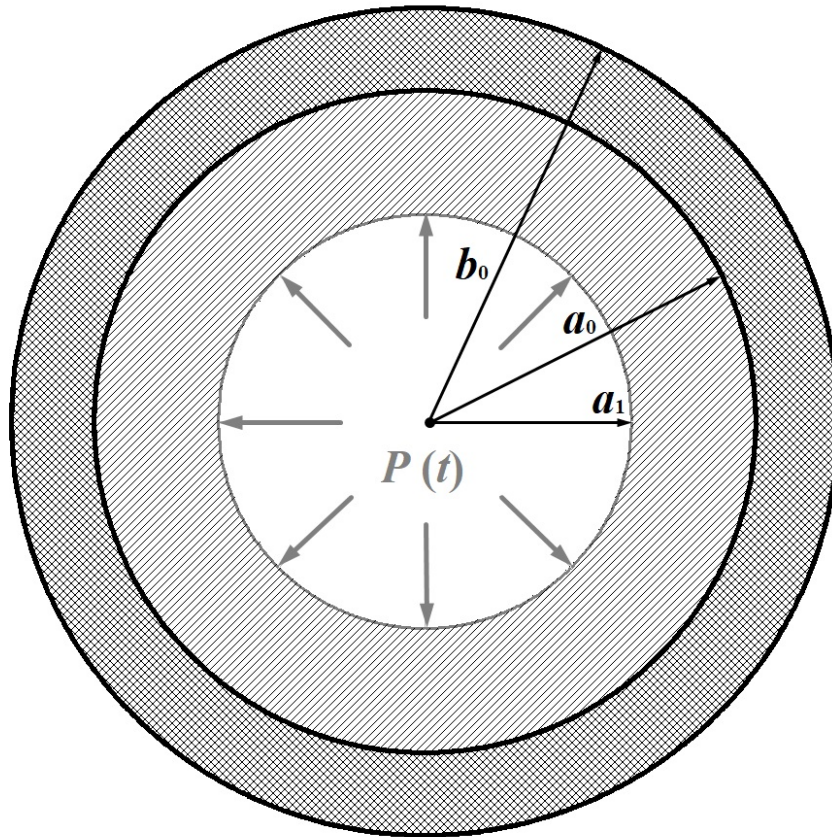


Figure 4 – The scheme of building up a viscoelastic hollow cylinder

We note down the main equations of the problem:
condition of incompressibility –

$$\varepsilon_r + \varepsilon_\vartheta = 0, \quad (12)$$

equilibrium equation –

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = -\frac{\sigma_r - \sigma_\vartheta}{r}, \quad (13)$$

Cauchy relation for rates of deformations and displacements –

$$\dot{\varepsilon}_r = \frac{\partial \dot{u}_r}{\partial r}, \quad \dot{\varepsilon}_\vartheta = \frac{\dot{u}}{r}. \quad (14)$$

Here are r, ϑ – polar coordinates in the plane of the cross-section of the cylinder, $\varepsilon_r = \varepsilon_r(t, r)$ and $\varepsilon_\vartheta = \varepsilon_\vartheta(t, r)$ – deformation components, the dot denotes the time derivative.



Since all deformation components, except for ε_r i ε_θ , are equal to zero, taking into account (12), we have $\varepsilon_u = (2\varepsilon_{ij}\varepsilon_{ij})^{1/2} = 2|\varepsilon_r| = 2|\varepsilon_\theta|$ for the intensity of deformations. From here and from the defining equations of the nonlinear theory of creep for heterogeneously ageing bodies, due to the condition $\varepsilon_\theta > 0$, the equation of state can be written in the form

$$\sigma_r(t, r) - \sigma_\theta(t, r) = 2G_1(t - \tau^*(r)) (\varepsilon_r(t, r) - \varepsilon_\theta(t, r))\varepsilon_\theta^{m-1}(t, r) - \int_{\tau^*(r)}^t R_1(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) (\varepsilon_r(\tau, r) - \varepsilon_\theta(\tau, r))\varepsilon_\theta^{m-1}(\tau, r) d\tau, \quad (15)$$

where $G_1 = G \cdot 2^{m-1}$; $R_1 = R \cdot 2^{m-1}$; $m = 1, 2, 3, \dots$ – parameter characterizing the degree of nonlinearity of the creep law; G – elastic moment modulus of the material; $R = R(t, \tau)$ – relaxation core of viscoelastic material; $\tau^*(r)$ – the moment of nucleation of the elementary layer of the cylinder, τ – the age of the material in which the load is applied to it.

The function $\tau^* = \tau^*(r)$ is equal to zero at $a_0 \leq r \leq b_0$ and coincides with the inverse function $a(t)$ at $a_1 \leq r \leq a_0$, i.e. $\tau^*(a(t)) \equiv t$, $a(\tau^*(r)) \equiv r$, $\tau^*(a_0) = 0$, $a(0) = a_0$.

The boundary conditions have the form

$$\sigma_r(t, b_0) = 0, \quad \sigma_r(t, a(t)) = -P(t), \quad 0 \leq t < T; \\ \sigma_\alpha(t, a_1) = 0, \quad t \geq T, \quad \alpha = r, \theta. \quad (16)$$

Differentiating (12) with respect to time and substituting (14) into the resulting relation, we come to the equation

$$\frac{\partial \dot{u}_r}{\partial r} + \frac{\dot{u}_r}{r} = 0.$$

The last relation is nothing but a differential equation of the first order with respect to the function $\dot{u}_r = \dot{u}_r(t, r)$. Solving this equation, taking into account (14), we obtain

$$\dot{u}_r = \frac{c(t)}{r}, \quad \dot{\varepsilon}_r = -\dot{\varepsilon}_\theta = -\frac{c(t)}{r^2}, \quad (17)$$

where $c(t)$ – some function to be defined.

At the moment of instantaneous application of load $P(t)$ (that is, at $t = 0$), the velocities of deformation components ε_r , ε_θ and displacement u_r contain singular components of the form $\Delta\varepsilon_r(r)\delta(t)$, $\Delta\varepsilon_\theta(r)\delta(t)$, $\Delta u_r(r)\delta(t)$, where $\Delta\varepsilon_r$, $\Delta\varepsilon_\theta$, Δu_r



are the increments of the corresponding values at the moment $t = 0$, and $\delta(t)$ is the Dirac delta function. Therefore, at $t = 0$, the Cauchy relations are fulfilled for the increments of deformations and displacements. Using the above considerations, it can be shown that the solution obtained below is also valid for an arbitrary piecewise continuous load $P(t)$.

Taking into account the initial condition $u_r(\tau^*(r), r) = \varepsilon_\theta(\tau^*(r), r) = 0$ it follows from (17) that

$$u_r(t, r) = \frac{A(t) - A(\tau^*(r))}{r}, \quad (18)$$

$$-\varepsilon_r(t, r) = \varepsilon_\theta(t, r) = \frac{A(t) - A(\tau^*(r))}{r^2} \quad \text{under } a(t) \leq r < a_0; \quad (19)$$

$$u_r(t, r) = \frac{A(t)}{r}, \quad (20)$$

$$-\varepsilon_r(t, r) = \varepsilon_\theta(t, r) = \frac{A(t)}{r^2} \quad \text{under } a_0 \leq r \leq b_0; \quad (21)$$

$$A(t) = - \int_0^t c(\tau) d\tau. \quad (22)$$

The integration in (22) includes the point $t = 0$. Therefore, if the singular component of the function $c(t)$ is denoted by $c_0 \delta(t)$, then the boundary of the function $A(t)$ at the point $t = 0$ on the right is equal to c_0 .

We express the stress σ_r through the function $A(t)$. For this, we will consider two areas.

The area $a_0 \leq r \leq b_0$ is the output cylinder.

Substituting the expression for the deformation components (21) into (15), we obtain (taking into account that $\tau^* = 0$, since there is no build-up process)

$$\sigma_r(t, r) - \sigma_\theta(t, r) = -\frac{2}{r^{2m}} \left[2G_1(t)A^m(t) - \int_0^t R_1(t, \tau)A^m(\tau) d\tau \right]. \quad (23)$$

Integrating equation (13) in the range from r to b_0 , we have, taking into account the boundary conditions (16)

$$\sigma_r(t, r) = \int_r^{b_0} \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} dr. \quad (24)$$

Substituting (23) into (24), we finally have



$$\sigma_r(t, r) = - \left[2G_1(t)A^m(t) - \int_0^t R_1(t, \tau)A^m(\tau)d\tau \right] \int_r^{b_0} \frac{2dr}{r^{2m+1}}. \quad (25)$$

The area $a(t) \leq r < a_0$ is the growth zone.

Substituting (19) into the equation of state (15), we have

$$\begin{aligned} \sigma_r(t, r) - \sigma_\theta(t, r) = & -\frac{2}{r^{2m}} [2G_1(t - \tau^*(r)) (A(t) - A(\tau^*(r)))^m - \\ & - \int_{\tau^*(r)}^t R_1(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) (A(\tau) - A(\tau^*(r)))^m d\tau]. \end{aligned} \quad (26)$$

Integrating (13) in the range from $a(t)$ to r , taking into account the boundary conditions (16), we obtain

$$\sigma_r(t, r) = -P(t) - \int_{a(t)}^r \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} dr. \quad (27)$$

Substituting (26) to (27), we have

$$\begin{aligned} \sigma_r(t, r) = & -P(t) + \int_{a(t)}^r \frac{2dr}{r^{2m+1}} [2G_1(t - \tau^*(r)) (A(t) - A(\tau^*(r)))^m - \\ & - \int_{\tau^*(r)}^t R_1(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) (A(\tau) - A(\tau^*(r)))^m d\tau]. \end{aligned} \quad (28)$$

The equation for determining the function $A(t)$ follows from the condition of continuity of stress $\sigma_r(t, r)$ at the interface of the two areas under consideration, i.e. at $r = a_0$. Substituting the value $r = a_0$ into (25) and (28) and equating their right-hand sides, we have

$$\begin{aligned} & - \left[2G_1(t)A^m(t) - \int_0^t R_1(t, \tau)A^m(\tau)d\tau \right] \int_{a_0}^{b_0} \frac{2dr}{r^{2m+1}} = -P(t) + \\ & + \int_{a(t)}^{a_0} \frac{2dr}{r^{2m+1}} [2G_1(t - \tau^*(r)) (A(t) - A(\tau^*(r)))^m - \\ & - \int_{\tau^*(r)}^t R_1(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) (A(\tau) - A(\tau^*(r)))^m d\tau]. \end{aligned}$$

Transferring all terms to one side of the equation, and the function $P(t)$ to the other, we obtain



$$\begin{aligned}
 & \left[2G_1(t)A^m(t) - \int_0^t R_1(t, \tau)A^m(\tau)d\tau \right] \int_{a_n}^{b_0} \frac{2dr}{r^{2m+1}} + \\
 & + \int_{a(t)}^{a_0} \frac{2}{r^{2m+1}} (2G_1(t - \tau^*(r))(A(t) - A(\tau^*(r)))^m) dr - \\
 & - \int_{a(t)}^{a_0} \frac{2dr}{r^{2m+1}} \int_0^t R_1(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) (A(\tau) - A(\tau^*(r)))^m d\tau = P(t). \quad (29)
 \end{aligned}$$

In the last expression, in the second and third terms, we introduce the substitution of variables $\tau = \tau^*(r)$ ($r = a(\tau)$), then $dr = \dot{a}(\tau)d\tau$, and under $r = a_0$, $\tau = \tau^*(a_0) = 0$; under $r = a(t)$, $\tau = \tau^*(a(t)) \equiv t$. To prevent overlap in the notation in the last term of expression (29) (τ is a parameter and τ is a new variable), which arises in connection with this substitution, for the variable τ we enter $s = \tau^*(r)$ ($r = a(s)$), then the expression (29) are rewritten in the form

$$\begin{aligned}
 & \left[2G_1(t)A^m(t) - \int_0^t R_1(t, \tau)A^m(\tau)d\tau \right] \int_{a_n}^{b_0} \frac{2dr}{r^{2m+1}} + \\
 & + \int_n^t \frac{2\dot{a}(\tau)}{a^{2m+1}(\tau)} [2G_1(t - \tau)(A(t) - A(\tau))^m] d\tau + \\
 & + \int_n^t \int_n^\tau \frac{2\dot{a}(s)}{a^{2m+1}(s)} R_1(t - s, \tau - s) (A(\tau) - A(s))^m ds d\tau = P(t). \quad (30)
 \end{aligned}$$

We note here

$$\begin{aligned}
 H_1 &= 2 \int_{a_n}^{b_0} \frac{dr}{r^{2m+1}}, \quad H_2 = \frac{4\dot{a}(\tau)G_1(t - \tau)}{a^{2m+1}(\tau)}, \\
 H_3(t, \tau, s) &= \frac{2\dot{a}(s)}{a^{2m+1}(s)} R_1(t - s, \tau - s),
 \end{aligned}$$

the equation (30) takes the form

$$\begin{aligned}
 H_1 \left(2G_1(t)A^m(t) - \int_0^t R_1(t, \tau)A^m(\tau)d\tau \right) - \int_0^t H_2(t, \tau)(A(t) - A(\tau))^m d\tau + \\
 + \int_n^t \int_n^\tau H_3(t, \tau, s)(A(\tau) - A(s))^m ds d\tau = P(t). \quad (31)
 \end{aligned}$$



Having determined the function $A(t)$ from the nonlinear integral equation (31), displacement u_r and deformation components ε_r and ε_θ according to formulas (18) – (21), and stresses σ_r and σ_θ according to formulas (23), (25), (26), (28). For the stress σ_z , from the condition $\varepsilon_z = 0$ and the equation of state (15), we $\sigma_z = \frac{1}{2}(\sigma_r + \sigma_\theta)$.

5.4. Mathematical model of the build-up process of a viscoelastic hollow cylinder under the action of internal pressure

We consider the build-up in the case of a linear creep law. This case can be investigated by putting $m = 1$ in the established relations. At the same time, from formulas (20), (21), (23), (25) we have

$$\begin{aligned} u_r(t, r) &= \frac{A(t)}{r}, \quad -\varepsilon_r(t, r) = \varepsilon_\theta(t, r) = \frac{A(t)}{r^2}, \\ \sigma_r(t, r) - \sigma_\theta(t, r) &= -\frac{2}{r^2} \left(2G(t)A(t) - \int_0^t R(t, \tau)A(\tau)d\tau \right), \\ \sigma_r(t, r) &= - \left[2G(t)A(t) - \int_0^t R(t, \tau)A(\tau)d\tau \right] \int_r^{b_0} \frac{2dr}{r^3} \quad \text{under } a_0 \leq r \leq b_0; \end{aligned} \quad (32)$$

from (18), (19), (26), (28) we obtain

$$\begin{aligned} u_r(t, r) &= \frac{A(t) - A(\tau^*(r))}{r}, \\ -\varepsilon_r(t, r) = \varepsilon_\theta(t, r) &= \frac{(A(t) - A(\tau^*(r)))}{r^2}, \\ \sigma_r(t, r) - \sigma_\theta(t, r) &= -\frac{2}{r^2} \left[2G(t - \tau^*(r))(A(t) - A(\tau^*(r))) - \right. \\ &\quad \left. - \int_{\tau^*(r)}^t R(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r))(A(\tau) - A(\tau^*(r)))d\tau \right], \\ \sigma_r(t, r) &= -P(t) + \int_{a(t)}^r \frac{2dr}{r^3} [2G(t - \tau^*(r))(A(t) - A(\tau^*(r))) - \\ &\quad - \int_{\tau^*(r)}^t R(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r))(A(\tau) - A(\tau^*(r)))d\tau] \quad \text{при } a(t) \leq r < a_0. \end{aligned} \quad (33)$$



Next, as in the case of the general creep law, to determine the function $A(t)$ we formulate an equation that follows from the condition of continuity of stress $\sigma_r(t, r)$ at the interface of two areas, i.e. at $r = a_0$. After transformations similar to those carried out when obtaining formula (29), we have

$$\begin{aligned}
 A(t) \int_{a(t)}^{b_0} 2G(t - \tau^*(r)) \frac{2dr}{r^3} - \int_{a(t)}^{b_0} \frac{2dr}{r^3} \int_0^t R(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) A(\tau) d\tau - \\
 - \int_{a(t)}^{a_0} 2G(t - \tau^*(r)) A(\tau^*(r)) \frac{2dr}{r^3} + \\
 + \int_{a(t)}^{a_0} \frac{2dr}{r^3} \int_0^t R(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) A(\tau^*(r)) d\tau = P(t).
 \end{aligned}$$

In this expression, we apply the same change of variable to the last two terms as in formula (29) and at the same time change the order of integration so that the integral

$$\int_0^t A(\tau) d\tau$$

is "external", after which we have

$$\begin{aligned}
 A(t) \int_{a(t)}^{b_0} 2G(t - \tau^*(r)) \frac{2dr}{r^3} - \int_0^t \left[\int_{a(t)}^{b_0} R(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) \frac{2dr}{r^3} + \right. \\
 \left. + \frac{2\dot{a}(\tau)}{a^3(\tau)} \left(\int_{\tau}^t R(t - \tau, s - \tau) ds - 2G(t - \tau) \right) \right] A(\tau) d\tau = P(t). \quad (34)
 \end{aligned}$$

Denoting in the equation (34)

$$\begin{aligned}
 D_1(t) &= \int_{a(t)}^{b_0} 2G(t - \tau^*(r)) \frac{2dr}{r^3}, \\
 D_2(t, \tau) &= \int_{a(\tau)}^{b_0} R(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) \frac{2dr}{r^3} + \\
 &+ \frac{2\dot{a}(\tau)}{a^3(\tau)} \left(\int_{\tau}^t R(t - \tau, s - \tau) ds - 2G(t - \tau) \right),
 \end{aligned}$$



we obtain Volterra's integral equation of the second kind for determining the function $A(t)$ in the case of a linear creep law

$$D_1(t)A(t) - \int_0^t D_2(t, \tau)A(\tau)d\tau = P(t). \quad (35)$$

As it is known [7, 11, 18] the solution (35) can be obtained in quadratures if the relaxation core is taken in the form

$$R(t, \tau) = \frac{\partial \mu(t, \tau)}{\partial \tau}, \quad (36)$$

$$\mu(t, \tau) = 2G(\tau) - \varphi(\tau)(1 - e^{-\gamma(t-\tau)}). \quad (37)$$

The function $\frac{\mu(t, \tau)}{\gamma}$ is equal to the tangential stress in a homogeneous body at the moment of time t when a unit shear deformation is applied to the body at the age τ ; $\varphi(\tau)$ is an ageing function, γ is a constant, a material parameter.

Equation (35), using relations (36), (37), can be written in the form

$$A(t)\mu_1(t, t) - \int_0^t \frac{\partial \mu_1(t, \tau)}{\partial \tau} A(\tau)d\tau = P(t), \quad (38)$$

where

$$\mu_1(t, \tau) = \int_{\alpha(t)}^{b_0} \mu(t - \tau^*(r), \tau - \tau^*(r)) \frac{2dr}{r^3}. \quad (39)$$

Substituting (37) into (39), we get

$$\mu_1(t, \tau) = 2G_2(\tau) - \varphi_2(\tau)(1 - e^{-\gamma(t-\tau)}),$$

$$G_2(\tau) = \int_{\alpha(t)}^{b_0} G(\tau - \tau^*(r)) \frac{2dr}{r^3}, \quad \varphi_2(\tau) = \int_{\alpha(t)}^{b_0} \varphi(\tau - \tau^*(r)) \frac{2dr}{r^3}. \quad (40)$$

Equation (38) is solved by reducing it to a second-order differential equation with respect to the function $A(t)$. Indeed, equation (38), integrating parts taking into account (39), and (40), can be written in the form

$$\int_0^t \dot{A}(\tau) [2G_2(\tau) - \varphi_2(\tau)(1 - e^{-\gamma(t-\tau)})] d\tau = P(t).$$

Differentiating the last ratio twice with respect to t , we find

$$2G_2(t)\dot{A}(t) - \int_0^t \dot{A}(\tau) \varphi_2(\tau) \gamma e^{-\gamma(t-\tau)} d\tau = \dot{P}(t), \quad (41)$$



$$2G_2(t)\ddot{A}(t) + 2\dot{G}_2(t)\dot{A}(t) - \gamma \varphi_2(t)\dot{A}(t) + \gamma^2 \int_0^t \dot{A}(\tau) \varphi_2(\tau) e^{-\gamma(t-\tau)} d\tau = \ddot{P}(t). \quad (42)$$

Excluding the integral from relations (41), (42)

$$\int_0^t \dot{A}(\tau) \varphi_2(\tau) e^{-\gamma(t-\tau)} d\tau,$$

we obtain the differential equation for determining the function $A(t)$

$$2G_2(t)\ddot{A}(t) + \dot{A}(t) [2\dot{G}_2(t) - \gamma \varphi_2(t) + \gamma 2G_2(t)] = \ddot{P}(t) + \gamma \dot{P}(t), \quad (43)$$

with the following initial conditions that follow directly from (38) and (41) taking into account (39), (40)

$$A(0) = \frac{P(0)}{2G_2(0)}, \quad \dot{A}(0) = \frac{\dot{P}(0)}{2G_2(0)}. \quad (44)$$

Solving equation (43) with the initial conditions (44), we finally obtain the solution for the function $A(t)$

$$A(t) = \frac{P_0}{2G_2(0)} + \frac{\dot{P}(0)}{2G_2(0)} \int_0^t e^{-\eta(\tau)} d\tau + \int_0^t e^{-\eta(\tau)} d\tau \int_0^\tau \frac{\ddot{P}(x) + \gamma \dot{P}(x)}{2G_2(x)} e^{\eta(x)} dx, \quad (45)$$

where

$$\eta(\tau) = \int_0^\tau \left[\gamma + \left(2\dot{G}_2(z) - \gamma \varphi_2(z) \right) 2G_2^{-1}(z) \right] dz.$$

Having determined the function $A(t)$ from relation (45), we find displacement u_r , components of deformations $\varepsilon_r, \varepsilon_\theta$, as well as stresses according to formulas (32), (33).

As an example, we consider the problem of build-up the above-mentioned cylinder made of polymer material that works in aggressive environments.

We take the function $\mu(t, \tau)$ in the form (37), provided that

$$G = \text{const}, \quad \varphi(\tau) = 2G(C_0 + A_0 e^{-\beta \tau}), \quad (46)$$

where C_0, A_0, β are material constants [10; 11].

The inner radius $a(t)$ of the cylinder vary according to the ratio

$$\frac{1}{a^2(t)} = \frac{1}{a_0^2} + \left(\frac{1}{a_1^2} - \frac{1}{a_0^2} \right) \frac{t}{T}, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (47)$$

as shown in Fig.5.



Before starting directly to determine the stress-strain state of the cylinder, it is necessary to calculate the functions $G_2(\tau)$ and $\varphi_2(\tau)$, which are included in the expression for determining the function $A(t)$. For this, we use formulas (40). Parameters C_0, A_0, β, γ and values a_0, a_1 are fixed and equal to: $C_0 = 0,38$; $A_0 = 0,55$; $\beta = 0,015 \text{ hour}^{-1}$; $\gamma = 0,1 \text{ hour}^{-1}$; $a_0 = 0,9b_0$; $a_1 = 0,5b_0$, and the internal pressure changes according to the linear law $P(t) = P_0 - P_0 t/(2T)$. Since the stresses do not depend on the value of the elastic moment modulus G , and displacements and deformations are inversely proportional to it, $G = 1$ can be assumed in the calculations.

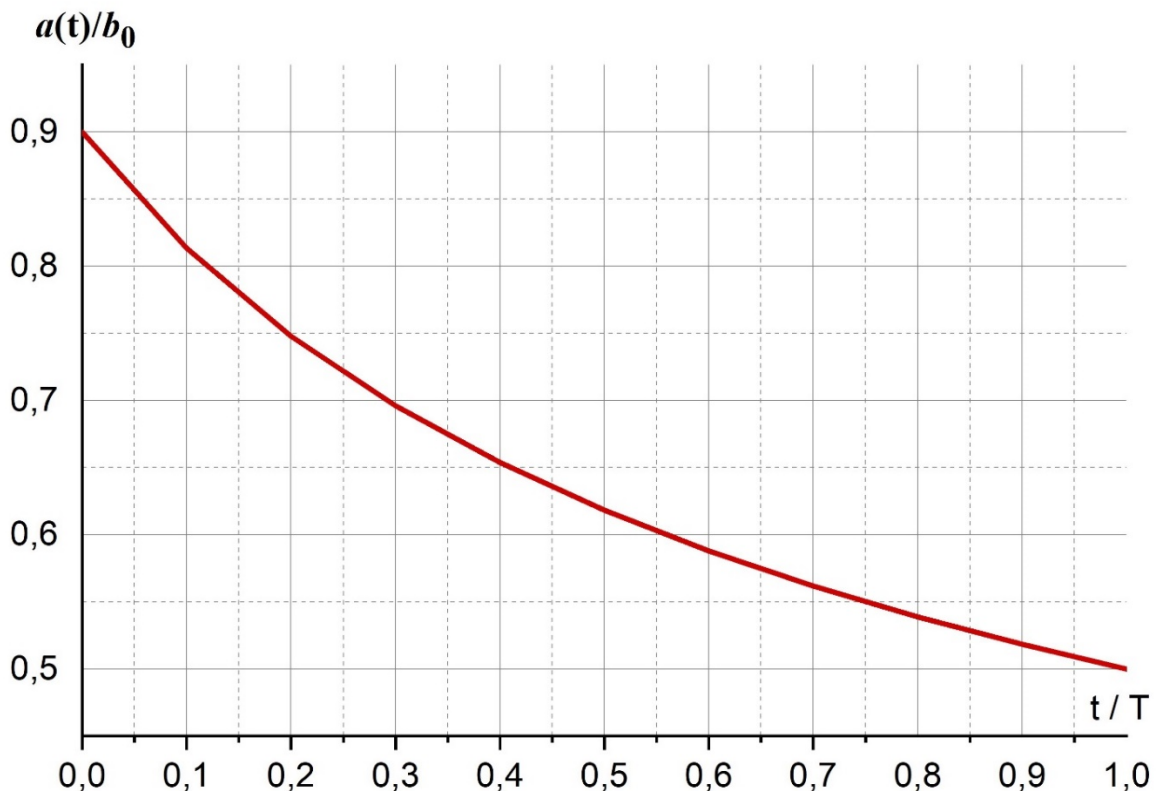


Figure 5 – The law of changing the inner radius of the cylinder

Substituting (46), (47) into relation (40) taking into account the numerical values of the parameters (material constants) included in them and the values a_0, a_1 , we obtain

$$G_2(\tau) = 0,235 + 2,765 \frac{\tau}{T},$$

$$\varphi_2(\tau) = 0,0235 + 0,2765\tau + \frac{207,412}{T} e^{0,018\tau} - \frac{207,412}{T} e^{(0,016T - 0,02\tau)}. \quad (48)$$

Expressions (48) are presented in dimensionless form for convenience.



Substituting (48) to (45), we determine the function $A(t)$, and by formulas (32), (33) – the stress-strained state of the cylinder.

Fig.6, 7 and 8 show the time dependences of the maximum tangential stress and displacement u_r at different values of the build-up time T for the following points of the cylinder: 1 – $r = b_0$; 2 – $r = 0,9b_0$; 3 – $r = 0,79b_0$.

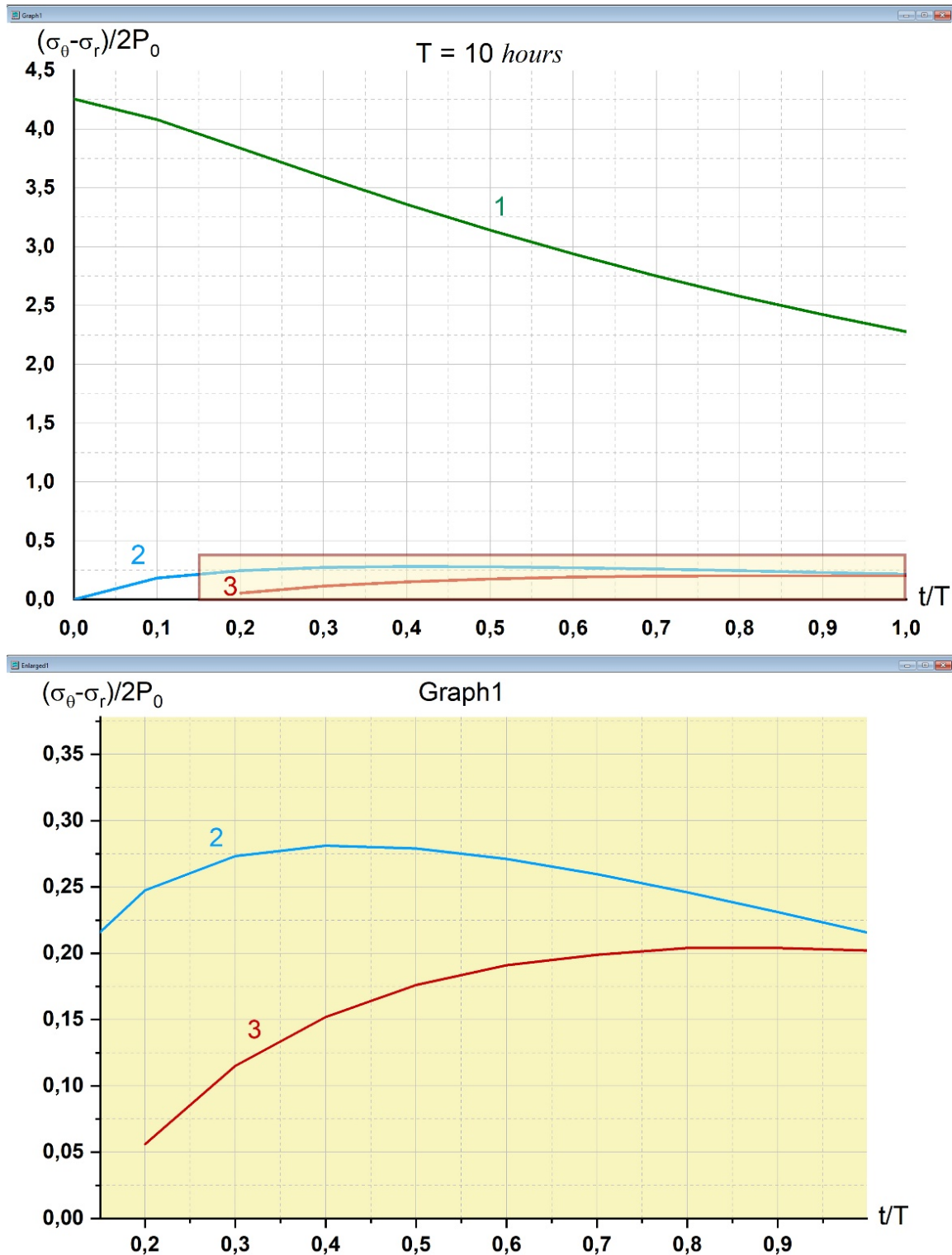


Figure 6 – Dependence of the maximum tangential stresses on time for different points of the cross-section of the cylinder at $T = 10$ hours



For a more visual presentation of the obtained results, in the lower part (Enlarged1) of the graph, Fig.6 shows an enlarged fragment highlighted in colour in the upper part (Graph1).

