



I

NTELLECTUAL CAPITAL
IS THE FOUNDATION OF
INNOVATIVE DEVELOPMENT

'2020



«EUROPEAN SCIENCE»
BOOK 3. PART 3



Bezusov A.T., Choporov O.N., Danylina H.V., Guido M., Kukhar V.V. et al.

**INTELLEKTUELLES KAPITAL - DIE GRUNDLAGE FÜR
INNOVATIVE ENTWICKLUNG**
INNOVATIVE TECHNIK UND TECHNOLOGIE, INFORMATIK
*INTELLECTUAL CAPITAL IS THE FOUNDATION OF
INNOVATIVE DEVELOPMENT*
INNOVATIVE ENGINEERING AND TECHNOLOGY, INFORMATICS

*Monographic series «European Science»
Book 3. Part 3.*

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

MONOGRAPHIE
MONOGRAPH

Authors:

Anishchenko O.S. (3), Barysheva Y.O. (2), Benedikt S. (4), Bezusov A.T. (2), Choporov O.N. (9),
Danylina H.V. (1), Datsenko S.Y. (1), Fedoriv M.Y. (5), Galushchak I.D. (5), Guido M. (4),
Klimov E.S. (3), Koenig E. (4), Kravchuk I.N. (1), Kukhar V.V. (3), Kurpe O.H. (3),
Lvovich I.Y. (9), Lvovich Y.E. (8), Malinovskiy Y.A. (1), Manoli T.A. (2), Matsiyevska O. (11),
Nikitchina T.I. (2), Osadchuk A.V. (4), Osadchuk I.A. (4), Pahomov R. (6), Peretiaka N.A. (2),
Podchashinskiy Y.A. (10), Preobrazhenskiy A.P. (8, 9), Preobrazhenskiy Y.P. (8),
Prysiashnyi A.H. (3), Redkin O. (6), Shavurskaya L.Y. (10), Shavurskiy Y.A. (10),
Skakalina E.V. (7), Tsvirkun S.L. (1), Uchitel A.D. (1), Vlasenkov D.P. (1), Zyma O. (6)

Intellektuelles Kapital - die grundlage für innovative entwicklung: innovative technik und technologie, informatik. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 3. Teil 3. 2020.

Intellectual capital is the foundation of innovative development: innovative engineering and technology, informatics. Monographic series «European Science». Book 3. Part 3. 2020.

ISBN 978-3-949059-04-9
DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03

Published by:

ScientificWorld-NetAkhatAV

Lußstr. 13

76227 Karlsruhe, Germany

in conjunction with Institute «SE&E»

e-mail: orgcom@sworld.education

site: www.sworld.education

Copyright © Authors, 2020
Copyright © Drawing up & Design. ScientificWorld-NetAkhatAV, 2020



ÜBER DIE AUTOREN / ABOUT THE AUTHORS

1. *Anishchenko Oleksandr Serhiiovych*, Pryazovskyi State Technical University, Ukraine, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 3 (co-authored)*
2. *Barysheva Yana Olegovna*, Ukraine, graduate student, - *Chapter 2 (co-authored)*
3. *Benedikt Schulte*, Max Planck Institute for the Structure and Dynamics of Matter, Ukraine, applicant, - *Chapter 4 (co-authored)*
4. *Bezusov Anatoliy Timofeevich*, Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 2 (co-authored)*
5. *Choporov Oleg Nikolaevich*, Voronezh State Technical University, Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 9 (co-authored)*
6. *Danylina Halyna Vladimirovna*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, assistant professor - *Chapter 1 (co-authored)*
7. *Datsenko Svetlana Yurievna*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine, - *Chapter 1 (co-authored)*
8. *Fedoriv Mykhaylo Yosypovysch*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 5 (co-authored)*
9. *Galushchak Ivan Dmytrovych*, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 5 (co-authored)*
10. *Guido Meier*, Max Planck Institute for the Structure and Dynamics of Matter, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 4 (co-authored)*
11. *Klimov Eduard Serhiiovych*, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 3 (co-authored)*
12. *Koenig Elena*, Max Planck Institute for the Structure and Dynamics of Matter, Ukraine, PhD in technical sciences, senior researcher - *Chapter 4 (co-authored)*
13. *Kravchuk Igor Nikolaevich*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine, - *Chapter 1 (co-authored)*
14. *Kukhar Volodymyr Valentynovych*, Pryazovskyi State Technical University, Ukraine, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 3 (co-authored)*
15. *Kurpe Oleksandr Hennadiiovych*, Pryazovskyi State Technical University, Ukraine, Ukraine, PhD in technical sciences, Senior Lecturer - *Chapter 3 (co-authored)*
16. *Lvovich Igor Yakovlevich*, Voronezh Institute of High Technologies, Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 9 (co-authored)*
17. *Lvovich Yakov Evseevich*, Voronezh State Technical University, Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 8 (co-authored)*
18. *Malinovskiy Yuriy Alexandrovich*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 1 (co-authored)*
19. *Manoli Tatiana Anatoliievna*, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 2 (co-authored)*



20. *Matsiyevska Oksana*, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 11*
21. *Nikitchina Tatiana Ivanovna*, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 2 (co-authored)*
22. *Osadchuk Alexander Vladimirovich*, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 4 (co-authored)*
23. *Osadchuk Iaroslav Alexandrovich*, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 4 (co-authored)*
24. *Pahomov Roman*, National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 6 (co-authored)*
25. *Peretiaka Nataliia Aleksandrovna*, Ukraine, PhD in technical sciences, Senior Lecturer - *Chapter 2 (co-authored)*
26. *Podchashinskiy Yuriy Aleksandrovych*, Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 10 (co-authored)*
27. *Preobrazhenskiy Andrey Petrovich*, Voronezh Institute of High Technologies, Russia, Doctor of Technical Sciences, assistant professor - *Chapter 8 (co-authored), Chapter 9 (co-authored)*
28. *Preobrazhenskiy Yuriy Petrovich*, Voronezh Institute of High Technologies, Russia, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 8 (co-authored)*
29. *Prysiashnyi Andrii Hryhoriiiovych*, Pryazovskyi State Technical University, Ukraine, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 3 (co-authored)*
30. *Redkin Oleksandr*, National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 6 (co-authored)*
31. *Shavurskaya Liudmyla Yosyfovna*, Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine - *Chapter 10 (co-authored)*
32. *Shavurskiy Yuriy Aleksandrovych*, Zhytomyr Polytechnic State University, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 10 (co-authored)*
33. *Skakalina Elena Viktorovna*, National University "Yuri Kondratyuk Poltava Politechnics", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 7*
34. *Tsvirkun Sergij Leonidovich*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine, PhD in technical sciences, Senior Lecturer - *Chapter 1 (co-authored)*
35. *Uchitel Aleksandr Davydovich*, National Metallurgical Academy of Ukraine, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 1 (co-authored)*
36. *Vlasenkov Dmitro Petrovich*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine, Senior Lecturer - *Chapter 1 (co-authored)*
37. *Zyma Oleksandr*, National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 6 (co-authored)*



Inhalt / Content

CHAPTER 1. JUSTIFICATION OF INSTABILITY ZONES DURING THE OPERATION OF THE DRILLING RIG OF ROTARY AND ROTARY IMPACT DRILLING MACHINES.....8

CHAPTER 2. CURRENT TRENDS IN THE TECHNOLOGY OF FISH PRODUCTS WITH THE REGULATION OF THE CONTENT OF BIOGENIC AMINES

Introduction	41
2.1. Trends in human nutrition from the standpoint of food quality and safety.....	41
2.2. Biogenic amines as dangerous food factors.....	43
2.3. Causes of formation of biogenic amines.....	45
2.4. Mechanism and conditions of formation of biogenic amines.....	48
2.5. Regulation of the content of biogenic amines in food products	50
2.6. Research of ways to regulate the content of biogenic amines in fish products	51
Conclusions	59

CHAPTER 3. RESEARCH AND IMPROVEMENT OF ROLLING PARAMETERS AT THE STECKEL MILL

Introduction	60
3.1. Materials and Methodology	62
3.1.1. Input data and methodology for finite element simulation.....	62
3.1.2. Materials of Research	65
3.2. Finite-Element Simulation of Rolling.....	68
3.2.1. Results of Research	68
3.2.2. The Analysis and Discussion.....	71
3.3. Application for Improving the Rolling Process Modes	76
Conclusions	77

CHAPTER 4. OPTIMIZATION OF TWO-LAYER RESISTS FOR LASER LITHOGRAPHY ON SUBSTRATES REQUIRED FOR WIDE APPLICATION IN MICROWAVE SENSOR TECHNOLOGY

Introduction	79
4.1. Experimental	80
4.2. Technology	81
4.2.1. Wet chemistry process and photoresist coating.....	81
4.2.2. Laser lithography.....	82
4.2.3. Optical inspection and AFM measurements	82
4.3. Results and discussion.....	83
4.3.1. Contrast curves	83



4.3.2. Roughness of double layer resist	84
4.3.3. Edge roughness of microstructured double-layer photoresist.....	85
Conclusions	88

CHAPTER 5. ANALYSIS OF COMPLEX RELIABILITY INDICATORS AND CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE ELECTRICAL EQUIPMENT OF THE DRILLING RIG.....89

CHAPTER 6. MODERN MANAGEMENT OF INNOVATIVE AND HIGH-TECH UKRAINIAN INDUSTRY DEVELOPMENT.....98

CHAPTER 7. APPLICATION OF INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE OPTIMIZATION OF TRANSPORTATION

Introduction	107
7.1. Methods for solving NP - complex problems	108
7.2. Locations for the application of transport tasks	108
7.3. Classical methods for solving transport problems	110
7.4. Basic Genetic Algorithm.....	111
7.5. Formalization of the transport problem	112
7.6. The solution of the transport problem using genetic algorithms	113
7.7. Designing a class library for genetic algorithms.....	114
7.8. The overall plan for the use of the library.....	117
7.9. Software implementation	118
Conclusions	119

CHAPTER 8. THE PROBLEMS OF DEVELOPING AN AUTOMATED WORKPLACE FOR A HOTEL MANAGER

Introduction	120
8.1. Analysis of the characteristics of automated information systems.....	120
8.2. Providing AWP	123
8.3. Analysis of the activities of the hotel industry.....	124
8.4. Activities of the manager, his tasks and functions.....	126
8.5. About development tools when solving a problem.....	126
8.6. Development of a data model	127
8.7. Analysis of the database of the hotel manager.....	128
Conclusions	128

CHAPTER 9. THE PROBLEMS OF DESIGN THE COMPUTER CLUB

Introduction	130
9.1. The characteristics of the automation object.....	130
9.2. Justification of the need to use an automated information system	131
9.3. Implementation of UML diagrams.....	132
9.3.1. Implementation of UML diagrams.....	132
9.3.2. The development of sequence diagrams	133



9.3.3. The development of activity diagrams	133
9.3.4. Development of a class diagram.....	134
9.4. Implementation of methods.....	135
9.4.1. Basic concepts	135
9.4.2. Administrative part.....	136
Conclusions	137

CHAPTER 10. PROCESSING AND COMPRESSION OF DIGITAL IMAGES WITH MEASURING INFORMATION BASED ON FRACTAL MODELS

Introduction	138
10.1. Fractal transformation and image processing with measuring information	139
10.2. Compressing images with measuring information based on fractal models.....	140
10.3. Experimental studies of fractal compression of measuring video information	142
Conclusions	145

CHAPTER 11. WATER QUALITY IN THE CENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEM OF LVIV

Introduction	146
11.1. Characteristics of water intakes	146
11.2. The quality of water entering the centralized water supply network.....	147
11.3. Water quality in the distribution network of the centralized water supply system	148
Conclusions	153

References	155
-------------------------	------------



KAPITEL 1 / CHAPTER 1.

JUSTIFICATION OF INSTABILITY ZONES DURING THE OPERATION OF THE DRILLING RIG OF ROTARY AND ROTARY IMPACT DRILLING MACHINES

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЗОН НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ РАБОТЕ БУРОВОГО СТАВА
СТАНКОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНО-УДАРНОГО БУРЕНИЯ
ОБГРУНТУВАННЯ ВИНІКНЕННЯ ЗОН НЕСТІЙКОСТІ ПРИ РОБОТІ БУРОВОГО СТАВА ВЕРСТАТІВ
ОБЕРТАЛЬНОГО І ОБЕРТАЛЬНО-УДАРНОГО БУРІННЯ

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-066

Вступление

Промышленная эксплуатация карьерных станков шарошечного бурения не всегда достаточно эффективна в силу недостаточной производительности, рост которой сдерживается из-за нарушения устойчивой работы бурового става, обусловленной в ряде случаев конструктивными недоработками, неправильно выбранными режимами бурения, а также специфическими особенностями процесса бурения шарошечным инструментом, закрепленном на длинном и податливом стае.

Основная особенность процесса бурения взрывных скважин шарошечными долотами сводится к тому, что требуется пробурить скважины $\varnothing 250-320$ мм, длиной в 24-32 м. Для проходки скважины к буровой колонне необходимо приложить усилие прижатия $P_0=250-300$ кН и крутящий момент $M_k=17,5-21$ кН·м при скорости вращения става $\omega_b=0-120$ об/мин (до 150 об/мин). Под действием указанных силовых факторов буровой став в пробуренной скважине приобретает вид пространственной кривой – аналога винтовой линии с большим шагом витка. Под действием переменной характеристики трения между породой и инструментом, относительно низкими продольной и крутильной жесткостями, став получает дополнительные приращения силовых факторов и угловой частоты вращения. Пространственная кривая (аналог винтовой линии) под воздействием периодических, непрерывно изменяющихся силовых факторов находится в динамически неустойчивом состоянии. На основании этих представлений и принятых расчетных схем составлена система дифференциальных уравнений, описывающая динамически устойчивые и неустойчивые состояния бурового става до и после потери ими упругой устойчивости в геометрически изменённых состояниях. Под действием первоначального состояния силовых факторов, на которые накладываются переменные составляющие нагрузки, в упругой системе инструмент-буровой став-привод возникают устойчивые крутильные, а затем и параметрические (не всегда устойчивые) поперечно-продольные колебания. Это происходит вследствие переменного трения между инструментом и забоем, а также упругих



деформаций цилиндрической пружины, в виде которой моделируется скрученно-сжато-изогнутый став. Как было установлено, крутильные фрикционные колебания бурового инструмента по забою приводят к раскачке упругих деформаций и их скоростей, вызывая рост скорости скольжения инструмента относительно скважины, что приводит к появлению в колебательной системе значительных градиентов характеристики трения, которые вызывают устойчивые квазигармонические крутильные колебания става, и в силу связанности крутильных и поступательных перемещений колонны приводит к проявлению продольных параметрических эффектов в ставе, причем эти эффекты могут носить неустойчивый характер, их влияние усиливается за счет назначения не всегда обоснованного свободного хода механизма подачи.

Проведенные исследования показали, что при проектировании и расчетах вращающегося бурового став необходимо учитывать изменения скоростных режимов работы длинного вала, при которых могут иметь место критические скорости вращения, обычно совпадающие с первыми низшими собственными частотами изгибных колебаний вала.

Кроме того, в работе предложено интенсифицировать процесс бурения в станках СБШ путем использования дополнительного пневмоударника между буровым инструментом и ставом, параметры которого подбираются так, чтобы поступательная скорость поршня пневмоударника превышала поступательную скорость самого процесса бурения.

Работа направлена на - выявление причин недостаточно устойчивой работы буровых станков типа СБШ-250 (и других машин) при ведении работы по бурению взрывных скважин. Разработка расчетных схем и математических моделей, описывающих динамическое состояние инструмента, бурового става, привода вращения и подающих механизмов. Обоснование снижения динамических нагрузок и определение зон устойчивой работы бурового става и всего станка в целом.

Для обоснования реальных причин возникновения динамически неустойчивой работы станка исходим и того факта, что под действием скручивающих и сжимающих силовых факторов буровой став в обрабатываемой скважине приобретает форму винтовой линии, которая «накручивается» на скважину. Винтовая линия под воздействием непрерывно изменяющихся силовых факторов находится в динамически неуравновешенном состоянии. На основании этих представлений и принятых расчетных схем составлены системы дифференциальных уравнений, описывающих устойчивые



и неустойчивые переходные состояния работающего бурового става до и после потери им продольной и поперечной устойчивости.

Проведенные исследования позволили установить, что в результате действия технологических силовых факторов, буровой став деформируется по пространственной кривой. Под действием изначально постоянных крутящего момента и усилия подачи в упругой системе: буровой став - режущих инструмент - привод возникают устойчивые крутильные продольно-изгибные авто и параметрические колебания. Эти крутильные фрикционные автоколебания наводятся вследствие переменного трения между инструментом и забоем, «навивки» бурового става на скважину, уподобляемого цилиндрической пружине с крупным шагом, а также наличия двигателя вращательной системы ограниченной мощности.

При анализе полученных систем дифференциальных уравнений установлено, что в силу значительной продольной податливости при сжатии закрученного става, крутильные импульсы приводят к продольным ударным перемещениям инструмента относительно забоя. Таким образом, став штанг вовлекается в процесс совместных крутильных и изгибных колебаний, которые при эксплуатации бурового станка накладываются друг на друга. Помимо этих процессов происходит непрерывное вращение бурового става, в результате которого угловые частоты вращения могут совпадать с собственными частотами изгибных колебаний колонны штанг. Такие частоты выявлены и называются критическими угловыми частотами вращения вала (става штанг). Эти состояния при работе става приводят к поломкам и нарушениям устойчивой работы станка.

Исходя из системы уравнений равновесия бурового става, подверженного действию осевого сжимающего усилия и крутящего момента установлена взаимосвязь между динамическим крутящим моментом и динамической продольной силой. Для принятой расчетной схемы получена система дифференциальных уравнений самовозбуждающихся крутильных колебаний става с параметрически наведенными поперечными колебаниями става в двух плоскостях. Получено решение систем двух неоднородных уравнений в первом приближении. Приведены условия возникновения устойчивых режимов для параметрических продольно-изгибных колебаний.

С целью снижения динамического фона при бурении скважин станками вращательного бурения предложено ограничить свободный ход механизма подачи, что обеспечит снижение коэффициента динамичности при продольных колебаниях. Кроме того, для интенсификации процесса бурения предложено



дополнительно использовать эффект пневмобурения, причем частота импульсов пневмоударника должна превышать собственную частоту колебаний става, а скорость нанесения импульсов пневмоударником должна превышать линейную скорость бурения.

Кроме того, скоростной режим вращения става должен быть подобран таким образом, чтобы угловая частота вращения става не совпадала ни с одной из низших частот изгибных колебаний колонны штанг, либо выбрать режим эксплуатации, когда став при вращении быстро проходил опасную частоту, называемую критической, т.е. буровой став должен эксплуатироваться на докритических и закритических скоростях.

Основной текст. Буровой став станков шарошечного (типа СБШ-250) и вращательно-ударного бурения (типа НКР-100) представляет колонну, набираемую из определённого количества штанг, соединённых конической резьбой. Не касаясь особенностей опирания длинной буровой колонны с забоем и корпусом механизма вращения считаем, что став вместе с буровым инструментом представляет собой длинный вал, подверженный кручению (крутящим моментом M_K) и продольному изгибу со стороны механизма подачи (продольным усилием подачи P_n) и испытывает при этом деформации, приводящие к потере ставом упругой устойчивости (рис. 1).

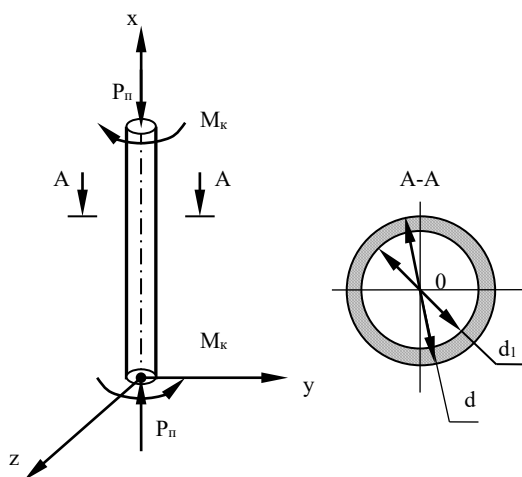


Рис. 1. Одновременное действие на бурильную колонну усилия подачи P_n и крутящего момента M_K , А-А – поперечное сечение штанги

В результате сложных деформаций став приобретает форму винтовой линии (рис. 2). Так как процесс бурения скважины является нестационарным, то буровой став под действием нагрузок переменных во времени подвержен сильным вибрациям. Для описания динамического состояния бурового става составим систему дифференциальных уравнений динамического равновесия.



Так как изогнутая ось става является пространственной кривой, то систему уравнений составим в проекциях на оси YOZ, ZOX (до потери ставом продольной устойчивости). Сначала будем исходить из уравнения продольного изгиба стержня в плоскости YOX [1]:

$$I \frac{d^2 V}{dx^2} + P_{\Pi} V = 0 \quad (1)$$

где $V(x,t)$ – прогиб стержня в плоскости YOX;

P_{Π} – осевая сила;

E – модуль упругости I рода (модуль Юнга);

I – осевой момент инерции сечения става штанги, рис 3.

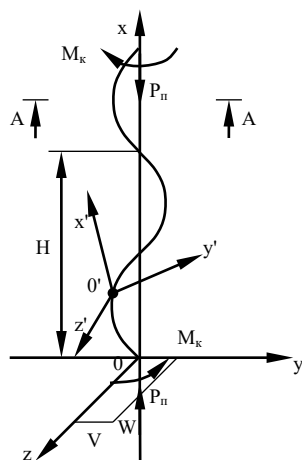


Рис.2. Выпучивание буровой колонны под действием усилия подачи P_{Π} и крутящего момента M_K : $a - v, w$ - смещение точек оси бурового става - $d_{ск}$ - диаметр скважины при его деформации; $b - H$ - шаг винтовой линии при выпучивании бурового става; $\theta - 0, x, y, z$ - основная система координат; $\theta - 0, x, y, z$ - основная система координат; $\theta - 0', x', y', z'$ - подвижная система координат, связанная с точками деформированной оси става

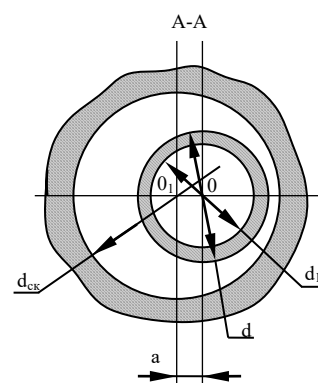


Рис.3. Смещение оси штанги в скважине при выпучивании буровой колонны: a – смещение оси

Для того, чтобы перейти к уравнениям поперечных колебаний става под действием переменной продольной силы $P_{\Pi}(t)$ необходимо уравнение (1) продифференцировать два раза по x , ввести силы инерции $-m \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$; $-m \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$. Кроме того, изгиб стержня происходит ещё и в плоскости ZOX с прогибом $W(x,t)$, а крутящий момент M_K подкручивает стержень на углах $\frac{\partial w}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial x}$.

Запишем тогда систему уравнений статического равновесия става в двух плоскостях перед потерей им продольной устойчивости (2):



$$\begin{cases} EI \frac{d^2 V}{dx^2} + P_{\Pi} V = -M \frac{dW}{dx} \\ EI \frac{d^2 W}{dx^2} + P_{\Pi} W = +M \frac{dV}{dx} \end{cases} \quad (2)$$

Перейдём к уравнениям поперечных колебаний става под действием усилия подачи P_{Π} , крутящего момента M_K и сил инерции $-m \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}$; $-m \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}$ (3):

$$\begin{cases} EI \frac{\partial^4 V}{\partial x^4} + (P_{\text{оп}} + \Delta P_{\Pi}) \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = -(M_{K0} + \Delta M_K) \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} \\ EI \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + (P_{\text{оп}} + \Delta P_{\Pi}) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = (M_K + \Delta M_K) \frac{\partial^3 V}{\partial x^3} \end{cases} \quad (3)$$

где $M_{K0}, P_{\text{оп}}, \Delta M_K, \Delta P_{\Pi}$ – соответственно номинальные значения и приращения крутящего момента и усилия подачи.

Первоначально рассмотрим систему уравнений (2), то есть задачу об изгибе и кручении става в статической постановке. Граничные условия опирания става могут быть различными, но для статической и динамической постановки однотипных задач они будут иметь вид (4), или другой вид в зависимости от технической формулировки данной задачи.

Решение системы (2) выполним на основании метода, изложенного в [3]. Систему уравнений (3) представим для описания продольных и поперечных колебаний става в двух плоскостях, возбуждаемых крутильными автоколебаниями става, возникающими в процессе бурения как реакция бурового инструмента и става при переменном трении режущих элементов о забой (рис. 4).

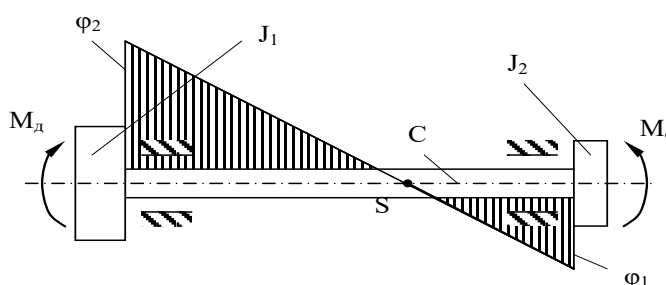


Рис.4. Крутильная колебательная схема бурового станка: I_1 – момент инерции бурового инструмента;

I_2 – момент инерции приводных механизмов; C – крутильная жесткость става штанг; S – узел колебаний; φ_1, φ_2 – максимальные углы закручивания масс

В зависимости от реализации характеристики трения, в особенности её нисходящей ветви, в некотором диапазоне скоростей скольжения инструмента по породе, реализуется в упругой системе отрицательное затухание, доля которого при повышении скорости проскальзывания уменьшается, так



положительное демпфирование в системе растёт пропорционально кубу скорости проскальзывания, то при раскачке автоколебаний наступает баланс между линейными и нелинейными проявлениями затухания при трении инструмента и горной породы. Учитывая сложность поставленной задачи, для её решения будем исходить из следующих представлений о характере протекания автоколебаний, если характеристика трения реализуется при относительно низких скоростях скольжения, на её ниспадающем участке, то автоколебания развиваются в результате отрицательного демпфирования при трении, в этом случае явно прослеживается нарастание амплитуд колебаний, по мере же нарастания скорости скольжения инструмента о забой, более заметной становится составляющая характеристики трения, пропорциональная кубу скорости, тогда за счёт баланса энергий подводимой и рассеиваемой в зоне контакта происходит подстройка амплитуд автоколебаний до некоторого фиксированного уровня.

Поэтому в первом случае мы покажем, что автоколебания являются нарастающими, а в другом случае будем исходить из установившегося характера крутильных колебаний. Записывая систему (3) считаем, что в простейшей постановке крутильная система нагружена периодическим крутящим моментом ($M_K = M_{KO} + \Delta M_K$ или $M_K = M_{KO} + M_{KI} \sin \pi t$), тогда в соответствии с характером системы (3) мы вправе ожидать, что и продольная сила (усилие прижатия) будет изменяться по периодическому закону ($P_{\Pi} = P_{\Pi O} + P_{\Pi I} \sin \pi t$), тогда раскачка продольных и поперечных колебаний става будет происходить за счёт проявления параметрического резонанса при продольных и поперечных колебательных процессах.

Системы уравнений (2) и (3) с обыкновенными частными производными относительно искомых функций $V(x, t)$, $W(x, t)$ рассмотрим для граничных условий:

$$\begin{cases} V|_{x=0} = 0; V|_{x=l} = a \\ W|_{x=0} = 0; W|_{x=l} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

где a – эксцентриситеты приложения осевой нагрузки к инструменту.

Если ввести обозначения $\frac{M_K}{EI} = k$; $\frac{P_{\Pi}}{EI} = S^2$, то характеристическое уравнение системы (3) имеет вид:

$$r^2 + kr - S^2 = 0 \quad (5)$$

тогда корни уравнения будут равны:

$$r_{1,2} = -\frac{k}{2} \pm \sqrt{\frac{k^2}{4} + S^2} \quad (6)$$

Условно считаем, что $V(x)$, $W(x)$ являются функциями координаты x , тогда



их будем искать в виде:

$$\begin{cases} V(x) = A \sin r_1 x + B \cos r_1 x + C \sin r_2 x + D \cos r_2 x \\ W(x) = -A \cos r_1 x + B \sin r_1 x - C \cos r_2 x + D \sin r_2 x \end{cases} \quad (7)$$

Из условий (4) вычислим коэффициенты A, B, C, D :

Если $x=0$, то $B+D=0$; $D=-B$; $A+C=0$; $C=-A$.

Если $x=l$:

$$\begin{cases} A \sin r_1 l + B \cos r_1 l + C \sin r_2 l + D \cos r_2 l = a \\ -A \cos r_1 l + B \sin r_1 l - C \cos r_2 l + D \sin r_2 l = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} A(\sin r_1 l - \sin r_2 l) + B(\cos r_1 l - \cos r_2 l) = a \\ A(-\cos r_1 l + \cos r_2 l) + B(\sin r_1 l - \sin r_2 l) = 0 \end{cases}$$

Введём обозначения:

$$\Delta_1 = \sin r_1 l - \sin r_2 l; \Delta_2 = \cos r_1 l - \cos r_2 l,$$

тогда:

$$A\Delta_1 + B\Delta_2 = a; -A\Delta_2 + B\Delta_1 = 0, \quad (9)$$

$$B = A \frac{\Delta_2}{\Delta_1}; D = -A \frac{\Delta_2}{\Delta_1}; C = -A; A = \frac{a\Delta_1}{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} \quad (10)$$

Преобразуем (7) с учётом (10):

$$V(x) = A \sin r_1 x + A \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \cos r_1 x - A \sin r_2 x - A \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \cos r_2 x$$

$$W(x) = -A \cos r_1 x + A \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \sin r_1 x + A \cos r_2 x - A \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \sin r_2 x$$

В результате будем иметь:

$$\begin{cases} V(x) = A(\sin r_1 x + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \cos r_1 x - \sin r_2 x - \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \cos r_2 x) \\ W(x) = A(-\cos r_1 x + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \sin r_1 x + \cos r_2 x - \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \sin r_2 x) \end{cases} \quad (11)$$

Используя систему уравнений (2), граничные условия (4) и решение (11), выразим приращение усилия подачи $\Delta P(P_{II}=P_{II0}+\Delta P)$ через приращение крутящего момента $\Delta M_K (M_K=M_{KO}+\Delta M_K)$.

Для этого подставляем в первое уравнение (2) значения $V, \frac{d^2 V}{dx^2}, \frac{dW}{dx}$ используя (11) и граничное условие для точки става, где $V(l)=a$ и $x=l$.

Предварительно запишем:

$$\frac{dV}{dx} = A(r_1 \cos r_1 x - \frac{\Delta_2}{\Delta_1} r_1 \sin r_1 x - r_2 \cos r_2 x + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} r_2 \sin r_2 x) \quad (12)$$

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = A(-r_1^2 \sin r_1 x - \frac{\Delta_2}{\Delta_1} r_1^2 \cos r_1 x + r_2^2 \sin r_2 x + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} r_2^2 \cos r_2 x) \quad (13)$$

$$\frac{dW}{dx} = A(r_1 \sin r_1 x + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} r_1 \cos r_1 x - r_2 \sin r_2 x - \frac{\Delta_2}{\Delta_1} r_2 \cos r_2 x) \quad (14)$$

Полагаем для точки взаимодействия инструмента с забоем $x=l$, подставим значение x в формулы (12), (13), (14) и введём обозначения:



$$\Delta_3 = \sin r_1 l + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \cos r_1 l; \Delta_4 = \sin r_2 l + \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \cos r_2 l, \quad (15)$$

и подставив значения (11), (13), (14) в первое уравнение (2), приходим к соотношению:

$$P_{\Pi} + \Delta P = \frac{EI(r_2^2 \Delta_4 - r_1^2 \Delta_3) + M_K(r_1 \Delta_3 - r_2 \Delta_4)}{\Delta_3 - \Delta_4} \quad (16)$$

Таким образом, получено выражения для полного усилия подачи с учётом динамической составляющей, которая выражена через крутящий момент на буровом инструменте и его приращение ΔM_K .

Запишем уравнение для динамического усилия подачи (с учётом его приращения):

$$P_{\Pi 0} + \Delta P_{\Pi} = \frac{EI(r_2^2 \Delta_4 - r_1^2 \Delta_3) + (M_{K0} + \Delta M_K)(r_1 \Delta_3 - r_2 \Delta_4)}{\Delta_1 - \frac{\Delta_2^2}{\Delta_1}} \quad (17)$$

Или окончательно получим:

$$P_{\Pi 0} + \Delta P_{\Pi} = \frac{\Delta_1(EI(r_2^2 \Delta_4 - r_1^2 \Delta_3) + (M_{K0} + \Delta M_K)(r_1 \Delta_3 - r_2 \Delta_4))}{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} \quad (18)$$

Тогда можно подставить (17) в систему (3). Следовательно, продольная нагрузка на став выражена через крутящий момент M_K и его динамическую составляющую. Таким образом, для определения параметрической продольной нагрузки на став необходимо рассмотреть отдельно возникновение в упругой системе крутильных автоколебаний.