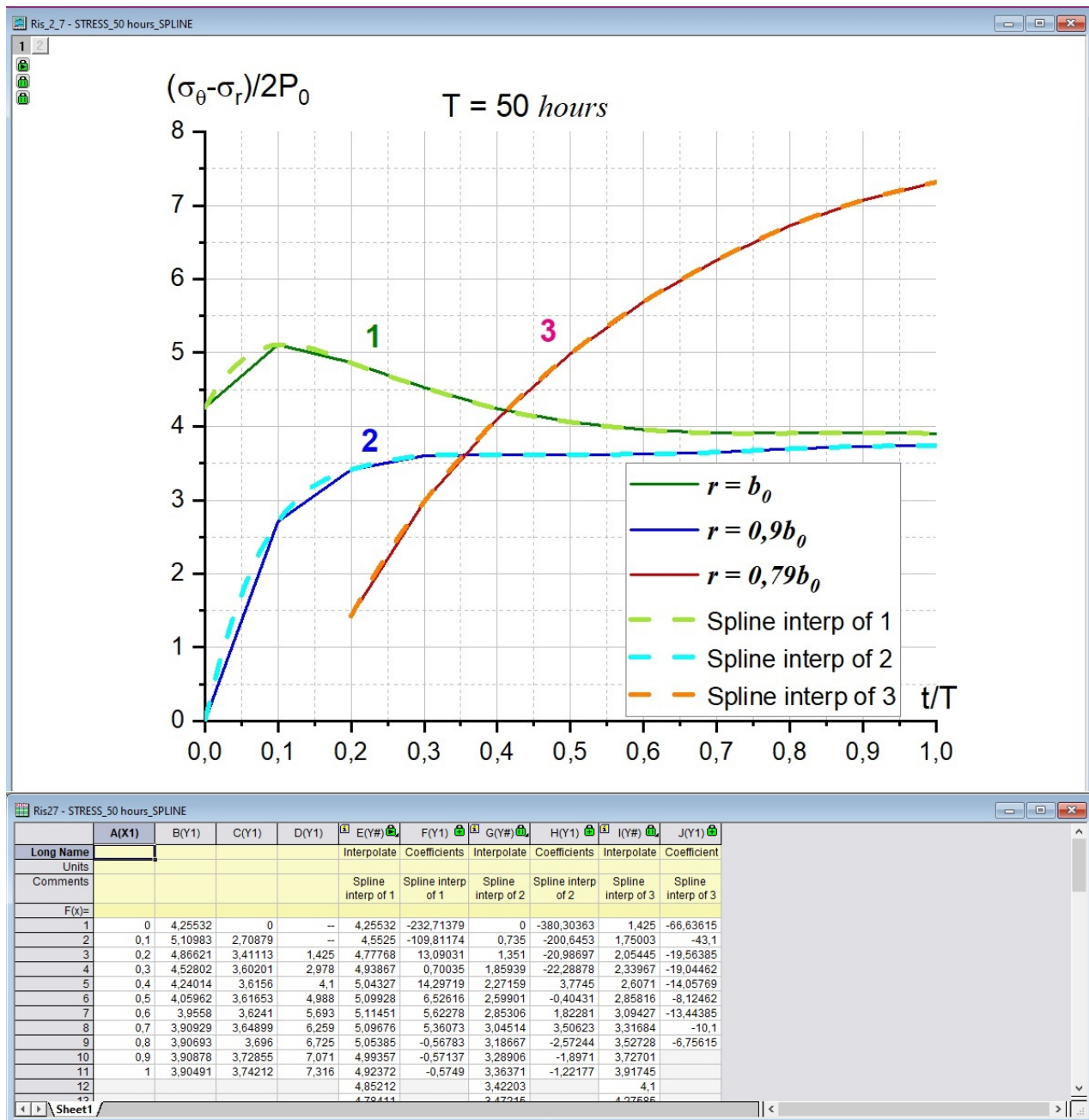


Figure 7 – Dependence of the maximum tangential stresses on time for different points of the cross-section of the cylinder at $T = 50$ hours

For the convenience of using the obtained results in practice, in Fig.7, the lower part (Ris27_STRESS_50 hours_SPLINE) shows additional calculations in the OriginPro 2019b [22], package, which are related to interpolation (dashed lines in the upper part) by cubic splines.

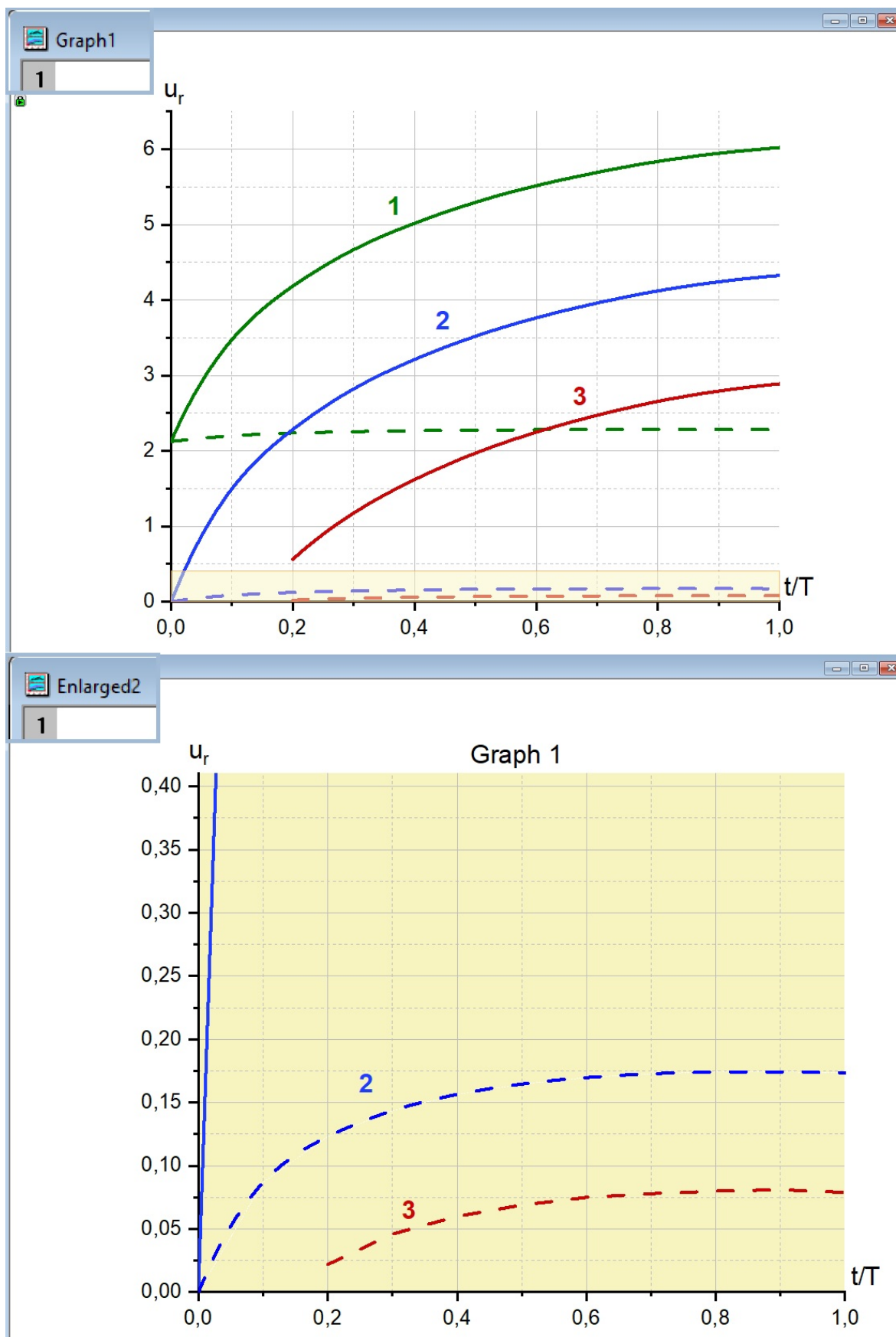


Figure 8 – Dependence of radial displacements on time for different points of the cross-section of the cylinder at $T = 50$ hours (solid lines) and $T = 10$ hours (dashed lines)



As we can see from Fig.6 – 8, the duration of the build-up process affects both the stress state and the displacement of the points of the cylinder. At the same time, the nature of the curves changes slightly, but the magnitudes of the stresses and displacements themselves change strongly. So, for example, from Fig.6, 7, it is obvious that with ten hours of build-up, the stresses at point 1 monotonically decrease, and at point 2 they increase slightly, and by the end of the build-up process, they even decrease little by little. At fifty hours of build-up, the picture is completely different – the stresses at the second point begin to increase significantly later and approach the values at point 1, and the stresses at point 3 increase so much that they already exceed the stresses at points 1 and 2 twice. This stress distribution can be explained as follows: firstly, points 2 and 3 are always closer to the line of action of the load than point 1, secondly, with a faster build-up process, the material does not have time to fully reveal its viscoelastic properties, which is also confirmed by the displacement curves shown in Fig.8.

Thus, the presented calculation scheme makes it possible to estimate the influence of the build-up time on the stress-strain state of the growing cylinder.

5.5. Effects of component material heterogeneity on the stress-strain state during the build-up and Analysis of the obtained results

One of the important aspects of interest, both in the mechanics of growing viscoelastic bodies and in the production of various parts by the methods of build-up, is the issue of how the stress-strain state is formed in the part when the original and build-up material have different viscoelastic properties, i.e. the part obtained in this way consists of a non-homogeneous, as a whole, material [9].

We consider an empty circular viscoelastic (elastic moment modulus of the material – $G^{(1)}$) cylinder of inner radius a and outer radius b_0 (Fig.9). Starting from the moment of time $t = 0$, an internal pressure $P(t)$, $P(0) = P_0$ is applied to the cylinder from the inside, and its continuous increase begins with a material with a different, generally speaking, elastic moment modulus $G^{(2)}$, so that the outer radius of the cylinder increases monotonically according to the law $b(t)$, $b(0) = b_0$. In the future, in this paragraph, the superscripts "1" and "2", taken in parentheses, will denote the values corresponding to the initial empty cylinder ($a \leq r \leq b_0$) and the



growing region ($b_0 < r \leq b(t)$). The absence of a superscript means that the quantity under consideration is defined at $a \leq r \leq b(t)$. At the moment of time T , the outer radius of the cylinder reaches the value b_1 , and the growth process stops, i.e. $b(t) = b_1$ at $t \geq T$.

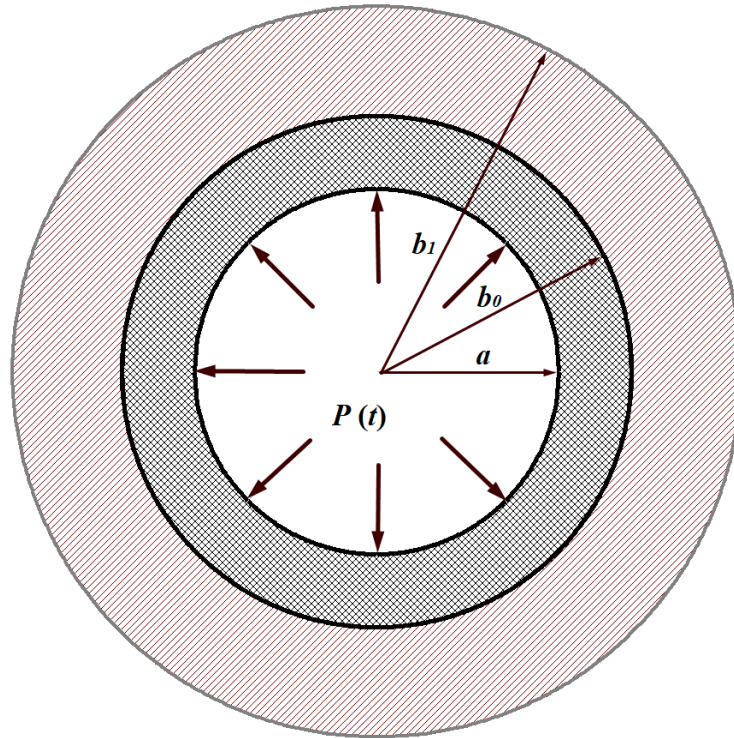


Figure 9 – Build-up of a folded cylinder

The functions $b(t)$ and $P(t)$ are assumed to be continuously differentiable on the interval $0 < t < T$. It is necessary to determine the stress-strain state in the cylinder for all $t \geq 0$.

In [11], the problem of the build-up of a cylinder is considered assuming the same viscoelastic characteristics of the original and built-up material. The purpose of this paragraph is to study the effects of various viscoelastic characteristics of the body and its build-up time on the stress-strain state. The corresponding ratios are obtained using the approach outlined in Section 3 of this work, as a result of which, after comparing the obtained results with the known ones, we are able to talk about the probability of the results as a whole for the chapter.

We enter the cylindrical coordinates r, θ, z and consider the plane deformation of the cylinder, that is, we set $u_z = 0$.

We write down the main equations of the problem:

$$\varepsilon_r + \varepsilon_\theta = 0, \quad (49)$$



$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = -\frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r}, \quad (50)$$

$$\dot{\varepsilon}_r = \frac{\partial \dot{u}_r}{\partial r}, \quad \dot{\varepsilon}_\theta = \frac{\dot{u}_r}{r}. \quad (51)$$

Here the dot indicates the partial derivative over time.

We write the rheological equations for the material of the initial cylinder and the build-up area in a form similar to (15) in the case of the linear creep law:

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(1)}(t, r) - \sigma_\theta^{(1)}(t, r) &= 2G^{(1)}(t - \tau^*) (\varepsilon_r^{(1)}(t, r) - \varepsilon_\theta^{(1)}(t, r)) - \\ &- \int_{\tau^*}^t R^{(1)}(t - \tau^*, \tau - \tau^*) (\varepsilon_r^{(1)}(\tau, r) - \varepsilon_\theta^{(1)}(\tau, r)) d\tau, \\ \sigma_r^{(2)}(t, r) - \sigma_\theta^{(2)}(t, r) &= 2G^{(2)}(t - \tau^*) (\varepsilon_r^{(2)}(t, r) - \varepsilon_\theta^{(2)}(t, r)) - \\ &- \int_{\tau^*}^t R^{(2)}(t - \tau^*, \tau - \tau^*) (\varepsilon_r^{(2)}(\tau, r) - \varepsilon_\theta^{(2)}(\tau, r)) d\tau. \end{aligned}$$

Here, as before, $\tau^* = \tau^*(r)$ is the nucleation time of the elementary layer of the cylinder; τ is the age of the material in which the load was applied to it; $G^{(1)}, G^{(2)}$ are elastic moment moduli of the material; $R^{(1)}(t, \tau), R^{(2)}(t, \tau)$ are the corresponding relaxation cores.

The function $\tau^* = \tau^*(r)$ is zero at $a \leq r \leq b_0$ and coincides with the inverse function of the function $b(t)$, at $b_0 \leq r \leq b_1$.

The boundary conditions have the form

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(1)}(t, a) &= -P(t), \quad \sigma_r^{(1)}(0, b_0) = 0, \quad \sigma_r^{(2)}(t, b(t)) = 0 \quad (0 < t \leq T), \\ \sigma_r^{(2)}(t, b_1) &= 0 \quad (t > T), \quad \sigma_\theta^{(2)}(t, b(t)) = 0 \quad (0 < t \leq T). \end{aligned}$$

After transformations similar to items 3 and 4, the stress-strain state in the considered cylinder is determined by the formulas [9]:

$$\begin{aligned} u_r^{(1)}(t, r) &= \frac{A(t)}{r}, \quad -\varepsilon_r^{(1)}(t, r) = \varepsilon_\theta^{(1)}(t, r) = \frac{A(t)}{r^2}, \\ \sigma_r^{(1)}(t, r) - \sigma_\theta^{(1)}(t, r) &= -\frac{4G^{(1)}(t)}{r^2} \left(A(t) - \int_0^t R^{(1)}(t, \tau) A(\tau) d\tau \right), \\ \sigma_r^{(1)}(t, r) &= \\ &= -P(t) + 2G^{(1)} \left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{r^2} \right) \left[A(t) - \int_0^t R^{(1)}(t, \tau) A(\tau) d\tau \right], a \leq r \leq b_0; \quad (52) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 u_r^{(2)}(t, r) &= \frac{A(t) - A(\tau^*(r))}{r}, \quad -\varepsilon_r^{(2)}(t, r) = \varepsilon_\theta^{(2)}(t, r) = \frac{(A(t) - A(\tau^*(r)))}{r^2}, \\
 \sigma_r^{(2)}(t, r) - \sigma_\theta^{(2)}(t, r) &= \\
 &= -\frac{G^{(2)}(t - \tau^*)}{G^{(2)}(0)} \sigma_\theta^{(2)}(\tau^*(r), r) \left[1 - \int_{\tau^*}^t R^{(2)}(t - \tau, \tau - \tau^*) d\tau \right] - \\
 &\quad - \frac{4}{r^2} G^{(2)}(t - \tau^*) \left\{ A(t) - A(\tau^*) - \int_{\tau^*}^t R^{(2)}(t - \tau, \tau - \tau^*) (A(\tau) - A(\tau^*)) d\tau \right\}, \\
 \sigma_r^{(2)}(t, r) &= -\frac{2}{G^{(2)}(0)} \int_r^{b(t)} \sigma_\theta^{(2)}(\tau^*(\rho), \rho) G^{(2)}(t - \tau^*) \left[1 - \int_{\tau^*}^t R^{(2)}(t - \tau, \tau - \tau^*) d\tau \right] \frac{d\rho}{\rho} - \\
 &\quad - 8 \int_r^{b(t)} G^{(2)}(t - \tau^*) \left\{ A(t) - A(\tau^*) - \int_{\tau^*}^t R^{(2)}(t - \tau, \tau - \tau^*) (A(\tau) - A(\tau^*)) d\tau \right\} \frac{d\rho}{\rho^3}, \\
 &\quad b_0 \leq r \leq b(t). \quad (53)
 \end{aligned}$$

In formulas (52), (53), the function $A(t)$ is determined from the solution of the integral equation obtained from the condition of continuity of the radial stress component at the interface between the output cylinder and the build-up area.

For the convenience of numerical calculations, we assume that $G^{(1)} = \text{const}$, $G^{(2)} = \text{const}$, and refer to all values with the dimension of length to the outer radius b_0 of the output cylinder, and the values with the dimension of stress – to the shear modulus $G^{(1)}$ of the output cylinder. We assume that time is measured in dimensionless conventional units. Then, keeping the previous notations for dimensionless quantities, the integral equation for determining the function $A(t)$ has the form

$$D_1(t) A(t) - \int_0^t A(\tau) D_2(t, \tau) d\tau = Y(t), \quad (54)$$

where notations are entered

$$\begin{aligned}
 D_1(t) &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a^2} - 1 \right) + \frac{G^*}{2} \left(1 - \frac{1}{b^2(t)} \right), \\
 D_2(t, \tau) &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{a^2} - 1 \right) R^{(1)}(t, \tau) + G^* \frac{\dot{b}(\tau)}{b^3(\tau)} \left[1 - \int_\tau^t R^{(2)}(t - \tau, s - \tau) ds \right] +
 \end{aligned}$$



$$+G^* \int_0^{\tau} R^{(2)}(t-s, \tau-s) \frac{\dot{b}(s)}{b^3(s)} ds,$$

$$Y(t) = \frac{1}{8} p(t) - \frac{1}{4} \int_1^{b(t)} \sigma_{\theta}^*(\tau^*(\rho), \rho) \left[1 - \int_{\tau^*}^t R^{(1)}(t-\tau, \tau-\tau^*) d\tau \right] \frac{d\rho}{\rho}.$$

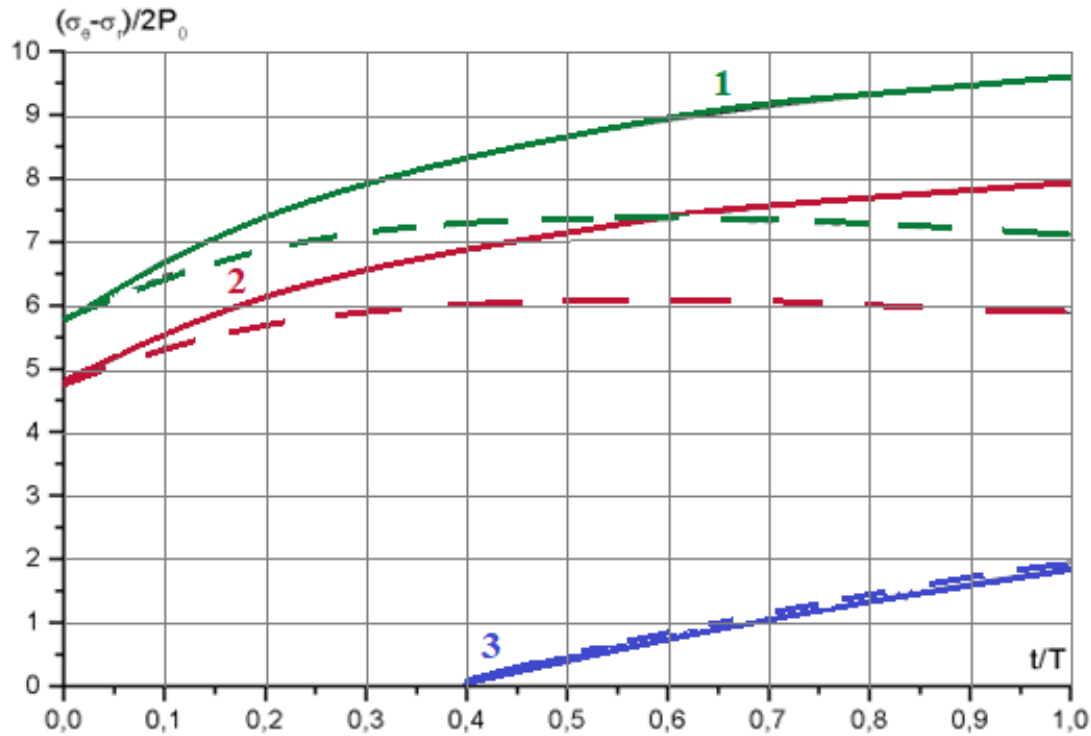


Figure 10. Time dependence of the maximum tangential stresses in a growing compound viscoelastic cylinder at different points of the cross-section at $T = 10$ days

As an example, we consider the problem related to the manufacture of polymer cylinders for work in aggressive environments, with an outer layer of viscoelastic material, which are made by winding (building up) the material on the initial cylindrical shells of elastic material. It is quite natural that in this case the viscoelastic properties of the output cylinder can be neglected and $R^{(1)}(t, \tau) \equiv 0$ can be accepted. Other initial data were chosen as in clause 4. Equation (54) was solved by the method of successive approximations. The obtained results are shown in Fig.10 – 13. They show the dependences of the maximum tangential stress and displacement u_r on time for the following points of the cylinder: curve 1 corresponds to the point $r = a$; curve 2 – $r = b_0 = 1.1a$; curve 3 – $r = 1.21a$. During calculations, parameters C_0, A_0, β, γ



and values b_0, b_1 are fixed and equal: $C_0 = 0.05$, $A_0 = 0.75$, $\beta = 0.02 \text{ days}^{-1}$, $\gamma = 0.1 \text{ days}^{-1}$, $b_0 = 1.1a$, $b_1 = 1.5a$ the pressure changes according to the law $P(t) = P_0 + \frac{P_0 t}{T}$, the outer radius increases according to the dependence

$$\frac{1}{b^2(t)} = \frac{1}{b_0^2} + \left(\frac{1}{b_1^2} - \frac{1}{b_0^2} \right) \frac{t}{T}, \quad 0 \leq t \leq T.$$

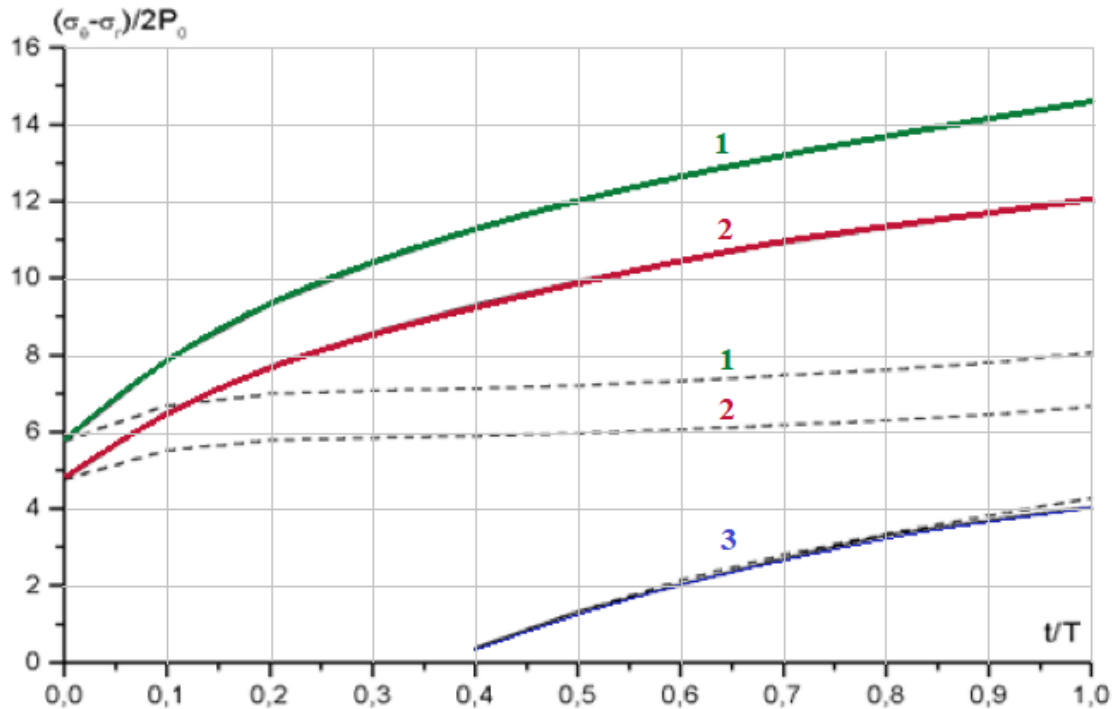


Figure 11. Dependence of maximum tangential stresses on time in a growing compound viscoelastic cylinder at different points of the cross-section at $T = 50$ days

Dashed curves are obtained for a cylinder made of a homogeneous material [11], continuous curves characterize the behaviour of a composite cylinder, the initial part of which has an elastic moment modulus that exceeds the modulus of the building material. The calculations were performed for the relative values of the modulus G^* , which was equal to the ratio of the spring-moment moduli of the original and build-up materials, and equal to 1, 2, 3. As can be seen from Fig.10 – 13, heterogeneity affects both the stress state and the displacement of points of the cylinder. At the same time, for point 3 – $r = 1.21a$, the influence of heterogeneity on stress is minimal. Fig.10, 11 show that for a non-homogeneous cylinder, an increase in the build-up time leads to a more significant increase in stresses than for a homogeneous one.

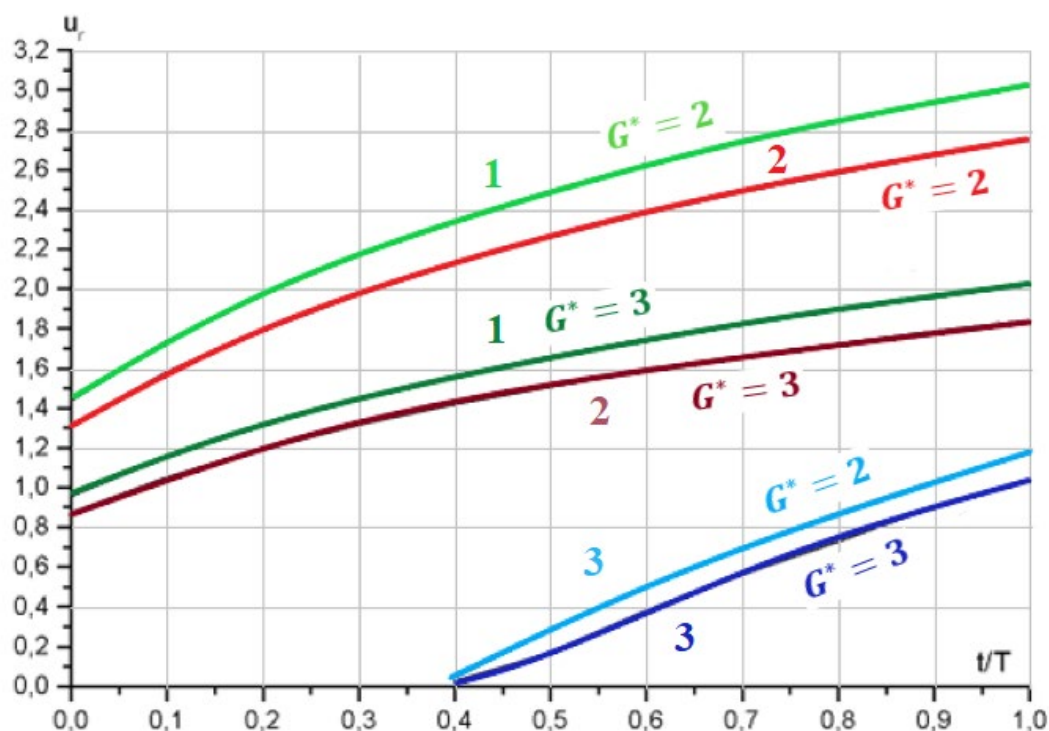


Figure 12. Distribution of radial displacements over time for different values of the ratio of the elastic moment modulus of the initial and build-up material at $T = 10$ days

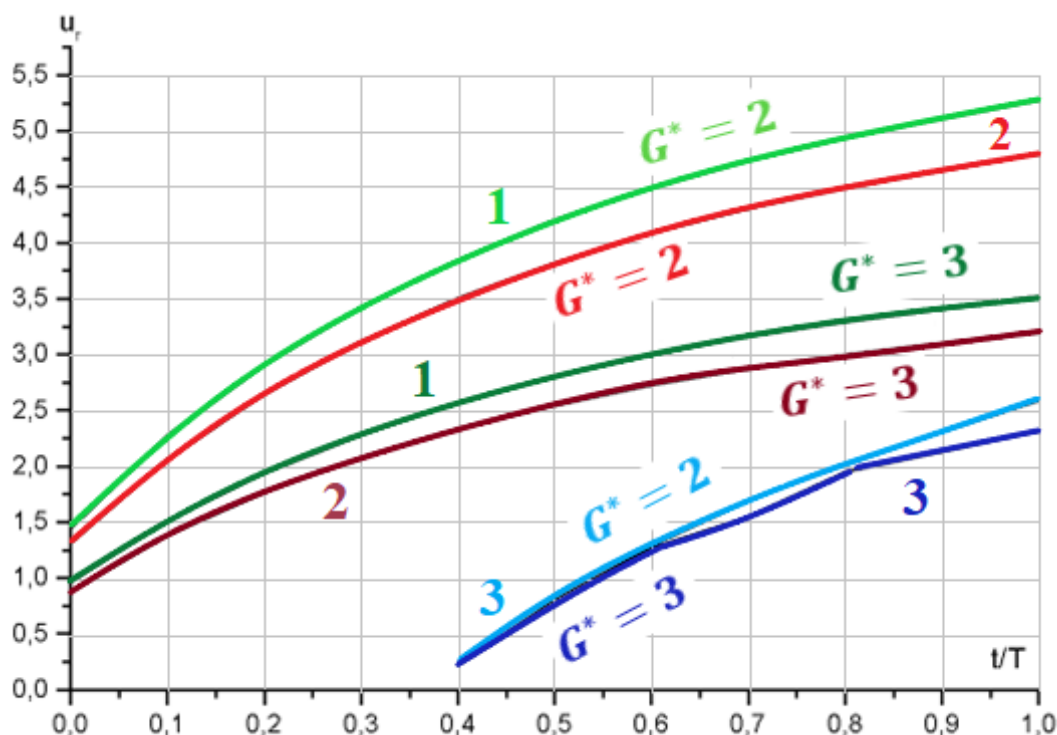


Figure 13. Distribution of radial displacements over time for different values of the ratio of the elastic moment modulus of the initial and build-up material at $T = 50$ days



Thus, the maximum stress at the point $r = a$ for a homogeneous cylinder increases by 1.1 times when the build-up duration increases from ten to fifty days, and by 1.52 times in a non-homogeneous cylinder ($G^* = 2$). The graphs shown in Fig.12 and 13 demonstrate that increasing the stiffness of the material of the initial cylinder leads to a decrease in the movement of all its points during the build-up process. At the same time, an increase in the build-up time leads to a general increase in displacements but does not change the degree of influence of the stiffness of the initial material of the cylinder on the final displacement values. So, for example, with ten days of build-up, displacements at $G^* = 3$ decreased compared to displacements at $G^* = 2$ by 33%, and the same value at fifty days of build-up is 34%.

In addition, regression analysis was performed for tangential stresses during 10 hours of build-up, namely, nonlinear cubic pairwise regression. Calculations were made in Microsoft Excel. The results of the calculations are shown in Fig.14.

The following conclusions can be drawn based on the obtained results of mathematical interpretation.

1. Tangential stresses in layers 1 and 2 (models 1(2) and 2(1)) affect each other differently. So, for example, in the case of model 1(2), the influence of stresses in layer 2 on stresses in layer 1 is moderate and the regression equation is difficult to recommend 100% for practical problems. Only under certain conditions. In the opposite case, model 2(1), the relationship is very close, and the cubic regression equation can be considered the optimal model and used in design institutes, design bureaus and other institutions.

2. The connection between the tangential stresses in layers 1 and 3 (models 1(3) and 3(1)) is close in both cases. Similarly, the cubic regression equation in both models is estimated with high accuracy. They can be used in the simulation of manufacturing processes of cylindrical parts and structural elements by means of build-up methods, predicting stress-deformed state.

3. The connection between the tangential stresses in layers 2 and 3 (models 2(3) and 3(2)) turned out to be unpredictable. Analysis of the results shows that the stresses in layer 3 significantly influence the stresses in layer 2 (model 2(3)), the connection between them is close, and the cubic regression equation is highly accurate. It can be used in mathematical modeling. In the case of model 3(2), there is no connection between stresses at all. With the help of nonlinear paired regression, we can get any approximation.

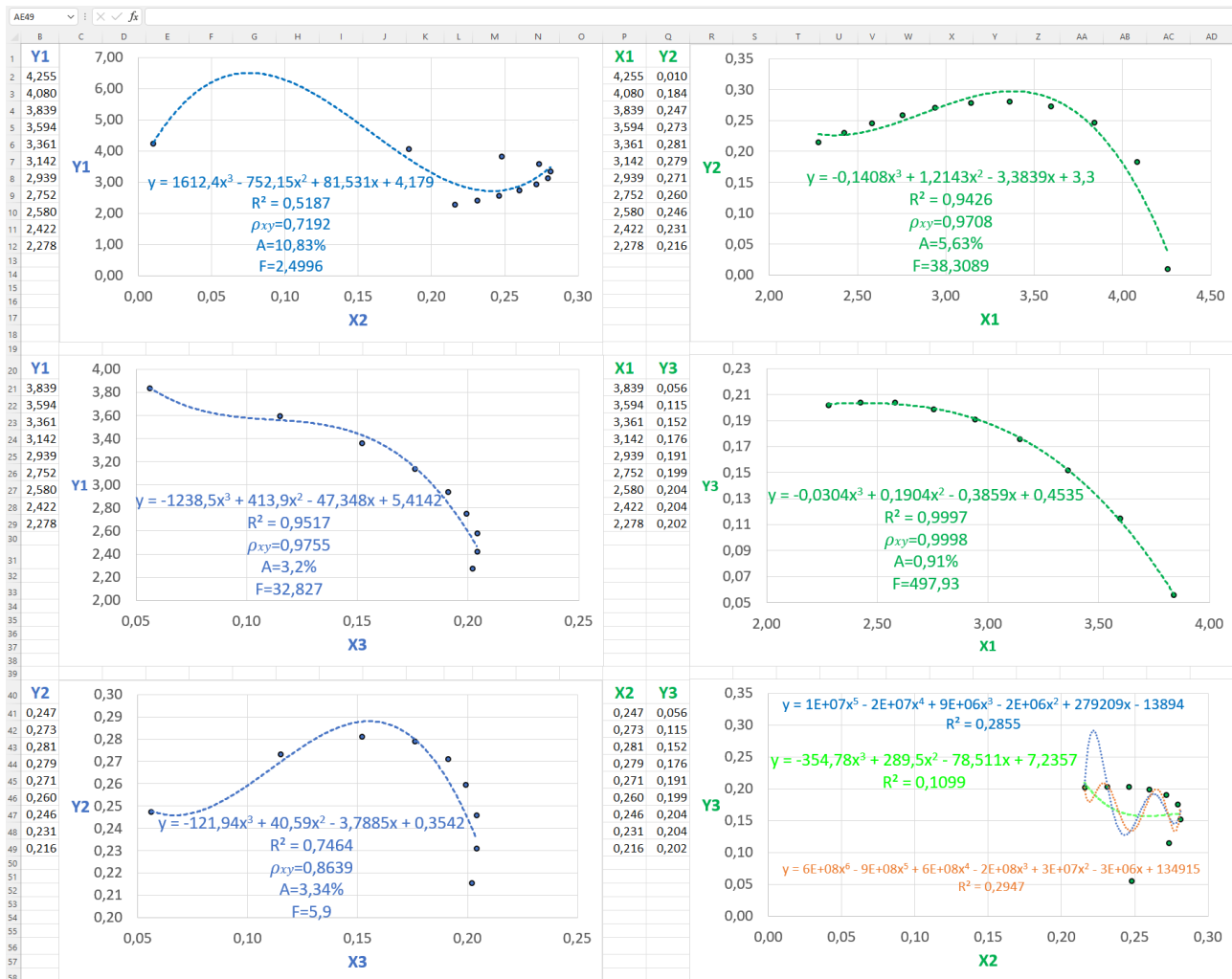


Figure 14 – Regression analysis

4. Having experimental data in one of the layers of the cylinder, it is possible to predict the behavior of stresses in other layers of the part without conducting additional experiments, which saves money and time.

It is shown how with the help of nonlinear paired regression, namely cubic regression, having experimental data, it is possible to investigate the connection of tangential stresses between different layers of a cylindrical part during build-up. Despite some contradictions that arose during the evaluation of the models according to various regression parameters, it was established that at least four of the six models are optimal and allow to adequately model the process of the formation of the stress-strain state in the details and elements of structures with significantly lower costs even before the stage of manufacturing finished products.



Conclusions

The conducted research on the formation of the stress-strain state in growing bodies, as well as on the influence of various parameters of the technological process on it, showed that the proposed model adequately describes the real process of manufacturing parts by the methods of build-up. The developed algorithm allows solving the problems of both external and internal build-up taking into account the degree of nonlinearity of the creep law. The algorithm has a uniform calculation scheme and uniformity in the direction of increase. In addition, the unified algorithm makes it possible to solve the problems of determining the stress-strain state in parts when the original and build-up material have different viscoelastic properties, that is, the part obtained in this way consists of generally heterogeneous material.

The obtained results make it possible to evaluate the influence of both the build-up time and viscoelastic characteristics on the stress-strain state of bodies of rotation made of viscoelastic material.

The comparison of the obtained results of the research of the effect of various viscoelastic characteristics of the body and its build-up time on the stress-strain state with known solutions to the problem of building up a cylinder with the same viscoelastic characteristics of the original and build-up material [11] shows a satisfactory agreement.

This agreement and the gained analytical ratios confirm the reliability of the results as a whole for the chapter.

КАПИТЕЛ 6 / CHAPTER 6⁶

CONSIDERATION OF THE EFFECT OF AQUEOUS DIURESIS WITH MOLECULAR HYDROGEN SATURATION ON KIDNEY FUNCTION IN INTACT RATS

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-001

Введення

Добре відомо, що гальмування окисно-відновного потенціалу води на кожні 59 мВ призводить до зростання кількості електронів у 10 разів. За гальмування окисно-відновного потенціалу води на 118 мВ, кількість електронів зростає у 100 разів, на 177 мВ – в 1000 разів і т.д. Наростання кількості електронів може сприяти покращанню синтезу макроергів АТФ і, відповідно, позитивно впливати на головний енергозалежний процес нирок – реабсорбцію іонів натрію. Водночас, навантаження організму водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за використання мікрогідрину призводить до активації механізму базального тонусу, транзиторної ішемії судин кіркової речовини нирок та гальмування клубочкової фільтрації, фільтраційної фракції, проксимальної реабсорбції іонів натрію, розвитку протеїнурії [1]. Допускається, що дану проблему можна вирішити шляхом використання води від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням воднем, який може проникати всередину клітин, досягати мітохондрій, легко долати бар'єри організму: гемато-енцефалічний, гемато-тироїдний, гемато-тестикулярний, гемато-кохлеарний, проникати в ділянки ішемії та набряку та виявляти антиоксидантну дію шляхом нейтралізації гідроксильного радикалу та пероксинітриду [2, 3]. Водночас до сьогоднішнього дня питання щодо впливу води від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням молекулярним воднем на функцію нирок в інтактних тварин вивчено недостатньо.

Мета написання розділу монографії - з'ясувати питання щодо впливу навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням молекулярним воднем на показники функції нирок порівняно до індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу без насичення воднем.

Крім того, шляхом використання лінійного та багатофакторного регресійного аналізу проведено детальний порівняльний аналіз впливу навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням

⁶Authors: Rohovyi Yurii Yevhenovych, Tsitrin Volf Yakovych



воднем на взаємозв'язки між показниками функції нирок та окисно-відновного потенціалу води та сечі.

6.1. Показники окисно-відновного потенціалу води і сечі.

На рис. 3.1 наведені значення величин окисно-відновного потенціалу (мВ) води: 1 – звичайна водогінна вода, 2 – вода від'ємного окисно-відновного потенціалу з обробкою препаратом мікрогідрин, 3 – вода від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем. Слід зазначити, що величини від'ємного окисно-відновного потенціалу без насичення воднем (обробка препаратом мікрогідрин) та при насиченні воднем вірогідно не відрізнялися. Це дало можливість оцінити вплив саме насичення воднем на досліджувані процеси. Величина окисно-відновного потенціалу сечі склала $89,8 \pm 1,46$ мВ за умов індукованого діурезу, проведеного звичайною водогінною водою з окисно-відновним потенціалом $90,4 \pm 1,45$ мВ. Окисно-відновний потенціал сечі склав $92,9 \pm 1,83$ мВ за індукованого діурезу з від'ємним окисно-відновним потенціалом води без насичення воднем із застосуванням мікрогідрину, який склав $-304,5 \pm 4,79$ мВ. Окисно-відновний потенціал сечі знижувався до $-39,9 \pm 1,28$ мВ ($p < 0,01$) за індукованого діурезу з від'ємним окисно-відновним потенціалом води з насиченням воднем $-297,9 \pm 5,27$ мВ (рис. 3.2).

6.2. Показники функції нирок за впливу водного діурезу з насиченням молекулярним воднем.

За навантаження водою з від'ємним окисно-відновним потенціалом без насичення воднем виявлено зростання величини сечовиділення, відносного діурезу, концентрації креатиніну в плазмі крові, концентрації та екскреції білка з сечею, кліренсу безнатрієвої води за гальмування швидкості клубочкової фільтрації за кліренсом креатиніну, фільтраційної фракції іонів натрію, відносної реабсорбції води, проксимального транспорту іонів натрію, концентрації та екскреції креатиніну з сечею (табл. 3.1). Інші показники змін не зазнавали.



Рис. 3.1 - Величина окисно-відновного потенціалу (мВ) води: 1 – звичайна водогінна вода, 2 – вода від'ємного окисно-відновного потенціалу з обробкою препаратом мікрогідрин, 3 – вода від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем.
 p – вірогідність різниць порівняно до звичайної водогінної води (непараметричний тест Манна-Уїтні).



Рис. 3.2 - Величина окисно-відновного потенціалу (мВ) сечі: 1 – звичайна водогінна вода, 2 – вода від'ємного окисно-відновного потенціалу з обробкою препаратом мікрогідрин, 3 – вода від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем.
 $p1$ – вірогідність різниць порівняно до звичайної водогінної води,
 $p2$ – вірогідність різниць порівняно до препарату мікрогідрин (непараметричний тест Манна-Уїтні).



Таблиця 3.1 - Вплив індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу на функціональний стан нирок у інтактних щурів за використання мікрогідрину ($x \pm Sx$)

Показники	Навантаження водогінною водою - контроль (n=10)	Навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за використання мікрогідрину (n=10)
Відносний діурез, %	94,22±0,521	97,98±0,147 p < 0,01
Діурез, мл/2 год · 100 г	4,71±0,026	4,89±0,007 p < 0,01
Швидкість клубочкової фільтрації, мкл/ хв · 100 г	167,7±1,60	126,9±3,70 p < 0,01
Відносна реабсорбція води, RH_2O %	76,57±0,270	68,21±0,900 p < 0,01
Проксимальний транспорт іонів натрію, T^pNa^+ мкмоль/ хв · 100 г	17,55±0,190	11,89±0,550 p < 0,01
Дистальне постачання іонів натрію, $LDNa^+$ мкмоль/ хв · 100 г	5,37±0,046	5,48±0,091
Дистальний транспорт іонів натрію, T^dNa^+ мкмоль/ хв · 100 г	5,35±0,050	5,47±0,090
Інтенсивність реабсорбції іонів натрію в дистальному каналці, T^dNa^+ %	99,978±0,0010	99,977±0,010
Реабсорбція іонів натрію в нефроні в цілому, %	99,960±0,0000	99,940±0,0000 p < 0,01
Кліренс іонів натрію, мл/2 год · 100 г	0,0087±0,00040	0,0092±0,00040
Кліренс безнатрієвої води, мл/2 год · 100 г	4,70±0,030	4,89±0,010 p < 0,01
Кліренс безнатрієвої води, мл/100 мл клубочкового фільтрату	2,81±0,030	3,88±0,110 p < 0,01

p - вірогідність різниць порівняно з навантаженням водогінною водою;

n - число спостережень.



Продовження таблиці 3.1

Показники	Навантаження водогінною водою - контроль (n=10)	Навантаження водою від'єм- ного окисно- відновного потенціалу за використання мікрогідрину (n=10)
Кліренс креатиніну, мл/2 год · 100 г	20,12±0,190	15,52±0,440 p < 0,01
Концентрація іонів натрію в плазмі крові, ммоль/л	136,7±1,10	136,8±1,10
Концентрація креатиніну в плазмі крові, мкмоль/л	38,81±0,490	45,50±0,780 p < 0,01
Концентрація іонів калію в сечі, ммоль/л	8,91±0,070	8,90±0,070
Екскреція іонів калію, мкмоль/хв · 100 г	0,350±0,0030	0,357±1,0060
Концентрація іонів натрію в сечі, ммоль/л	0,252±0,0100	0,258±0,0110
Фільтраційна фракція іонів натрію, мкмоль/хв · 100 г	22,91±0,180	17,38±0,590 p < 0,01
Екскреція іонів натрію, мкмоль/хв · 100 г	0,0099±0,00040	0,0103±0,00040
Концентрація білка в сечі, мг/мл	0,021±0,0005	0,032±0,0016 p < 0,01
Екскреція білка, мг/2 год · 100 г	0,099±0,0030	0,157±0,0080 p < 0,01
Концентрація креатиніну в сечі, мкмоль/л	165,8±2,60	143,7±2,70 p < 0,05
Екскреція креатиніну, ммоль/2 год · 100 г	0,047±0,0010	0,041±0,0010 p < 0,05

p - вірогідність різниць порівняно з навантаженням водогінною водою;

n - число спостережень.



За навантаження водою з від'ємним окисно-відновним потенціалом з насиченням воднем виявлено зростання відносної реабсорбції води, фільтраційної фракції іонів натрію та його проксимального транспорту за зниження концентрації, екскреції білка з сечею та кліренса безнатрієвої води.

Діурез, відносний діурез, швидкість клубочкової фільтрації, дистальне постачання іонів натрію та його транспорт, інтенсивність реабсорбції іонів натрію в дистальному відділі нефрону, реабсорбція іонів натрію в нефроні в цілому, кліренс іонів натрію, кліренс креатиніну, концентрації іонів натрію та креатиніну в плазмі крові, концентрація іонів калію в сечі та його екскреція, екскреція іонів натрію, концентрація креатиніну в сечі та його екскреція змін не зазнавали (табл. 3.2).

За навантаження водою з від'ємним окисно-відновним потенціалом з насиченням воднем порівняно до навантаження водою з від'ємним окисно-відновним потенціалом без насичення воднем за використання мікрогідрину виявлено зростання швидкості клубочкової фільтрації, відносної реабсорбції води, фільтраційної фракції іонів натрію та його проксимального транспорту за зниження кліренсу безнатрієвої води розрахованого на 100 мл клубочкового фільтрату, концентрації креатиніну в плазмі крові, концентрації та екскреції білка з сечею та концентрації креатиніну в плазмі крові.

Діурез, відносний діурез, дистальне постачання іонів натрію та його транспорт, інтенсивність реабсорбції іонів натрію в дистальному відділі нефрону, реабсорбція іонів натрію в нефроні в цілому, кліренс іонів натрію, кліренс безнатрієвої води, концентрація іонів натрію в плазмі крові, концентрація іонів калію в сечі та його екскреція, концентрація іонів натрію в сечі та екскреція іонів натрію, екскреція креатиніну з сечею змін не зазнавали (табл. 3.2).



Таблиця 3.2 - Вплив індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу на функціональний стан нирок у інтактних щурів за додаткового насичення воднем ($x \pm Sx$)

Показники	Навантаження водогінною водою - контроль (n=10)	Навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за додаткового насичення воднем (n=10)
Відносний діурез, %	94,22 $\pm$ 0,521	93,83 $\pm$ 1,465
Діурез, мл/2 год $\cdot$ 100 г	4,71 $\pm$ 0,026	4,69 $\pm$ 0,073
Швидкість клубочкової фільтрації, мкл/ хв $\cdot$ 100 г	167,7 $\pm$ 1,60	174,9 $\pm$ 4,60
Відносна реабсорбція води, RH_2O %	76,57 $\pm$ 0,270	77,58 $\pm$ 0,310 $p < 0,01$
Проксимальний транспорт іонів натрію, T^pNa^+ мкмоль/ хв $\cdot$ 100 г	17,55 $\pm$ 0,190	18,74 $\pm$ 0,560 $p < 0,05$
Дистальне постачання іонів натрію, $LDNa^+$ мкмоль/ хв $\cdot$ 100 г	5,37 $\pm$ 0,046	5,39 $\pm$ 0,093
Дистальний транспорт іонів натрію, T^dNa^+ мкмоль/ хв $\cdot$ 100 г	5,35 $\pm$ 0,050	5,39 $\pm$ 0,090
Інтенсивність реабсорбції іонів натрію в дистальному каналці, T^dNa^+ %	99,978 $\pm$ 0,0010	99,978 $\pm$ 0,010
Реабсорбція іонів натрію в нефроні в цілому, %	99,960 $\pm$ 0,0000	99,960 $\pm$ 0,0000
Кліренс іонів натрію, мл/2 год $\cdot$ 100 г	0,0087 $\pm$ 0,00040	0,0086 $\pm$ 0,00040
Кліренс безнатрієвої води, мл/2 год $\cdot$ 100 г	4,70 $\pm$ 0,030	4,68 $\pm$ 0,070
Кліренс безнатрієвої води, мл/100 мл клубочкового фільтрату	2,81 $\pm$ 0,030	2,69 $\pm$ 0,040 $p < 0,01$

p - вірогідність різниць порівняно з навантаженням водогінною водою;

n - число спостережень.



Продовження таблиці 3.2

Показники	Навантаження водогінною водою - контроль (n=10)	Навантаження водою від'єм- ного окисно- відновного потенціалу за додаткового насичення воднем (n=10)
Кліренс креатиніну, мл/2 год · 100 г	20,12±0,190	20,99±0,550
Концентрація іонів натрію в плазмі крові, ммоль/л	136,7±1,10	138,0±0,90
Концентрація креатиніну в плазмі крові, мкмоль/л	38,81±0,490	37,90±0,550
Концентрація іонів калію в сечі, ммоль/л	8,91±0,070	8,91±0,070
Екскреція іонів калію, мкмоль/хв · 100 г	0,350±0,0030	0,252±0,0100
Концентрація іонів натрію в сечі, ммоль/л	0,252±0,0100	0,258±0,0110
Фільтраційна фракція іонів натрію, мкмоль/хв · 100 г	22,91±0,180	24,14±0,650 p < 0,01
Екскреція іонів натрію, мкмоль/хв · 100 г	0,0099±0,00040	0,0099±0,00040
Концентрація білка в сечі, мг/мл	0,021±0,0005	0,012±0,0010 p < 0,01
Екскреція білка, мг/2 год · 100 г	0,099±0,0030	0,055±0,0040 p < 0,01
Концентрація креатиніну в сечі, мкмоль/л	165,8±2,60	169,3±3,10
Екскреція креатиніну, ммоль/2 год · 100 г	0,047±0,0010	0,048±0,0010

p - вірогідність різниць порівняно з навантаженням водогінною водою;

n - число спостережень.



Таблиця 3.3 - Вплив індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за використання мікрогідрину порівняно до індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за додаткового насичення воднем на функціональний стан нирок ($\bar{x} \pm S_x$)

Показники	Навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за використання мікрогідрину (n=10)	Навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за додаткового насичення воднем (n=10)
Відносний діурез, %	97,98 $\pm$ 0,147	93,83 $\pm$ 1,465
Діурез, мл/2 год $\cdot$ 100 г	4,89 $\pm$ 0,007	4,69 $\pm$ 0,073
Швидкість клубочкової фільтрації, мкл/ хв $\cdot$ 100 г	126,9 $\pm$ 3,70	174,9 $\pm$ 4,60 p < 0,01
Відносна реабсорбція води, RH ₂ O %	68,21 $\pm$ 0,900	77,58 $\pm$ 0,310 p < 0,01
Проксимальний транспорт іонів натрію, T ^p Na ⁺ мкмоль/ хв $\cdot$ 100 г	11,89 $\pm$ 0,550	18,74 $\pm$ 0,560 p < 0,01
Дистальне постачання іонів натрію, LDNa ⁺ мкмоль/ хв $\cdot$ 100 г	5,48 $\pm$ 0,091	5,39 $\pm$ 0,093
Дистальний транспорт іонів натрію, T ^d Na ⁺ мкмоль/ хв $\cdot$ 100 г	5,47 $\pm$ 0,090	5,39 $\pm$ 0,090
Інтенсивність реабсорбції іонів натрію в дистальному каналці, T ^d Na ⁺ %	99,977 $\pm$ 0,010	99,978 $\pm$ 0,010
Реабсорбція іонів натрію в нефроні в цілому, %	99,940 $\pm$ 0,0000	99,960 $\pm$ 0,0000
Кліренс іонів натрію, мл/2 год $\cdot$ 100 г	0,0092 $\pm$ 0,00040	0,0086 $\pm$ 0,00040
Кліренс безнатрієвої води, мл/2 год $\cdot$ 100 г	4,89 $\pm$ 0,010	4,68 $\pm$ 0,070
Кліренс безнатрієвої води, мл/100 мл клубочкового фільтрату	3,88 $\pm$ 0,110	2,69 $\pm$ 0,040 p < 0,01

p - вірогідність різниць порівняно з навантаженням водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за використання мікрогідрину;

n - число спостережень.



Продовження таблиці 3.3

Показники	Навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за використання мікрогідрину (n=10)	Навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за додаткового насичення воднем (n=10)
Кліренс креатиніну, мл/2 год · 100 г	15,52±0,440	20,99±0,550 p < 0,01
Концентрація іонів натрію в плазмі крові, ммоль/л	136,8±1,10	138,0±0,90
Концентрація креатиніну в плазмі крові, мкмоль/л	45,50±0,780	37,90±0,550 p < 0,01
Концентрація іонів калію в сечі, ммоль/л	8,90±0,070	8,91±0,070
Екскреція іонів калію, мкмоль/хв · 100 г	0,357±1,0060	0,252±0,0100
Концентрація іонів натрію в сечі, ммоль/л	0,258±0,0110	0,258±0,0110
Фільтраційна фракція іонів натрію, мкмоль/хв · 100 г	17,38±0,590	24,14±0,650 p < 0,01
Екскреція іонів натрію, мкмоль/хв · 100 г	0,0103±0,00040	0,0099±0,00040
Концентрація білка в сечі, мг/мл	0,032±0,0016	0,012±0,0010 p < 0,01
Екскреція білка, мг/2 год · 100 г	0,157±0,0080	0,055±0,0040 p < 0,01
Концентрація креатиніну в сечі, мкмоль/л	143,7±2,70	169,3±3,10 p < 0,01
Екскреція креатиніну, ммоль/2 год · 100 г	0,041±0,0010	0,048±0,0010

p - вірогідність різниць порівняно з навантаженням водою від'ємного окисно-відновного потенціалу за використання мікрогідрину;

n - число спостережень.



6.3. Кореляційний та регресійний аналіз за впливу водного діурезу з насиченням молекулярним воднем.

Кореляційний аналіз виявив цілу низку кореляційних залежностей між показниками функції нирок та окисно-відновними потенціалами води і сечі за умов індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем на функціональний стан нирок (табл. 3.4).

Так, діурез позитивно корелював із швидкістю клубочкової фільтрації, був зв'язаний позитивним кореляційним зв'язком з відносною реабсорбцією води та проксимальним транспортом іонів натрію. Швидкість клубочкової фільтрації позитивно вірогідно корелювала з відносною реабсорбцією води та проксимальним транспортом іонів натрію. Відносна реабсорбція води була зв'язана позитивною кореляційною залежністю з проксимальним транспортом іонів натрію. Водночас проксимальний транспорт іонів натрію негативно корелював з окисно-відновним потенціалом води з насиченням воднем, якою проводили водне навантаження. Проксимальний транспорт іонів натрію позитивно корелював з окисно-відновним потенціалом сечі. Концентрація білка в сечі була зв'язана позитивною кореляційною залежністю з його екскрецією. Окисно-відновний потенціалом води з насиченням воднем негативно корелював зі швидкістю клубочкової фільтрації, а окисно-відновний потенціал сечі був зв'язаний зі швидкістю клубочкової фільтрації позитивною кореляційною залежністю. Окисно-відновний потенціал води з насиченням воднем негативно корелював з величиною діурезу, а окисно-відновний потенціал сечі був зв'язаний з діурезом позитивною кореляційною залежністю. Окисно-відновний потенціал води з насиченням воднем негативно корелював з відносною реабсорбцією води, а окисно-відновний потенціал сечі був зв'язаний з відносною реабсорбцією води позитивною кореляційною залежністю. Окисно-відновний потенціал води з насиченням воднем негативно корелював з окисно-відновним потенціалом сечі.

Приймаючи на увагу факт, що сили кореляційного зв'язку за величиною коефіцієнта кореляції можуть бути слабкими (від 0,01-0,29), середньої сили (від 0,30 до 0,69) та сильними (від 0,70 до 0,99), за результатами нашого дослідження із 16 виявлених кореляційних залежностей: 15 були сильними і 1 кореляційний зв'язок був середньої сили.



Таблиця 3.4 - Пари кореляційних зв'язків між показниками функції нирок за умов індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем на функціональний стан нирок ($x \pm Sx$)

Пари кореляційних зв'язків		Коефіцієнт кореляції, r	Достовірність кореляційного зв'язку, p
Діурез	Швидкість клубочкової фільтрації	0,917	< 0,001
Діурез	Відносна реабсорбція води	0,637	< 0,05
Діурез	Проксимальний транспорт іонів натрію	0,887	< 0,001
Швидкість клубочкової фільтрації	Відносна реабсорбція води	0,889	< 0,001
Швидкість клубочкової фільтрації	Проксимальний транспорт іонів натрію	0,977	< 0,001
Відносна реабсорбція води	Проксимальний транспорт іонів натрію	0,884	< 0,001
Проксимальний транспорт іонів натрію	Окисно-відновний потенціал води з насиченням воднем	- 0,908	< 0,001
Проксимальний транспорт іонів натрію	Окисно-відновний потенціал сечі	0,864	< 0,01
Концентрація білка в сечі	Екскреція білка	0,975	< 0,001
Окисно-відновний потенціал води з насиченням воднем	Швидкість клубочкової фільтрації	-0,888	< 0,001
Окисно-відновний потенціал сечі	Швидкість клубочкової фільтрації	0,890	< 0,001
Окисно-відновний потенціал води з насиченням воднем	Діурез	-0,828	< 0,01
Окисно-відновний потенціал сечі	Діурез	0,747	< 0,02
Окисно-відновний потенціал води з насиченням воднем	Відносна реабсорбція води	- 0,751	< 0,02
Окисно-відновний потенціал сечі	Відносна реабсорбція води	0,863	< 0,01
Окисно-відновний потенціал води з насиченням воднем	Окисно-відновний потенціал сечі	-0,902	< 0,001

На рис. 3.3 наведено графіки регресійного аналізу між діурезом,



швидкістю клубочкової фільтрації, відносно реабсорбцією води та проксимальним транспортом іонів натрію за умов водного індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем у інтактних щурів на гіпонатрієвому раціоні харчування.