Заметим, что в формуле (18) продольная нагрузка на став представлена через корни характеристического уравнения (6) $r_1, r_2, (r_1^2, r_2^2)$. Если нагрузка $M_K + \Delta M_K$ в правой части системы (2) изменяется по периодическому закону, то и продольная нагрузка $P_{\Pi} + \Delta P_{\Pi}$ тоже будет изменяться по периодическому закону.

Практика эксплуатации буровых станков шарошечного (или вращательно-ударного) бурения показывает, что скорость вращения бурового става ω_0 колеблется около своего номинального значения с амплитудой $\Delta \omega$.

При этом крутящий момент, в связи с переменным значением момента сопротивления вращению, также колеблется около своего номинального значения с амплитудой ΔM_K . Как было показано в работе [4], буровой став работает на сжатие и кручение. При этом, возбуждение продольных колебаний в буровом ставе обусловлено переменным трением между породой и инструментом при переменной скорости скольжения става по забою. Так как крутильный автоколебательный процесс является первичным, то как крутильные, так и продольные автоколебания происходят с частотой собственных крутильных колебаний системы. Их вида системы (3) следует, что



она представляет собой два идентичных уравнения относительно переменных $V(x,t)$, $W(x,t)$.

При этом каждое уравнение системы (3) представляет собой уравнения параметрических продольно-поперечных колебаний с параметрической нагрузкой в виде (18). Так как в правых частях уравнений системы содержатся переменные составляющие, то эти уравнения описывают ещё и вынужденный колебательный процесс с крутильной переменной составляющей.

Вместе с тем переменную часть крутильного момента в виде ΔM_K можно получить из независимой системы дифференциальных уравнений автоколебаний для крутильной системы: буровой инструмент – став-вращатель. Систему уравнений крутильных колебаний рассмотрим далее.

На данном этапе будем полагать, что ΔM_K при установившихся автоколебаниях изменяется по квазигармоническому закону:

$$M_K = M_{K0} + M_{1K} \cos p_1 t \quad (19)$$

Тогда выражение для динамической продольной силы (P_{Π}) представим в виде:

$$P_{\Pi} = P_{\Pi 0} + P_{1\Pi} \cos p_1 t \quad (20)$$

В приведённых выражениях M_{K0} и $P_{\Pi 0}$ – номинальные значения крутящего момента и продольной силы; M_{1K} и $P_{1\Pi}$ – амплитуды колебаний крутящего момента и продольной силы; p_1 – первая собственная частота в крутильной системе станка.

С учётом выражений (19), (20) систему дифференциальных уравнений (3) представим в форме (21):

$$\begin{cases} EI \frac{\partial^4 V}{\partial x^4} + (P_{\Pi 0} + P_{1\Pi} \cos p_1 t) \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = -(M_{K0} + M_{1K} \cos p_1 t) \\ EI \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + (P_{\Pi 0} + P_{1\Pi} \cos p_1 t) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = (M_{K0} + M_{1K} \cos p_1 t) \end{cases} \quad (21)$$

Таким образом система (3) или (21) являются связанными системами дифференциальных уравнений продольно-поперечных колебаний става в двух плоскостях. Уравнение (21) представляет собой систему, описывающую параметрические продольно-поперечные колебания става, которые наведены независимыми крутильными колебаниями механизма вращения (буровой инструмент – став-вращатель при взаимодействии со скважиной).

Для решения системы уравнений (21) относительно двух искомых функций двух переменных $V(x,t)$, $W(x,t)$ в решении необходимо разделить переменные, поэтому использовать с этой целью решение (18) пока не представляется возможным.

Далее будем исходить из предположения, что в процессе бурения наблюдается динамически неустойчивое состояние бурового става и при этом



он ещё не потерял упругой устойчивости.

Поэтому приближенно принимаем, что перемещения става вдаль осей ОУ и ОZ удовлетворяют системе (21) и имеют вид:

$$\begin{cases} V(x, t) = A_0(t) \sin \frac{\pi}{l} x \\ W(x, t) = B_0(t) \cos \frac{\pi}{l} x \end{cases} \quad (22)$$

Подставим (22) в систему (21), тогда получим:

$$\begin{cases} A_0''(t) + \left[\frac{EI}{m} \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 - \frac{P_{п0}}{m} \frac{\pi^2}{l^2} - \frac{P_{оп1}}{m} \frac{\pi^2}{l^2} \cos p_1 t \right] A_0(t) = - \frac{(M_{к0} + M_{1к} \cos p_1 t) \pi^3}{m l^3} l \\ B_0''(t) + \left[\frac{EI}{m} \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 - \frac{P_{п0}}{m} \frac{\pi^2}{l^2} - \frac{P_{оп1}}{m} \frac{\pi^2}{l^2} \cos p_1 t \right] B_0(t) = - \frac{(M_{к0} + M_{1к} \cos p_1 t) \pi^3}{m l^3} \end{cases} \quad (23)$$

После сокращения результатов подстановки на функции переменной x получаем два идентичных уравнения (24).

Для решения системы (23) достаточно решить одно из уравнений. Обращаясь к первому уравнению системы видно, что левая часть первого уравнения (однородное уравнение) представляет собой уравнение Матье:

$$A_0''(t) + \left[\frac{EI}{m} \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 - \frac{P_{п0}}{m} \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 - \frac{P_{оп1}}{m} \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \cos p_1 t \right] A_0(t) = 0 \quad (24)$$

Полагаем, что в приведённом уравнении продольная сила изменяется по косинусоидальному закону с частотой крутильных колебаний системы, вызванных переменным трением между породой и буровым инструментом. Решение таких уравнений ищем в виде тригонометрического ряда [1]:

$$A(t) = \sum_{k=1,2,3}^{\infty} a_k \sin \frac{k p_1}{2} t + b_k \cos \frac{k p_1}{2} t \quad (25)$$

В решении ограничимся первым гармоническим приближением:

$$A_0(t) = a_1 \sin \frac{p_1}{2} t + b_1 \cos \frac{p_1}{2} t \quad (26)$$

Так как система (23) представлена двумя идентичными уравнениями, то в качестве нулевого приближения функции $B_0(t)$ принимаем выражение:

$$B_0(t) = a_1 \sin \frac{p_1}{2} t + b_1 \cos \frac{p_1}{2} t \quad (27)$$

Тогда первое уравнение системы (23) запишем для неоднородной задачи в виде:

$$\begin{aligned} A_0''(t) + \left[\frac{EI}{m} \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 - \frac{P_{п0}}{m} \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 - \frac{P_{оп1}}{m} \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \cos p_1 t \right] A_0(t) \\ = -(M_{к0} + \Delta M_K) m \left(\frac{\pi}{l} \right)^3 (a_1 \sin \frac{p_1}{2} t + b_1 \cos \frac{p_1}{2} t) \end{aligned} \quad (28)$$

Полученное дифференциальное уравнение (28) представляют собой уравнение параметрических колебаний, происходящих с собственной частотой крутильной колебательной системы p_1 (в левой части) и в тоже время уравнение вынужденных колебаний (в правой части) с парциальными частотами



$$p_1, \frac{p_1}{2} \text{ и } \frac{3}{2}p_1.$$

Уравнение (28) записано по первому приближению. Точность представления (28) может быть повышена, если $A(t)$ выразить в виде (25). В приведённых выражениях (26),

(28) $a_1 = -\frac{1}{\mu} \left(1 + \mu - \frac{p_1^2}{4\Omega^2} \right)$; $b_1 = -\frac{1}{\mu} \left(1 - \mu - \frac{p_1^2}{4\Omega^2} \right)$ – коэффициенты гармонического разложения функции $A(t)$, $A_0(t)$; p_1 – первая собственная частота крутильных колебаний в системе инструмент-буровой став-вращатель, подлежит определению из рассмотрения «независимых» крутильных колебаний става под воздействием переменных сил трения между забоем и буровым инструментом; m – распределённая по длине масса става; $P_{П0}$ – номинальное значение усилия подачи; $P_{П1}$ – амплитуда колебаний усилия подачи (продольное усилие); M_{K0} – номинальное значение крутящего момента на вращателе; M_{K1} – амплитуда колебаний крутящего момента; $\mu(\mu_k)$ – коэффициент возбуждения нагрузки ($k=1,2,3\dots$), ограничимся $k=1$.

$$\mu_k = \frac{P_{П1}}{2(P_{*k} - P_{П0})}$$

P_{*k} – критическая сила по Эйлеру для формы потери устойчивости стержня с индексом k .

$$P_{*k} = \frac{k^2 \pi^2 EI}{l^2}$$

Ω_k – частота собственных колебаний става, нагруженного постоянной составляющей продольной силы (ограничимся $k=1$).

$$\Omega_k = \omega_k \sqrt{1 - \frac{P_{П0}}{P_{*k}}}$$

ω_k – частота собственных поперечных колебаний незагруженного стержня.

$$\omega_k = \frac{k^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{1 - \frac{P_{П0}}{P_{*k}}}$$

l – текущая длина става (изменяется во времени пропорционально скорости бурения скважины).

Рассмотрим коэффициенты гармонического разложения a_1 , b_1 для случая, когда значение постоянной составляющей продольной нагрузки приближается к значению критической силы по Эйлеру.

Запишем:

$$\mu = \frac{P_{П1}}{2(P_* - P_{П0})} = \frac{P_{П1}}{2(1 - \frac{P_{П0}}{P_*})P_*} \quad (29)$$



Тогда:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{2(P_* - P_{\Pi 0})}{P_{\Pi 1}} = \frac{2(1 - \frac{P_{\Pi 0}}{P_*})P_*}{P_{\Pi 1}} \quad (30)$$

Обращаясь к коэффициентам a_l , b_l умножим выражения в скобках на $\frac{1}{\mu}$ и пренебрегаем первым слагаемым, так как по условию $\frac{1}{\mu}$ является величиной бесконечно малой. Учтём при преобразованиях, что значение первой критической силы по Эйлеру равно:

$$P_* = \frac{\pi^2}{l^2} EI \quad (31)$$

а также:

$$\Omega_1 = \omega_1 \sqrt{1 - \frac{P_{\Pi 0}}{P_*}} = \frac{\pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m} (1 - \frac{P_{\Pi 0}}{P_*})} \quad (32)$$

Тогда преобразуем выражение в скобках при определении a_l , b_l :

$$\frac{2 \frac{\pi^2}{l^2} EI m p_1^2}{P_{\Pi 1} 4 \frac{\pi^4}{l^4}} \pm 1 = a_1(b_1) \quad (33)$$

Окончательно получим

$$a_1 = \frac{l^2 m p_1^2}{2 \pi^2 P_{\Pi 1}} - 1; b_1 = \frac{l^2 m p_1^2}{2 \pi^2 P_{\Pi 1}} + 1 \quad (34)$$

В приведённых выражениях для коэффициентов a_l , b_l : l – текущая длина; m – погонная масса става; $P_{\Pi 1}$ – амплитуда колебаний усилия подачи (P_{Π}); p_1 – частота колебаний усилия подачи.

Таким образом, коэффициенты гармонического разложения a_l , b_l временных функций поперечных перемещений $A_0(t)$ (или $B_0(t)$) пропорциональны квадратам длины става l и собственной частоты крутильных колебаний P_l распределённой массы става m , а также обратно пропорциональны переменной составляющей продольной нагрузки $P_{\Pi 1}$.

При рассмотрении системы уравнений поперечных колебаний става (3) или (23) в качестве нагрузки помимо продольного усилия $P_{\Pi} = P_{\Pi 0} + P_{\Pi 1} \cos P_l t$ принят ещё и крутящий момент $M_K = M_{K0} + \Delta M_K$, который является независимым силовым фактором. Поэтому амплитуду и частоту колебаний M_K будем определять исходя из двухмассовой крутильной колебательной системы, состоящей из массы (момента инерции) инструмента I_1 и массы (момента инерции) вращателя I_2 , соединённых буровым ставом, обладающим крутильной жёсткостью C_l (рис.4).

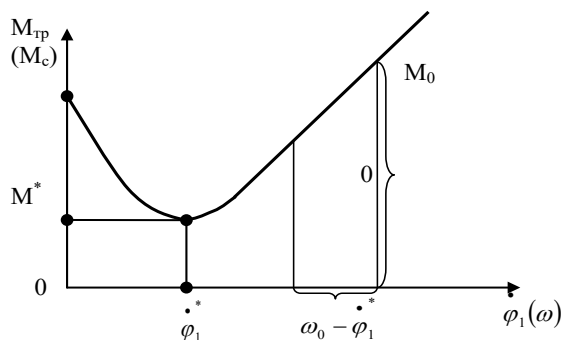


Рис.5.

Характеристика момента сил трения между буровым инструментом и породой, как функция скорости проскальзывания между забоем и инструментом

Так как при работе бурового станка нет явного источника возмущающего воздействия на буровой став, например, в продольном направлении, то в качестве источника возникновения колебаний принят нелинейный момент трения между буровым инструментом и породой (рис. 4) в периоды разгона и торможения става по аналогии с работой [5]. Колебания бурового инструмента при его вращении являются самовозбуждающимися (автоколебаниями), приводящими к развитию параметрических продольных и поперечных колебаний, которые при наличии эксцентриситета приложения продольной нагрузки приводят ещё и к развитию вынужденных колебаний бурового става.

Если судить по характеру продольных перемещений става, то они являются возвратно поступательными с изменяющимися амплитудами, которые обусловлены автоколебаниями в крутильной двухмассовой системе. Рассматривая правую часть уравнения (28) и характеристику нелинейного трения [5] сделаем вывод, что характер крутильных колебаний может быть установившимся квазигармоническим, нарастающим гармоническим или релаксационным. Для установления видов колебаний необходимо отдельно рассмотреть процесс возникновения этих автоколебаний в крутильной двухмассовой системе и определить характер приращения ΔM_K .

Исходя из изложенных соображений и пренебрегая затуханием в упругой механической системе: инструмент-буровой став-ротор приводного двигателя (вращателя) составим систему дифференциальных уравнений, описывающую возникновение самовозбуждающихся крутильных автоколебаний в буровом стае:

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\varphi}_1 + C(\varphi_1 - \varphi_2) = M_0 + M_1(\dot{\varphi}_1 - \omega_0) + M_2(\dot{\varphi}_1 - \omega_0)^2 - M_3(\dot{\varphi}_1 - \alpha) \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + C(\varphi_2 - \varphi_1) = -M_0 + M_4(\omega_0 - \dot{\varphi}_2) \end{cases} \quad (35)$$

где I_1 , I_2 – соответственно моменты инерции инструмента и ротора двигателя;



C – жёсткость бурового става, обусловленная процессами бурения и наращивания бурового става $C = \frac{G l_P}{l}$.

Правую часть первого уравнения системы (35) представляет момент сопротивления при бурении скважин:

$$M_c = M_0 + M_1(\dot{\varphi}_1 - \omega_0) + M_2(\dot{\varphi}_1 - \omega_0)^2 - M_3(\dot{\varphi}_1 - \omega_0)^3 \quad (36)$$

Ограничимся в разложении функции M_c в ряд тремя слагаемыми.

Введём обозначения $\dot{\varphi}_1 - \omega_0 = \Delta\dot{\varphi}_1$; $(\omega_0 - \dot{\varphi}_2) = \Delta\dot{\varphi}_2$.

$$M_c = M_0 + M_1\Delta\dot{\varphi}_1 + M_2\Delta\dot{\varphi}_1^2 - M_3\Delta\dot{\varphi}_1^3 \quad (37)$$

где M_1 , M_2 , M_3 – коэффициенты характеристики трения бурового инструмента о породу, рис.5 (M_1 , M_2 – соответствуют отрицательному демпфированию); M_4 – коэффициент затухания в двигателе.