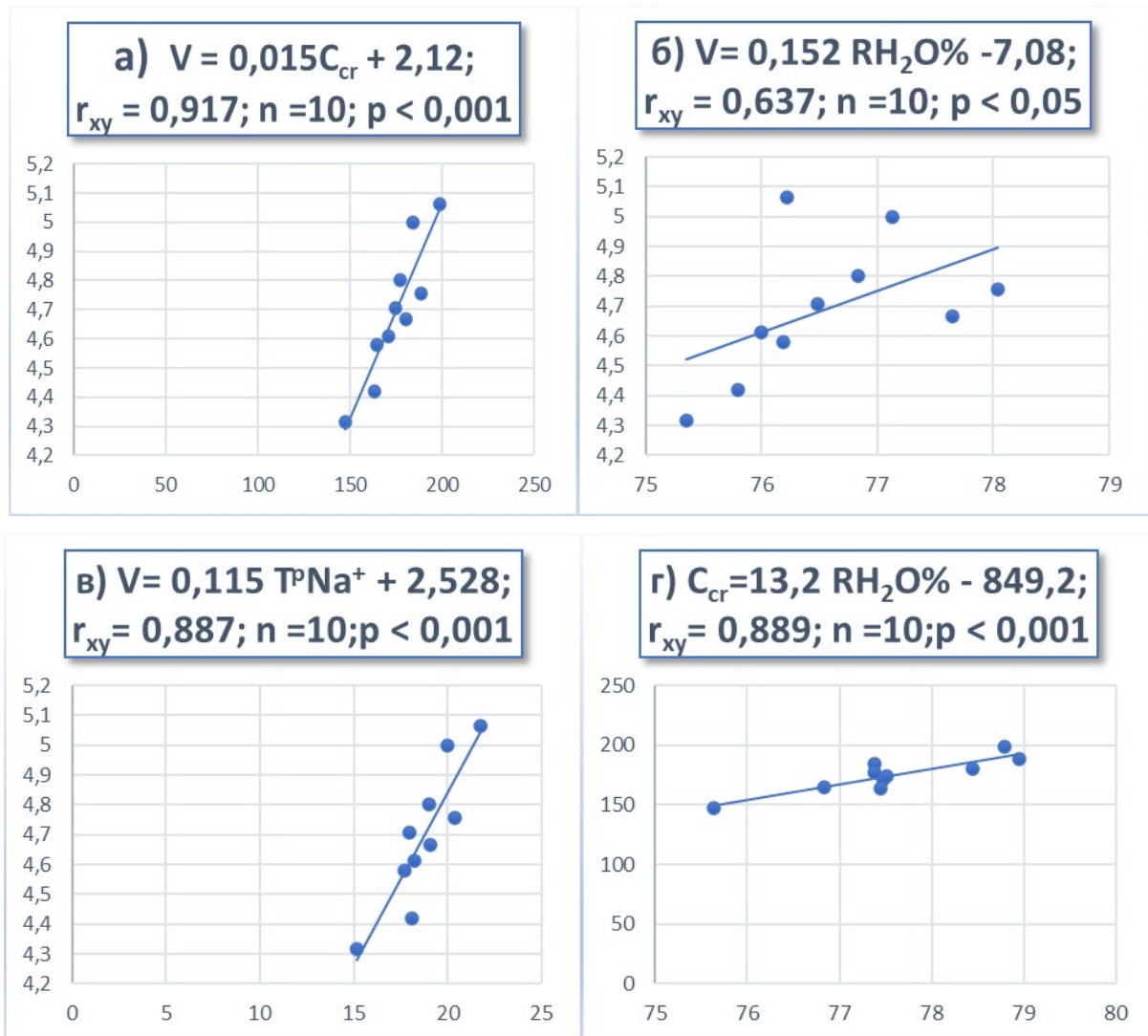


Рис. 3.3 - Графіки регресійного аналізу між діурезом (V), швидкістю клубочкової фільтрації (C_{cr}), відносно реабсорбцією води ($RH_2O\%$) та проксимальним транспортом іонів натрію (T^pNa^+) за умов водного індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем у інтактних щурів на гіпонатрієвому раціоні харчування. а) вісь абсцис – швидкість клубочкової фільтрації (мкл/хв $\cdot 100$ г), вісь ординат – діурез (мл/2 год $\cdot 100$ г); б) вісь абсцис – відносна реабсорбція води (%), вісь ординат – діурез (мл/2 год $\cdot 100$ г); в) вісь абсцис – проксимальний транспорт іонів натрію (мкмоль/хв $\cdot 100$ г), вісь ординат – діурез (мл/2 год $\cdot 100$ г); г) вісь абсцис – відносна реабсорбція води (%), вісь ординат – швидкість клубочкової фільтрації (мкл/хв $\cdot 100$ г); r_{xy} - коефіцієнт кореляційного зв'язку, n – число спостережень, p – достовірність кореляційного зв'язку.



На рис. 3.3.а вісь абсцис відображає швидкість клубочкової фільтрації в $\text{мкл/хв} \cdot 100 \text{ г}$, вісь ординат – діурез у $\text{мл/2 год} \cdot 100 \text{ г}$. Рис. 3.3.б демонструє на вісі абсцис – відносну реабсорбцію води у %, вісь ординат – діурез у $\text{мл/2 год} \cdot 100 \text{ г}$. Рис. 3.3.в показує на вісі абсцис – проксимальний транспорт іонів натрію в $\text{мкмоль/хв} \cdot 100 \text{ г}$, вісь ординат – діурез в $\text{мл/2 год} \cdot 100 \text{ г}$. Рис. 3.3. г демонструє на вісі абсцис відносну реабсорбцію води в %, вісь ординат – швидкість клубочкової фільтрації у $\text{мкл/хв} \cdot 100 \text{ г}$. Також на малюнках наведено значення коефіцієнтів кореляційного зв'язку, число спостережень та достовірність кореляційного зв'язку.

На рис. 3.4 наведено графіки регресійного аналізу між швидкістю клубочкової фільтрації, відотною реабсорбцією води, проксимальним транспортом іонів натрію, окисно-відновним потенціалом води та сечі за умов водного індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем у інтактних щурів на гіпонатрієвому раціоні харчування. Так рис.3.4.а на вісі абсцис демонструє проксимальний транспорт іонів натрію в $\text{мкмоль/хв} \cdot 100 \text{ г}$, на вісі ординат – швидкість клубочкової фільтрації в $\text{мкл/хв} \cdot 100 \text{ г}$. Рис. 3.4. б представляє на вісі абсцис проксимальний транспорт іонів натрію в $\text{мкмоль/хв} \cdot 100 \text{ г}$, на вісі ординат – відносну реабсорбцію води в %. Рис. 3.4.в демонструє на вісі абсцис окисно-відновний потенціал води в мВ, на вісі ординат – проксимальний транспорт іонів натрію в $\text{мкмоль/хв} \cdot 100 \text{ г}$. Рис. 3.4.г представляє на вісі абсцис окисно-відновний потенціал сечі в мВ, на вісі ординат – проксимальний транспорт іонів натрію в $\text{мкмоль/хв} \cdot 100 \text{ г}$.

На рис. 3.5 представлені графіки регресійного аналізу між швидкістю клубочкової фільтрації, концентрацією та екскрецією білка з сечею, діурезом, окисно-відновним потенціалом води та сечі за умов водного індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем у інтактних щурів на гіпонатрієвому раціоні харчування. Так рис. 3.5.а демонструє на вісі абсцис екскрецію білка в $\text{мг/2 год} \cdot 100 \text{ г}$, на вісі ординат – концентрацію білка в сечі в г/л. Рис. 3.5.б представляє на вісі абсцис швидкість клубочкової фільтрації в $\text{мкл/хв} \cdot 100 \text{ г}$, на вісі ординат – окисно-відновний потенціал води в мВ. Рис. 3.5.в демонструє на вісі абсцис швидкість клубочкової фільтрації в $\text{мкл/хв} \cdot 100 \text{ г}$, на вісі ординат – окисно-відновний потенціал сечі в мВ. Рис. 3.5.г представляє на вісі абсцис діурез в $\text{мл/2 год} \cdot 100 \text{ г}$, на вісі ординат – окисно-відновний потенціал води в



мВ. На малюнках 3.4 і 3.5 наведені значення: r_{xy} – коефіцієнта кореляційного зв'язку, n – числа спостережень, p – достовірності кореляційного зв'язку.

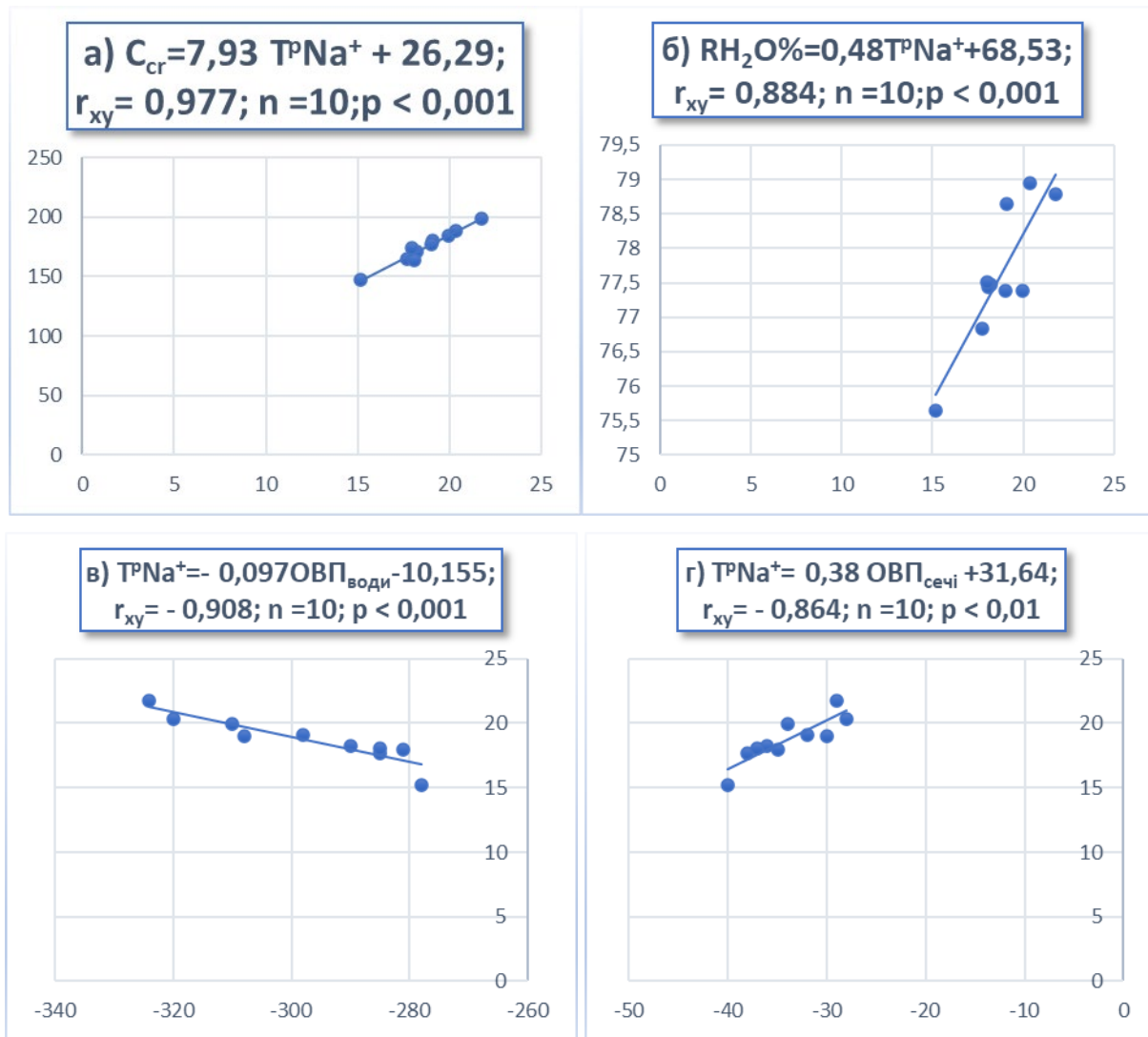


Рис. 3.4 - Графіки регресійного аналізу між швидкістю клубочкової фільтрації (C_{cr}), відносною реабсорбцією води ($RH_2O\%$), проксимальним транспортом іонів натрію (T^pNa^+), окисно-відновним потенціалом води та сечі ($ОВП_{води}$, $ОВП_{сечі}$) за умов водного індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем у інтактних щурів на гіпонатрієвому раціоні харчування. а) вісь абсцис – проксимальний транспорт іонів натрію (мкмоль/хв $\cdot 100$ г), вісь ординат – швидкість клубочкової фільтрації (мкл/хв $\cdot 100$ г); б) вісь абсцис – проксимальний транспорт іонів натрію (мкмоль/хв $\cdot 100$ г), вісь ординат – відносна реабсорбція води (%); в) вісь абсцис – окисно-відновний потенціал води (мВ), вісь ординат – проксимальний транспорт іонів натрію (мкмоль/хв $\cdot 100$ г); г) вісь абсцис – окисно-відновний потенціал сечі (мВ), вісь ординат – проксимальний транспорт іонів натрію (мкмоль/хв $\cdot 100$ г); r_{xy} - коефіцієнт кореляційного зв'язку, n – число спостережень, p – достовірність кореляційного зв'язку.

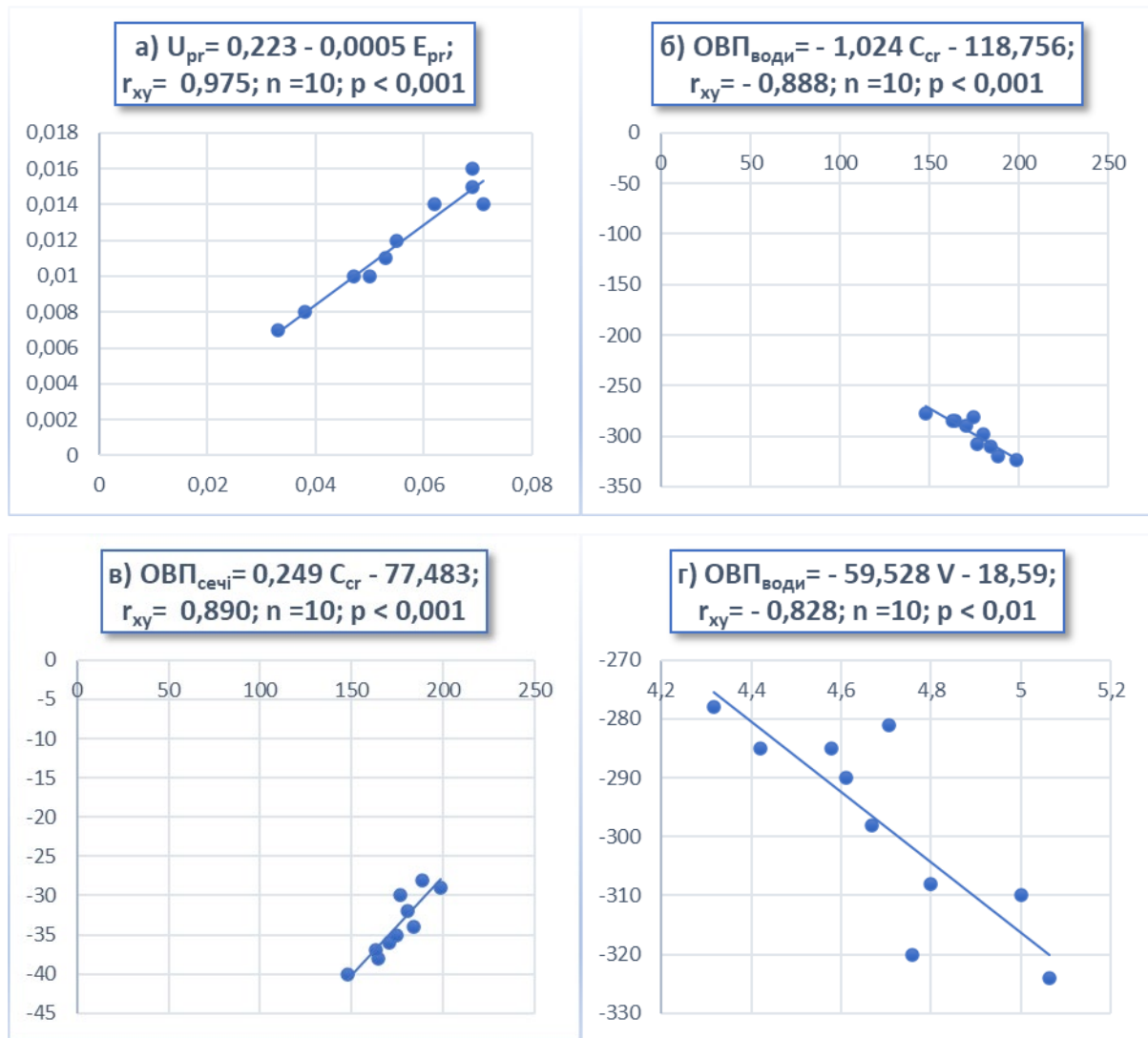


Рис. 3.5 - Графіки регресійного аналізу між швидкістю клубочкової фільтрації (C_{cr}), концентрацією та екскрецією білка з сечею (U_{pr} і P_{pr}), діурезом (V), окисно-відновним потенціалом води та сечі ($ОВП_{води}$, $ОВП_{сечі}$) за умов водного індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем у інтактних щурів на гіпонатрієвому раціоні харчування. а) вісь абсцис – екскреція білка ($мг/2 год \cdot 100 г$), вісь ординат – концентрація білка в сечі ($г/л$); б) вісь абсцис – швидкість клубочкової фільтрації ($мкл/хв \cdot 100 г$), вісь ординат – окисно-відновний потенціал води ($мВ$); в) вісь абсцис – швидкість клубочкової фільтрації ($мкл/хв \cdot 100 г$), вісь ординат – окисно-відновний потенціал сечі ($мВ$); г) вісь абсцис – діурез ($мл/2 год \cdot 100 г$), вісь ординат – окисно-відновний потенціал води ($мВ$);

r_{xy} - коефіцієнт кореляційного зв'язку, n – число спостережень,
 p – достовірність кореляційного зв'язку.

На рис. 3.6 наведено графіки регресійного аналізу між відносною реабсорбцією води, діурезом, окисно-відновним потенціалом води та сечі за умов водного індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного



потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем у інтактних щурів на гіпонатрієвому раціоні харчування. Так рис. 3.6.а демонструє на вісі абсцис діурез в мл/2 год • 100 г, на вісі ординат – окисно-відновний потенціал сечі в мВ. Рис. 3.6.б представляє на вісі абсцис відносну реабсорбцію води у %, на вісі ординат – окисно-відновний потенціал сечі в мВ. Рис. 3.6.в демонструє на вісі абсцис відносну реабсорбцію води в %, на вісі ординат – окисно-відновний потенціал води в мВ. Рис. 3.6.г представляє на вісі абсцис окисно-відновний потенціал сечі в мВ, на вісі ординат – окисно-відновний потенціал води в мВ. На рис. 3.6 наведені також значення: r_{xy} - коефіцієнта кореляційного зв'язку, n – число спостережень та p – достовірність кореляційного зв'язку.

6.4. Багатофакторний регресійний аналіз за впливу водного діурезу з насиченням молекулярним воднем.

На рис. 3.7 наведений багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) між окисно-відновним потенціалом сечі - X (мВ), відотною реабсорбцією води - Y (%) та проксимальним транспортом іонів натрію - Z (мл/хв • 100 г при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

Рис. 3.8. демонструє багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) між окисно-відновним потенціалом сечі - X (мВ), діурезом - Y (мл/2 год • 100 г) та швидкістю клубочкової фільтрації - Z (мкл/хв • 100 г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

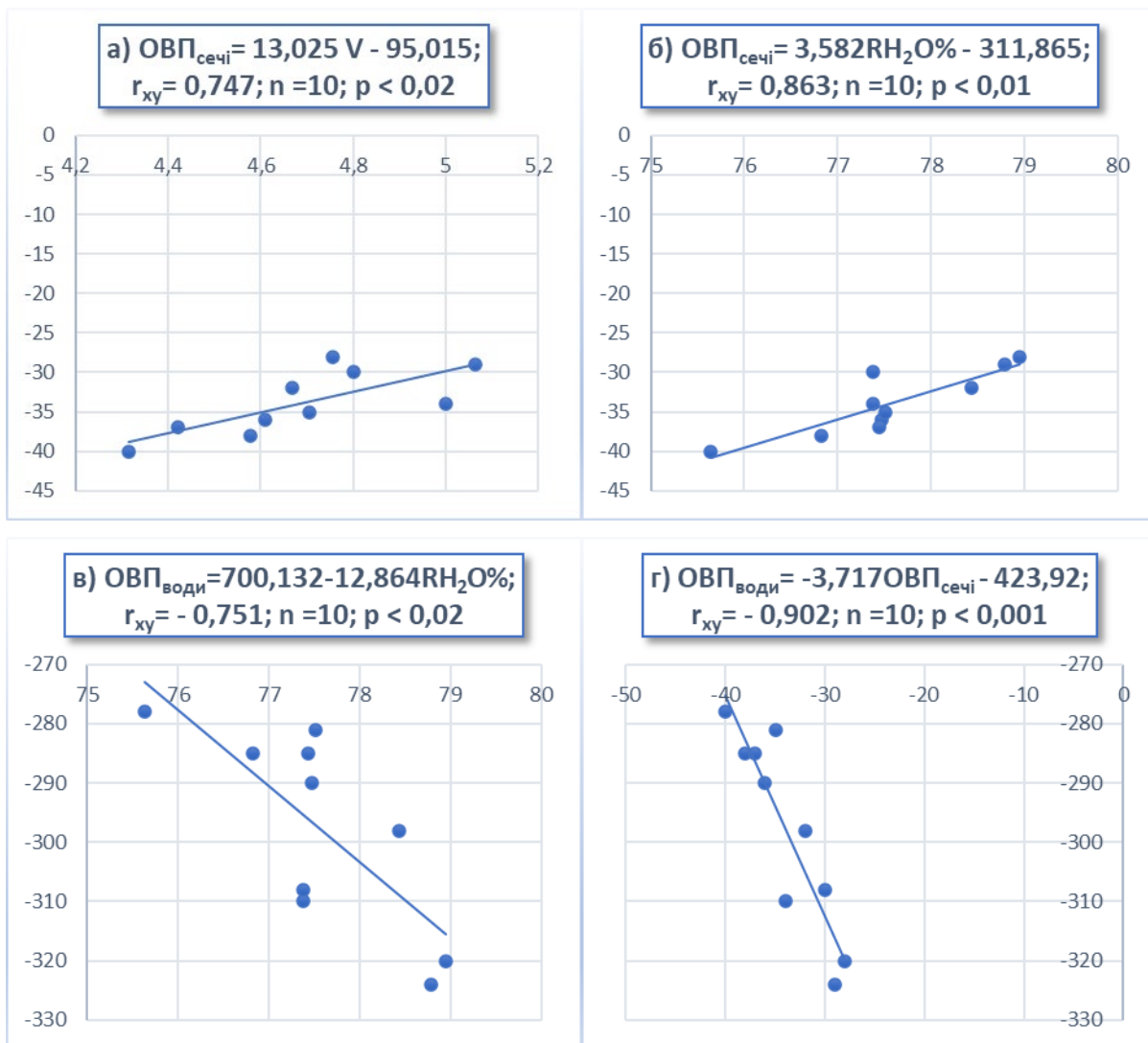


Рис. 3.6 - Графіки регресійного аналізу між відносною реабсорбцією води ($RH_2O\%$), діурезом (V), окисно-відновним потенціалом води та сечі ($ОВП_{води}$, $ОВП_{сечі}$) за умов водного індукованого діурезу водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням молекулярним воднем у інтактних щурів на гіпонатрієвому раціоні харчування. а) вісь абсцис – діурез (мл/2 год $\cdot 100$ г), вісь ординат – окисно-відновний потенціал сечі (мВ); б) вісь абсцис – відносна реабсорбція води (%), вісь ординат – окисно-відновний потенціал сечі (мВ); в) вісь абсцис – відносна реабсорбція води (%), вісь ординат – окисно-відновний потенціал води (мВ); г) вісь абсцис – окисно-відновний потенціал сечі (мВ), вісь ординат – окисно-відновний потенціал води (мВ); r_{xy} - коефіцієнт кореляційного зв'язку, n – число спостережень, p – достовірність кореляційного зв'язку.

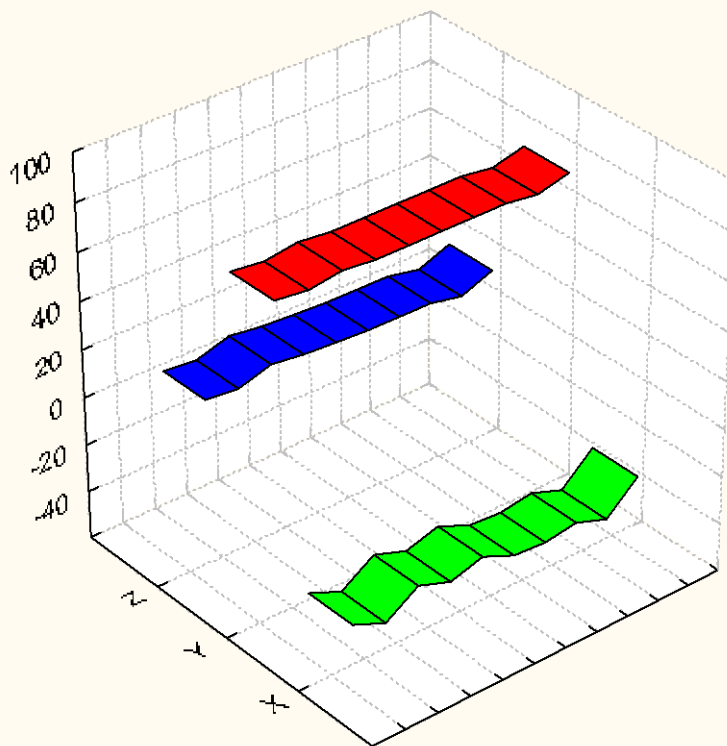
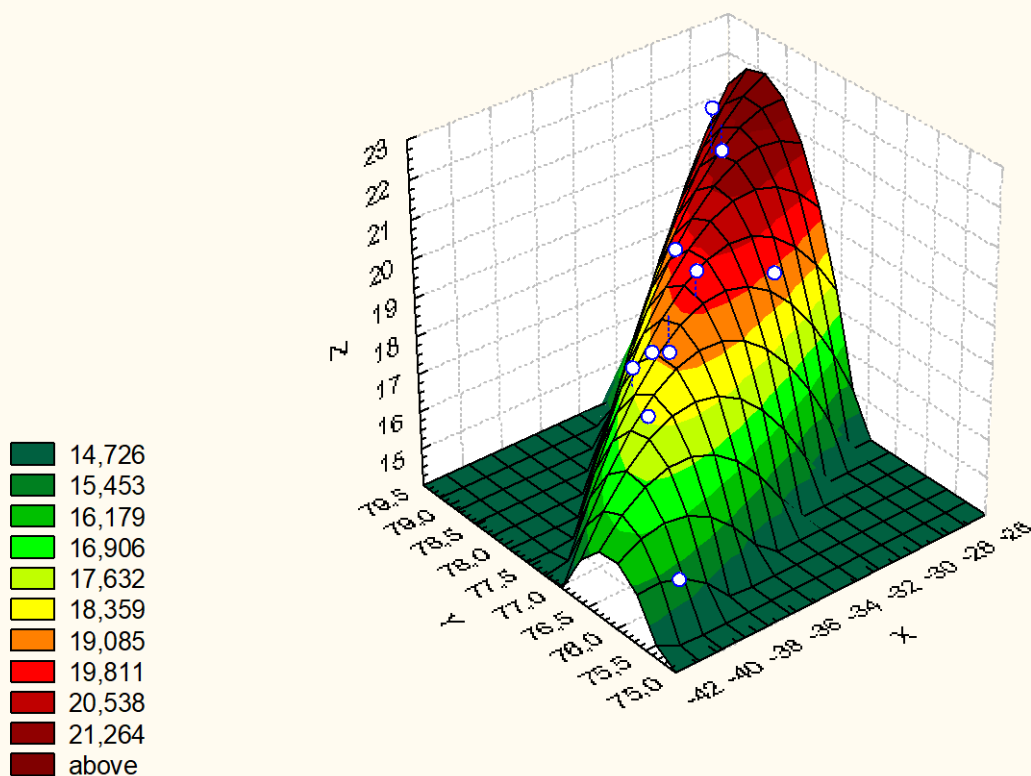


Рис. 3.7 - Багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) між окисно-відновним потенціалом сечі - X (мВ), відносною реабсорбцією води - Y (%) та проксимальним транспортом іонів натрію - Z (мл/хв $\cdot 100$ г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

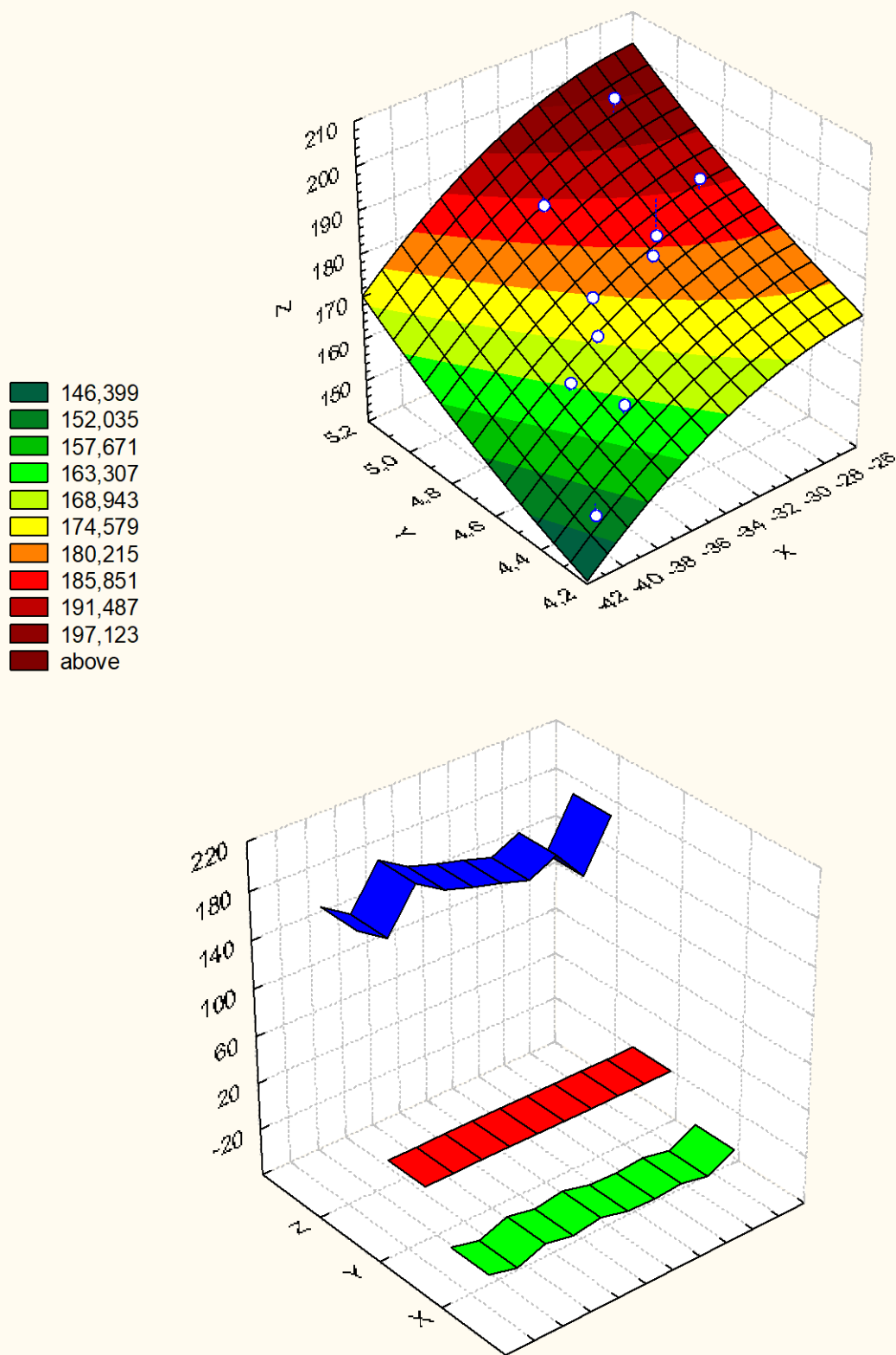


Рис. 3.8 - Багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) між окисно-відновним потенціалом сечі - X (мВ), діурезом - Y (мл/2 год $\cdot 100$ г) та швидкістю клубочкової фільтрації - Z (мкл/хв $\cdot 100$ г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.



Рис. 3.9 демонструє багатofакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків між окисно-відновним потенціалом сечі, проксимальним транспортом іонів натрію та швидкістю клубочкової фільтрації при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням воднем за гіпонатрієвого раціону харчування. На рис. 3.10 представлений багатofакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків між окисно-відновним потенціалом сечі, діурезом та проксимальним транспортом іонів натрію при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням воднем за умов дослідів. Рис. 3.11 представляє багатofакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків між окисно-відновним потенціалом сечі, відносною реабсорбцією води та швидкістю клубочкової фільтрації за навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням воднем за гіпонатрієвого раціону харчування. На рис. 3.12 наведений багатofакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків між окисно-відновним потенціалом сечі, відносною реабсорбцією води та діурезом за навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням воднем. На рис. 3.13 представлений багатofакторний регресійний аналіз між швидкістю клубочкової фільтрації, відносною реабсорбцією води та проксимальним транспортом іонів натрію при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням воднем. Рис. 3.14. демонструє багатofакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків між діурезом, відносною реабсорбцією води та проксимальним транспортом іонів натрію за навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням воднем. На рис. 3.15 наведений багатofакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків між діурезом, швидкістю клубочкової фільтрації та проксимальним транспортом іонів натрію при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

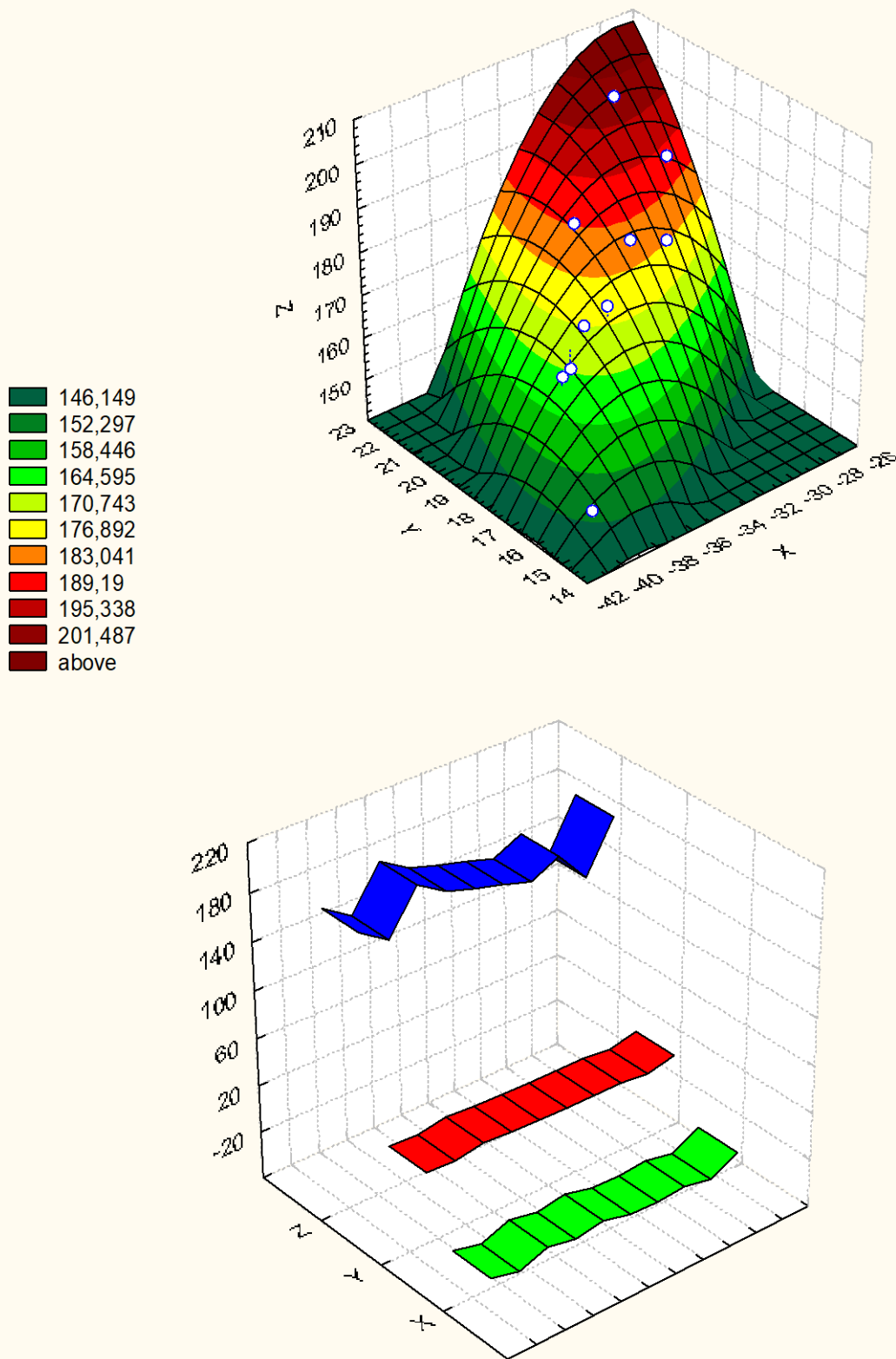


Рис. 3.9 - Багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) між окисно-відновним потенціалом сечі - X (мВ), проксимальним транспортом іонів натрію - Y (мкмоль/хв $\cdot 100$ г) та швидкістю клубочкової фільтрації - Z (мкл/хв $\cdot 100$ г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

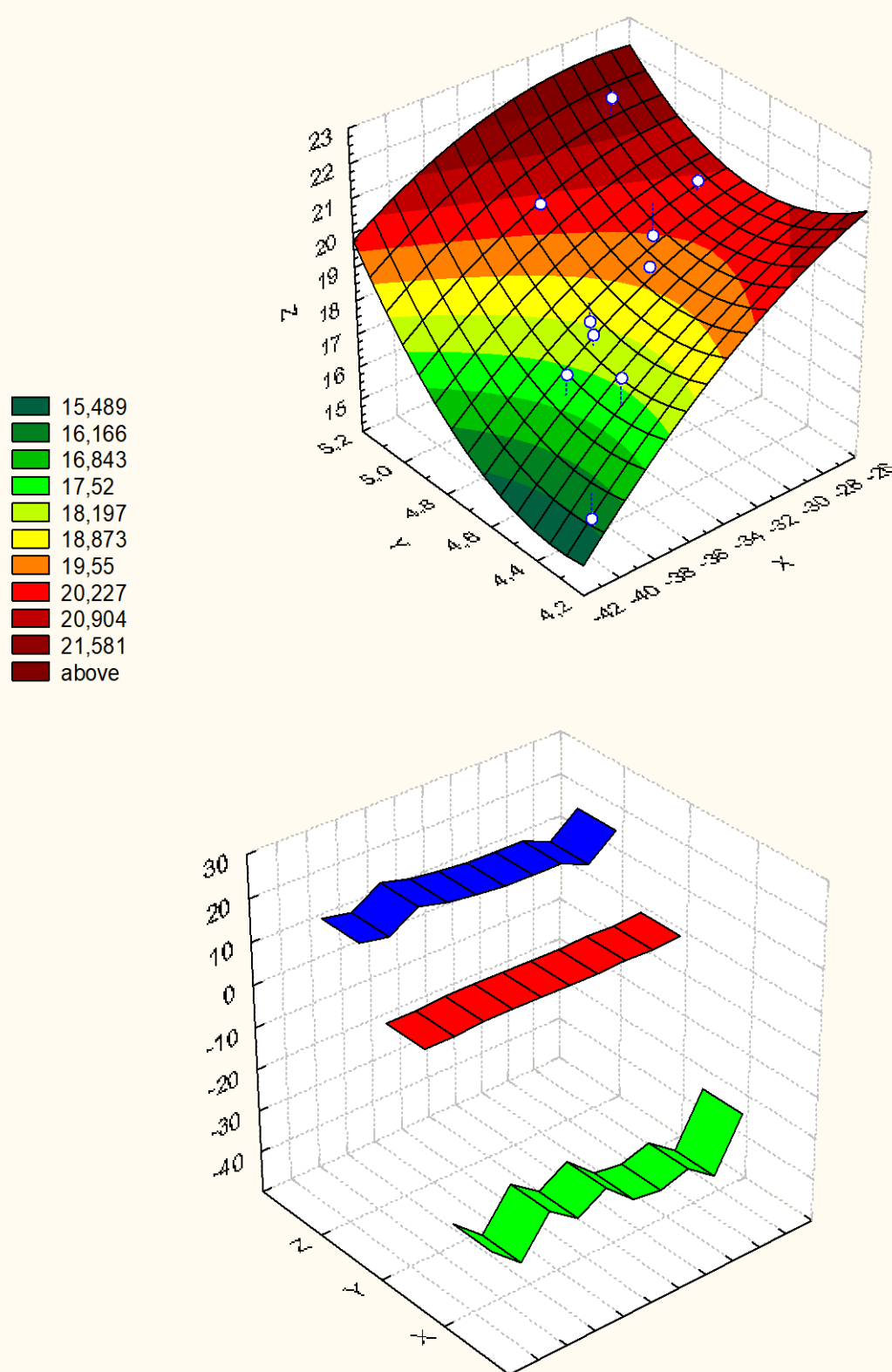


Рис. 3.10 - Багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) між окисно-відновним потенціалом сечі - X (мВ), діурезом - Y (мл/2 год $\cdot 100$ г) та проксимальним транспортом іонів натрію - Z (мкмоль/хв $\cdot 100$ г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування.

Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

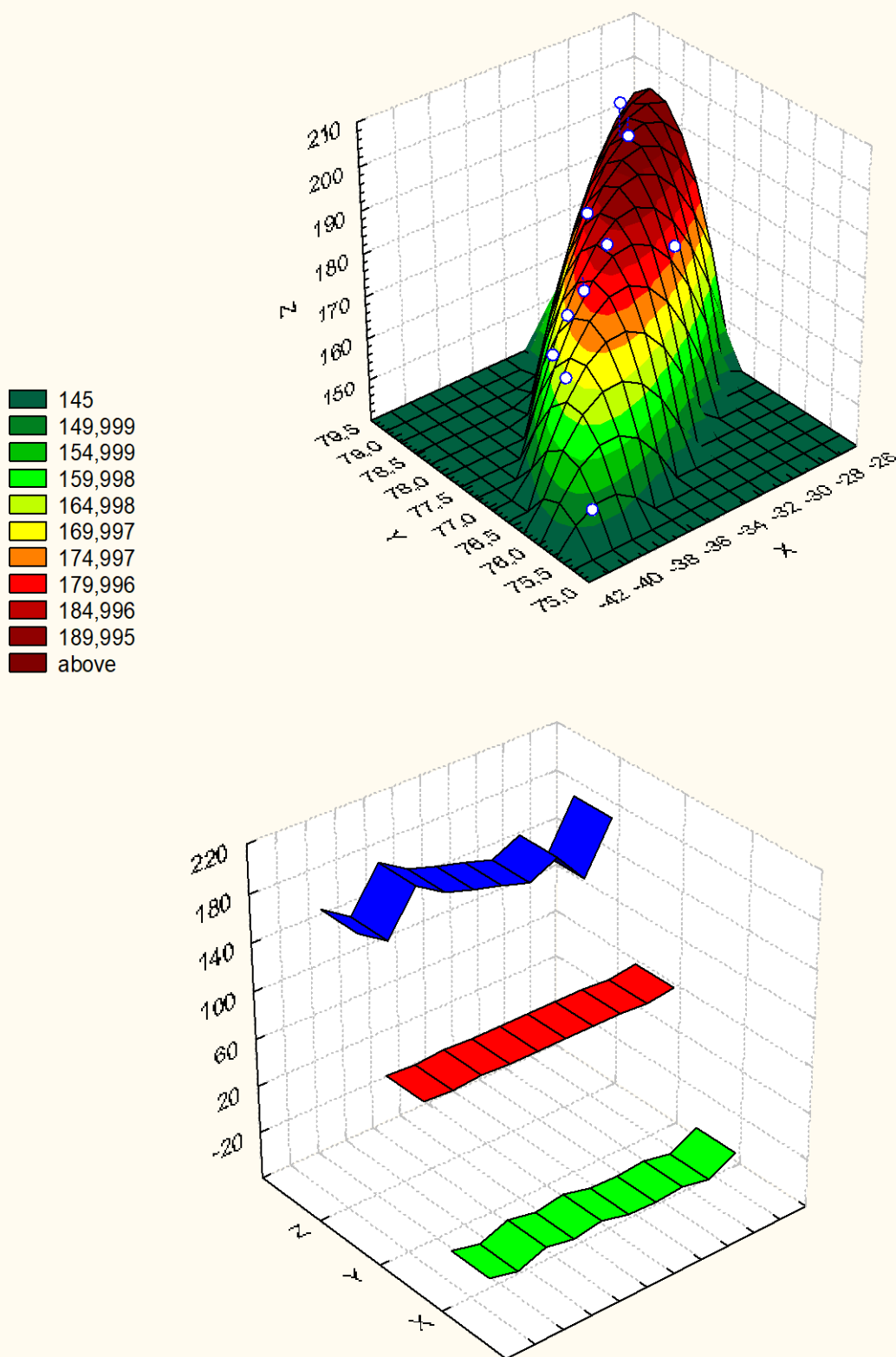


Рис. 3.11 - Багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) між окисно-відновним потенціалом сечі - X (мВ), відносною реабсорбцією води - Y (%) та швидкістю клубочкової фільтрації - Z (мкл/хв $\cdot 100$ г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

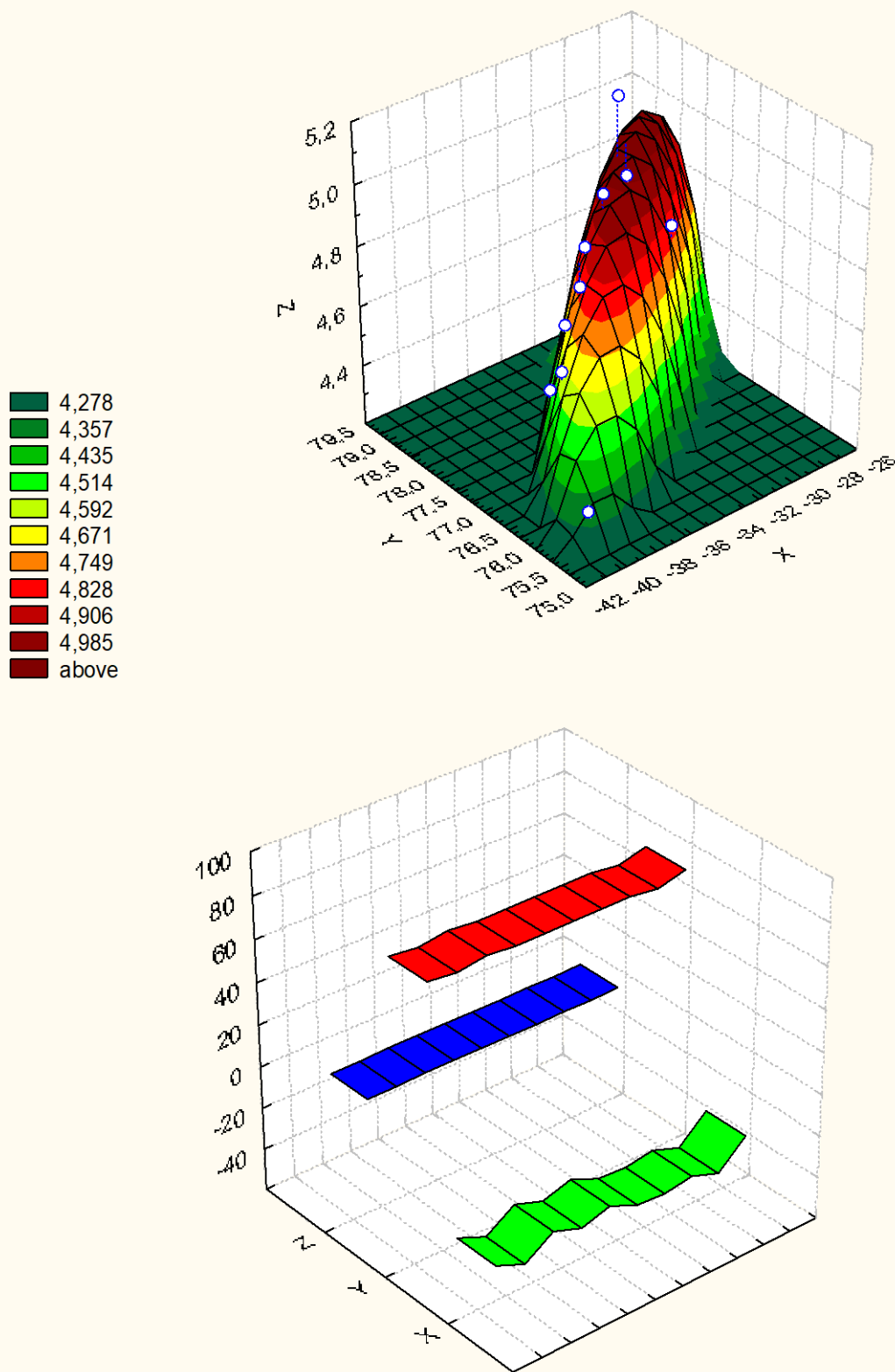


Рис. 3.12 - Багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) між окисно-відновним потенціалом сечі - X (мВ), відносною реабсорбцією води - Y (%) та діурезом - Z (мл/2 год $\cdot 100$ г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

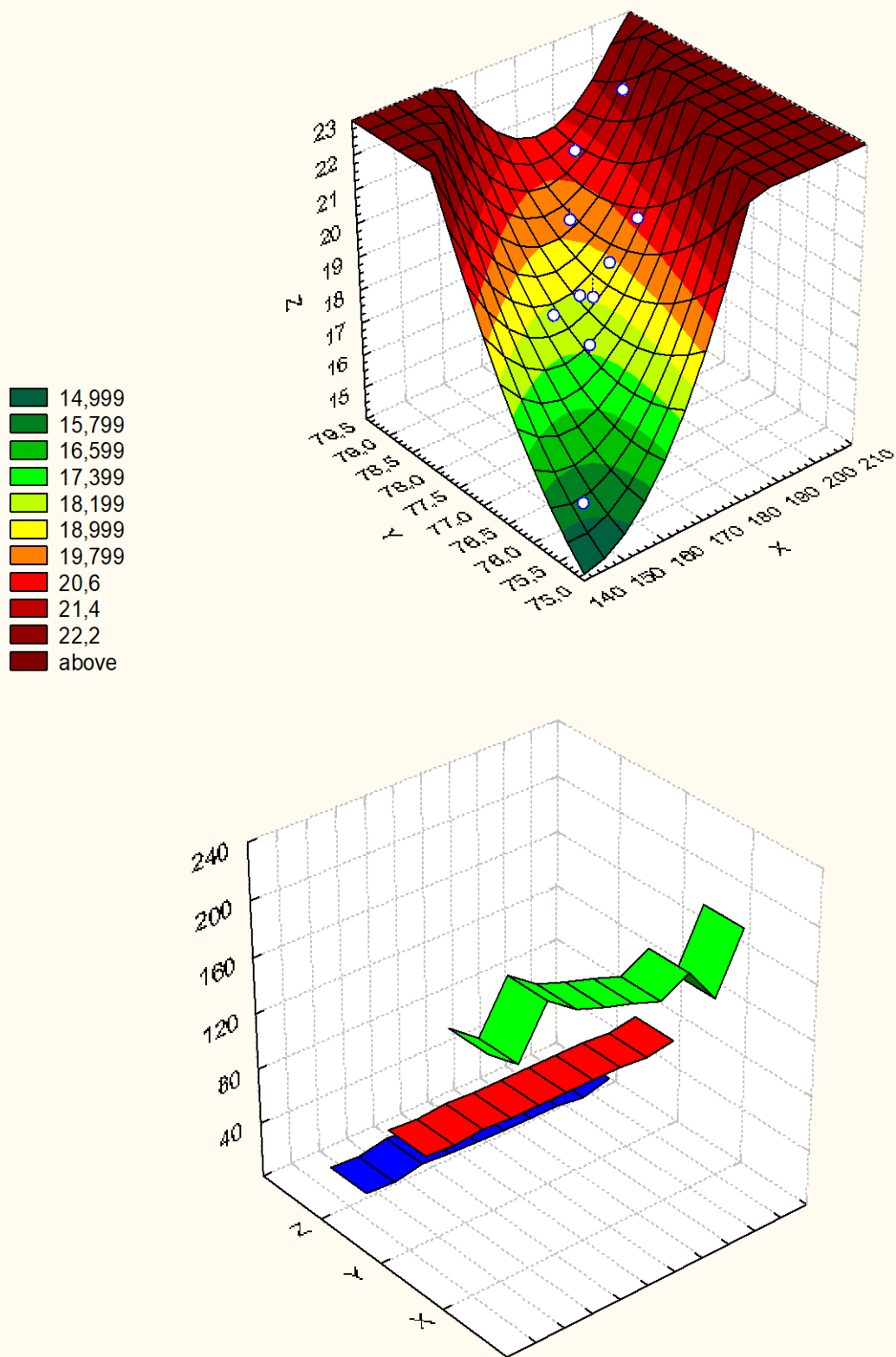


Рис. 3.13 - Багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) між швидкістю клубочкової фільтрації - X (мкл/хв $\cdot 100$ г), відносною реабсорбцією води - Y (%) та проксимальним транспортом іонів натрію - Z (мкмоль/хв $\cdot 100$ г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

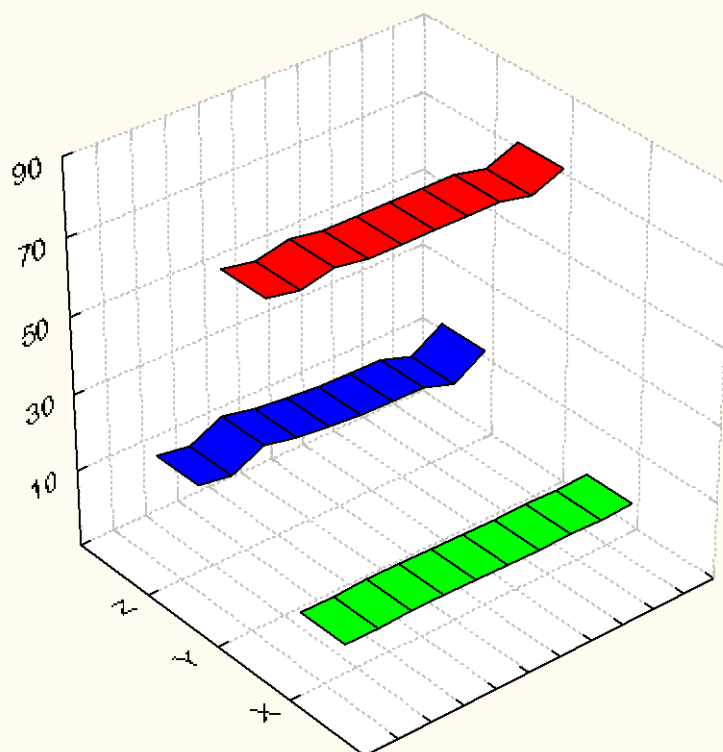
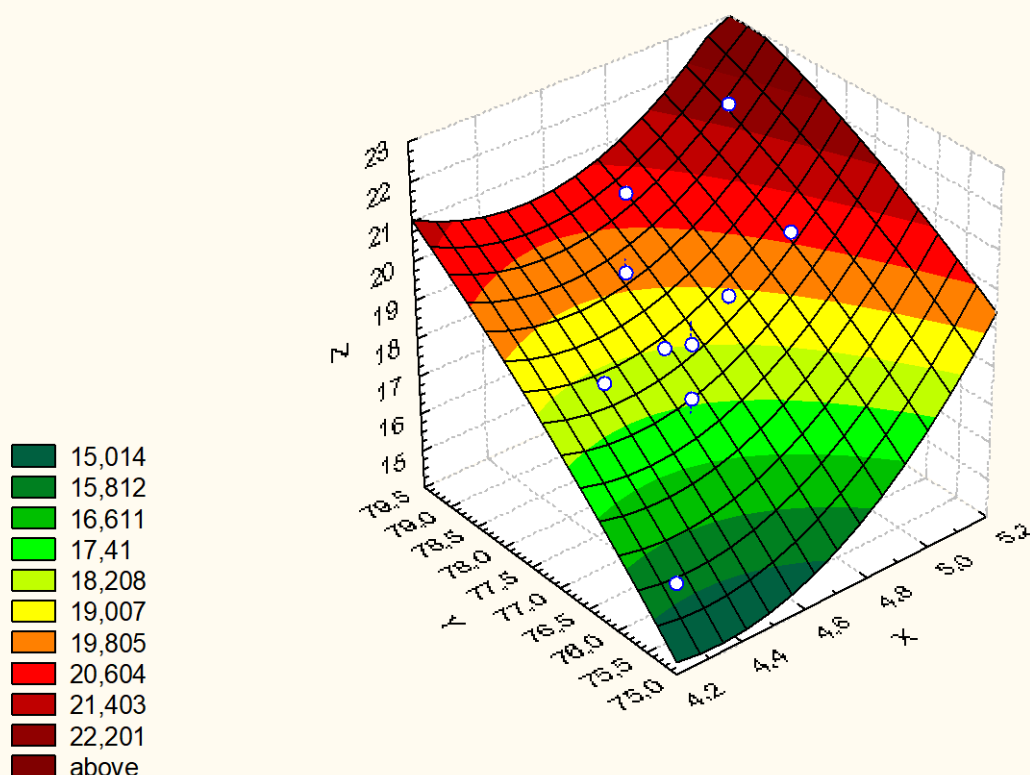


Рис. 3.14 - Багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) діурезом - X (мл/2 год $\cdot 100$ г), відносною реабсорбцією води - Y (%) та проксимальним транспортом іонів натрію - Z (мкмоль/хв $\cdot 100$ г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.

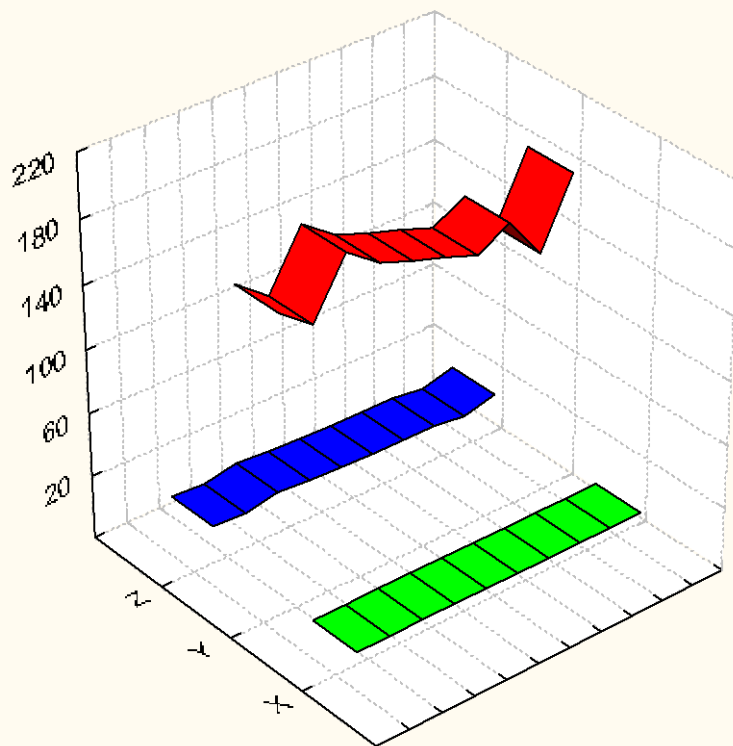
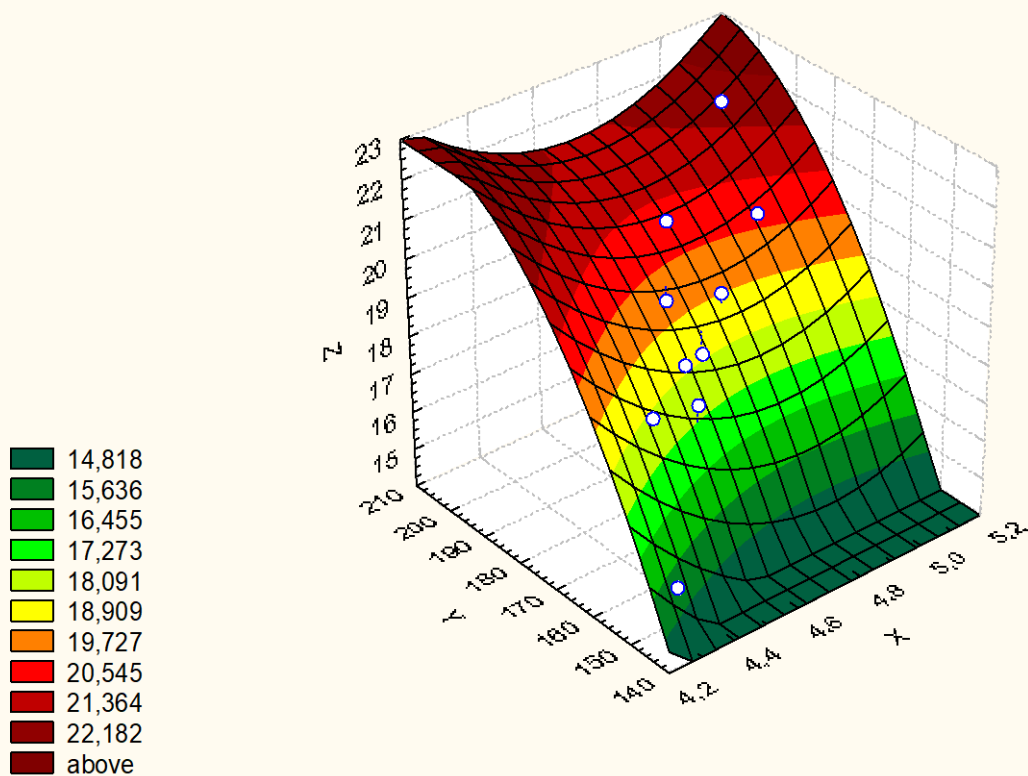


Рис. 3.15 - Багатофакторний регресійний аналіз достовірних корелятивних зв'язків ($p < 0,05$) діурезом - X (мл/2 год $\cdot 100$ г), швидкістю клубочкової фільтрації – Y (мкл/хв $\cdot 100$ г) та проксимальним транспортом іонів натрію - Z (мкмоль/хв $\cdot 100$ г) при навантаженні водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з додатковим насиченням воднем за умов гіпонатрієвого раціону харчування. Інтенсивність закрашування відповідає ступені вираженості кореляцій.



Висновки

1. Навантаження водою від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням молекулярним воднем порівняно з індукованим діурезом від'ємного окисно-відновного потенціалу без насичення воднем викликає відновлення швидкості клубочкової фільтрації, фільтраційної фракції і проксимальної реабсорбції іонів натрію та зниження втрат білка з сечею із-за відсутності активації механізму базального тону судин кіркової речовини нирок, що пояснюється високою проникністю молекулярного водню та рівномірним постачанням електронів до всіх органів і тканин.