В результате использования характеристики трения в виде (37) система уравнений (35) становится существенно нелинейной. Для решения (35) вначале будем исходить из линейных систем (то есть пренебрегаем значениями M_2 , M_3), а также из того, что двигатель обладает абсолютно жёсткой характеристикой. Принятые допущения не существенно исказят качественную сторону задачи. Тогда вместо (35) рассмотрим одно уравнение в форме:

$$I_1\ddot{\varphi}_1 + C(\varphi_1 - \omega_0 t) = M_0 + M_1\Delta\dot{\varphi}_1 + M_2\Delta\dot{\varphi}_1^2 - M_3\Delta\dot{\varphi}_1^3 \quad (38)$$

Обозначим $r_0 = \frac{M_0}{I_1}$; $r_1 = \frac{M_1}{I_1}$; $p^2 = \frac{C}{I_1}$ и преобразуем (38) к виду (39):

$$\ddot{\varphi}_1 - r_1\dot{\varphi}_1 + p^2\varphi_1 = r_0 + p^2\omega_0 t \quad (39)$$

Тогда однородное уравнение для (39) имеет вид:

$$\ddot{\varphi}_1 - r_1\dot{\varphi}_1 + p^2\varphi_1 = 0 \quad (40)$$

Запишем характеристическое уравнение для (40):

$$\lambda^2 - r_1\lambda + p^2 = 0 \quad (41)$$

Корни (41) будут равны:

$$\lambda_{1,2} = \frac{r_1}{2} \pm \sqrt{\frac{r_1^2}{4} - p^2} \quad (42)$$

Полагая $p^2 > \frac{r_1^2}{4}$, то решение однородного уравнения (39) будет иметь вид:

$$\widetilde{\varphi}_1(t) = e^{\frac{r_1}{2}t} (A_1 \cos p_1 t + B_1 \sin p_1 t) \quad (43)$$

Так как $\widetilde{\varphi}_1(0) = 0$; $\dot{\widetilde{\varphi}}_1(0) = \omega_0$, то $A_1 = 0$; $B_1 \neq 0$.

$$\text{Тогда } B_1 = \frac{\omega_0}{p_1}; \quad p_1 = \sqrt{p^2 - \frac{r_1^2}{4}}$$

Частное решение (39) ищем в форме:

$$\bar{\varphi}(t) = A_2 t + B_2 \quad (44)$$

$$\bar{\varphi}(0) = A_2 = \omega_0$$

$$\dot{\bar{\varphi}}(0) = -r_1 \omega_0 + p^2 B_2 = r_0$$



$$B_2 = \frac{r_0 + r_1^2 \omega_0}{p^2}$$

Запишем общее решение (39) как сумму $\varphi_1 = \widetilde{\varphi}_1(t) + \overline{\varphi}_1(t)$:

$$\varphi_1(t) = e^{\frac{r_1}{2}t} \frac{\omega_0}{p_1} \sin p_1 t + \omega_0 t + \frac{r_0 + r_1 \omega_0}{p^2} \quad (45)$$

Рассмотрим выражение для скорости $\dot{\varphi}_1(t)$.

$$\dot{\varphi}_1(t) = \frac{r_1}{2} e^{\frac{r_1}{2}t} \frac{\omega_0}{p_1} \sin p_1 t + e^{\frac{r_1}{2}t} \omega_0 \cos p_1 t + \omega_0$$

или

$$\dot{\varphi}_1(t) = e^{\frac{r_1}{2}t} \left(\frac{r_1 \omega_0}{2 p_1} \sin p_1 t + \omega_0 \cos p_1 t \right) + \omega_0 \quad (46)$$

Запишем выражение для $\Delta\dot{\varphi} = \Delta\dot{\varphi}_1(t) - \omega_0$:

$$\Delta\dot{\varphi}_1(t) = \frac{\omega_0}{p_1} e^{\frac{r_1}{2}t} \left(\frac{r_1}{2} \sin p_1 t + p_1 \cos p_1 t \right) \quad (47)$$

В приведённом выражении (47) $\frac{\omega_0}{p_1} = B_1$, константа, определённая из начальных условий при интегрировании (39).

Если учитывать нелинейный характер момента сил трения (37), то приращение угловой скорости инструмента запишем в виде:

$$\Delta\dot{\varphi}_1(t) = B_1 e^{\frac{r_1}{2}t} \left(\frac{r_1}{2} \sin p_1 t + p_1 \cos p_1 t \right) \quad (48)$$

где $B_1 = B_1(t)$ – переменная амплитуда при автоколебаниях[5]:

$$B_1(t) = \frac{B_0}{\sqrt{\left(1 - \frac{3r_3 p_1^2}{4r_1} B_0^2\right) e^{-r_1 t} + \frac{3r_3 p_1^2}{4r_1} B_0^2}}$$

В качестве B_0 принимаем значение амплитуды автоколебаний в линейной задаче (решение (43)).

$$B_0 = \frac{\omega_0}{p_1};$$

$$r_1 = \frac{M_1}{I_1}; \quad r_3 = \frac{M_3}{I_1} - \text{постоянные коэффициенты разложения } M_C.$$

Таким образом мы получили выражение для $\Delta\dot{\varphi}$ в виде (47), (48). Тогда запишем выражение для динамического крутящего момента в уравнении (28):

$$M_K = M_{K0} + \frac{\omega_0}{p_1} e^{\frac{r_1}{2}t} \left(\frac{r_1}{2} \sin p_1 t + p_1 \cos p_1 t \right) M_1 \quad (49)$$

Выполним уточнённое определение частоты и форм колебаний.

Если формально считать, что в крутильной колебательной системе бурового става происходят квазигармонические колебательные процессы, то систему дифференциальных уравнений движения (вращения) бурового става с самовозбуждающимися вибрациями можно записать в виде:



$$\begin{cases} I_1 \ddot{\varphi}_1 + C(\varphi_1 - \varphi_2) = M_0 + \overline{M}_1 \sin p_1 t \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + C(\varphi_2 - \varphi_1) = M_0 + \overline{M}_2 \sin p_1 t \end{cases} \quad (50)$$

тогда функции:

$$\begin{cases} \varphi_1 = Y_0 + \omega_0 t + Y_1 \sin p_1 t \\ \varphi_2 = Z_0 + \omega_0 t + Z_1 \sin p_1 t \end{cases} \quad (51)$$

при соответствующем выборе постоянных Y_0, Z_0, Y_1, Z_1 (51) являются решениями системы (50). Подставляя (51) в (50) получаем алгебраическую систему для определения амплитуд колебаний масс (инструмента и вращателя), а также определения частот собственных колебаний в крутильной системе:

$$\begin{cases} (C - p^2 I_1) Y_1 - C Z_1 = \overline{M}_1 \\ -C Y_1 + (C - p^2 I_2) Z_1 = \overline{M}_2 \end{cases} \quad (52)$$

Составим определитель системы (52):

$$\Delta = \begin{vmatrix} C - p^2 I_1 & -C \\ -C & C - p^2 I_2 \end{vmatrix} = p^4 I_1 I_2 - p^2 C(I_1 + I_2) \quad (53)$$

Если приравнять определитель к нулю $\Delta=0$, то получим уравнение частот крутильных колебаний става:

$$p^4 - p^2 \frac{C(I_1 + I_2)}{I_1 I_2} = 0 \quad (54)$$

Решая (54) находим

$$p_0^2 = 0; \quad p_1^2 = \frac{C(I_1 + I_2)}{I_1 I_2} \quad (55)$$

Корни уравнения частот $p_0=0$ говорят о том, что система может совершать вращательное движение вокруг геометрической оси става, например с угловой частотой ω_0 . Значение корня $p_1 = \sqrt{\frac{C(I_1 + I_2)}{I_1 I_2}}$ представляет собой собственную частоту колебаний двухмассовой вращательной системы.

Запишем определитель для вычисления амплитуды колебаний бурового инструмента (первой массы):

$$\widetilde{\Delta}_1 = \begin{vmatrix} M_1 & -C \\ M_2 & C - p_1^2 I_2 \end{vmatrix} = M_1(C - p_1^2 I_2) + C M_2 \quad (56)$$

Запишем определитель для вычисления амплитуды колебаний ротора двигателя (второй массы):

$$\widetilde{\Delta}_2 = \begin{vmatrix} C - p_1^2 I_1 & M_1 \\ -C & M_2 \end{vmatrix} = M_2(C - p_1^2 I_1) + C M_1 \quad (57)$$

Для определения амплитуд колебаний масс Y_1, Z_1 достаточно использовать соотношения

$$Y_1 = \frac{\widetilde{\Delta}_1}{\Delta}; \quad Z_1 = \frac{\widetilde{\Delta}_2}{\Delta}, \quad (58)$$

но так как при автоколебаниях в правой части системы (50) переменные величины уравнений изменяются с частотой p_1 , которая является собственной



частотой крутильной системы, то при определении Y_I , Z_I воспользоваться соотношениями (58) не представится возможным, в результате деления на $\tilde{\Delta} \equiv 0$. Из соотношений (58) возможно получить только отношение амплитуд колебаний $\frac{Y_1}{Z_1} = \frac{\tilde{\Delta}_1}{\tilde{\Delta}_2}$ однако приравнивания $B_I = Y_I$ из (43) запишем $Y_1 = \frac{\omega_0}{p_1}$, тогда из выражения (59) найдём

$$Z_1 = \frac{\tilde{\Delta}_2 \omega_0}{\tilde{\Delta}_1 p_1} \quad (59)$$

Выполненные преобразования позволяют найти собственную частоту крутильных колебаний для двухмассовой системы. При этом амплитуду колебаний первой массы выберем из соотношений (47), (48), при этом частоту крутильных колебаний, а также частоту изменения продольного усилия примем равной p_I , формула (55).

Заметим, что двухмассовая крутильная система представляет собой длинный вал (с распределёнными параметрами) на концах которого закреплены две массы (рис.4). Фактически, помимо моментов инерции бурового инструмента и привода, присутствует момент инерции бурового става, который необходимо учитывать при решении уравнения частот.

Формула (55) даёт значения основной частоты, при этом к моментам инерции каждого диска (I_1 , I_2) необходимо добавить $\frac{1}{3}I_0$ момента инерции става от каждого диска до узла колебаний вала [6]

$$I'_1 = I_1 + \frac{I_0}{3} \frac{I_2}{I_1 + I_2}; \quad I'_2 = I_2 + \frac{I_0}{3} \frac{I_1}{I_1 + I_2} \quad (60)$$

Покажем возможность определения амплитуд при автоколебаниях. Для того преобразуем уравнение (28) с учётом крутящего момента ΔM_K (49) к виду:

$$A''_0(t) + \left[\frac{EI}{m} \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 - \frac{P_{\Pi 0}}{m} \frac{\pi^2}{l^2} - \frac{P_{\Pi 1}}{m} \frac{\pi^2}{l^2} \cos p_1 t \right] A_0(t) = - \frac{\pi^3}{ml^3} (M_{K0} + M_1 \frac{\omega_0}{p_1} e^{\frac{r_1}{2} t} \left(\frac{r_1}{2} \sin p_1 t + p_1 \cos p_1 t \right)) (a_1 \sin \frac{p_1}{2} t + b_1 \cos \frac{p_1}{2} t) \quad (61)$$

Обозначим

$$L(t) = (M_{K0} + M_1 \frac{\omega_0}{p_1} e^{\frac{r_1}{2} t} \left(\frac{r_1}{2} \sin p_1 t + p_1 \cos p_1 t \right)) (a_1 \sin \frac{p_1}{2} t + b_1 \cos \frac{p_1}{2} t) \quad (62)$$

Уравнение (61) является неоднородным дифференциальным уравнением с переменными коэффициентами. Для его решения воспользуемся решением однородного уравнения Матье по методу [1], а для решения неоднородного уравнения и построения общего решения применим метод вариации произвольных постоянных в форме [3].

Общее решение неоднородного дифференциального уравнения (62) представим в виде:



$$A(t) = a_1 \sin \frac{p_1}{2} t + b_1 \cos \frac{p_1}{2} t + A^*(t) \quad (63)$$

Первые два слагаемых представляют общее решение однородного дифференциального уравнения, где $\sin \frac{p_1}{2} t, \cos \frac{p_1}{2} t$ две линейно независимые функции, являющиеся частными решениями (24), а $A^*(t)$ частное решение неоднородного уравнения принимаем в виде

$$A^*(t) = a_1^*(t) \sin \frac{p_1}{2} t + b_1^*(t) \cos \frac{p_1}{2} t \quad (64)$$

В выражении (64) $a_1^*(t), b_1^*(t)$ – считаем некоторыми неизвестными функциями времени. $a_1^*(t), b_1^*(t)$ определяем на основании [7], используя метод вариации произвольных постоянных и обозначив правую часть уравнения (61) в виде функции $L(t)$, запишем:

$$\dot{a}_1^*(t) = \frac{\pi^3}{l^3 m} \frac{L(t) \cos \frac{p_1}{2} t}{[(\sin \frac{p_1}{2} t)' \cos \frac{p_1}{2} t - \sin \frac{p_1}{2} t (\cos \frac{p_1}{2} t)']}; \quad (65)$$

$$\dot{b}_1^*(t) = \frac{\pi^3}{l^3 m} \frac{(-L(t)) \sin \frac{p_1}{2} t}{(\sin \frac{p_1}{2} t)' \cos \frac{p_1}{2} t - \sin \frac{p_1}{2} t (\cos \frac{p_1}{2} t)'} \quad (66)$$

Введём обозначение:

$$\Delta(t) = \sin \frac{p_1}{2} t (\cos \frac{p_1}{2} t)' - \cos \frac{p_1}{2} t (\sin \frac{p_1}{2} t)' = -\frac{p_1}{2} = \Delta = const \quad (67)$$

Тогда частное решение $A^*(t)$ на основании [7] запишем в форме:

$$A^*(t) = \frac{\pi^3}{l^3 m \Delta} \int_0^t (\sin \frac{p_1}{2} \tau \cos \frac{p_1}{2} t - \cos \frac{p_1}{2} \tau \sin \frac{p_1}{2} t) L(t) d\tau \quad (68)$$

Рассмотрим отдельно левую и правую части подынтегрального выражения (68), выполним подстановку функции $L(t)$, преобразуем тригонометрические выражения (65), (66) к виду удобному для интегрирования запишем (69), (70), а затем выполним интегрирование по (τ) и запишем $\dot{a}_1^*(t), \dot{b}_1^*(t)$:

$$\begin{aligned} \dot{a}_1^*(t) = & -\frac{2}{p_1} \frac{\pi^3}{l^3 m} (M_0 \\ & + M_1 \omega_0 e^{\frac{r_1}{2} t} \left(\frac{r_1}{2 p_1} a_1 \sin p_1 t \cdot \sin \frac{p_1}{2} t + a_1 \cos p_1 t \cdot \sin \frac{p_1}{2} t + \frac{r_1}{2 p_1} b_1 \sin p_1 \right. \\ & \left. + b_1 \cos p_1 t \cdot \cos \frac{p_1}{2} t \right)) \cdot \cos \frac{p_1}{2} t \end{aligned} \quad (69)$$

$$\begin{aligned} \dot{b}_1^*(t) = & \frac{2}{p_1} \frac{\pi^3}{l^3 m} (M_0 \\ & + M_1 \omega_0 e^{\frac{r_1}{2} t} \left(\frac{r_1}{2 p_1} a_1 \sin p_1 t \cdot \sin \frac{p_1}{2} t + a_1 \cos p_1 t \cdot \sin \frac{p_1}{2} t + \frac{r_1}{2 p_1} b_1 \sin p_1 \right. \\ & \left. + b_1 \cos p_1 t \cdot \cos \frac{p_1}{2} t \right)) \cdot \sin \frac{p_1}{2} t \end{aligned} \quad (70)$$



После интегрирования (69) и (70) получим:

(71)

$$\begin{aligned}
 a_1^*(t) = & \frac{\pi^3}{l^3 m} \left(-\frac{4}{p_1^2} M_0 \cos^2 \frac{p_1}{2} t + M_1 \omega_0 \frac{r_1 a_1}{2 p_1} \cos \frac{p_1}{2} t \cdot \right. \\
 & \left[\left(\frac{e^{\frac{r_1}{2} t}}{\frac{r_1^2}{4} + p_1^2} \cdot \frac{r_1}{2} \sin p_1 t - p_1 \cos p_1 t \right) - \frac{e^{\frac{r_1}{2} t}}{4 \left(\frac{r_1^2}{4} + 4 p_1^2 \right)} \left(\frac{r_1}{2} \sin p_1 t - 2 p_1 \cos p_1 t \right) \right] \\
 & + M_1 \omega_0 a_1 \cos \frac{p_1}{2} t \left[\frac{e^{\frac{r_1}{2} t}}{\frac{r_1^2}{4} + p_1^2} \left(\frac{1}{2} \left(\frac{r_1}{2} \cos p_1 t + p_1 \sin p_1 t \right) \right) - \frac{2}{4 r_1} e^{\frac{r_1}{2} t} \right. \\
 & \left. - \frac{e^{\frac{r_1}{2} t}}{\frac{r_1^2}{4} + 4 p_1^2} \left(\frac{r_1}{2} \cos 2 p_1 t + 2 p_1 \sin 2 p_1 t \right) \right] \\
 & + M_1 \omega_0 b_1 \cos \frac{p_1}{2} t \left[e^{\frac{r_1}{2} t} \frac{1}{2 r_1} - \frac{e^{\frac{r_1}{2} t}}{\frac{r_1^2}{4} + 4 p_1^2} \cdot \frac{1}{4} \left(\frac{r_1}{2} \cos 2 p_1 t + 2 p_1 \sin 2 p_1 t \right) \right] \\
 & + M_1 \omega_0 b_1 \cos \frac{p_1}{2} t \left[\frac{e^{\frac{r_1}{2} t}}{\frac{r_1^2}{4} + 4 p_1^2} \left(\frac{r_1}{2} \cos 2 p_1 t + 2 p_1 \sin 2 p_1 t \right) \right] + \frac{4}{p_1^2} M_0 \cos \frac{p_1}{2} t \\
 & + \frac{M_1 a_1}{2 p_1} \omega_0 \cos \frac{p_1}{2} t \frac{p_1}{\frac{r_1^2}{4} + p_1^2} \\
 & - M_1 a_1 \omega_0 \cos \frac{p_1}{2} t + M_1 a_1 \omega_0 \cos \frac{p_1}{2} t \cdot \frac{r_1}{4 \left(\frac{r_1^2}{4} + p_1^2 \right)} - \frac{M_1 a_1}{2 r_1} \omega_0 \cos \frac{p_1}{2} t \\
 & + M_1 a_1 \omega_0 \cos \frac{p_1}{2} t \frac{r_1}{2 \left(\frac{r_1^2}{4} + 4 p_1^2 \right)} + \frac{M_1 b_1}{2 r_1} \omega_0 \cos \frac{p_1}{2} t + M_1 b_1 \omega_0 \cos \frac{p_1}{2} t \frac{r_1}{8 \left(\frac{r_1^2}{4} + p_1^2 \right)} \\
 & + M_1 b_1 \omega_0 \cos \frac{p_1}{2} t \frac{r_1}{2 \left(\frac{r_1^2}{4} + 4 p_1^2 \right)}
 \end{aligned}$$

(72)

$$b_1^*(t) = \frac{\pi^3}{l^3 m p_1^2} M_0 \sin^2 \frac{p_1}{2} t + M_1 \omega_0 \frac{r_1}{2} \frac{a_1}{4 p_1}$$



$$\begin{aligned}
 & \left[\frac{2}{r_1} e^{\frac{r_1}{2}t} - \frac{e^{\frac{r_1}{2}t}}{\frac{r_1^2}{4} + 4p_1^2} \left(\frac{r_1}{2} \cos 2p_1 t + 2p_1 \sin 2p_1 t \right) \right] \sin \frac{p_1 t}{2} \\
 & + \frac{M_1 \alpha_1 \omega_0}{4} \frac{e^{\frac{r_1}{2}t}}{\frac{r_1^2}{4} + 4p_1^2} \left(\frac{r_1}{2} \sin 2p_1 t - 2p_1 \cos 2p_1 t \right) \sin \frac{p_1 t}{2} + M_1 \omega_0 \frac{r_1}{2p_1} b_1 \left[\frac{1}{2} \frac{e^{\frac{r_1}{2}t}}{\frac{r_1^2}{4} + p_1^2} \left(\frac{r_1}{2} \sin p_1 t - p_1 \cos p_1 t \right) \right. \\
 & \left. + \frac{1}{4} \frac{e^{\frac{r_1}{2}t}}{\frac{r_1^2}{4} + 4p_1^2} \left(\frac{r_1}{2} \sin 2p_1 t - 2p_1 \cos 2p_1 t \right) \right] \sin \frac{p_1 t}{2} \\
 & + M_1 \omega_0 b_1 \left[\frac{1}{2} \frac{e^{\frac{r_1}{2}t}}{\frac{r_1^2}{4} + p_1^2} \left(\frac{r_1}{2} \cos p_1 t + p_1 \sin p_1 t \right) + \frac{1}{4} \frac{e^{\frac{r_1}{2}t}}{\frac{r_1^2}{4} + 4p_1^2} \left(\frac{r_1}{2} \cos 2p_1 t + 2p_1 \sin 2p_1 t \right) \right] \sin \frac{p_1 t}{2} \\
 & + M_1 \omega_0 \alpha_1 \frac{r_1}{8p_1} \left[\frac{2}{r_1} - \frac{r_1}{2 \left(\frac{r_1^2}{4} + p_1^2 \right)} \right] \sin \frac{p_1 t}{2} + \frac{M_1 \omega_0}{4} \frac{(-2p_1)}{\frac{r_1^2}{4} + 4p_1^2} \cdot \sin \frac{p_1 t}{2} \\
 & + M_1 \omega_0 \frac{r_1}{2p_1} b_1 \left[\frac{1}{2} \frac{(-p_1)}{\frac{r_1^2}{4} + p_1^2} + \frac{1}{4} \cdot \frac{(-2p_1)}{\frac{r_1^2}{4} + 4p_1^2} \right] \sin \frac{p_1 t}{2} + M_1 \omega_0 b_1 \left(\frac{r_1}{4} \frac{1}{\frac{r_1^2}{4} + p_1^2} + \frac{r_1}{8} \frac{1}{\frac{r_1^2}{4} + 4p_1^2} \right) \sin \frac{p_1 t}{2}
 \end{aligned}$$

В структуре решения (63) дифференциального уравнения (61) для общего решения однородного уравнения амплитуды колебаний a_1 , (b_1) прямопропорциональны квадрату длины става (l^2), квадрату возмущающей частоты (p_1^2), соответствующей квадрату частоты собственных колебаний, погонной массы става (m) и обратно пропорциональны амплитуде изменения продольной нагрузки (P_{II}). Из анализа частного решения уравнения (64) для $A^*(t)$ следует, что амплитуды колебаний пропорциональны экспоненте в степени равной тангенсу угла наклона характеристики момента трения в области ниспадающего участка, что характерно при учёте только коэффициента характеристики трения M_1 , если же учесть в решении нелинейные слагаемые с коэффициентами M_2 и M_3 , то раскачка колебаний будет иметь ограниченный характер [5]. Кроме того, как следует из частного решения, амплитуды колебаний будут пропорциональны угловой частоте вращения става ω_0 , и коэффициенту M_1 , а также обратно пропорциональны квадрату возмущающей частоты $\frac{1}{p_1^2}$, которая является частотой собственных колебаний крутильной системы.

Форма дифференциального уравнения (61) и его решения (63) позволяют сделать вывод о возникновении и поддержании автоколебательных процессов в буровом стае за счёт нестационарного трения между буровым инструментом и породой. Установлено, что процесс раскачки крутильных колебаний става приводит к развитию продольных и поперечных колебаний. В дальнейшем, основываясь на факте существования устойчивых автоколебательных процессов бурового става естественного предположить, что вид этих колебаний



является квазигармоническим, поэтому на основании решения (49) определяем амплитуду этих колебаний.

Переменная часть выражения (63) является нарастающей функцией так как мы её рассматриваем на ниспадающей ветви характеристики трения.

В действительности в силу того, что начинает проявляться влияние коэффициентов характеристики трения M_2 и M_3 амплитуды колебаний не достигают бесконечных значений, а будут ограниченными. Поэтому в соответствии с выражением (49) определим начальную амплитуду колебаний угловой скорости в следующем виде:

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0}{p_1} \sqrt{\frac{r^2}{4} + p_1^2} \quad (73)$$

Если исходить из квазигармонического протекания автоколебаний, то закон изменения угловой скорости бурового инструмента приобретает вид:

$$\Delta\dot{\phi}_1(t) = \Delta\omega \sin(p_1 t + \alpha_1), \quad (74)$$

где $\alpha_1 = \frac{2p_1}{r_1}$ – начальная фаза колебаний.

Выражение (74) можно представить в виде:

$$\Delta\dot{\phi}_1(t) = \Delta\omega \cos(p_1 t + \alpha_1 - \frac{\pi}{2}) \quad (75)$$

Начальная фаза колебаний для длительных колебательных процессов не существенна, поэтому выражение для крутящего момента может быть принято в виде $M_K(t) = M_{K0} + M_1 \Delta\omega \cos p_1 t$ так же, как в выражениях (23).

Обратимся к неоднородному дифференциальному уравнению (61) (с правой частью), будем считать, что процесс протекания автоколебаний является установившимся и крутящий момент, приложенный к буровому инструменту изменяется по закону:

$$M_K = M_{K0} + M_1 \Delta\omega \cos p_1 t \quad (76)$$

Тогда в уравнении (61) функция $L(t)$ будет иметь другой вид.

Для решения уравнения (61) по аналогии с (62) запишем выражение для функции $L(t)$ с учётом выражения (76):

$$\bar{L}(t) = (M_{K0} + M_1 \Delta\omega \cos p_1 t) (a_1 \sin \frac{p_1}{2} t + b_1 \cos \frac{p_1}{2} t) \quad (77)$$

Тогда согласно [7] частное решение уравнения (61) с правой частью (77) определим по формуле:

$$\bar{A}^*(t) = \frac{\pi^3}{l^3 m \Delta} \int_0^t (\sin \frac{p_1}{2} \tau \cdot \cos \frac{p_1}{2} t - \cos \frac{p_1}{2} \tau \cdot \sin \frac{p_1}{2} t) \bar{L}(\tau) d\tau \quad (78)$$



$$\begin{aligned} \overline{A^*}(t) = & \frac{\pi^3}{l^3 m \Delta} \cos \frac{p_1}{2} t \int_0^t \left[M_{K0} a_1 \sin^2 \frac{p_1}{2} \tau + M_1 a_1 \Delta \omega \cos p_1 \tau \cdot \sin^2 \frac{p_1}{2} \tau + \right. \\ & \left. M_{K0} b_1 \cos \frac{p_1}{2} \tau \cdot \sin \frac{p_1}{2} \tau + M_1 b_1 \Delta \omega \cos p_1 \tau \cdot \cos \frac{p_1}{2} \tau \cdot \sin \frac{p_1}{2} \tau \right] - \\ & \frac{\pi^3}{l^3 m \Delta} \sin \frac{p_1}{2} t \int_0^t \left[M_{K0} a_1 \sin^2 \frac{p_1}{2} \tau + M_1 a_1 \Delta \omega \cos p_1 \tau \cdot \sin \frac{p_1}{2} \tau \cdot \cos \frac{p_1}{2} \tau + \right. \\ & \left. M_{K0} b_1 \cos^2 \frac{p_1}{2} \tau + M_1 b_1 \Delta \omega \cos p_1 \tau \cdot \cos^2 \frac{p_1}{2} \tau \right] d\tau = \frac{\pi^3}{l^3 m \Delta} \cos \frac{p_1}{2} t \left[M_{K0} a_1 \left(\frac{t}{2} - \right. \right. \\ & \left. \left. \frac{1}{2p_1} \sin p_1 t \right) + M_1 a_1 \Delta \omega \left(\frac{1}{2p_1} \sin p_1 t - \frac{1}{2} t + \frac{1}{4p_1} \sin 2p_1 t \right) + M_{K0} b_1 \frac{1}{2} \sin \frac{p_1}{2} t + \right. \\ & \left. M_1 b_1 \Delta \omega \frac{1}{8p_1} (1 - \cos 2p_1 t) \right] - \frac{\pi^3}{l^3 m \Delta} \cos \frac{p_1}{2} t \left(M_{K0} a_1 \left(\frac{t}{2} - \frac{1}{2p_1} \sin p_1 t \right) + \right. \\ & \left. M_1 a_1 \Delta \omega \frac{1}{8p_1} (1 - \cos 2p_1 t) + M_1 b_1 \Delta \omega \left(\frac{1}{2} \sin p_1 t + \frac{1}{2} t + \frac{1}{4p_1} \sin 2p_1 t + \right. \right. \\ & \left. \left. M_{K0} b_1 \left(\frac{t}{2} - \frac{1}{2p_1} \sin p_1 t \right) \right) \right) \end{aligned}$$

где $\Delta = -\frac{p_1}{2} = \text{const}$, формула (67)

Общее решение неоднородного уравнения (61) для установившихся квазигармонических колебаний получили в виде (63) с учётом частного решения (78) $\overline{A^*}(t)$ и выражения (76) для крутящего момента M_{K0} .

В ряде случаев бурения скважин карьерными станками шарошечного бурения, так как и при бурении скважин вращательно-ударным способом (станки типа НКР) целесообразно использовать пневмоударный механизм, который при правильном выборе его параметров, позволит при прочих равных условиях производить более эффективное бурение скважин (рис. 6). Основная идея интенсификации бурения с помощью пневмоудара состоит в том, что импульсное воздействие механизма на породу должно передаваться непосредственно на забой, а не на став штанг. Механизм такой передачи импульсного усилия на обрабатываемый объект проиллюстрирован в источнике [8]. Из чисто физических соображений при передаче усилий в случае механической обработки металлов, мы проведём аналогию между ударным воздействием вибратора на станину и воздействием пневмоударника на рудный массив. Если собственная частота колебаний станины (в нашем случае бурового става) превышает частоту наложенных вибраций $\omega_{\Pi} > \omega$, то станина (стойка или буровой став) будет воспринимать нагрузку от усилия прижатия, включающую статическую и динамическую составляющую. При этом динамическая составляющая будет расходоваться на дополнительные колебания и разогрев конструкции (в нашем случае става). Если же будет иметь место неравенство $\omega_{\Pi} < \omega$, то статическая нагрузка будет передаваться только на став, а динамическая – от пневмоударника на забой.

В этом состоит эффект вибрационного бурения. Условие эффективного



бурения с пневмоударником для бурового станка шарошечного бурения будет иметь вид:

$$\Omega < p_0 = 2\pi\rho_0, \quad (79)$$

где Ω – собственная частота поперечных колебаний бурового става при поперечном изгибе с учётом усилия прижатия P_{Π} (статического);

p_0 – круговая частота наложенных вибраций (частота колебаний пневмоударника);

ρ_0 – линейная частота колебаний пневмоударника.

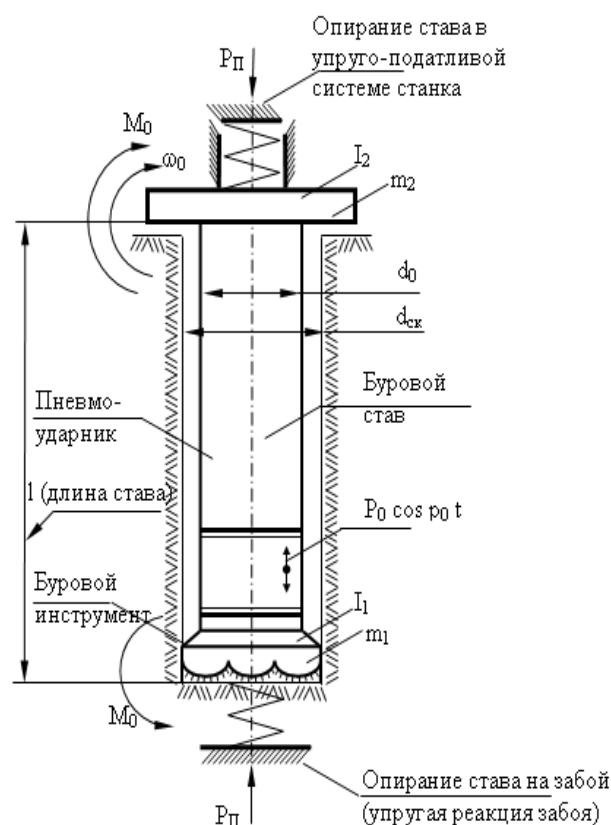


Рис. 6 Расчётная схема бурового става при бурении с наложенными вибрациями:

m_1, I_1 – масса и момент инерции бурового инструмента; m_2, I_2 – масса и момент инерции (приведённая) ротора двигателя вращателя; ω_0 – угловая скорость вращения става; P_{Π}, p_0 – усилие и частота ударов пневмоударника.

Для описания вынужденных колебаний бурового става, оборудованного пневмоударником, используем подход, применённый в [1], с учётом того, что став имеет начальную неправильность, нагружен постоянной составляющей усилия подачи $P_{\Pi 0}$ и совершает вынужденные колебания в соответствии с характеристикой работы пневмоударника, согласно закона:

$$P_{\Pi y} = P_{\Pi y 0} + P_{\Pi y 1} \cos p_0 t \quad (80)$$

При составлении уравнений движения става при колебаниях става будем исходить из того, что став совершает перемещения в двух плоскостях, так как в



системе (21) с учётом собственных форм колебаний (22) и системе уравнений (23) для описания процессов, протекающих во времени, только без учёта связанности с крутильными колебаниями (21). В нашем случае вынужденные колебания в системе обусловлены продольной силой, приложенной в одной плоскости с осью става и наибольшим прогибом става, при этом эксцентриситет $e=a$. Другими словами при вращении бурового става проекция эксцентриситета бурового става на ось ОУ (плоскость ХОУ) изменяется по закону:

$$a(t)=a_0\cos\omega_0t,$$

где a_0 – абсолютное значение эксцентриситета при смещении бурового инструмента в забое;

ω_0 – угловая частота вращения става как сплошного стержня, тогда время поворота става на угол $\frac{\pi}{2}$ составит

$$t_* = \frac{\pi}{2\omega_0}. \quad (81)$$

Составим дифференциальное уравнение динамической продольной устойчивости сжатого и скручиваемого стержня, и нагруженного пульсирующей нагрузкой от пневмоударника.