2. Використання кореляційного, регресійного та багатофакторного регресійного аналізів підтверджують встановлені зміни.

КАПИТЕЛ 7 / CHAPTER 7⁷

FORMING ENVIRONMENTAL THINKING STUDENTS IN THE PROCESS OF THEIR LEARNING AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-004

Корни экологического кризиса лежат в мировоззренческой сфере, а именно в вульгаризации идеи господства человека над природой. Следовательно, и «разрешение экологических противоречий следует искать на путях экологизации всего сознания и формирования экологического сознания как одного из его форм» [1].

Понятие «экологическое сознание» включает в себя не только знание о природе, но и идеалы, ценности, нормы, регулирующие отношения человека с окружающей средой. «Экологическое сознание выделяет экологические проблемы как предмет социальной заботы, акцентирует внимание на них, способствует формированию экологических ценностей» [3].

В современном высшем медицинском образовании в рамках реализации компетентностного подхода, сформулированного в Федеральном государственном образовательном стандарте (ФГОС) третьего поколения, в том числе первостепенное внимание уделяется проблемам экологического образования, развития и воспитания [2].

Вместе с тем, научная работа в этом направлении в настоящее время ориентирована на решение локальных проблем, тогда как педагогическая практика нуждается в комплексных психолого-педагогических исследованиях закономерностей и механизмов становления экологической культуры будущих врачей. Как следствие, отсутствует соответствующее научное обеспечение, что в свою очередь, не позволяет эффективно формировать экологическую культуру в образовательной среде вуза. В этой связи актуальна проблема изучения экологического сознания молодого человека и, в первую очередь, как психологического явления, а также разработка методов диагностики современного состояния экологической культуры у будущих врачей.

Очевидно, что современные глобальные экологические проблемы и их разнообразные проявления в общественной жизни обусловлены в первую очередь причинами психологического характера [3]. В связи с этим возрастает и значимость изучения психологических аспектов экологического образования

⁷Authors: Seledtsov Alexander Mikhailovich, Akimenko Galina, Kirina Yulia Yuryevna, Fedoseeva Irina Fosiievna



и воспитания будущих врачей в этом дискурсе.

Повышение степени экологизации высшего образования связано с формированием экологического мировоззрения, осознающего необходимость сохранения среды обитания для дальнейшего существования человечества. Главным объектом деятельности врача любой специальности является человек.

В системе обучения врачей воспитание экологических принципов подхода к оценке здоровья актуально и важно. Для реализации профессионального экологического образования требуется целенаправленная многоэтапная подготовка специалистов, выработка алгоритма стратегии экологического образования, включающего междисциплинарную интеграцию. Важное место в обеспечении такого подхода имеет преемственность экологического воспитания в системе «школа-вуз». Обучение и воспитание экологического мышления у школьников – будущих студентов медицинского вуза – первая ступень формирования экологического образования и воспитания. Очевидно, что позиция преподавателя, его личные качества и экологическая грамотность способствуют формированию экологического мышления, экологической грамотности и экологической культуры школьника и студента. Без воспитания персональной экологической культуры невозможно обучение принципам коллективного экологического сознания.

К сожалению, следует отметить, что большинство людей, и особенно школьников, мало знают о своем здоровье. Экологический подход к оценке своего здоровья предполагает его ценность не только с субъективных позиций, но и как составляющую здоровья человеческой общности в целом.

Приоритетным направлением является проблемное обучение. Главный вектор проблемного обучения – активация учебно-познавательной деятельности активация, которой достигается четкостью определения целей и значимостью экологических знаний для будущей врачебной деятельности.

Мы полагаем, что экологическая культура является интегральной личностной характеристикой, определяющей уровень развития молодого человека, в том числе степень её соответствия существующим социальным нормам.

Экологическая культура – это главным образом продукт социализации личности. Закономерности её становления в настоящее время мало изучены. Вместе с тем, предполагается, что одной из задач высшей школы является формирование общей культуры и, следовательно, имплицитно как одной из её



внутренних составляющих - экологической культуры, что отражено во ФГОС третьего поколения для всех медицинских специальностей [4].

Вопросы взаимодействия в дихотомии «человек-природа», «человек – социально - информационная среда» в современном высшем, в том числе медицинском образовании до сих пор рассматриваются традиционно, исключительно как естественнонаучные.

Гуманитарным аспектам этого взаимодействия, на наш взгляд, уделяется явно недостаточно внимания. Понимание этого привело к тому, что в последнее десятилетие в организации учебно-воспитательного процесса в вузе предусмотрено введение в учебные дисциплины гуманитарного блока экологических единиц. Их практическая реализация способствует коррекции и гармонизации отношений студентов к самим себе, здоровому образу жизни, к природной среде, становлению у них экологической культуры и, как следствие, ускоряет процесс адаптации к процессу обучения в университете.

Установлено, что изменение формируемых характеристик экологической культуры студентов может происходить через усвоение знаний, умений и навыков посредством изучения специальных экологических разделов курсов гуманитарных и естественнонаучных дисциплин, экстремальной, клинической и социальной психологии и др.

Косвенно задача формирования экологической культуры может быть решена через психолого-педагогическую коррекцию сознания студентов в процессе изучения курса «Общей психологии».

В структуру экологической культуры личности входят три компонента: познавательный (экологические знания), мотивационно-ценностный (отношение к природе), деятельностный (поведение в отношении природных объектов). Познавательный компонент включает знания в области биологии, экологии, краеведения, понимание правил поведения в природе. Мотивационно-ценностный компонент подразумевает ценность природы, бережное отношение к ней, основанное на эмпатии, эстетической оценке, и ответственное отношение к природе на этой основе.

Деятельностный компонент включает в себя умения и навыки, необходимые для решения экологических проблем, поведения на природе и участие в экологической деятельности и позволяет определить степень сформированности экологической культуры, в то же время является способом становления культурных норм, экологических установок индивида, которые



определяют характер взаимоотношения человека и окружающей среды [2;4].

Курс «Общей психологии» изучается на младших курсах, на всех факультетах КемГМУ. Так, изучение темы №1 «Психология. Предмет, методы, задачи исследования» предусматривает проведение лекции и семинарского занятия. Наряду с понятиями о логическом аппарате науки и основными категориями психологии студентам разъясняется соотношение между культурой и образованием, образованием и сознанием, методами экстремальной психологии и экопсихологии и др.

Важно подчеркнуть, что программа данной дисциплины предусматривает формирование экологической культуры с социально желательными параметрами. В рамках лекционных и практических занятий по дисциплине «Общая психология» в Кемеровском государственном медицинском университете акцент сделан на изучение положений возрастной и педагогической психологии и методик экопсихологической диагностики.

Особое внимание обращается на базовые проблемы экстремальной психологии: стресс, фрустрация и стрессоустойчивость в адаптационный период первых лет обучения в вузе.

Стресс в данном случае рассматривается с точки зрения экологического подхода как результат несоответствия требований среды (учебной, социокультурной и др.) к индивидуальным ресурсам человека, включая его опыт и мотивационно - потребностные установки.

Ключевой проблемой при этом является вопросы, связанные с психологической готовностью (или неготовностью) обучающихся к жизни и деятельности в отличных от школьных социокультурных условиях и, соответственно, подготовка к критическим изменениям психического состояния и поведения молодого человека в пред-, пост- и собственно экстремальных психологических ситуациях.

Система формирования экологической культуры студентов в рамках изучения психологии раскрывается через систему понятий, которые позволяют выявить основные этапы её формирования. Эта система состоит из взаимосвязанных и взаимозависимых элементов, выстраивающихся в последовательность: «общая экологическая культура личности» - «экологическое сознание человека» - «личная экологическая культура» [1].

Так, в 2021/2022 учебном году на первом курсе лечебного факультета были проведены исследования с использованием многоуровневого личностного



опросника «Адаптивность» (МЛО-АМ) А.Г. Маклакова, С.В. Чермянина и опросника «Адаптированность студентов в вузе» Т.Д. Дубовицкой.

В исследовании приняли участие 98 обучающихся, отобранных методом случайной выборки.

В рамках проведённых исследований установлены уровни сформированности социально-психологической адаптации у студентов медицинского вуза в первые два месяца обучения в университете и динамика социально – психологической адаптации накануне второй экзаменационной сессии.

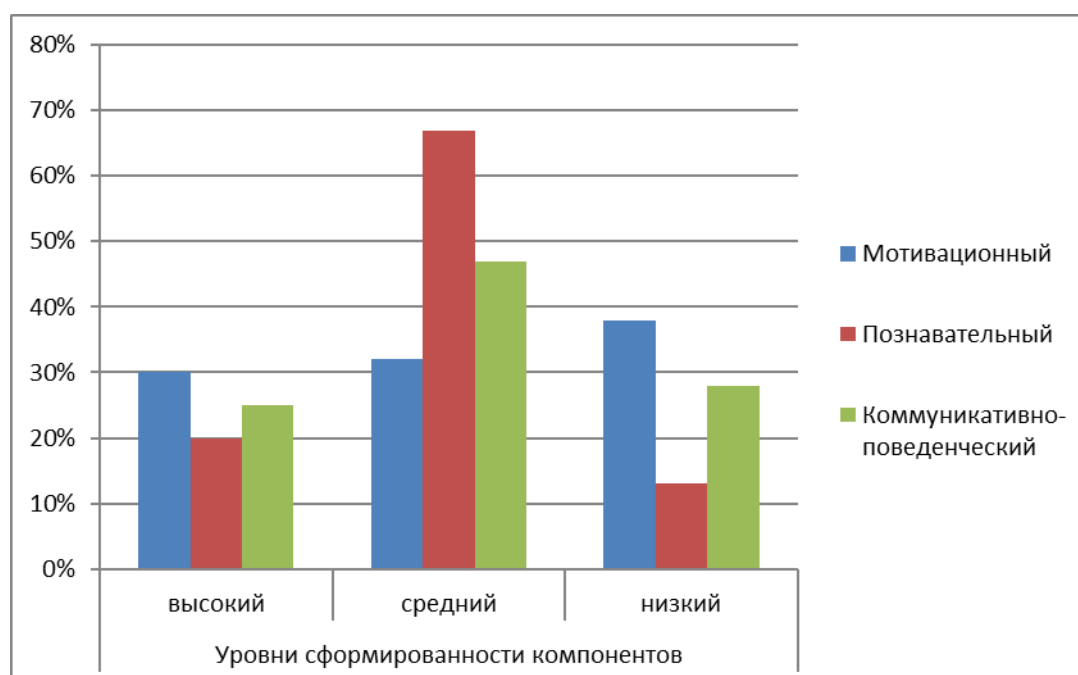


Рис. 1. - Уровни сформированности социально-психологической адаптации у студентов медицинского вуза в июле 2022 г.

Анализ полученные результатов позволяют констатировать, что основными факторами, влияющими на проявление стрессовой дезадаптации у студентов первого курса, являются: низкий уровень принятия, как себя, так и других, то есть конфронтация с другими членами группы; эмоциональный дискомфорт, который может быть весьма различным по природе; экстернальность; стремление к доминированию [2].

Содержание семинарского занятия, в том числе, направлено на знакомство с предметом, задачами, методами и значением экологической психологии как науки о природе человека, её ролью и местом среди других наук. Обучающиеся



на практике знакомятся с психологическими методиками исследования экологического сознания и возможностями их применения в практической профессиональной деятельности. Это способствует формированию мотивации к изучению. Студенты задумываются об ответственном ценностном отношении к человеку и окружающей природной среде [1].

Особое внимание в курсе психологии (тема №7: «Стресс и посттравматическое стрессовое расстройство. Базовые техники коррекции последствий») обращается на проблемы экстремальной психологии, которые напрямую связаны с формированием стресса устойчивости, снижению уровня тревожности, формированию навыков социально-психологической адаптации, в том числе и к условиям обучения в вузе. Главным образом, изучение данных вопросов способствует формированию у студентов представлений о норме психического функционирования. Именно педагогическая среда оказывает большое влияние на поведение личности, т.е. на проявление не только внутренней, но и внешней экологической культуры. Как следствие, данная работа, наряду с другими формами адаптации студентов первого курса, способствовала улучшению всех компонентов адаптации у обучающихся.

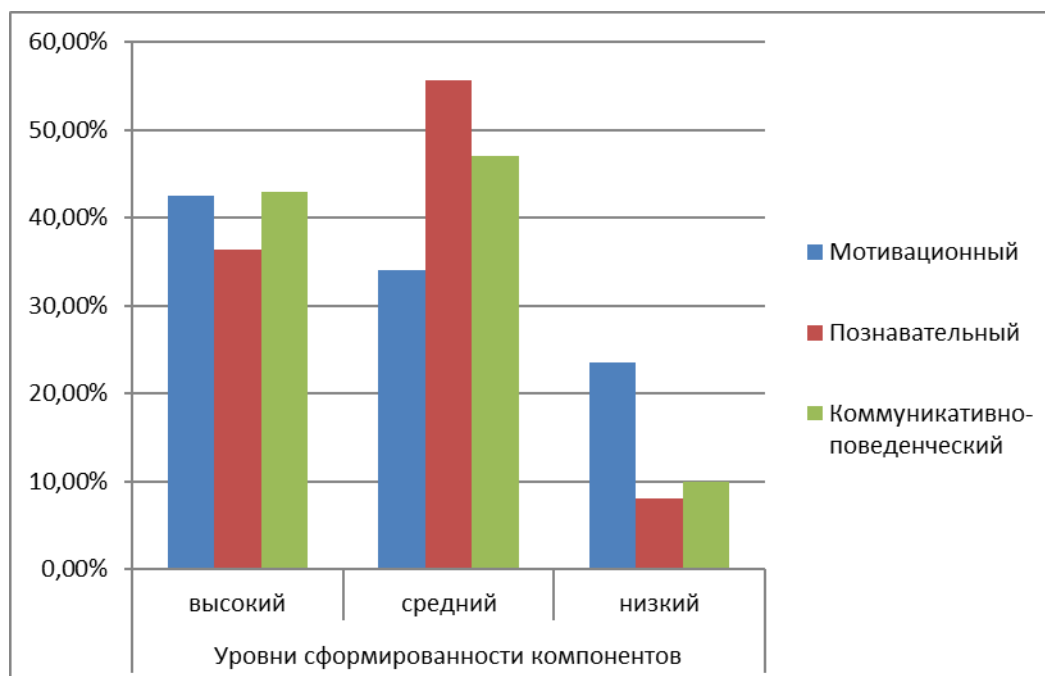


Рис. 2. - Уровни сформированности социально-психологической адаптации у студентов медицинского вуза в июне 2022 г.

Познавательный компонент адаптации одновременно является одним из



способов формирования экокультуры. Поэтому в рамках организации учебного процесса по курсу психологии особое внимание уделяется внеаудиторной познавательной деятельности обучающихся. Основная задача - научить молодых людей самостоятельно исследовать экокультурные особенности развития человека и природы и применять полученные знания на практике в процессе развития личностных качеств в целом и профессиональной деятельности в частности. Психологический компонент выступает здесь как осознанная внутренняя потребность.

В целях активизации познавательного интереса на семинарском занятии по психологии в связи с рассмотрением экологической проблемы могут быть включены элементы деловой игры. Здесь «психолог» выступает в качестве методолога. Игра способствует современному экологическому видению проблематики и умению продуктивно решать эти вопросы с учетом различных профессиональных особенностей студентов. Кроме деловой игры, также предлагается самостоятельное исследование по определенным экологическим темам в форме реферата/презентации. С целью исключения формального подхода, к написанию реферата предъявляется ряд требований: материал должен быть интересным для студентов; необходимо использовать книги и статьи известных ученых; работа должна носить исследовательский характер; в реферате должны рассматриваться не только глобальные, но и региональные экологические проблемы; в работе должна быть отражена собственная позиция студента. Тематика рефератов может включать широкий спектр проблем, находящихся на стыке психологии, философии, этики, культурологии и экологии. Опыт показывает, что предлагаемая форма работы не только повышает интерес студентов к экологическим проблемам при изучении психологии, но и активизирует их познавательную деятельность и развивает самостоятельность мышления.

Таким образом, высокая экологическая культура должна в недалеком будущем стать важным квалификационным критерием преподавателя вуза. Формируя экологическую культуру у студентов университета, мы получаем реальную возможность развивать и преобразовывать как наше настоящее, так и будущее.

Формирование экологической культуры у студентов университета как процесс экокультурного обучения, личностного становления, в ходе которого обучающиеся последовательно овладевают формами экологического сознания,



присущими различным уровням и формам развития культуры, природы и человека, которые способствуют самореализации природных возможностей молодых людей.

Для формирования экологически активной личности будущего специалиста необходимо более активно развивать ориентацию вузовского образования на междисциплинарную кооперацию знаний и на повышение качества экологической подготовки выпускников.

Отбор средств в процессе социально-экологического воспитания учащихся осуществляется с учетом его конкретных условий, возрастных особенностей учащихся, учебно-материальной базы, опыта профессиональной деятельности преподавателя. Выявленные средства используются как в процессе индивидуальной работы со студентами, так и в групповой, фронтальной и комбинированной формах. Рассматриваемый элемент процесса социально-экологического воспитания учащихся, в свою очередь, является содержанием определенной педагогической технологии, реализующей функции и задачи этого процесса. В то же время исследование показало необходимость дальнейшего поиска эффективных средств социально-экологического воспитания учащихся, разработки диагностических и обучающих технологий, создания условий, оптимизирующих взаимодействие преподавателя и учащихся.

Эколого-правовая культура студентов - социокультурная и психолого-педагогическая проблема перспективы направления и технологии в образовательной среде. Повышает конкурентоспособность учащихся в профессиональной и общественной деятельности.

КАПИТЕЛ 8 / CHAPTER 8⁸

TRUSH'S DISCOURSE ON THE PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF PHOTOGRAPHY AT THE BORDER OF THE 19TH - 20TH CENTURIES

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-010

Вступ

Новітній революційний винахід Луї Дагера у XIX ст. дагеротипія яка пізніше отримала назву фотографії або світлини в українському варіанті надала можливість технічними засобами отримувати реалістичні деталізовані зображення оточуючого світу. Одні з перших хто оцінив достойно можливості винаходу були художники. Саме митці починаючи з останньої чверті XX ст. активно опановують і користуються новим технічним засобом. Фотографію називають ледве не однією з передумов появи французького імпресіонізму, течії у якій основним творчим методом була фіксація миті, стану, настрою. За допомогою світлини художники вивчають рух, завдячуючи неї з'являється нова форма композиції аналогічної до фрагментарного кадру, живописні сюжети збагачуються сценами повсякденного життя. Історики і теоретики мистецтва з появою фотографії взагалі передбачають смерть живопису. Поет і критик Шарль Бодлер свого часу з сумом відмічав: «В живописі і скульптурі сьогоднішнє кредо широкої публіки, особливо у Франції таке: «Я вірю у природу і тільки в неї одну. Я рахую, що мистецтво є ніщо інше, ніж точне відтворення природи». Таким чином, технічний трюк, здатний точно відтворити природу, стане найвищим мистецтвом» [1].

8.1. Когнітивний дисонанс фотографії і живопису

Питання когнітивного дисонансу фотографії і живопису, майбутнього нового засобу отримання зображення і традиційних, в першу чергу таких як живопис і графіка, їх обоюдного заперечення або взаємодоповнення стояло дуже гостро. Варіанти його рішення викликали полеміку, чисельні суперечки в мистецькому середовищі з моменту оприлюднення винаходу Дагера 1839 р. і не припиняються на сьогоднішній момент. Своє бачення проблематики висловлювали провідні теоретики мистецтва і фотографії XX ст. в т. ч. Р. Барт,

⁸Authors: Yamash Yuriy Volodymyrovych



С. Зонтаг, Е. Вестон, А. Фейнінгер, Т. Д. Шарковські, Л. Могой-Надь та інші.

«Найвпливовіший різновид цього ставлення, – зазначала Сьюзен Зонтаг – можна знайти в малярстві – мистецтві, в яке вдерлася фотографія, вдаючись із самого початку до революційного плагіату, і з яким фотографія й досі перебуває в стані нестямного суперництва» [2, С. 91]. За поширеним уявленням фотографія претендувала на монополію вирішення мистецького завдання докладного відтворення реальності. За це на думку Едварда Вестона художники мали би бути глибоко вдячні. [2, с. 91].

Відомий український художник і теоретик мистецтва Іван Труш один з перших у ХХ ст. долучається до дискусії і викладає основні положення своїх поглядів на вирішення проблеми в статтях «Фотографія і штука малярства» та «З малярської робітні. Як повстає образ» [3, 4]. Художник є активним прихильником фотографії, практикує використання нового засобу у живописних завданнях. Він вивчив і на фаховому рівні опанував фотографічну техніку. В його мистецькому арсеналі знаходився якісний зручний фотоапарат «Кодак», в його львівському будинку на вул. Обводовій, 28. (нині будинок ХММ по вул. Труша, 28) була облаштована фотолабораторія. Її залишки (фотозбільшувач) ще знаходились у підвальному приміщенні музею в кінці 90-х рр. на сьогодні нажалі не збережені. Аналог фотографічного апарату «3A Folding Pocket Kodak» яким володів художник, а саме «Kodak Junior 620» в ході сучасного дослідження був віднайдений, закуплений і переданий до Національного музею у Львові.

Історики вважають Івана Труша одним з перших теоретиків фотографії в Галичині відводячи йому роль патріарха української естетики фотомистецтва: «Помітною віхою становлення української фотографії являється інтенсивне заняття фототворчістю видатного художника Івана Труша» [5].

Труш з позиції художника-живописця і одночасно фотографа-практика висвітлює своє бачення на практичне застосування фотографії у мистецькій сфері і прогнозує її майбутній розвиток. У своїй статті Труш говорить про відносну обмеженість і ексклюзивність в недалекому минулому фотографії: «Ще до недавня належала штука фотографічна тільки що до нечисленних «вибраних». Виконували її спеціалісти, люди фахові, звичайні робітники по найбільшій частині і всюди люди без найменшого артистичного підготування і смаку». »[3, с. 98].

Про Трушеву обізнаність історії фотографії говорить його згадка про



тривалий процес фотографічної з'йомки, який як відомо, на перших порах не був миттєвий, залежав від тривалості витримки і треба було позувати достатню кількість хвилин. Такий акт міг відбуватись лише в упорядкованому і достатньо освітленому місці. Художник має на увазі фотоательє які в Європі і у Львові облаштовувались на горищних приміщеннях, мансардах і мизанинах з верхнім вітражним вікном. Прикладом такого облаштування фотографічного ательє в кінці XIX ст. у Львові була спеціально обладнана надбудова на горищі готелю «Європейський» (нині будинок філії «Укрексімбанку» на пл. А. Міцкевича, 4). З часом, відмічає Труш, ситуація змінюється, фотографія стає більш поширеною і доступною, фотографічна техніка вдосконалюється, процес з ательє переноситься на відкритий простір. Нова ситуація дозволяє робити зйомку не тільки у сприятливу сонячну погоду, а й у захмарений день і навіть у вечорі. Труш не пояснює причину останніх можливостей, але вони з'являються коли збільшується чутливість плівки, або фотопластин. Він правильно пояснює поширений попит на фототехніку через суттєве здешевлення продукту, його вдосконалення і спрощення. Труш аналізуючи процес технічного вдосконалення фотоапарату припускається помилки стверджуючи що можливість блискавичної зйомки сцен спричинена вдосконаленням оптики і зокрема об'єктиву. Насправді прогрес відбувається за рахунок вдосконалення затворного механізму, хоча Трушева позиція зрозуміла коли він перераховує нові можливості.

Серед потенційних категорій споживачів художник відмічає наступні: «Фотографічний апарат, попавши в руки хеміків, артистів, взагалі інтелектуальніших людей, став машиною, якою вибрані продукують гідну назви артистичних творів» [3, с. 98]. Серед цієї групи Труш виділяє художників: «Вдосконалений фотографічний апарат і упрощена маніпуляція стали великою великою помічу для артистів, хоча в дуже обмежених випадках і тільки в певнім папрямку» [3, с. 98]. Фотографія не заміняє творчої праці художника, але є допоміжним засобом який може суттєво спростити, або покращити мистецький процес. На його думку найбільша користь фотографії полягає в її можливостях фіксувати «блискавичний» рух який складно вловити людським оком. Він коротко перераховує аналогічні корисні ситуації і моменти з танцюючими людьми, кіньми що мчать галопом, набігаючими морськими хвилями, складними багатодетальними формами дерев і квітів, ледве вловимими проявами міміки людських обличь. Труш не ідеалізує цей позитив:



«В тім напрямку дає фотографічний апарат не все, але все ж таки так багато, що талановитий і вишколений артист може користати з нього в багатьох випадках» [3, с. 98].

Труш який наводить приклад з кінями що мчать галопом дуже близький в розуміннях проблематики яку успішно вирішує британо-американський фотограф Едвард Майбрідж (1830 - 1904) в останній чверті XIX ст. Навіть берейтори свого часу не спроможні були дати точну відповідь чи відривається кінь що мчить галопом повністю від землі. Саме суперечка з цього питання між каліфорнійським губернатором Лілендом Стенфордом і його опонентом, їх парі привела до провадження наукового експерименту за допомогою спеціальної ділянки – фотодрому. Дослідження фотографічними методами проводив Майбрідж. На фотодромі було споруджено довгу білу стіну, з протилежної сторони облаштовано 24 кабінки з фотокамерами» [6]. Для контрасту з білим тлом були обрані чорні коні які під час бігу по дерев'яному треку торкаючись долівки запускали механізм з'єднаний з затвором фотоапарата. Таким чином фотограф фіксував всі фази руху коней. За кожний забіг Майбрідж отримував 24 знімки, в тому числі кадри які доводили що всі чотири ноги коня відриваються від землі під час галопу. Пізніше аналогічні експерименти фотограф буде проводити з людьми фотографічно фіксуючи рухи при ходьбі, підйомі по сходах, фази поз танцювальних пар. За підтримкою Пенсільванського університету Майбрідж оприлюднив свої дослідження у 11-ти томній праці «Рух твари: електрографічні дослідження послідовних фаз руху тварин» 1887 р. В альбомі увійшло понад 100 тис світлин. Пізніше 1901 р. вийшла друком його книга «Фігура людини в русі» [6]. Згадані видання були у свій час популярними. Відомо що Дега користувався цими книгами і робив з них замальовки. Євентуально Труш також міг чути про дослідження Майбріджа і можливо навіть бути знайомий з його дослідженнями. У львівському кафе «Монополь» ледве не кожного дня за філіжанкою кави в товаристві колег він переглядав мистецьку періодику яка могла містити світлини британо-американського фотографа або згадку про його експерименти. Це були переважно німецькі журнали «Флігенде Бляттер» і «Сімплісіссімус». [7]. Міркування Труша стосовно тваринної локомоції дозволяють все ж припустити його обізнаність що до Майбріджських експериментів. Про це він пише: «І рух, наприклад, коня, чоловіка, видить фотографічний апарат трохи інакше, як його обсервує людське око. Фотографія віддає лиш, скажем одну секунду руху, коли



рух заобсервований чоловіком, занотований артистом, є результатом довшого часу, кілька секунд часом» [3, с. 98]. Дослідження Майбріджа деталізують процес руху, дають розкадровку часових змін форми і це має як позитивні так і негативні моменти для мистецької сфери. Труш про це пише: «Хто буває на фотоплястичних панорамах, мусів не раз здивувати ся, що рухи людських постатей, хоча їх фотографічний апарат ловить «на горячим учинку», не відповідають обсервації; коні в бігу виглядають як би раптово закаменіли, ідучі люди виглядають часто, як би були приковані до землі, або роблять враженє, що не ходять по землі, але по клейкій матерії, від якої не можуть відірвати ніг» [3, с. 98]. Отож, якісна світлина, у сучасному тлумаченні, яка фіксує рух при достатньому освітленні з мінімальними показниками витримки, наприклад В - 500, або в автоматичному режимі «Спорт», з застосуванням стабілізуючого об'єктиву дозволяє отримати чітке зображення з проробкою деталей та виразним рисунком погано передає важливу суть процесу – динаміку.

Важливим в контексті питання є те що Труш так само як і Майбрідж розуміє що саме фотографія може дати відповіді як відбувається рух у найменших дрібницях, відповіді на які людське око не зовсім спроможне відреагувати. Але Труш йде далі у висновках в контексті образотворчих завдань і протиріччях між статикою фотографії і живописною динамікою.

Художник далекий щоб ідеалізувати фотографію і він прямо про це говорить: «Сліпо за апаратом не можна йти, бо між відбиранєм вражіннь людським оком і фотографічним апаратом є досить велика різниця» » [3, с. 98]. Він пише про конкретний важливий і відомий лише фахівцями недолік чорно-білої фотографії що стосується не сприйняття світочутливим шаром плівки або пластини червоної групи спектру. Труш зазначає : «... фотографічна плита, на яку проектуєть ся образ і на якій він утриваюєть ся, є невразлива на так звані теплі кольори, себто жовті і всякі інші, в які входить певне квантум жовтої (помаранчевої) краски. Ся хіба має дуже часто вплив і на рисунок, о скільки він залежний від кольору, а се буває дуже часто в природі» [3, с. 98]. Труш наводить приклад з синіми тінями на снігу, що освітлений сонцем, які не проявляються на негативній фотопластині, а пізніше під час позитивного процесу на фотопапері. Натомість жовті плями які людське око не помічає на натурі з'являються на фотовідбитку. Зрозуміло що мова йде не про плями з якостями кольору. Такі плями появляються як тональні оскільки мова йде про чорно-білу фотографію.



У своїх наукових викладах Труш припускається суттєвої похибки приписуючи фотографії позитивні якості в передачі лінійної перспективи. Він про це пише: «...віддає фотографія незрівнянно добре перспективне скорочення, бо природа в фотографічному фотоапараті є скінчено правильною проєкцією на площину. Правильна проєкція предметів на площину є і конструктивною підставою образу, а то в напрямі їх пропорцій, в напрямі їх пропорціональної величини» [3, с. 98]. На сьогоднішній день навіть новітня фототографічна техніка XIX ст. не зможе без викривлення передати перспективне скорочення. Звичайно, є відповідні комп'ютерні графічні редактори які шляхом обробки оцифрованого зображення дозволяють досягнути належного результату. На загал найсучасніші фотооб'єктиви від яких залежить якість через наявність ефектів сферичної обертації і дисторсії фіксують перспективне скорочення яке не відповідає реальній картині. Аналогічна невідповідність за часів Труша була ще більш проблематичною. Його ствердження базувалось лише на тому що фотографічне зображення і зафіксовані на ньому об'єкти дійсно мали ознаки лінійної перспективи. Труш помічав це, але сам ніколи не перевіряв і не пересвідчувався в їх вірності оскільки основне правило перспективи - паралельні лінії сходяться в одній точці на лінії горизонту, застосовувалось переважно в урбаністичних композиціях, а не в пейзажі. Саме з цього витікає його хибне ствердження, оскільки художник переважно працював у жанрі де лінійна перспектива практично не застосовувалась, або не відігравала значної ролі.