При этом учитываем, что сжатый стержень (буровой став), набранный из нескольких состыкованных бурильных труб имеет начальную неправильность (V_0). Запишем это уравнение по аналогии с (1):

$$EI \frac{\partial^4 V}{\partial x^4} + (P_{пв0} + P_{пв1} \cos p_0 t) \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = -(P_{пв0} + P_{пв1} \cos p_0 t). \quad (82)$$

В приведённом уравнении (82) под величиной p_0 понимаем частоту колебаний поршня пневмоударника, подобранную в соответствии с условием (79). Отметим, что продольная нагрузка на буровой инструмент $P_{пу} = P_{пу0} + P_{пу1} \cos p_0 t$ не вызывает в ставе потери динамической продольной устойчивости.

Аналогичное дифференциальное уравнение можно кроме плоскости ХОУ записать и для плоскости ХОZ. Если записывать такое уравнение, то в него войдёт начальная «неправильность» (W_0), которая выбирается так как и V_0 . Так же остановимся на предположении, что динамически неустойчивые состояния наблюдаются в ставе до потери им упругой устойчивости, поэтому представим функции $V(x,t)$, $W(x,t)$ в виде (22).

Если подставить в уравнение (82) вместо функции $V(x,t)$ функцию $W(x,t)$, то получим аналог (82) в виде (83):

$$EI \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + (P_{пв0} + P_{пв1} \cos p_0 t) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + m \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = -(P_{пв0} + P_{пв1} \cos p_0 t). \quad (83)$$



Подставляя $V(x, t) = A(t) \sin \frac{\pi}{l} x$ и $W(x, t) = B(t) \sin \frac{\pi}{l} x$ в уравнения (82), (83) получим два идентичных уравнения относительно функций $A(t)$, $B(t)$, при этом $V_0(0, x) = A(0) \sin \frac{\pi}{l} x$; $W_0(0, x) = B(0) \sin \frac{\pi}{l} x$.

Учитывая эксцентриситет приложения нагрузки к инструменту става $e \equiv a$, тогда эквивалентная кривизна (начальная «неправильность») става:

$$\max V_0 = \max W_0 = \frac{4a}{\pi} \quad (84)$$

В таком случае дифференциальное уравнение относительно функций $A(t)$ (или $B(t)$) получим в виде:

$$A'' + \Omega^2(1 - 2\mu \cos p_0 t) = \frac{\omega_1^2 4a}{\pi P_*} (P_{\text{пв}0} + P_{\text{пв}1} \cos p_0 t) \quad (85)$$

Уравнение (85) записано для плоскости XOY, если уравнение необходимо представить относительно любой другой плоскости, проходящей через вертикальную ось OX, то следует учесть выражение для проекции эквивалентной кривизны $e \equiv a$, проведённой через произвольную плоскость проходящую через ось OX, тогда выражение для проекции эквивалентной кривизны става имеет вид:

$$V = \max V_0 \cos \omega_1 t = \frac{4a}{\pi} \cos \omega_1 t, \quad (86)$$

где ω_1 – первая собственная частота поперечных колебаний става (без нагрузки).

Тогда дифференциальное уравнение (85) может быть записано для любой оси, расположенной в плоскости YOZ в следующем виде:

$$A'' + \Omega^2(1 - 2\mu \cos p_0 t) = \frac{4}{\pi} \frac{\omega_1^2}{P_*} a_0 \cos \omega_1 t (P_{\text{пв}0} + P_{\text{пв}1} \cos p_0 t) \quad (87)$$

Таким образом мы получим общее выражение динамической (временной) части перемещения става от действия дополнительного пневмоударника.

В приведённых выражениях:

P_* – критическая сила по Эйлеру; $\mu = \frac{P_{\text{пв}1}}{2P_* - P_{\text{пв}0}}$ – коэффициент возбуждения нагрузки; $n = \frac{P_{\text{пв}0}}{\Omega}$, $\bar{\Delta} = \frac{2\pi\varepsilon}{\Omega}$ – коэффициенты влияния; ε – коэффициент линейного затухания в системе.

Запишем гармоническое приближённое решение (87) в виде:

$$A(t) = b_0 + a_2 \sin p_0 t + b_2 \cos p_0 t \quad (88)$$

Считаем, что нелинейность уравнения (87) слабо выражена, а коэффициенты b_0 , a_2 , b_2 приняты по первому приближению [1].

Тогда:



$$b_0 = \frac{4a_0}{\pi} \frac{P_{\text{пв0}}}{(P_* - P_{\text{пв0}})} + \frac{1 - n^2}{(1 - n^2)(1 - n^2 - 2\mu^2) + (\frac{n\bar{\Delta}}{\pi})^2} \cdot \frac{2\mu^2}{1 - \frac{P_{\text{пв0}}}{P_*}} \frac{4a_0}{\pi} \quad (89)$$

$$a_2 = \frac{\frac{n\bar{\Delta}}{\pi}}{(1 - n^2)(1 - n^2 - 2\mu^2) + (\frac{n\bar{\Delta}}{\pi})^2} \cdot \frac{2\mu}{1 - \frac{P_{\text{пв0}}}{P_*}} \frac{4a_0}{\pi} \quad (90)$$

$$b_2 = \frac{1 - n^2}{(1 - n^2)(1 - n^2 - 2\mu^2) + (\frac{n\bar{\Delta}}{\pi})^2} \cdot \frac{2\mu}{1 - \frac{P_{\text{пв0}}}{P_*}} \frac{4a_0}{\pi} \quad (91)$$

Полученное решение уравнение (88) записано с учётом постоянного значения эксцентриситета приложения усилия подачи $e=a_0$. Фактически в результате вращения става, точка эксцентрично приложенной нагрузки меняет своё положение относительно выбранной горизонтальной оси (например, OY), что отражено в дифференциальном уравнении (87) сомножителем $\cos\omega_0 t$. При достижении углом $\omega_0 t$ значение $\frac{\pi}{2} (\omega_0 t = \frac{\pi}{2})$ правая часть (87) обращается в ноль и уравнение становится однородным. Тогда решение (87) без правой части будет иметь вид:

$$\bar{A}(t) = \bar{a}_2 \sin \frac{p_0}{2} t + \bar{b}_2 \cos \frac{p_0}{2} t, \quad (92)$$

где:

$$\begin{aligned} \bar{a}_2 &= -\frac{1}{\mu} \left(1 + \mu - \frac{p_0^2}{4\Omega^2} \right) \approx \frac{l^2 m p_0^2}{2\pi^2 P_{\text{пв1}}} - 1; \\ \bar{b}_2 &= -\frac{1}{\mu} \left(1 - \mu - \frac{p_0^2}{4\Omega^2} \right) \approx \frac{l^2 m p_0^2}{2\pi^2 P_{\text{пв1}}} + 1 \end{aligned} \quad (93)$$

Таким образом, мы рассмотрели вынужденные и параметрические колебания при взаимодействии бурового инструмента с забоем для случая применения дополнительного пневмоударника.

Если рассматривать уравнение (87) с учётом влияния угловой скорости вращения бурового става, то решение его необходимо производить, используя метод вариации произвольных постоянных [3]. В этом случае даже в решении по первому приближению громоздкость выкладок существенно возрастает. Поэтому ограничимся в решении уравнений результатами вида (88), (92). Дополнительно отметим, что важным условием эффективности разрушения породы при бурении будет выполнение условия (79).

Обращаясь к выражению (88) для функции $A(t)$ запишем его в виде:

$$A(t) = b_0 + A_2 \sin(p_0 t + \alpha), \quad (94)$$

где A_2 – амплитуда колебаний бурового инструмента под действием пневмоударника если эксцентриситет приложения нагрузки $e=a$.



$$A_2 = \frac{2\mu}{1 - \frac{P_{\text{пв0}}}{P_*}} \cdot \frac{4\alpha}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{1 - 2n^2 + n^4 + \frac{n^2 \bar{\Delta}^2}{\pi^2}}}{(1 - n^2)(1 - n^2 - 2\mu^2) + (\frac{n\bar{\Delta}}{\pi})^2}$$

$$\alpha = \frac{b_2}{a_2} = \frac{\pi(1 - n^2)}{n\bar{\Delta}} - \text{начальная фаза колебаний пневмоударника.}$$

При повороте бурового става на угол $\omega_0 t = \frac{\pi}{2}$ амплитуду колебаний пневмоударника будем определять из соотношений (93), а решение укороченного уравнения (87) будет иметь вид:

$$\bar{A}(t) = \bar{a}_2 \sin \frac{p_0}{2} t + \bar{b}_2 \cos \frac{p_0}{2} t = \bar{A}_2 \sin \left(\frac{p_0 t}{2} + \alpha_1 \right), \quad (95)$$

где $\bar{A}_2 = \sqrt{\left(\frac{l^2 m p_0^2}{2\pi^2 P_{\text{пв1}}} \right)^2 + 2}$ – амплитуда колебаний пневмоударника и инструмента;

$\alpha_1 = \frac{l^2 m p_0^2 + 2\pi^2 P_{\text{пв1}}}{l^2 m p_0^2 - 2\pi^2 P_{\text{пв1}}}$ – начальная фаза колебаний пневмоударника и инструмента.

После определения амплитуд колебаний $A_2, \bar{A}_2$ прогибы бурового става в двух плоскостях определяем по формулам (22):

$$\begin{cases} V_2(x, t) = A_2(t) \sin \frac{\pi}{l} x \\ W_2(x, t) = B_2(t) \cos \frac{\pi}{l} x \end{cases} \quad (96)$$

и

$$\begin{cases} \bar{V}_2(x, t) = \bar{A}_2(t) \sin \frac{\pi}{l} x \\ \bar{W}_2(x, t) = \bar{B}_2(t) \cos \frac{\pi}{l} x \end{cases} \quad (97)$$

Определим области неустойчивости для параметрических продольно-поперечных колебаниях става в соответствии с системой уравнений (23) и уравнениями (82), (83), (85), (87). Области неограниченно возрастающих решений отделяются от областей устойчивых решений периодическими решениями T и $2T$ [1]. Иначе два решения одинакового периода ограничивают область неустойчивости, а два решения разных периодов ограничивают область устойчивости. При этом параметрический резонанс возникает, когда на одно поперечное перемещение става приходится два продольных смещения свободного конца става у забоя. Для параметрического резонанса необходимо, чтобы сила, приложенная к концу става (продольная) имела частоту 2Ω . Иначе резонансная частота будет равна [1]:

$$\Theta_* = \frac{2\Omega}{k} \quad (98)$$

Тогда решения с периодом $2T$ лежат попарно вблизи частоты при $k = 1, 3, 5, \dots$, а решения с периодом T лежат попарно вблизи частоты $k = 2, 4, 6, \dots$



Формула даёт соотношение между частотой «внешнего» момента от крутильных колебаний, система (23) и частотой собственных колебаний става, вблизи этих соотношений располагаются области динамической неустойчивости става (длинного вала). В соответствии с номером $k=1,2,3, 4, 5\dots$, различают первую, вторую, третью и так далее области неустойчивости.

Область неустойчивости $\Theta_* = 2\Omega$ называют главной областью динамической неустойчивости. Для станков с пневмоударниками, уравнения (82), (83) возможно совпадение $p_0 \approx \Theta_*$. С целью определения границ главной области неустойчивости в источнике [1] рекомендована формула:

$$\Theta_* = 2\Omega\sqrt{1 \pm \mu} \quad (99)$$

Кроме того, для определения границ первой области неустойчивости сопоставимые результаты позволяет получить формула Н.М. Беляева:

$$\Theta_* = 2\Omega(1 \pm \mu) \quad (100)$$

Отметим, что формула (99) фактически совпадает с точностью до коэффициента возбуждения нагрузки μ с коэффициентами a_1, b_1 выражений (26), (27) и коэффициентами a_2, b_2 выражения (93).

В источнике [1] определена зависимость, по которой можно вычислить критическое значение коэффициента возбуждения нагрузки для первой области неустойчивости:

$$\mu_{*1} = \frac{\bar{\Delta}}{\pi} \quad (101)$$

где $\Delta=0,005 \div 0,05$ – декремент затухания нагрузки.

Если $\mu \leq \mu_{*1}$ – то будет невозможным возбуждение колебаний.

В случае необходимости определения области неустойчивости колебаний для индекса k , имеет место формула:

$$\mu_{*k} = \sqrt[k]{\frac{\Delta}{\pi}} \quad (102)$$

Как следует из [1] наиболее опасной и наиболее вероятной является первая область неустойчивости.

Помимо области неустойчивости при продольно-поперечных колебаниях става, вызванных продольной нагрузкой P_{II} , возможно возбуждение поперечных колебаний става в двух плоскостях, обусловленных начальной неправильностью бурильных труб, а также пространственным изгибом става в двух плоскостях под действием поля центробежных сил, в состоянии предшествующем потере продольной устойчивости, когда частота вращения става совпадает с одной из собственных частот его поперечных колебаний. Тогда прогибы става в каждой из плоскостей можно представить в виде:



$$V(x) = b_1 V_1(x) + b_2 V_2(x) + b_3 V_3(x) + \dots \quad (103)$$

$$W(x) = d_1 W_1(x) + d_2 W_2(x) + d_3 W_3(x) + \dots \quad (104)$$

где $V_1(x), V_2(x), V_3(x), W_1(x), W_2(x), W_3(x) \dots$ - собственные формы колебаний бурового става, соответствующие критическим значениям продольной силы по Эйлеру $P_{*1}, P_{*2}, P_{*3}, \dots$

Коэффициенты выражений $b_1, b_2, b_3, d_1, d_2, d_3$ – определяем из условия, что при вращении буровой став последовательно проходит зоны, которые соответствуют собственным частотам колебаний вала, тогда основываясь на данных [9] запишем выражения (103), (104) в виде:

$$V(x) = \frac{V_1(x)}{1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega_1^2}} + \frac{V_2(x)}{1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega_2^2}} + \frac{V_3(x)}{1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega_3^2}} + \dots + \quad (105)$$

$$W(x) = \frac{W_1(x)}{1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega_1^2}} + \frac{W_2(x)}{1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega_2^2}} + \frac{W_3(x)}{1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega_3^2}} + \dots + \quad (106)$$

При определении выражений для собственных форм $V_1(x), V_2(x), V_3(x), W_1(x), W_2(x), W_3(x)$ будем исходить из формул для перемещений $V(x), W(x)$. Непосредственно разложить выражения (11) по формам колебаний пока не удаётся. Предварительно преобразуем выражения в скобках, а также формулы, содержащие Δ_1, Δ_2 . Обратимся к выражениям (6), тогда запишем:

$$\frac{r_1 + r_2}{2} = -\frac{k}{2} \text{ и } \frac{r_1 r_2}{2} \sqrt{\frac{k^2}{4} + s^2} \quad (107)$$

Перейдём от коэффициентов k, r_1, r_2, s к исходным силовым факторам:

$$\frac{k^2}{4} = \frac{M_K^2}{4(EI)^2}; \quad \sqrt{\frac{k^2}{4} + s^2} = \sqrt{\frac{M_K^2}{4(EI)^2} + \frac{P_{\Pi}}{EI}} \quad (108)$$

Рассмотрим силовое взаимодействие бурового инструмента с породой при бурении.

Для бурения горной породы вращательным методом необходимо создать вращающий момент на ставе таким, который будет превышать момент сопротивления породы разрушению. Этот момент создаётся за счёт реализации в буровом ставе соответствующего усилия подачи P_{Π} . Такое представление позволяет связать перемещения $V(x), W(x)$ только с усилием подачи.

Поэтому учтём, что момент сопротивления при внедрении инструмента в породу, обусловлен усилием подачи и сопротивлением породы разрушению на контакте преодоления сопротивления внедрению зубцов и проворачиванию шарошек при забурировании их в горный массив. Момент сопротивления на инструменте укрупнённо может быть представлен в виде:



$$M_K = fRP_{\Pi}, \quad (109)$$

где f – коэффициент сцепления бурового инструмента с забоем;

R – приведённый радиус приложения продольной нагрузки к забою (плечо приложения равнодействующей продольной нагрузки);

P_{Π} – усилие прижатия бурового става к забою.

С учётом (109) будем иметь:

$$\frac{r_1 + r_2}{2} = -\frac{M_K}{2EI} = -\frac{fRP_{\Pi}}{2EI}; \quad \frac{r_1 - r_2}{2} = \sqrt{\left(\frac{fRP_{\Pi}}{2EI}\right)^2 + \frac{P_{\Pi}}{EI}} \quad (110)$$

Таким образом, мы выразим параметры функции поперечных перемещений става только через один силовой фактор – P_{Π} , тогда поперечные перемещения можно представить в виде:

$$\begin{aligned} V(x) &= a \frac{\Delta_1}{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} 2 \cos \frac{K}{2} x \cdot \sin \sqrt{\left(\frac{K^2}{4} + S^2\right)} x + a \frac{\Delta_2}{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} 2 \sin \frac{K}{2} x \cdot \sin \sqrt{\frac{K^2}{4} + \rho^2} x \quad (111) \\ &= 2 \frac{\Delta_1}{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} - \sin \sqrt{\left(\frac{K^2}{4} + S^2\right)} x \left[\Delta_1 \cos \frac{K}{2} x + \Delta_2 \sin \frac{K}{2} x \right] \\ &= \frac{2a}{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} \sin \sqrt{\left[\left(\frac{fRP_{\Pi}}{2EI}\right)^2 + \frac{P_{\Pi}}{EI}\right]} x \cdot \left(\Delta_2 \sin \frac{fRP_{\Pi}}{2EI} x + \Delta_1 \cos \frac{fRP_{\Pi}}{2EI} x \right) \end{aligned}$$

Аналогично запишем:

$$W(x) = \frac{2a}{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} \sin \sqrt{\left[\left(\frac{fRP_{\Pi}}{2EI}\right)^2 + \frac{P_{\Pi}}{EI}\right]} x \cdot \left(\Delta_2 \cos \frac{fRP_{\Pi}}{2EI} x - \Delta_1 \sin \frac{fRP_{\Pi}}{2EI} x \right) \quad (112)$$

Для выражений $V_1(x)$, $W_1(x)$ необходимо в формулы (110), (111) подставить вместо P_{Π} значение близкое к первой критической силе по Эйлеру $P_{\Pi 1}$, тогда отношение $\frac{\omega_0}{\Omega_1}$ – становится близким к единице и перемещения $V(x)$, $W(x)$ резко возрастут, то есть при вращении става будет иметь место первая критическая скорость ω_{10} .

Для получения выражений $V_2(x)$, $W_2(x)$ в формулы (111), (112) необходимо подставить вместо P_{Π} значение близкое ко второй критической силе по Эйлеру P_{*2} , тогда отношение $\frac{\omega_0}{\Omega_2}$ резко возрастает, и при вращении става реализуется вторая критическая скорость ω_{20} .

Однако механизм подачи станка имеет ограниченный ресурс мощности, то возникновение в механизме подачи критической силы P_{*2} маловероятно. Ещё менее вероятно развитие в буровом става третьей критической силы, поэтому в выражениях (111), (112) вклад первой формы будет наиболее существенной. Рассматривая выражения (111), (112) видно, что вклад первого слагаемого наиболее значителен, и по мере увеличения номера слагаемого его вклад в



величину перемещения заметно снижается. При определении значений Δ_1, Δ_2 воспользуемся формулами:

$$\Delta_1 = \sin r_1 l - \sin r_2 l = 2 \cos \frac{K}{2} l \cdot \sin \sqrt{\frac{K^2}{4} + s^2 l} = 2 \cos \frac{M_K}{2EI} l \cdot \sin \sqrt{\left(\frac{M_K}{2EI}\right)^2 + s^2 l} \quad (113)$$

$$\Delta_2 = \cos r_1 l - \cos r_2 l = 2 \sin \frac{K}{2} l \cdot \sin \sqrt{\frac{K^2}{4} + s^2 l} = 2 \sin \frac{M_K}{2EI} l \cdot \sin \sqrt{\left(\frac{M_K}{2EI}\right)^2 + s^2 l} \quad (114)$$

Вычисляя (111), (112) для каждой формы $V_1(x), V_2(x), V_3(x), W_1(x), W_2(x), W_3(x)$ – подставляем свои значения P_{II} и M_K .

Коэффициенты в выражениях (103), (104) приняты равными:

$$b_1 = d_1 = \frac{1}{1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega_1^2}}; b_2 = d_2 = \frac{1}{1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega_2^2}}; b_3 = d_3 = \frac{1}{1 - \frac{\omega_0^2}{\Omega_3^2}}; \dots \quad (115)$$

В выражениях (115) $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \dots$ соответственно первая, вторая, третья и последующие частоты изгибных колебаний става, нагруженного продольной силой; ω_0 – частота вращения бурового става, которая при работе станка может изменяться в диапазоне от 0 до 60 об/мин (в ряде случаев до 150 об/мин).

Выводы.

1. В работе установлено, что под действием на буровой став постоянных крутящего момента и продольного усилия подачи буровой став деформируется по винтовой линии, при этом в процессе бурения на постоянные крутящий момент в усилие подачи накладываются динамические составляющие.

2. Установлено, что источником возникновения динамических состояний вращающегося бурового става является переменное трение между горной породой и инструментом, а также изменение потенциальной энергии податливого бурового става при его закручивании и раскручивании. При закручивании става потенциальная энергия накапливается, а при раскручивании – высвобождается. В этом случае длина става начинает увеличиваться и на это перемещение накладывается работа усилия подачи и происходит удар инструмента о забой.

Крутильный колебательный процесс вызывает продольные периодические перемещения конца става, которые приводят к совместным продольным и изгибным колебаниям всей бурильной колонны.

3. Получены системы дифференциальных уравнений, описывающие совместные изгибно-продольные колебания става, вызванные крутильными вибрациями, возникающими при контакте бурового инструмента с забоем. Приведены приближенные решения этих систем, которые происходят с



основной собственной частотой крутильных колебаний двухмассовой системы инструмент-став-привод вращателя, а амплитуды изгибных колебаний става связаны с изменением характеристики трения между инструментом и породой, а также с угловой частотой вращения става.

4. Определены зоны и границы областей динамической неустойчивости для параметрических продольно-поперечных колебаний става, при этом параметрический резонанс возникает в системе тогда, когда на одно поперечное перемещение става приходится два продольных. Обосновано возникновение в системе главной области неустойчивости.

5. Выявлены зоны динамической неустойчивости при вращении деформированного става за счет действующих силовых факторов, начальных неправильностей и центробежных сил. Эти зоны возникают при критических скоростях вращения става, которые совпадают с собственными частотами его изгибных колебаний

6. Рассмотрена расчетная схема бурового става станка вращательного бурения, снабженного дополнительным пневмоударником. Параметры пневмоударника по частоте и амплитуде согласованы с поступательной скоростью бурения скважины. Суммарные продольные и поперечные перемещения става могут быть получены по принципу суперпозиции самовозбуждающихся и наведенных перемещений.

**KAPITEL 2 / CHAPTER 2.****CURRENT TRENDS IN THE TECHNOLOGY OF FISH PRODUCTS WITH
THE REGULATION OF THE CONTENT OF BIOGENIC AMINES**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ С РЕГУЛИРОВАНИЕМ
СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ АМИНОВ
СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ РИБНИХ ПРОДУКТІВ З РЕГУЛЮВАННЯМ ВМІСТУ
БІОГЕННИХ АМІНІВ**

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-060**Вступ**

Людство зіткнулося з необхідністю вирішити складне завдання – в умовах безпрецедентної за своїми наслідками зміни клімату, деградації довкілля та ресурсної бази до середини двадцять першого століття забезпечити продовольством і засобами для існування понад дев'ять мільярдів жителів планети [1]. Найважливіша роль у вирішенні цієї проблеми відводиться рибальству, аквакультури і переробці водних біоресурсів. Загальне виробництво риби досягло в 2018 році рекордного обсягу – 179 млн. тон, причому 82 млн. тон цього обсягу були продукцією аквакультури. З цього обсягу 156 млн тонн, що еквівалентно 20,5 кг на душу населення в рік, було використано для споживання людиною. Решта 22 млн тонн призначалися для використання в інших цілях, перш за все для виготовлення рибного борошна і риб'ячого жиру.

Досягнення таких показників стало можливим завдяки стабільності вилову в промисловому рибальстві, скорочення відходів і триваючому росту аквакультури. На тлі такого виробництва споживання риби на душу населення в 2018 році теж вийшло на рекордне значення – 20,5 кг на рік. Ця тенденція відповідає вимогам забезпечення продовольчої безпеки держави, що є надважливою складовою частиною економічної безпеки, яка в свою чергу є частиною національної безпеки [1, 2].

2.1. Тенденції у харчуванні людей з позицій якості та безпечності харчових продуктів

Продовольча безпека – захищеність життєвих інтересів людини, яка виражається у гарантуванні державою безперешкодного економічного доступу людини до продуктів харчування з метою підтримання її звичайної життєвої діяльності [2, 3, 4].

Зростання реалізації та споживання рибної продукції за останні десятиліття супроводжувалися зростаючим інтересом до питань якості і безпечності харчових продуктів, їх поживної цінності, скорочення відходів. В



інтересах забезпечення безпечності харчових продуктів і захисту споживачів у внутрішній і міжнародній торгівлі були прийняті суворі гігієнічні заходи. Так, Звід норм і правил Кодексу для риби і рибної продукції (Codex Alimentarius Commission, 2016) містить вказівки щодо практичних аспектів впровадження належної санітарно-гігієнічної практики та системи управління безпечністю харчових продуктів на основі аналізу ризиків і критичних контрольних точок (НАССР) [1].

У період 1961-2017 років споживання харчової риби росло в середньому на 3,1% на рік; майже в два рази випереджаючи щорічні темпи зростання світового населення (1,6% в рік) і істотно випереджаючи темпи підвищення споживання всіх інших продуктів, що містять тваринні білки (м'яса, молочних продуктів, молока тощо) – 2,1% на рік. Споживання харчової риби на душу населення зростало приблизно на 1,5% на рік: якщо в 1961 році воно становило 9,0 кг (в еквіваленті живої ваги), то в 2018 році - 20,5 кг.

Незважаючи на стійкі відмінності обсягів споживання риби в різних регіонах і державах можна виділити певні тенденції. У розвинених країнах видиме споживання риби на душу населення зросло з 17,4 кг в 1961 році до максимального рівня в 26,4 кг в 2007 році, а потім стало поступово знижуватися і в 2017 році склало 24,4 кг.

У країнах, що розвиваються також спостерігалось значне підвищення цього показника: в 1961 році воно становило 5,2 кг, а в 2017 році – вже 19,4 кг, що відповідає середньорічними темпами зростання в 2,4%. У найменш розвинених країнах річне споживання риби на душу населення збільшилася з 6,1 кг в 1961 році до 12,6 кг в 2017 році, тобто в середньому росло на 1,3% в рік. В останні 20 років темпи зростання цього показника підвищилися до 2,9% в рік, що пов'язано із зростанням виробництва та імпорту риби. У країнах з низьким рівнем доходів і дефіцитом продовольства споживання риби стабільно росло приблизно на 1,5% на рік; в 1961 році воно становило 4,0 кг, а в 2017 році – вже 9,3 кг.

У розвинених країнах частка замороженої риби, призначеної для споживання людиною, зросла з 27% в 1960-і роки до 43% в 1980-і роки і в 2018 році досягла рекордного рівня (58%), а частка обробленої риби знизилася з 25% в 1960-і роки до 12% в 2018 році. У багатьох країнах, що розвиваються рибопереробна промисловість поступово переходить від традиційних методів до більш сучасних технологій, які забезпечують різну ступінь підвищення вартості товарів; ці методи залежать від товару і його ринкової вартості. Так, в країнах цієї категорії збільшилася частка призначеної для споживання



людиною замороженої риби (в 1960-х роках вона становила 3%, в 1980-х - 8%, а в 2018 році досягла 31%), а також частка пресервів та готової до вживання риби (з 4% в 1960-х роках до 9% в 2018 році) [1].

Останнім часом суспільство все більше стало замислюватися про питання здоров'я, про здоровий спосіб життя (ЗСЖ) населення і залучення інвестицій в сфери, безпосередньо пов'язані цими напрямками [5, 6, 7, 8]. Стрес, малорухомий спосіб життя, погана екологія, нестабільність економіки, безробіття, паління і зловживання різними психотропними засобами – все це є серйозною проблемою сучасного світу. Однак розуміння необхідності поліпшення якості життя і здоров'я людини є зараз одним з провідних завдань сучасного суспільства. Принципи ЗСЖ – фізична і розумова активність; збалансоване харчування; розслаблення і душевна гармонія; краса і догляд за обличчям і тілом – вперше введені в практику американським лікарем Хальбертом Данн (H. L. Dunn) в 1959 році, стали основою всесвітньо відомої концепції Wellness (від англ. «be well» – «бути в хорошому самопочутті») [5]. При цьому головними завданнями концепції Wellness є – запобігти хворобам, зберегти здорову активність на довгі роки за рахунок правильного харчування, фізичних і розумових навантажень, застосування сучасних косметологічних технологій, що, звичайно, в результаті веде до «оздоровлення» нації.

Кількість українців, які відмовилися від м'яса, вживають рибу і морепродукти, в основному, успішних молодих людей, досягло 2 мільйонів і продовжує зростати. Згідно онлайн-гіду для вегетаріанців Harry Cow, де відмічені всі вегетаріанські кафе і ресторани світу, в Україні зараз більше 40 закладів такої спрямованості. Велика частина з них, а саме близько 20 ресторанів, відкриті в Києві, 6 – у Львові, по 4 – в Одесі і Харкові, 3 – в Дніпрі [9].

2.2. Біогенні аміни як небезпечні чинники харчування

На даний час вирішення проблем безпеки сировини та харчових продуктів є важливим стратегічним державним напрямком для виробництва стабільно безпечних рибопродуктів. Особливо це актуально за рядом показників, до яких відноситься біологічно активний амін – гістамін. Накопичення гістаміну характерно для таких видів риб, як скумбрія, лосось, тунець, ставрида і інші [10, 11]. Біогенні аміни – це група азотовмісних органічних сполук з аліфатичною (путресцин, кадаверин, спермін, спермідин), ароматичною



(тирамін, фенілетиламін) або гетероциклічною (гістамін, триптамін) структурою. Деякі з них мають велику біологічну активність (гістамін, серотонін, дофамін, тирамін), інші (путресцин і кадаверин) підсилюють токсичну дію гістаміну на організм людини. Біогенні аміни утворюються в результаті декарбоксилювання вільних амінокислот під дією ферментних систем мікробного походження.

На накопичення гістаміну у рибній продукції впливає санітарний стан риби, досконалість технології виробництва, умови зберігання готової продукції і реалізація населенню. Гранично допустимий вміст гістаміну у свіжій рибі складає у багатьох країнах до 100 мг/кг і в певних видах рибопродукції – 200 мг/кг гістаміну. Враховуючи токсичність багато країн ввели обмеження на вміст гістаміну в харчових продуктах. У США, Канаді виробники консервованих продуктів з риби контролюють вміст гістаміну у сировині на рівні 5-15 мг/кг, при виробництві іншої харчової продукції допускається вміст гістаміну у сировині до 50 мг/кг. У Швеції та Австралії вміст гістаміну у свіжій рибі допускається на рівні 100 мг/кг і не більше 200 мг/кг у солених рибопродукції. В рибній сировині та готовій продукції, яка виробляється в Росії та Україні, вміст гістаміну нормується в межах 100 мг/кг [12, 13, 14].

Гістамін був синтезований у 1907 р. і описаний у 1910 р. як речовина («beta-1») [15]. Проте знадобилося 17 років, аби продемонструвати його присутність в інших тканинах [16]. Відношення між гістаміном і анафілактичною реакцією було доведене у 1929 р., і його ідентифіковано як посередник анафілактичних реакцій у 1932 р. [17, 18].

Отруєння, пов'язанні зі споживанням продуктів моря, відзначалися у всій історії людства. Основну кількість отруєнь можна розділити на наступні категорії: паралітичне отруєння молюсками і ракоподібними; інтоксикація сігуатера; отруєння тетродотоксином і скумброїдне отруєння. Скумброїдне отруєння – тип отруєння, безпосередньо пов'язаний зі споживанням риб, які відносяться до роду скумброїдних: макрелешук, тунца, макрелі, сардини, анчоуса. У США випадки скумброїдного отруєння реєструються, починаючи з 30-тих років. Симптоми скумброїдного отруєння дуже нагадують алергічну реакцію на гістамін і включають почервоніння обличчя, головний біль, рвоту і болі в животі. Підвищене надходження гістаміну може викликати так звану «гістамінову» мігрень (синдром Хортон), головний біль (невралгія Харріса, що характеризується болем в області очей, лоба, скроневої частини голови, сльозотечею, запаленням слизової носа) та інші симптоми, включаючи нудоту, порушення роботи шлунково-кишкового тракту, піт, підвищене виділення



шлункового соку, почастішання серцебиття і зниження діастолічного (нижнього) кров'яного тиску. Ця хвороба рідко призводить до летального результату [18-23].

Межа переносності гістаміну для дорослої людини становить 5-6 мг / кг. Токсична доза знаходиться в межах >100-1000 мг / кг продукту та високотоксична – більш 1 г / кг.

Безпека вітчизняних рибних продуктів регулюється СанПіН за рядом показників, в тому числі за біологічно активному аміну – гістаміну, вміст якого контролюється як для сировини, так і для всієї рибної продукції [24].

2.3. Причини утворення біогенних амінів

На думку багатьох авторів до причин утворення біогенних амінів відносять мікробіологічну якість вихідної сировини, умови зберігання готової продукції і наявність декарбоксилазно позитивних мікроорганізмів тощо [25, 26, 28-33].