Якщо відносно лінійної перспективи у фотографічному зображенні Труш помиляється, то стосовно повітряної перспективи він робить правильні висновки. Художник не вживає терміну повітряна перспектива, але має на увазі саме це поняття. Він вбачає: «...різниця між фотографічним рисунком і рисунком артистичним значна, часто навіть дуже велика. Поминувши уже неправильність у відданню кольору фотографією, має фотографічний апарат те до себе, що він видить усе однаково: чи то предмет, гідний уваги, чи сотки дрібниць, які в гармонії не грають ніякої ролі» [3, с. 98]. Іншими словами на світлині художник не помічає тональної відмінності, вибіркості, належного акцентування, або навпаки присутність проробки непотрібних деталей які в цілому зашкоджують появі гармонійних якостей. Техніка не може замінити людину-творця: «Апарат не може нічого вибрати, не може непотрібного поминути; він артист крайню точний, але цілком бехдушний» [3, с. 98].



8.2. Колізії фотографії і живопису у пейзажному і портретному жанрі.

У своїй статті Труш як пейзажист особливу увагу приділяє поширеному жанру краєвиду з позиції фотографії і живопису. Він наводить приклад уявленого широкого поля що тягнеться до самого небосхилу в момент заходу сонця. Посеред рівнини на середньому плані височіє білий зруйнований мур давньої фортифікації. Небо над завмерлою в ці хвилини землею палає в гарячих променях сонця. Художник аналізує ситуацію: «Фотограф не витягне з такої гармонії нічого, артист дуже багато. Тут грає кольор, рисункового виразу нема. Де кольор творить душу природи, там фотографія, бодай фотографія в тій стадії розвою, яку ми нині знаємо, не вдіє нічого» [3, с. 99]. Доволі влучне уточнення коли автором робиться поправка на час. Сучасна в тому числі цифрова фотографія яка оперує кольором долає цей недолік і може передати всі нюанси захоплюючої картини вечірнього заходу. Але це подолання не надало переваги фотографії над живописними засобами. Труш визначає за живописом першість відтворення зображення колористичними методами, за фотографією визнає прерогативу у точній лінійній передачі: «Вона там паном де панує рисунок» [3, с. 99]. В протизага саме колір може передати чарівність пізнього вечора, «ефекти і настрої ночі» [3, с. 99]. Художник знов наводить приклад з краєвидом де на піщаному ґрунті зростають дерева, або височіють вітряки що сягають своїми верхами хмар в такому краєвиді фотографія спроможна передати лише половину краси. В наступному умовному наведеному випадку світлина також програє: «Коли вийшло би сфотографувати широкий степ, засіяний цвітами, серед яких стирчать подекуди дерева, або корчі, а на ближшій або дальній плянї видніють наприклад людські постаті – там фотографія безсила, бо не може дивитись як артист людським оком, а лиш бездушним механізмом» [3, с. 99]. Фотографія на думку Труша може зафіксувати тисячі поодиноких стебел, квітів, тисячу листків на деревах, тобто деталей які не дадуть гармонії зображенню, але вона не здатна передати шовковистість і м'якість трав'яного покриву. Саме художник має свободу і можливість вільно komponувати зображення, підкреслювати і акцентувати, наближати або віддаляти плани. Сучасні фотографічні засоби, цифрова фотографія, комп'ютерні редактори дозволяють провадити аналогічні операції. Між тим художник правий і його ствердження є актуальними і сьогодні - фотографія не подолала переваги живопису і лишається лише інструментом в образотворчій сфері. Труш



підкреслює: «Артист має свободу і спромогу підчеркувати усе, що забажає, почавши від першого плану аж до горизонту, почавши від землі аж до крон дереві і хмар.» [3, с. 99]. Далі він додає: «Не говорити тут уже про свободу переіначувати мотиви і нагинати їх в певній цілі до вподоби, що в апараті, а навіть потім на кінці роботи на фотографічному папері виконати просто не можливо» [3, с. 99].

Ключове положення Труша в теорії фотографії це оцінка її можливостей через призму мистецьких завдань які стоять перед митцем при створенні художнього твору. Перший етап цього процесу зародження ідеї. Другий етап збір матеріалу, далі третій - ескізування і четвертий побудова композиції, останній п'ятий виконання і завершення твору. Перший етап обходиться без фотографії. Як новому технічному засобу Труш відводить конкретне місце в творчому процесі. Художник розкладає все по полицях: «Не все знаходить артист готовий краєвид у природі, не все такий кусок землі, що з него тільки дещо треба усунути, або підчеркнути – часто буває так, що на образ-краєвид, треба складати більше мотивів, зібраних на різних місцях. Артист збирає тоді потрібні студії з природи і komponує з них одну органічну цілість дома у робітні» [3, с. 99]. Таким чином Труш відводить місце фотографії у другому етапі – збір матеріалу і третьому четвертому етапі коли світлина лягає в основу начерку і далі включається в організацію простору картини. Може бути чисто фотографічний метод створення мистецького твору коли художник фактично копіює натурний сюжет. Труш такий метод відкидає: «Краєвид створений дорогою композиції має звичайно більше змісту як прикладом найдений, тому й більше промовляє до видців» [3, с. 99].

Один фотографічний пейзажний сюжет «Мотив із Абації» Б. Шидловського художник підлягає різкої критики, зараховує світлину до артистичного твору низького сорту. Можливо щоб навести у своїй статті «Фотографія і штука малярства» приклад і аналіз пейзажної фотографії він як редактор поміщає її у «Артистичному віснику». Згадану світлину Труш відносить до репортерської категорії, хоча термін цей не вживає. Він не рахує її художньою фотографією і пояснює чому: «Вона продукт не подиву для природи, якого моменту або мотиву, а бажання занотувати собі певний характеристичний краєвид, що представляє льокальний вигляд даної місцевості» [3, с. 101]. Термін «подив» який вживає автор є синонімом терміну «враження» і в цьому випадку Труш в черговий раз виказує себе як прихильник



імпресіонізму. Його важлива вимога до художньої фотографії як твору мистецтва, а саме передача враження має явне імпресіоністичне забарвлення. Категорії фотографії які не мають право претендувати на мистецький статус за визначенням Труша мають ознаки: «Мотиви топографічні і етнографічні, які не визначаються артистичним моментом, то значить не є проявом індивідуального життя, або душі чоловіка або природи взагалі, не представляють для штуки ніякого інтересу» [3, с. 99].

В протиставі світлина Шидловського Труш наводить добрий приклад фотографічного краєвиду Р. Бжезінського за сюжетом морського ока який так само друкує в журналі. У цьому випадку він не робить детального аналізу, лише констатує «Фотографічна знімка Р. Бжезінського визначає ся гарним вибором теми і надзвичайно добрим унятем мотиву в рами» [3, с. 99]. Слід зазначити що Труш вживає слово «рами» не в прямому тлумаченні обрамлення твору у відповідний багет, а має на увазі кадрування мотиву на професійній мові фотографа, або компонування на мові фахового художника.

Більшого значення фотографії Труш відводить у портретному жанрі оскільки вона може передати вірно пропорції людини, дрібні деталі і нюанси. Художник активно використовує світлину у живописній практиці при виконанні портретів. Зі світлина він малює портрети Тараса Шевченка, кардинала Сембратовича, Івана Франка, Михайла Драгоманова, Юліуша Словацького, Єлізавети Мілардович і інш. У XX- XXI ст. аналогічна практика причому в різноманітних проявах і аспектах стає поширеною і розповсюдженою в художній сфері. В цьому контексті характерним прикладом може слугувати творчість всесвітньовідомих художників Френсіса Бекона, Енді Воргола та інш.

Між тим Труш не ідеалізує фотографічний портрет. Світлина також може бути підготовчим матеріалом при написанні живописного образу. Самостійний характер фотографічного портрету як мистецького твору припустимий але поступається аналогічному живописному. Труш пояснює: «Між фотографією а добре намальованим портретом є велика різниця: фотографія схватить знаменито одну хвилю, оден жест, найчастіше як раз такий, що в нім не проявляється характер позуючого, коли маляр приглядаючися годинами на лица чоловіка, потрафить зібрати у одні цілість усі моменти та усі рухи, і власне такі моменти і таки рухи, які є впливом моральної вдачі та фізіологічної організації чоловіка. Не згадую тут уже про краску лица і черт. Бо се поминає фотографія зовсім, для того виходять на кліші в однім тоні анемічна



сухитниця і рум'яний, сонцем опалений молодець» [4].

Теза Труша збігається з судженнями художника і теоретика мистецтва І. Крамського який наголошував що фотографія рідко дає суму всього, що обличчя людини в себе включає [8, с. 92]. Аналогічної думки додержується Волков-Ланніт який стверджує: «Живописець пише картину по эскизам и этюдам. Создавая портрет, он может перерабатывать материал натуры, усиливать экспрессию отдельных черт лица. Нельзя документальное изображение подменить монтажной аппликацией, составив лицо человека из нескольких кадров» [8, с. 103].

Для зручності аналізу концепту Труша доречно скористатись термінологією запропонованою Р. Бартом який в своїх дослідженнях піднімає дотичні питання методології і філософії фотографії. Французький дослідник вводить такі поняття як Оператор (Operator) – фотограф, Спектатор (Spektator) глядач, споживач фотографії, Спектрум (Spectrum) – натура, людина що позує для портрету [9, с. 112]. Для Оператора відтворити подібно образ Спектрума на папері чи полотні, і Труш про це пише, це не тільки передати точно загальні пропорції тіла, риси обличчя, тобто індивідуальні прикмети і особливості окремих форм за допомогою кольору, а й в першу чергу, передати духовно індивідуальність особистості. [3, с. 99]. Він пояснює: «Духовна індивідуальність пробиває ся в держанню постати, грі мускулів на лици, в рухах рук і т. д. Річ природна, що не можна добре віддати портрета людини незнаной фотографови або маляреви» [3, с. 99]. Цей Трушевий постулат стверджує правило за яким можлива успішна реалізація портретного завдання при умові що Оператор має бути знайомий зі Спектрумом, знати про нього як найбільше від звичок, манер, уподобань до вад і чеснот характеру, психологічних реакцій на окремі дії. Труш як правило вживає в таких випадках термін який узагальнює всі поняття – знати «вдачу героя». Вже за часів Труша і він сам теж про це говорить мистецькі Спектатори в більшості приходили до висновку що портретна фотографія не може бути досконало правдивою і реально передавати схожість і подібність. Світлина на його думку передає лише один момент, мить, між тим художник намагається перенести на полотно чисельні миті зафіксовані зоровою пам'яттю протягом тривалого часу і оброблені як в комп'ютері в його голові. Лише на завершенні цього процесу синтезу наступає фаза «коли артист може комбінувати усі характеристичні моменти данного індивідуум у одну органічну індивідуальну цілість» [3, с. 99].



На перший погляд, для професійного художника не є складна проблема передати на полотні конкретні риси людини яка позує, досягнути відносної подібності. Оператор бачить натуру, вивчає її, на його переконання, достовірно елемент за елементом послідовно це фіксує і отримує результат. Труш цю ситуацію заперечує: «Погляд цілком фальшивий, бо має за підставу хибу артиста, що не розуміє механізму природи, а творить компілюючи без мисли, вибираючи таку дорогу, яка найлегша і вимагає сильної концентрації сили і більшого таланту. Се, що не є правильне, а лиш видається на перший вид *plausible*, взято за підставу розумування...» [3, с. 100].

Далі щоб довести свою думку Труш вдається до складної аналогії пов'язаної з об'єктами, системами, або явищами що знаходяться в динаміці. Зі статичними об'єктами все зрозуміли, наприклад натюрмортом, з ними проблем не виникає при відтворенні їх фотографічним апаратом або художніми засобами. Складніше ситуація коли відбувається рух і кожна мить змінює характер і уявлення про предмет. Не зважаючи на це людина має чітке монолітне сприйняття побаченого, цільний образ. Труш пояснює що в органічній природі все пов'язано, але в кожний момент ми спостерігаємо «одноцільність». [3, с. 100]. Це уявлення за Трушем ми можемо отримати при спостеріганні руху штучно зроблених машин, у розхитаному вітром дереві що тулиться під його поривами в один бік, у бурхливому морі де набігаючи хвилі укладаються у потужний вал. Кожна хвиля ритмічно рухається у відповідному напрямку і її існування пов'язано з дією інших хвиль. Художник роз'яснює: «Ніколи не буває, щоби у одній хвилі частина води була супокійна, а частина розбурхана, або щоби одні філії гнали в один, а другі в противний бік з иньшою силою і иньшою гнучкістю не відповідною плинності води» [3, с. 100]. Аналізуючи ситуацію Труш використовує принципи структуралізму, категорії структурного підходу які пізніше використовувались філософських працях Р. Барта. [9, с. 3].

До аналогії Труш включає приклад з годинником коліщатка якого ритмічно рухаються, обертаються з відповідною амплітудою та правилами ротації закладених механізмом. Він пояснює що кожна фаза дії взаємопов'язана: «Усі їх оберти є наслідком попередніх рухів, а причиною дальших. Такого стану усторою колісцят нема, коли би одна їх частина обертала ся, а друга стояла, одна частина належала до хвилі, коли годинник опізняється ся, а друга до хвилі, коли спішить» [3, с. 100].



Подібними паралізмами Труш ілюструє ситуацію зі створенням художніми засобами портретом людини, обличчя якої є практично аналогом динаміки наведених ним явищ і об'єктів. Обличчя живої людини це система взаємодіючих м'язів, подібно коліщаток годинника, які взаємодіють один з одним відповідно до психоматичного стану людини. Фотографія може зафіксувати мить, секундний вираз обличчя, але не може передати цільне уявлення про людину, її емоції, характер, харизму. Міміка людини у сприйнятті загального образу не є алогічною і полярною. Труш про це пише: «Так нема і на лиці різnorodних дрозань мускулів, коли би одні належали до утоми чоловіка, другі до розбудженої енергії, а треті до спокійного стану; коли лише набере якого виразу, то складові частини фізіономії стоять у прагматичній звязи з певною причиною. Результату двох причин, ще й різних від себе, нема на лиці, не можна їх проте ніколи малювати на портреті» [3, с. 100].

Компіляція міміки обличчя, автоматичне перерахування фазових змін чола, очей, губ на полотні без логічної вибірконості з протилежною передачею емоцій і психологічного стану людини надає за думкою художника неприродний вираз. В результаті не дається досягнути індивідуальних рис, образ отримує штучну не природню гримасу, або мертву нерухому статичність і закам'янілість фізіономії. Так, фотографія може зафіксувати момент відносної істини коли Спектрум має монотипний вираз. Риторичне питання чи буде цей вираз правдивий і відповідати характеру і вдачі персонажа не потребує відповіді.

Труш вказує на що треба звертати увагу: «Коли моделєви, що позує фотографови, покаже ся на лиці хвилевий вираз, або ліпше сказати один з хвилевих виразів, відповідний його вдачі, а не штучний, призначений спеціально для фотографа, то він достаточнo може схарактеризувати данного чоловіка – бо кожний вираз людського лиця є відбитєм його характеру, певною пробою його вдачі, один із складників, з якого можна пізнати характер індивідуальної цілості, так як можна пізнати індивідуальний характер води у всіх її хоч би хвилевих формах» [3, с. 100]. Слід зауважити важливу деталь наведеної тези. Труш вживає термін «штучний» вираз, назвем його «ефектом Спектруму», який автор у своїй статті не розшифровує, але який потребує роз'яснень. Подалання «ефекту Спектрума» одне з ключових положень Трушевої теорії портрету.

Під час сучасного дослідження творчості Івана Труша неодноразово



брались інтерв'ю у сина художника Романа Івановича Труша. Ще 2007 р. від час однієї зустрічі син митця поділився творчим секретом, який стосувався портретного жанру. Батько, за словами Романа Івановича, рахував що людина яка позує чи перед художником, чи перед фотографом, не має значення, вдягає на себе, на обличчя маску. Не просто маску а позитивну маску, оскільки має бажання бути зображеною на портреті у найкращому вигляді. Тобто на справді людина не є такою, а лише вдає відповідні чесноти. Перше і не просте завдання перед митцем який збирається зробити мистецький правдивий образ, а не копію, як говорить Труш компіляцію, це зірвати цю маску. Митець має свою власну перевірену методу яку застосовує кожного разу коли береться намалювати портрет того чи іншого достойника. Дамо їй назву - «методом маски». Труш вступає в діалог з натурою, викликає на бесіду, дозволяє навіть відбутися монологу з її боку, таким чином відкритися, розкрити реальне обличчя на якому починають віддзеркалюватись правдиві емоції. Як підступний мисливець, художник користується моментом уважно спостерігає і фіксує людяні риси. Припускаємо що згаданий «метод маски» був одним з важливих чинників який сприяв становлення Труша як одного з кращих портретистів свого часу.

Про існування «ефекту Спектрума» і «методу маски» свідчать інші учасники дискурсу. Валерій Брюсов характеризує портрети В. Серова одного з кращих портретистів свого часу про його живописні образи писав що вони «зривають маски, які люди надягають на себе, і засуджують сокровенний зміст обличчя, створеного всім життям, всіма таємними думками, всіма прихованими від інших хвилюваннями» [8, с 100].

Парадокс Трушевого «методу маски» полягає в тому що його ефективність могла привести до того що художник почав відмовлятися від портретних замовлень. Про це він неодноразово офіційно зголошував в тому числі на шпальтах журналу «Артистичний вісник»: «Артист Іван Труш подає до прилюдної відомості, що він на замовлення не виконує ніяких праць, як : портретів...» [10, с. 112]. Причина такої поведінки за нашими припущеннями може критися в тому що при написанні портрету зриваючи умовну маску з Спектруму він не завжди бачить привабливе обличчя, обличчя яке випромінює чесноти, а не вади, обличчя яке має йому подобатись. Включається внутрішній конфлікт. Від Оператора вимагається створити репрезентативну роботу яка має викликати лише позитивні емоції. У разі замовлення жоден з замовників на



протилежне не погодиться. Такі евентуальні ситуації могли викликати конфлікти і тому Труш має бажання відмовитись від замовного портрету, хоча як свідчить історія його творчості цілковито зробити це йому не вдається.

«Метод маски» є одним з чинників переваги живописного методу над світлиною і про це Труш наголошує: «Маляр має ту висшість над фотографом, що може розрізнити рухи і міни природні і не природні, значить такі, які відносяться до хвилі (спеціально *ad hoc* дібрані) позовання» [3, с. 101]. «Метод маски» стосується не тільки обличчя і відповідного досягнення психологічного прочитання і мистецького коментаря міміки людини. Навіть природне положення постаті Спектруму важливо за думкою художника: «Чоловік не повинен прибирати спеціально пози для маляра або фотографа, бо портретування може бути віддане у всіх хвилях життя з виключенням свідомого позовання» [3, с. 101].

Іван Труш не висвітлює питання чи може фотограф так само як живописець використовувати «метод маски» в роботі над портретом. Відповідь напрошується сама собою. Професійний Оператор, Арт Оператор може досягнути подібних результатів активно працюючи з натурою, тобто намагаючись зірвати з неї лічину. Між тим перевагу Труш все одно залишає за художником: «Взагалі художник стоїть значно вище над механічним копіюванням» [3, с. 101]. Далі він пояснює: «Чоловік або лиш його голова є таким предметом, на яким звичайно концентруєся уся увага видця. Тут Мотив для атриста і для фотографа такий що його обминає в одній секунді і фотографічний апарат і людське око, яке не потребує тут ангажувати ся і в другім місці, на другім мотиві. Артист і фотограф у тій фактурі сходять ся досить значно» [3, с. 101].

Труш розглядає фотографію як самостійне мистецтво в окремих жанрах віддає перевагу портрету: «...значить ся, що фотографічний портрет ближший природі як фотографічний краєвид» [3, с. 101].

Він не обмежується лише своєю статтею в «Артистичному віснику» а й приділяє як редактор достатню увагу фотографії репродукуя на шпальтах часопису світлини фотомайстрів таких як Р. Губер, І. Сьвітковського, М. Заячківського, Б. Шидловського, Р. Бжезінського. Окремим фотографіям згаданих авторів він дає високу оцінку.

В іншій статті «З малярської робітні. Як повстає образ» Труш знов протиставить живопис та фотографію описуючи процес створення портрету [4



с. 21]. Він у формі діалогу спілкується з редактором якому вказує на незавершений портрет професора, ім'я якого не називає. Труш зазначає суттєві прикмети людини яку його співрозмовник добре знає, прикмети, а саме дрібонькі зморшки яких художник майже уникає в зображенні. Труш абсолютно впевнений що портрет подібний до «живого і трафлений до віку» і просить редактора погодитись з цим [4 с. 21]. Художник пояснює процес який приводить до відповідного результату. При написанні портрету він залишає найбільші і найхарактерніші деталі рис обличчя що у живописців «зоветься широким трактуванням та є конечною вимогою штуки» [4 с. 21]. В цій тезі вираз «широке трактування» можна замінити на сучасний термін «стилізація» або «узагальнення». Труш проводить паралелі з аналогічним процесом якій відбувається в портретній фотографії коли за допомогою ретуші прибираються другорядні і нехарактерні деталі; притому отримується протилежний з живописом результат. «Затирає їх ретушер, - пояснює Труш – не для артизму, бо фотографи не мають ані жодного артистичного образования, ані смаку, а для молодшого вигляду особи, через що на некористь подібності заретушовується часто з признаками старшого вигляду і найхарактеристичніші черти лица» [4 с. 21]. Труш далі наводить приклади творчості художників які не додержувались принципів стилізації, а їх методи нагадували скоріше фотографічні. Він трактує це як виключення: «Було кілька малярів, що не ішли тою дорогою, а найінтереснішим з них був Деннер, що голову людську малював цілими місяцями і не дарував собі ані волоска, ні прищика, ні зморшки, - хочби ледве помітної, - але що ж, влізши в деталі, трапив у своїх образах живість природи...»[4 с. 21]. Крім німецького художника-портретиста Бальтазара Деннера (1685 – 1749) він також згадує ще одного живописця Франца Ленбаха (1836 – 1904).

К контексті розгляду теорії фотографічного портрету видається цікавим аналіз Труша одного з двох фотографічних портретів Рудольфа Губера (1875 – 1942) поданих в «Артистичному віснику». Слід зазначити що ім'я Губера значиться у списку провідних львівських фотографів першої третини ХХ ст. Він разом Зофією у дівоцтві Тшеменською утворив фотографічний тандем. Зофія була дочкою Едварда Тшеменського, одного з перших засновників фотоательє у Львові ліцензію на яке він отримав ще 1868 р. Його ательє «Е. Тшеменський» знаходилось по вул 3-го Мая (нині вул. Січових стрільців) де він працював разом з донькою. Зофія після смерті батька отримує у спадок



фотоательє яке стає ще більш популярним після того як вона виходить заміж за поштового службовця і одночасно відомого львівського фотографа-аматора Рудольфа Губера. Обидва і чоловік і жінка стають членами Львівського фотографічного товариства, беруть участь і отримують нагороди на престижних виставках у Львові, Відні, Берліні, Мюнхені.

Увагу Труша привертає фотографічний портрет «Араб»: «Концепт Р. Губера фотографувати львовянина в костюмі Араба, не назвав би я щасливим» [3. с. 100]. Губер вдається до створення костюмованого образу вдягаючи за переконанням Труша чоловіка явно не арабського типу у характерний арабський стрій. Створений фотографом образ не відповідає загальним уявленням про що художник говорить: «Араба знаємо ми або з літератури або з усних оповідань і уявляємо собі його на підставі того трохи інакшим, відмінним від нас. Уклад постаті занадто фотографічно-шабляновий, щоби пригадував момент з індивідуального життя Араба. На перший вид приходимо на гадку, що се костюмований наш чоловік» [3. с. 100]. Труш наголошує що художній образ не має бути штампом, примітивно-стандартним і це витікає з самої суті і функції мистецтва. Згаданий «Портрет Араба» Губера відноситься згідно сучасної класифікації до категорії постановочної фотографії і зауваження Труша абсолютно точні. В аналогічній постановці не має бути дрібниць. Робота фотографа над подібною постановочною композицією має паралельні аналогії і нічим не відрізняється від роботи художника. Труш має професійні установи, закріплені практикою і його зауваження з позиції митця абсолютно вірні: «Взагалі фотографії в костюмах належать звичайно до найгірших, бо костюм, а ще національний людський костюм до того, вимагає уже силою асоціації, щоби до него була достроєна й відповідна постать, із відповідними рисами на лиці, з відповідним виразом і з відповідним життєвим моментом» [3. с. 100]. Треба розуміти чому костюмовану, вточнімо, постановочну фотографію художник називає найгіршою. Така постановка не є природною, вона несе лише відбиток уявного образу, є його копією і відповідно художній портрет створений на її основі буде не правдивим і штучним. Кожного семестру в художніх вузах на мистецьких відділеннях з дисципліни живопис викладачі, особливо це стосується західного регіону України, ставлять постановки за завданням «Портрет» де натура вибирається у гуцульський народний стрій. Якщо порівняти десятки, сотні живописних студентських робіт по цьому практичному завданню з аналогічними за сюжетом портретами



написаним навіть маловідомими художниками з натури з реальних гуцулок у Карпатах то стає зрозумілим різниця. З Трушевих міркувань можна вивести формулу стосовно портрету – фотографія або портрет виконаний Оператором образотворчими засобами (живопис, графіка, скульптура) є лише уявним відбитком, копією реального образу, фотографія або постановочний, костюмований портрет виконаний художніми засобами є лише копією копії, художнім «ксероксом» реального образу. Один і другий варіант може бути мистецьким твором, але перша версія має більше гарантій потрапити у категорію високого мистецтва. Звичайно завжди треба робити поправку на особу митця, його талант.

Висновки

Розв'язуючи ряд питань, пов'язаних з методологічними аспектами теоретично-мистецького феномену фотографії її дотичних точок з образотворчим мистецтвом Іван Труш робить низку правильних на свій час висновків більшість положень з яких і по сьогоднішній день лишаються актуальними.



KAPITEL 9 / CHAPTER 9⁹ SHOW AS A VISUAL EVENT

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-12-01-012

Introduction

The formation of the theory of each new cultural phenomenon always develops according to certain laws. It (theory) arises as a result of immersion in the basic laws of its (phenomenon) existence.

Show theory, as a significant part of spectacle theory, is formed according to the same algorithm. Initially, there is an accumulation of empirical material. In addition to the development of the phenomenon itself, there are texts written by practitioners. Such texts contain a very valuable description of experience, spontaneously systematized by them. The next step naturally is the generalization of the accumulated and its structuring by experienced experts. In the future, methods and directions for studying various aspects and qualities of the phenomenon are formed. Apparently, now we are just at the conditional second stage of the formation of the theory of spectacles and, in particular, the theory of the show.

9.1. Category "spectacle" in the system of show theory.

Forming the theory of the show, we rely on the designation of the basic concept. And this concept is a spectacle. In different sources, including educational, scientific, different definitions are given. Taking into account the individual features of the spectacle, each time one or another feature is emphasized, but we have not been able to find a holistic, comprehensive definition of the concept. Therefore, we offer our own author's version of the universal, as it seems to us, definition of the concept of "spectacle".

The spectacle is an organized (self-organized) artistic

(non-artistic), large-scale (local) action (event, phenomenon), which forms vivid emotional, mainly visual impressions, which, as a rule, remain in the viewer's memory for a long time, and sometimes not for a lifetime. Consider the named typological features of the spectacle, highlight basic. Among them:

1. Artistic and non-artistic performances/shows.

⁹Authors: Kovalenko (Khursina) Olena



2. The presence of a viewer.
3. Visual unforgettable.
4. Preparedness / long-awaitedness + surprise / trick nature.
5. Straightness/simplicity, evidence of content.
6. Distance viewer - performer, source.
7. Mass and local spectacles/shows.

Can we call events of the non-fiction series spectacles? Let's say grandiose natural phenomena, such as thunderstorms, hurricanes, volcanic eruption, heavy rains or fires, catastrophic manifestations of the elements? If a person becomes a witness of this, such a phenomenon automatically becomes a spectacle. It usually refers to self-organized, because a person does not participate in its formation. But it is the presence of a contemplative person that is the basic sign of a spectacle and distinguishes it from a natural phenomenon. Let it refer to the non-artistic, in particular, to the natural.

However, to non-artistic, but quite organized forms spectacle can be attributed to, say, public political speeches, debates, election campaigning. They also include cruel anti-artistic spectacles - public executions or torture. Sports competitions are classified as non-artistic organized spectacles. All types of parades, including military and any other professional parades, aimed at publicly demonstrating the advantages of the participants of the spectacle over others, albeit imaginary as it happens during, say, military ceremonies, are also spectacles. Whether a mass or local spectacle, we consider, it always differs from any other everyday event by a strong unforgettable impression that it makes on a casual or long-awaited viewer. Otherwise, such a visual event can hardly be called a spectacle, especially an art show. Therefore, the next basic sign of the spectacle is its unforgettability for the viewer. The effect of unforgettability, in particular, is achieved by at least two opposite methodological psychological methods. Let's simulate a spectacle (art show) that is long-awaited, one about which the viewer is warned in advance when he buys a ticket to visit it six months in advance. Then the psychological state of the viewer for a certain time is "warmed up" and is characterized by constantly growing attention to upcoming events. Another situation is characterized by the effect of total surprise. For example, when a viewer becomes a witness to a street show. Or part of a big show is built on the effect of surprise, with a large share of trick numbers. This is how, for example, big shows of illusions with the "disappearance" of large objects are arranged. Sometimes both methods are combined. In both cases, the psychological reaction of



the audience to the spectacle is important. Either the viewer, in growing nervous tension, expects a future event, or it takes him by surprise, and “hits”, instantly exciting emotionally and psychologically, captivates with an unexpected set of micro-events that occur in a cascade during live broadcast.

Both techniques are especially important when it comes to the show itself. The phenomenon of art operates with fundamentally different methods, focused on associative comprehension. The show, as a rule, does not give such an opportunity to the viewer. It is not provided by the type of spectacle. Moreover, it is precisely in strengthening the emotional, so to speak, affective component (the brightness of the costumes, the quirkiness of the scenery, the loud soundtrack, stage effects, such as pyrotechnics) and the muting of the intellectual component that the fundamental difference between the types of visual events is rooted. An equally essential feature of the spectacle (art show) is also a conscious “straightening” of the content. This hidden effect is also an immanent sign of the show as an artistic spectacle organized by a group of specialists - directors, screenwriters, masters of lighting, sound, stage effects, actors and “artists” - performers, etc. “Straightening”, some simplification of meanings, makes it possible to use such means of expression, which, like large strokes on the artist’s canvas, make the picture well perceived from afar and difficult – close up. It is no coincidence that we used the concepts of “actor” and “artist” as somewhat different from each other. A rather interesting explanation of this approach is given in the limited literature of practitioners of show creation. If the actor is the executor of the intention of the author, director, then the artist is a self-sufficient person. The artist - the soloist in the show, his character, image, image affects the features of the spectacle and often forms the idea of the directors. The commercial component in this case is fundamental in choosing the means of influencing the viewer.

The next important characteristic of both shows and spectacles that are shown “live” is the existence of a distance between performers and spectators. It is characteristic of all types of performing arts, and it is fundamental. The distance in the ancient forms of spectacle is formed automatically, as an opportunity to expand the audience and provide the performer with a place to perform. In modern auditoriums, the distance is shaped by the architecture of the building as necessary. From the point of view of psychology, the distance between the performer and the viewer is always necessary, as it forms a conditional three-dimensional space, which is called artistic. Moving in it, the performer can create endless geographical,



historical, psychological spaces, about which the hero is narrating and in which he is located. This distance, for example, is not required by screen arts, because the viewer can be close enough to the screen and this will not affect the quality of perception.

And finally, a purely quantitative indicator, which is important and also has a significant impact on the nature of the show. It is about the number of spectators and performers. Of course, the nature of the spectacle for a small hall of a hundred people is different from a show designed for a stadium with several tens of thousands of spectators.

9.2. Category "event" in the system of show theory.

Exploring the nature of the spectacle/show, we should not ignore the super-important concept, without which neither the spectacle nor the show becomes complete, full-fledged. This category is an event. At one time, the concept of "event" was studied in sufficient detail in connection with the formation of the theory of relativity. It follows from this outstanding theory that an event is a certain instantaneous local phenomenon that occurs at a certain unique moment in time and in a specific unique place (space-time). But the phenomenon must meet the following requirements. It should at least change the properties of the object in one of the following ways:

- through destruction;
- through the formation of a new ego form with the help of interaction between objects. [4,86]

9.3. The category "phenomenon" in the system of show theory.

Phenomenon is a philosophical category that reflects the external properties, processes, connections of an object, which are given to cognition directly in the forms of living contemplation. The phenomenon can change, develop in accordance with the general laws of development of the material world. The category "phenomenon" is inextricably linked with the category "essence". Western researchers distinguish between scientific and everyday phenomena. In a scientific context, a phenomenon is



something that is observed or exists. It is simply a fact or event that can be observed with the senses, either directly or with equipment such as microscopes or telescopes. This meaning of the phenomenon contradicts the commonly used understanding of the word. In the vernacular, a phenomenon is a person, thing, or event that is considered extraordinary or outstanding in some way, such as Elvis, Beatlemania, Pac-Man, or the Harry Potter books.

To understand show theory, it is important for us to take into account two "circumstances of action". The first is an obvious emphasis on the external properties of the event. The second is that the phenomenon is the result of live contemplation. That is, the presence of a human observer is decisive for the recognition of the phenomenon as an important structural element of the theory of the show.

9.4. Natural phenomena of our planet - scientific or everyday?

Natural phenomena are a separate type of phenomenon. For show theory, they are a very distant prospect. Perhaps a person will eventually be able to join the heavenly and earthly shows, and perhaps be able to control them. Part of this is made possible by geoengineering. But there are still phenomena on the planet that people have not yet learned to understand. Here are some of them.

- Catatumbo lightning is a natural phenomenon that occurs over the confluence of the Catatumbo River with Lake Maracaibo (South America).

- Showers of animals or fish are a relatively rare meteorological phenomenon, although such cases have been recorded in many countries throughout human history.

- Goats of Morocco that graze on trees - due to lack of grass, goats climb up trees and graze there in whole herds, feasting on argania fruits.

- Red rains. From July 25 to September 23, 2001, a mysterious red rain fell from time to time in the southern Indian state of Kerala. Heavy downpours, during which the rain was dyed red, dyed the clothes pink. There were also reports of yellow, green and black rain. Colored rain was recorded in the state of Kerala back in 1896, since then it has been repeated several times. At first it was thought that the rains were colored by fallout from a hypothetical meteor explosion, but research commissioned by the Indian government concluded that the rains were colored by airborne spores from local terrestrial algae. That was, however, until early 2006, when Kerala's



colored rains gained widespread attention when mainstream media reported that Godfrey Louis and Santosh Kumar of Mahatma Gandhi University in Kottayam proposed the controversial hypothesis that the colored particles were extraterrestrial cells.

- The longest wave in the world is a wave in the Amazon River with a height of up to 6 m.

- Mirages are optical phenomena in the atmosphere, thanks to which images of objects that are hidden from observation under normal conditions appear in the zone of visibility.

- St. Elmo's lights are an electric glow that sometimes surrounds tall, pointed objects when a thunderstorm approaches.

- Stones moving freely across the desert, leaving strange footprints on the bottom of the long-dried Lake Racetrack Playa.

- Lunar rainbow - occurs at night when there are no or few clouds in the sky and when the full moon is low above the horizon line.

- Halo - occurs due to the refraction of light on ice crystals. Halo; also aura, nimbus, halo - a group of atmospheric optical phenomena, characterized by the appearance of a secondary glow around a source of light, as a rule, having the form of a circle, ring, arc, column of light or "diamond dust". An annular eclipse - in this phenomenon, the Moon is too far from the Earth to completely cover the Sun.

- Silver clouds - are the highest clouds in the Earth's atmosphere.

- Storm clouds - clouds that often appear in the area of a storm front can take very unusual forms.

- Solar pillars - a vertical band of light extending from the sun during sunset or sunrise.

- Virga. When the raindrops evaporate before reaching the ground, they speak of such a phenomenon as a torrent. The Latin word virga means "rod" or "branch".

- Green ray - appears for a few moments before the sun disappears behind the horizon, or just before dawn.

- Sprites, Ghosts, and Elves are short-lived flashes in the atmosphere that can be seen in areas affected by storms.

- Zodiacal light - diffuse glow of the night sky, created by sunlight reflected from interplanetary dust particles.

Natural show always makes an indelible impression on a person. First of all, by



its scale, which is incommensurable with everyday ones. On the other hand, natural shows are devoid of one or another idea, they are self-sufficient in their originality, irreproducibility, uniqueness, momentary. They conquer and can frighten, but they can also delight. Can they teach the beholder something? Can they become an impetus for development? Nature shows tend to pose a lot of questions to the person watching. And this is also their meaning.

However, nature shows are devoid of artistry. They are deprived of generalizations and observations of the course of history, time, the course of life. From this point of view, a show created by a man carries a certain human worldview message. The meaning of the work of the creators of the show is to convey this idea to the viewer.

Conclusion

Thus, we have to draw preliminary conclusions.

Show theory is at the stage of transition from field research to scientific structuring and systematization. On this path, there is a sufficient number of different interpretations, imprecise definitions, superficial observations. For the validity of the theory, scientists have to get rid of this multidirectionality. At the same time, we can distinguish some basic categories of show theory already today. Among them is Shaw's definition and its varieties. It is given in this work. Several categories are also highlighted, without studying which in the show theory system, further movement may not be so fast. Among them are the concepts of "phenomenon", "event", etc.

In this paper, the author continues to explore the topic of creating a show theory. In addition to the detailed author's definition of the show category, the study proposes a show typification according to the principle of artistic - non-artistic, mass-local. Also considered in the study are the typical features of the show, such as the straightening of meanings, reliance on patterns, unforgettable visual effects, and so on.



Verweise / References

Chapter 1.

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник. В 3 т. / под общ. ред. Н. П. Лякишева. Москва : Машиностроение, 1999. Т. 3. Кн. 1. 880 с.
2. Борисевич В. К., Виноградский А. Ф., Семишов Н. И. Конструкционное материаловедение. Харьков : ХАИ, 1989. 404 с.
3. Титановые сплавы в машиностроении / Б. Б. Чечулин и др. ; под. ред. Г. И. Капырин. Ленинград : Машиностроение, 1977. 248 с.
4. Montgomery J. S., Wells M. G. H., Roopchand B., Ogilvy J. W. Low-cost titanium armors for combat vehicles. *Journal of Materials Science*. 1997. V. 49, N 5. P. 45-47.
5. Norgate T. E., Wellwood G. The potential applications for titanium metal powder and their life cycle impacts. *Ibid*. 2006. V. 58, N 9. P. 58-63.
6. Титановые элементы крепления сверхмощных магнитов Большого андронного коллайдера ЦЕРН / Е. К. Дьяков и др. *Цветные металлы*. 2007. № 11. С. 67-72.
7. Моляр А. Г., Коцюба А. А., Бычков А. С., Нечипоренко О. Ю. Конструкционные материалы в самолетостроении. Киев : КВИЦ, 2015. 400 с.
8. Ильин А. А., Колачев Б. А., Полькин И. С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства : справочник. Москва : ВИС-МАТИ, 2009. 520 с.
9. Глазунов С. Г., Моисеев В. Н. Конструкционные титановые сплавы. Москва : Металлургия, 1974. 368 с.
10. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов / Борисова Е. А. и др. ; под ред. Н. Ф. Аношкина, А. Ф. Белова, С. Г. Глазунова. Москва : Металлургия, 1980. 643 с.
11. Колачев Б. А., Лясоцкая В. С. О системах легирования титановых сплавов. Известия вузов. Цветная металлургия. 1984. № 2. С.92-98.
12. Колачев Б. А., Ливанов В. А., Елагин В. И. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов. Москва : Металлургия, 1981. 416 с.
13. Добаткин В. И., Аношкин Н. Ф., Андреев А. Л. Слитки титановых сплавов. Москва : Металлургия, 1966. 286 с.
14. Титан. Свойства, сырьевая база, физико-химические основы и способы



получения / В. А. Гармата и др. ; под. ред. В. А. Гарматы. Москва : Металлургия, 1983. 559 с.

15. Применение титана в народном хозяйстве / под ред. А. И. Туманова. Киев : Техника, 1975. 200 с.

16. Цвиккер У. Титан и его сплавы. Москва : Металлургия, 1979. 511 с.

17. Корнилов И. И. Титан. Москва : Наука, 1975. 308 с.

18. Полуфабрикаты из титановых сплавов / В. К. Александров и др. ; отв. ред.. Н. Ф. Аношкин, М. З. Ерманок. Москва : ОНТИ ВИЛС, 1996. 581 с.

19. Еще одна «профессия» нитинола. Цветные металлы. 1986. №10. С. 116.

20. Хачин В. Н., Пушин В. Г., Кондратьев В. В. Никелид титана: структура и свойства. Москва : Наука, 1992. 160 с.

21. Ильин А.А., Коллеров М.Ю., Шинаев А.А., Головин И.С. Исследование механизмов формоизменения при деформации и нагреве титановых сплавов с эффектом запоминания формы. *MuTOM*. 1998. № 4. С. 12-16.

22. Коллеров М. Ю., Скворцова С. В., Шаронов А. А., Шаронов И. А. Проявление эффекта запоминания формы в промышленных конструкционных сплавах титана. *Титан*. 2010. №1. С. 31-38.

23. Бай А. С., Лайнер Д. И., Слесарева Е. Н., Цыпин М. И. Окисление титана и его сплавов. Москва : Металлургия, 1970. 317 с.

24. Войтович Р. Ф., Головкин Э. И. Высокотемпературное окисление титана и его сплавов. Киев : Наукова думка, 1984. 256 с.

25. Лазарев Э. М., Корнилова З. И., Федорчук Н. М. Окисление титановых сплавов . Москва : Наука, 1985. 144 с.

26. Титановые сплавы. Плавка и литье титановых сплавов / Аношкин Н. Ф. и др. ; отв. ред. В. И. Добаткин. Москва : Металлургия, 1978. 383 с.

27. Курдюмов А. В., Пикунов М. В., Чурсин В. М. Литейное производство цветных и редких металлов. Москва : Металлургия, 1982. 352 с.

28. Титановые сплавы. Производство фасонных отливок из титановых сплавов / Е. Л. Бибииков и др. Москва : Металлургия, 1983. 296 с.

29. Пикунов М. В. Плавка металлов, кристаллизация сплавов, затвердевание отливок. Москва : МИСиС, 2005. 416 с.

30. Тарасов А. В. Металлургия титана. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2003. 328 с.

31. Основи металургійного виробництва металів і сплавів / Д. Ф. Чернега та ін.; за ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.



32. Основы плавки титана и сплавов на его основе в установке с холодным тиглем / Александров А. В. и др. *Титан*. 2010. №2. С.36-41.
33. Совершенствование дугошлакового переплава титана и его сплавов / Л. Б. Медовар и др. *Титан*. 2010. № 3. С.15-19.
34. Волков А. Е. Новая технологическая схема производства высококачественных титановых сплавов из отходов и недробленой губки. *Титан*. 2010. №2. С.42-49.
35. Левицкий Н. И., Мирошниченко В. И., Матвиец Е. А., Лапшук Т. В. Особенности выплавки титановых сплавов в электронно-лучевой гарнисажной установке в зависимости от вида шихтовых материалов. *Металл и литье Украины*. 2010. № 11. С.34-36.
36. Шаповалов В. О., Шейко І. В., Ремізов Г. О. / за ред. акад. Б. Є. Патона / Плазмові процеси та устаткування в металургії. Київ : Хімджест, 2012. 384 с.
37. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С.В., Жук Г. В. Электронно-лучевая плавка титана. Киев : Наукова думка, 2006. 248 с.
38. Рафинирование титана в электронно-лучевых печах с промежуточной емкостью / Н. П. Тригуб и др. *Проблемы СЭМ*. 1998. № 2. С. 16-20.
39. Сергиенко С. Н., Веселовский А. Н. Электронно-лучевой переплав титана. *Электromеталлургия*. 2001. № 11. С. 33-34.
40. Ковальчук Д. В., Кондратий Н. П. Электронно-лучевой переплав титана – проблемы и перспективы развития. Титан-2010 в СНГ : сб. трудов Междунар. конф. Украина. Киев : 2010. С.25-32.

Chapter 2.

1. Хеммингер В., Хёне Г. Калориметрия. Теория и практика / пер. с англ. О. Б. Саламатина. Москва: Химия, 1989. 176 с.
2. Sarge S. M., Hohne G. W. H., Hemminger W. Calorimetry. Fundamentals. Instrumentation and Applications. Wiley. VCH. 2014. 290 p.
3. Анатычук Л. И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: справочник. Киев: Наукова думка, 1979. 768 с.
4. Анатычук Л. И., Лусте О. Я. Микрокалориметрия. Львов: Вища школа, 1981. 159 с.
5. Кальве Э., Прат А. Микрокалориметрия: Применение в физической химии и биологии / ред. Л. А. Николаев, К. П. Мищенко; пер. с франц. Ю. Д. Третьяков, В. А. Холлер, Н. В. Цингер. Москва: Изд-во иностранной



літератури, 1963. 477 с.

6. Луцик Я. Т., Буняк Л. К., Рудавський Ю. К., Стадник Б. І. Енциклопедія термометрії. Львів: Вид-во НУ Львівська політехніка, 2003. 428 с.

7. ДСТУ EN 60584-1:2016 Перетворювачі термоелектричні. Частина 1. Технічні характеристики та допустимі відхилення електрорушійної сили (ЕРС) (EN 60584-1:2013, IDT). Вид.офіц. Київ: Мінекономрозвитку України, 2016. 96 с.

8. Schubert F. First steps to develop a sensor for a Tian–Calvet calorimeter with increased sensitivity. / F. Schubert, M. Gollner, J. Kita, F. Linseis, R. Moos. // Journal of Sensors and Sensor Systems. – 2016. – №5. – P. 205–212. *Режим доступу: www.j-sens-sens-syst.net/5/205/2016/*

9. Schubert F. Optimization of a sensor for a Tian–Calvet calorimeter with LTCC-based sensor discs. / F. Schubert, M. Gollner, J. Kita, F. Linseis, R. Moos. // Journal of Sensors and Sensor Systems. – 2016. – №5. – P. 381–388. *Режим доступу: www.j-sens-sens-syst.net/5/381/2016/*

10. Calvet E., Guillaud C. Etude d'un microcalorimètre équipé avec des thermoéléments semi-conducteurs C. R. hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris. 1965. Vol. 260, No. 7. P. 525–528.

11. Геращенко О. А. Основы теплотетрии. Киев: Наукова думка, 1971. 192 с.

12. Van der Graaf F. Heat Flux Sensor. Thermal Sensors. VCH Verlagsgesellschaft mbh. Weinheim, FRG. 1990. Chapter 8, Vol. 4. 28 p.

13. Грищенко Т. Г., Декуша Л. В., Воробьев Л. И. и др. ТЕПЛОМЕТРИЯ: теория, метрология, практика: книга 1. Методы и средства измерения теплового потока. Киев: Ин-т технической теплофизики НАН Украины, 2017. 439 с.

14. Воробйов Л.Й., Декуша Л.В., Ковтун С.І. Нові моделі сенсорів теплового потоку для систем моніторингу та діагностики енергетичного обладнання. Промышленная теплотехника. 2016. Т. 38, №5. С. 86-95. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.5.2016.10>

15. Воробйов Л.Й. Методи та засоби квазідиференціальної калориметрії. Метрологія та прилади. 2018. №1. С.17-25.

Chapter 3.

1. Періг В. М. Науково-методичне забезпечення експертизи телекомунікаційних систем спеціального призначення в умовах невизначеності. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за



спеціальністю – 05.12.13 - радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій. – Хмельницький національний університет, Хмельницький, 2012. 167 с.

2. Катеринчук І.С. Концептуальні засади експертизи телекомунікаційних систем / І.С. Катеринчук, В.М. Періг // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка № 28. Київ : Видавництво ВІКНУ, 2010. С. 76-78.

3. Катеринчук І.С. Методика урахування невизначеності вихідних даних при знаходженні експертних показників якості функціонування телекомунікаційних систем / І.С. Катеринчук, В.М. Періг // Наукоємні технології. К : Вид-во НАУ, 2012. Вип. 1. С. 84-88.

4. Катеринчук І.С. Методика експертизи телекомунікаційних систем в умовах невизначеності / І.С. Катеринчук, В.М. Періг // Захист інформації. К : Вид-во Національного авіаційного університету, 2011. Вип. 4. С. 25-28.

5. Мул Д. А. Обґрунтування методу теорії нечітких множин у задачах прийняття рішень / Д. А. Мул // Вісник Хмельницького національного університету. № 4. Ч. 1, Т. 2. Хмельницький : Вид-во ХНУ. 2005. С. 81–85.

6. Експертиза телекомунікаційних систем та засобів [електронний ресурс] Режим доступу : <http://kniise.com.ua/ru/dijalnist/ekspertna/90>.

7. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: Підручник [для вищих навчальних закладів] Київ : САММІТ-Книга, 2010. 708 с.

8. Голь В.Д., Ірха М.С. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: навчальний посібник. Київ : ІСЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 250 с.

9. Рубан І.В., Лошаков Є.С., Прибильнов Д.В. Аналіз показників ефективності функціонування інформаційно-телекомунікаційної системи в режимі граничної завантаженості каналу зв'язку. Кібернетика та системний аналіз. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, 2014, випуск 3(40). С. 120-122.

10. Mogylevych, D., Kononova, I., Klymovych, O., & Mohylevych, V. (2020). Методика комплексної оцінки надійності телекомунікаційного обладнання мереж зв'язку. *Військово-технічний збірник*, (23), 50–57.

11. Ahmad W., Hasan O., Pervez U. and Qadir J. Reliability modeling and analysis of communication networks. *Journal of Network and Computer Applications*. 2017. Vol. 78, pp. 191-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.11.008>.



12. Samaniego F. J. Studies in Structural, Stochastic and Statistical Reliability for Communication Networks and Engineered Systems. Final Report on ARO grant W911NF-111-0428, 2016, no. 31.

13. Zhu P., Han J., Guo Y. and Lombardi F. (2016) Reliability and Criticality Analysis of Communication Networks by Stochastic Computation. IEEE Network, Vol. 30, Iss. 6, pp. 70-76. DOI: <https://doi.org/10.1109/mnet.2016.1500221nm>.

Chapter 4.

1. Hazra, T.K., Unhelkar B. (2020). Enterprise Architecture for Digital Business: Integrated Transformation Strategies. CRC Press.

2. Skilton, M. (2016). Building Digital Ecosystem Architectures: A Guide to Enterprise Architecting Digital Technologies in the Digital Enterprise. Palgrave Macmillan UK

3. Kosolapov A., (2021). A Conceptual Framework for the Design of a Complex Real-time Management System (CoDeCS). Current Topics on Mathematics and Computer Science Vol. 5, 120–129. <https://doi.org/10.9734/bpi/ctmcs/v5/1722C>

4. Kosolapov A., Ivin P. METHOD FOR THE EARLY EVALUATION OF PRODUCTION LOSSES IN THE SOCIO TECHNICAL SYSTEM // Problemy ta perspektyvy rozvytku zaliznychnoho transportu: Tezy 81 Mizhnarodnoï naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Dnipro, 2021 r.) – D.: DNUZT, 2021. – 404 s. (s. 324 - 326)

5. Kosolapov A.A. Dziuba V.V. Nekotorye Problemyi Sovremennyih Web-Sistem [Tekst] / A.A. Kosolapov, V.V. Dzyuba // Nauchnyie Trudy Sworld. – Vyipusk 47. Tom 1. – Ivanovo: Nauchnyiy Mir, 2017 – 104 S.– Vyip. 47. - T. 1. Tehnicheskie Nauki – Tsit: 217-088. - S. 59 - 66. - Issn 2224-2 0187 (R). - Issn 2410-6720 (O). Doi: 10.21893/2410-6720.2017-47.1.088

Chapter 5.

1. Баженов С.Л. Механика и технология композиционных материалов: Научное издание. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014. – 328 с.

2. Kutin A.Yu., Aryasov G.P. Modeling of winding process of composite cylindrical shells. //Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 283–289 (in Russian). [doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-2-283-289](https://doi.org/10.17586/2226-1494-2020-20-2-283-289)



3. Алсаид Мазен, Саламех Али. Обоснование применения многослойных композитных материалов в судостроении // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 2. С. 37–47. [doi:10.24143/2073-1574-2019-2-37-47](https://doi.org/10.24143/2073-1574-2019-2-37-47).
4. Сясев А. Оптимізація параметрів проектування намотувальних механізмів. // ГРААЛЬ НАУКИ, 2021. №1, с. 278-279. [doi: 10.36074/grail-of-science.19.02.2021.056](https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.02.2021.056).
5. Устинова Е.С. Моделирование намотки композитных конструкций. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2018. №3. С. 27 – 33. [doi: 10.17213/0321-2653-2018-3-27-33](https://doi.org/10.17213/0321-2653-2018-3-27-33).
6. Alsaied M., Salamekh A. Method of sample manufacturing from multilayer composite materials for studying their mechanical properties // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies. 2018. №. 4. pp. 16-23. <https://vestnik.astu.org/en/nauka/article/31563/view#wiki>
7. Сясев А. В. Костащук М.В. Алгоритм решения задачи о кристаллизации стержня с учетом взаимодействия температурных и механических полей. // Матеріали V Міжнародної наукової конференції «Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу», 6-8 листопада 2014 року, м. Дніпропетровськ. – С. 159 – 163.
8. Siasiev, A., Dreus, A., Horbonos, S., Balanenko, I., & Dziuba, S. (2020). The stressedstrained state of a rod at crystallization considering the mutual influence of temperature and mechanical fields. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. 3(5 (105)), 38–49. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3718745
9. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Современные технологии производства изделий из композиционных материалов. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – №2 – с. 46 – 51.
10. Арутюнян Н.Х., Дроздов А.Д., Наумов В.Э. Механика растущих вязкоупруго-пластических тел. – М.: Наука, 1987.– 335 с.
11. Арутюнян Н. Х., Колмановский В. Б. Теория ползучести неоднородных тел. –М.: Наука, 1983.–289 с.
12. Quagliano Amado J.C. Manufacture and testing of lightweight tubes for rocketry and centrifuges // Lightweight Composite Structures in Transport: Design, Manufacturing, Analysis and Performance. 2016. P. 421–437. [doi: 10.1016/B978-1-78242-325-6.00017-7](https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-325-6.00017-7)



13. Zhang H., Tang H., Shi Y. Precision tension control technology of composite fiber tape winding molding // Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2018. V. 31. N 7. P. 925–945. doi: [10.1177/0892705717729018](https://doi.org/10.1177/0892705717729018)
14. Hashimoto H. Intelligent winding machine of plastic films for preventing both wrinkles and slippages // Modern Mechanical Engineering. 2016. V. 6. N 1. P. 20–31. doi: [10.4236/mme.2016.61003](https://doi.org/10.4236/mme.2016.61003)
15. Tawfik B. E., Leheta N., Elhewy A., Elsayed T. Weight reduction and strengthening of marine hatch covers by using composite materials. // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2017, no. 9, pp. 185-198.
16. Веселовский В. Б., Дреус А.Ю., Сясев А.В. Математичне моделювання та методи розрахунку теплотехнологічних процесів: Навч. посіб. – Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. – 248 с.
17. Победря Б. Е. Математическая теория нелинейной вязкоупругости. – Упругость и неупругость. – 1973. – Вып. 3. – С. 95–173.
18. Siasiev A.V., Topchii R.O. The approximated method of solving two-dimensional non-linear problem of the creep theory for viscoelastic bodies with moving boundaries. // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Моделювання. 2017. Вип. 8, т.25. – С. 109 – 121. doi: <http://dx.doi.org/10.15421/141706>
19. Topchii R.O., Siasiev A.V. Application of the theory of integral equations to solving problems thermoviscoelastic in case of non-linear creep law. // Differential equations in the mass transfer problems and aerohydrodynamics, Abstracts of the All-Ukrainian Conference. – 2016. – P. 28 – 30.
20. Kochubey A. A., Syasev A. V., Vesselovskiy V. B., Mamuzych I., Makarenkov E. A., Scherbina E. A. Mathematical modelling of metallurgical processes with usage of the theory of increasing bodies. // Acta Metallurgica Slovaca. – Vol. 8. – 2002. – br. 3. – P. 308 – 320.
21. Syasev A. V., Vesselovskiy V. B., Mamuzych I., Kochubey A. A., Syasev V. A., Klim V. Y. The nonlinear shaping of the thermomechanical status of two-phases bodies. // Materiali in Tehnologije. – Vol. 37. – №3–4. – Slovehija. – 2003. – P. 137–143.
22. OriginPro 2022b. The Ultimate Software for Graphing & Analysis. URL: <https://www.originlab.com/>



Chapter 6.

1. Роговий Ю.Є., Колеснік О.В., Цитрін В.Я. Дизрегуляційний механізм впливу води від'ємного окисно-відновного потенціалу на функцію нирок. Бук. мед. вісник. 2020. Т. 24, № 4 (96). С. 93-98. DOI: 10.24061/2413-0737.XXIV.4.96.2020.108.

2. Роговий Ю.Є., Цитрін В.Я. Вплив води від'ємного окисно-відновного потенціалу з насиченням воднем на функцію нирок у щурів. Бук. мед. вісник. 2022. Т. 26, № 1 (101). С. 23-28.

3. Цитрін В.Я. Вплив водного діурезу з насиченням воднем на функцію нирок у інтактних щурів. Світова медицина: сучасні тенденції та фактори розвитку: збірник тез наукових робіт учасників міжнародної науково-практичної конференції (м. Львів, 28-29 січня 2022 року). Львів: ГО "Львівська медична спільнота", 2022. С. 40-42.

Chapter 7.

1. E.V. Asafova, H. Uzunboylu. Proc. Social and Behavioral Science; 2014 Feb 06-09; The Development of Ecological Culture of Students in the Design and Creative Activity, Proc. of 6th World Conf. on Educational Sciences. 191 (2015)

2. K.S. Bakirova, A. Seilkhan. Methodological Bases Formation Of Ecological Culture For Students Of Pedagogical High School. JG Laborda, 4th (WCLTA). Proc. Social and Behavioral Sciences, 141 (2013)

3. Шлюндт С. А. Экологические ценности в современном социуме. // Этика и история философии: Мат-лы Междунар. науч. конф., посвященной 60-летию кафедры философии Тамбовского госуниверситета им. Г. Р. Державина. 20 нояб. 2010 г. – Тамбов : Изд.дом ТГУ им. Г. Р. Державина. 2011.– С. 308–311..

4. F.L. Jia, K. Soucie, S. Alisat, D. Curtin, M. Pratt, Jour. of envir. psychol. Are environmental issues moral issues? Moral identity in relation to protecting the natural world, 52 (2017)

5. M.B. Zatsepina, O.V. Popova, A.V. Filippova, I.V. Muskhanova, A.K. Yakhyayeva, A.M. Ishmuradova, Euras. Technologies of Students Ecological Culture Formation, Jour. of anal. chem., Conditions and 12 (5B) (2017). -2004.-№ 6.- С. 30-37.



Chapter 8.

1. Як фотографія вплинула на живопис. URL : <https://artforintrovert.ru/materials/>.
2. Зонтаг С. Про фотографію /Пер. з англ./ К.: Вид-во Соломії Павличко «Основи», 2002. 189 с.
3. Труш І. Фотографія і штука малярства. *Артистичний вісник*. 1905. Зош. 7-8. С. 98-101.
4. Труш І. З малярської робітні. Як повстає образ. *Будучність*. 1899. Ч. IV. С. 8-10.
5. Цимбала О. Зародження і розвиток української фотографії у Львові. *Галицька брама*. № 1-3. Січень-лютий-березень, 2002. С. 4-5.
6. «Фотодром» Едвара Майбріджа. URL : <http://www.prokino.ws/2009/08/fotodrom-edvarda-mejbridzha/#more-65>
7. Ямаш Ю. Труш малює Каменяра: Образ Івана Франка у творчості Івана Труша. Львів: Ліга-Прес, 2008. 156 с.: іл. (Сер. «Труш малює»).
8. Волков-Ланніт Л. Ф. Искусство фотопортрета. 3-е изд., испр. и доп. М.: Искусство. 1987. 127 с.: ил.
9. Повторева С., Чурчінова О. Феномен фотографії в контексті методології постструктуралізму. *Філософські науки*. 2016. №2. С. 111-116.
10. Труш І. Огляд. *Артистичний вісник*. 1905. № 8. С. 112.

Chapter 9.

1. Боднарчук О. Как создать грандиозное шоу / Олег Боднарчук. – Киев: ТАК видавництво, 2020. – 360 с.
2. Неймовірні природні явища нашої планети [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/19nadzvicajniprirodniavisa19/>.
3. Sheldon R. What is phenomenon? [Електронний ресурс] / Robert Sheldon // WhatIs.com – Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/phenomenon>.
4. French A. Special Relativity / A. French., 1968. – (CRC Press). – (MIT Introductory Physics Series).



SCIENTIFIC EDITION

MONOGRAPH
INNOVATION IN DER MODERNEN WISSENSCHAFT
INNOVATIVE TECHNIK, INFORMATIK, PHYSIK UND MATHEMATIK, MEDIZIN,
KUNSTGESCHICHTE

INNOVATION IN MODERN SCIENCE
INNOVATIVE TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE, PHYSICS AND MATHEMATICS,
MEDICINE, ART HISTORY
MONOGRAPHIC SERIES «EUROPEAN SCIENCE»
BOOK 12. PART 1

Authors:

Nesterenko T.M. (1), Vorobiov L.Y. (2), Dekusha L.V. (2), Gryshchenko T.G. (2),
Katerynychuk I.S. (3), Mul D.A. (3), Basarab O.K. (3), Khoptinskiy R.P. (3),
Vavrichen A.A. (3), Kosolapov A. (4), Egorov O. (4), Dziuba V. (4),
Parpolita A. (4), Siasiev A. (5), Rohovyi Y.Y. (6), Tsitrin V.Y. (6),
Seledtsov A.M. (7), Akimenko G. (7), Kirina Y.Y. (7), Fedoseeva I.F. (7),
Yamash Y.V. (8), Kovalenko O. (9)

The scientific achievements of the authors of the monograph were also reviewed and recommended for
publication at the international scientific symposium
«Innovation in der modernen Wissenschaft '2022 / Innovation in modern science '2022»
(September 30, 2022)

Monograph published in the author's edition

The monograph is included in
International scientometric databases

500 copies
September, 2022

Published:
ScientificWorld - NetAkhatAV
Lußstr 13,
Karlsruhe, Germany



e-mail: editor@promonograph.org
<https://desymp.promonograph.org>

ISBN 978-3-949059-59-9



<https://desymp.promonograph.org>

e-mail: editor@promonograph.org