Серед продуктів, що характеризуються накопиченням біогенних амінів, особливе місце займає рибна і м'ясна продукція. Аналіз літературних джерел розкрив численні фактори, відповідальні за накопичення гістаміну в рибній сировині і консервах. Встановлено, що на накопичення біогенних амінів впливає мікробіологічна чистота вихідної сировини, режими зберігання, ряд технологічних чинників, кількість гістидину в тканинах риби, умови зберігання сировини і готової продукції [22-26]. Також на утворення гістаміну в рибі впливають різні види бактерій родини Enterobacteriaceae, які володіють гістидиндекарбоксилазною активністю і сприяють накопиченню гістаміну. Види *Morganellamorganii*, *Klebsiellapneumoniae*, *Hafniaalvei*, *Proteusvulgaris*, *Proteusmirabilis*, *Enterobacteraerogenes*, *Enterobactercloacae*, *Serratiafonticola*, *Serratialiquefaciens*, *Raoultella* (раніше *Klebsiella*) *planticola*, *Raoultellaornithinolytica*, *Proventiastuartii* і *Citrobacterfreundii*, *Clostridium* spp., *Vibrioalginolyticus*, *Acinetobacterlowffi*, *Plesiomonasshigelloides*, *Pseudomonasputida*, *Pseudomonasfluorescens*, *Aeromonas* spp і *Photobacterium* spp також були відзначені, як гістамінформуючі бактерії [27].

Кизеветтер І.В., Чащина С.Л. розглядають в своїх роботах таку причину утворення біогенних амінів, як мікробіологічна якість вихідної сировини [29, 30]. Риба є поживним середовищем для розвитку мікроорганізмів, що призводить до її мікробіологічного псування (гниття) і впливає на процес утворення біогенних амінів. Вони знаходяться на зябрах, зовнішній поверхні і в



кишечнику риби. Після засипання риби захисні механізми не перешкоджають росту бактерій на поверхні, у зябрах, м'язовій тканині, що супроводжується інтенсивним ростом гістамінпродукуючих бактерій. Видалення зябер може зменшити, але не виключити, кількість гістамінпродукуючих бактерій. При деяких видах лову риби, наприклад зяберна сітка, смерть риби може статися за кілька годин до того, як риба буде видалена з води, і утворення гістаміну може початися ще до того, як риба потрапить на борт судна [27-30].

До причин утворення біогенних амінів відносять порушення температурних умов зберігання рибної сировини [34]. Автори досліджували утворення біогенних амінів при зберіганні у вакуумній упаковці при 2 або 10 °C скумбрії (скумброїдна риба) і оселедцю (нескумброїдна риба). Було встановлено зміни вмісту вільних амінокислот, а також органолептичних і мікробіологічних показників. При 10 °C вміст амінів під час відбраковування був в 2-20 разів вище у порівнянні із зразками, що зберігалися при 2 °C. У оселедця і скумбрії накопичувалося подібна кількість гістаміну, тоді як рівень кадаверину у скумбрії значно вище порівняно з оселедцем. Можливо, саме високий вміст кадаверину в скумбрії пояснюється, чому скумбрія, а не оселедець часто бере участь в випадках отруєння скомбротоксином

Спостерігалася значна кореляція між утворенням біогенних амінів і зменшенням кількості відповідних амінокислот, що підтверджує гіпотезу про відповідальність малолактозних бактерій за накопичення цих амінів у певних харчових продуктах [35]. Автори Marcobal A., Martin-Alvarez P.J., Polo в своїх роботах підтверджують, що однією з причин утворення біогенних амінів є наявність декарбоксилазно позитивних мікроорганізмів. У виноробному виробництві до обов'язкових умов утворення та накопичення біогенних амінів відносять: наявність в середовищі вільних амінокислот; наявність у дріжджів або молочнокислих бактерій ферментної системи, що має декарбоксилазну активність; оптимальні умови для росту і розвитку дріжджів або молочнокислих бактерій [35-39].

Автор Л.Т. Серпуніна, в своїх роботах описала критичні точки у виробництві рибних консервів. Порушення температурно-часових параметрів виконання операцій дефростації і посолу рибних напівфабрикатів слугує ризиком накопичення (особливо в літній період) гістаміну в напівфабрикаті до небезпечних рівнів, в тому числі, що перевищують нормативи деяких зарубіжних країн (США і Канади). Нормативними документами США допускається вміст гістаміну в харчових продуктах 50 мг / кг, в Канаді 20 мг / кг [12, 40]. Так, вміст гістаміну в натуральних рибних консервах



становив 53 мг / кг, а в рибних консервах в томатному соусі – 69 мг / кг. Також біогенні аміни можуть утворюватися протягом всього виробничого процесу, а також при зберіганні продукції, при недотриманні правильного температурного режиму. Було з'ясовано, що після одинадцяти місяців зберігання в консервах рівень гістаміну в червоних м'язах сягав 79 мг / кг, а в білих – 44 мг / кг.

Автор Підсосонна М.А. проводила експеримент в умовах штучного старіння консервів при температурі 37 °С і встановила, що під час зберігання консервів може відбуватися ренатурація (процес зворотної денатурації) ферментів. Згідно припущення, ступінь активності ферментів залежить не тільки від властивостей сировини, режимів стерилізації та зберігання консервів, а й від типу рідкої фази в консервах [28, 29]. Відновленню активності протеїназ сприяють такі чинники, як підвищена здатність денатурованих білків та присутність своєрідних каталізаторів і ферментів, роль яких можуть виконувати іони деяких металів, наприклад, заліза [29]. Є підстави вважати, що в рибних консервах без додавання олії здійснюється більш тісний контакт протеїназ з каталізаторами реакції – металами тари. Деякі технологічні процеси, такі як соління, маринування, дозрівання, можуть збільшити можливість утворення біогенних амінів. Низькі рівні рН (4-5,5), які властиві, наприклад, солоним анчоусам сприятливі для утворення біогенних амінів. Більш того протеоліз, що спостерігається при дозріванні солоних анчоусів призводить до вивільнення пептидів і вільної амінокислоти – гістидину [28]. *Staphylococcus epidermidista* *Staphylococcus carpitis* виділені із солоних анчоусів показали потужну діяльність по утворенню гістаміну, виробляючи 1000 і 400 мкг / мл відповідно.

Важливу роль в утворенні біогенних амінів грають біотехнологічні процеси, до яких відносять дозрівання [41-45]. Bernhard W. Straub та інші дослідили 523 штами мікроорганізмів, які являються представниками 35 видів бактерій. Було досліджено їх потенціал на предмет здатності до утворення біогенних амінів (БА). Експеримент проводився з клітинами у фосфатному буфері (рН 5,5) з контролем утворення наступних БА: путресцину, кадаверіну, гістаміну, тираміну і 2-фенілетіламіну. Потенціал не спостерігався у видів *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus* і деяких видів *Lactobacillus*, таких як *L. Pentosus* і *L. sake*. Високий потенціал формування біогенних амінів спостерігався у штамів карнобактерій, *Lactobacillus buchneri*, *L. curvatus*, *L. reuteri*, *Staphylococcus carnosus* і, в меншій мірі, у *L. alimentarius*, *L. brevis*, *L. bavaricus*, *L. delbrueckii ssp.lactis*, *Micrococcus spp.* та *S. piscifermentans*. У добре відомих видів, що мають практичне значення у ферментації молочних продуктів, вина або капусти, потенціал спостерігався тільки для декількох



штамів.

Особливою популярністю користуються рибні та соєві соуси. R. Stute із співавторами визначали біогенні аміни у 45 комерційних рибних соусах. Було виявлено, що соуси містять біогенні аміни в концентраціях (мг / кг): метиламіну 0-195, етиламіну 2-339, гістаміну 0-729, тираміну 0-1178, триптаміну 0-588, путресцину 0-1257 і кадаверину 0-1429. Оскільки процес виробництва заснований на автолітичній деградації рибного білка, утворення біогенних амінів можна повністю уникнути, а вміст і склад біогенних амінів в рибних соусах можна розглядати як показник якості [46].

2.4. Механізм та умови утворення біогенних амінів

У тканинах людини і вищих тварин деякі амінокислоти (гістидин, тирозин, триптофан і інші) декарбоксилюються, перетворюючись в аміни за участю декарбоксилази. З цих амінокислот утворюються гістамін, тирамін, триптамін, а також адреналін і норадреналін, нейрогуморальний агент – серотонін. У всіх випадках процес йде за схемою [47]. Простетичною групою декарбоксилаз L-амінокислот служить пиридоксальфосфат. Виділено і вивчені декарбоксилази аспарагінової і глутамінової кислот, валіну, лізину, аргініну, гістидину, тирозину, триптофану і ряду інших амінокислот.

При декарбоксилюванні гістидину утворюється гістамін. При декарбоксилюванні тирозину і триптофану утворюються відповідно тирамін і триптамін. Останній легко переходить в 5-оксітриптамін (серотонін) – сполука, що має багатогранну фізіологічну дію, зокрема, має відношення до виникнення больових відчуттів при запальних процесах. Декарбоксилювання лізину і аргініну супроводжується утворенням кадаверину і агматину [47].

На сьогоднішній день відомо, що багато різних видів бактерій родини Enterobacteriaceae володіють гістидиндекарбоксилазною активністю і мають здатність виробляти гістамін, включаючи види *Morganellamorganii*, *Klebsiellapneumoniae*, *Hafniaalvei*, *Proteusvulgaris*, *Proteusmirabilis*, *Enterobacteraerogenes*, *Enterobactercloacae*, *Serratiafonticola*, *Serratialiquefaciens*, *Raoultella* (раніше *Klebsiella*) *planticola*, *Raoultellaornithinolytica*, *Proventiastuartii* і *Citrobacterfreundii* [32, 38, 43]. Також *Clostridium* spp., *Vibrioalginolyticus*, *Acinetobacterlowffi*, *Plesiomonasshigelloides*, *Pseudomonasputida*, *Pseudomonasfluorescens*, *Aeromonas* spp. і *Photobacterium* spp також були відзначені, як гістамінутворюючі бактерії [31].



Для утворення біогенних амінів необхідно дотримання певних умов. Зміна температури значно впливає на утворення біогенних амінів. З робіт Страуб (1992) відомо, що *Lactobacillus curvatus* продукують 177 мг / л тираміну при температурі 30 °C, а при 15 °C – тільки 65 мг / л [37, 48]. Температурний оптимум для декарбоксилювання аргініну мікроорганізмом *E. Coli* складає 37-40 °C. У своїх роботах Кранер підкреслив, що в сухих ковбасах більшу кількість гістаміну визначено при температурі вище 18 °C, ніж при 7 °C. Особливо швидко гістамін утворюється в поєднанні з гістамінпродукуючими мікроорганізмами.

Автори Wang, D., Yamaki, S., Kawai, Y., & Yamazaki, K. (2020) показали, що *Morganella psychrotolerans* – новий продуцент гістаміну, що володіє психротолерантністю при різних рівнях pH і температури культуральної рідини. Встановлено, що оптимальні умови для продукування гістаміну неочищеною гістидіндекарбоксилазою *M. Psychrotolerans* становили 30°C і pH 7. Протне, накопичення гістаміну *M. Psychrotolerans* індуковані і при більш низьких значеннях pH і навколишнього середовища (4 і 20°C, відповідно) [49].

Рівень pH також істотно впливає на утворення біогенних амінів. Формування біогенних амінів відбувається в кислому середовищі і тому, щоб знизити вміст, необхідно довести систему до лужного середовища. Кранер в своїх дослідженнях показав оптимум pH для *E. Coli* аргініндекарбоксилази, який становив 5,2 і оптимум pH для формування гістаміну, тираміну, триптаміну – 5,0 [48, 50].

Всі декарбоксилази амінокислот, за винятком аспартат-β-декарбоксилази, здійснюють реакцію α-декарбоксилювання [51]. У наукових роботах є відомості, що в бактеріях були знайдені ферменти, які каталізують α-декарбоксилювання аргініну, гістидину, глютамінової кислоти, лізину, орнітину з утворенням відповідно агматину, гістаміну, кадаверину і путресцину. Виявлено, що утворення ферменту відбувається в стаціонарній фазі росту бактерій, при закисленні середовища. Також необхідна присутність в живильному середовищі амінокислоти – субстрату реакції. Для здійснення реакції декарбоксилювання амінокислота повинна мати вільну α-аміногрупу, вільну α-карбоксильну групу, а також віддалену від них полярну групу [48, 52-54].



2.5. Регулювання вмісту біогенних амінів у харчових продуктах

Гістамін є термостабільним і не виявляється органолептичними шляхом навіть освіченими дегустаторами. Після утворення гістаміну його вміст у харчових продуктах важко знизити. Температура зберігання є найбільш важливим фактором, який сприяє утворенню біогенних амінів. Температура 25 °C є оптимальною для утворення гістаміну, а при 4 °C гальмується накопичення до 14 днів. Таким чином, утворення біогенних амінів у харчових продуктах може контролюватися суворим дотриманням холодильного ланцюга [55, 56, 57]. Підтримка холодильного ланцюга при зберіганні харчових продуктів, які вже містять певну кількість біогенних амінів, як правило, стабілізує рівень БА. Заморожування більш ефективно, ніж охолодження, в запобіганні утворення БА [58].

Високотемпературна обробка також може бути використана для подовження терміну зберігання продуктів харчування. Термічний режим, призначений для знищення бактеріальних видів, відповідальних за утворення гістаміну, може запобігти подальшому його накопиченню. Для гістамінувворюючого штаму *Hafnia alvei*, який було виявлено при виробництві ковбас гарячого копчення, при температурах в діапазоні 54-58 °C значення D (час, необхідний для знищення 90% бактерій) становили від 51 до 20 с, а для *M. morgani* при температурах між 58 і 62 °C значення D складали від 15 до 1,5 с [55, 59].

Дослідження показали, що високий вміст солі може впливати на утворення біогенних амінів у харчових продуктах. Чим вище кінцева концентрація кухонної солі, тим нижче рівень біогенних амінів. Вміст 6 % солі зменшує загальний рівень БА у порівнянні з 3 % вмісту солі у досліджуваному об'єкті [60].

В даний час для збільшення термінів зберігання різних харчових продуктів використовується упаковка продуктів в модифікованій атмосфері (МАР). При 2 °C і 10 °C м'язову тканину тунця контамінували психротолерантними бактеріями. Модифіковані упаковки (склад модифікованої атмосфери 40% CO₂ та 60% O₂) інгібують утворення гістаміну [61].

Опромінення є одним з важливих методів подовження термінів зберігання харчових прдуктів. Гамма-промені, електрони високої енергії і рентгенівські промені, іонізуюче випромінювання інактивує мікроорганізми, пошкоджуючи нуклеїнові кислоти клітин. Крім мікробної інактивації, опромінення також здатне індукувати радіолітичну деградацію біогенних амінів. У риб



опромінення дозою з 1 до 3 кГр значно гальмує утворення гістаміну, тираміну, кадаверину і путресцину. В експериментальних зразках ставриди БА було виявлено тільки в контролі після 23 днів холодильного зберігання. За експериментальними даним, навіть нижчий рівень (1 кГр) також ефективно сприяє зменшенню вмісту амінів при зберіганні в охолодженому стані [62].

Холодильна технологія також являється вагомим способом подовження термінів зберігання харчових продуктів. Способи збільшення термінів зберігання охолодженої риби в основному засновані на пригніченні життєдіяльності мікроорганізмів. Охолоджена риба зберігається тим довше, чим раніше почалося її охолодження. Терміни зберігання охолодженої риби збільшуються з пониженням температури. Так, при температурі 5°C тріска зберігається 4-5 діб, а при 0°C – 10-12 діб [63, 64].

Також подовженню строків зберігання і попередженню накопичення біогенних амінів в охолодженій рибопродукції сприяє використання антисептиків. У якості антисептиків найчастіше застосовуються хлорні препарати. Їх додають у воду для промивання риби або при виробництві льоду [63-65].

2.6. Дослідження способів регулювання вмісту біогенних амінів в рибних продуктах

На даний час вирішення проблем безпеки сировини та харчових продуктів є важливим стратегічним державним напрямком для виробництва стабільно безпечних рибопродуктів. Особливо це актуально за рядом показників, до яких відноситься біологічно активний амін – гістамін.

Відомо, що пектинові речовини відносяться до групи рослинних біополімерів з високою фізіологічною активністю. Оскільки біогенні аміни відносяться до факторів, що порушують стабільність існування організму поряд з техногенними чинниками, важливо до складу продуктів вводити харчові добавки, що володіють адаптогенними і імуногенними властивостями. Попередніми дослідженнями було встановлено, що введення в рецептуру природних біополімерів таких, як пектинові речовини, сприяє зниженню до допустимого мінімуму надходження токсичних речовин в організм людини і виведення їх у складі комплексів. Така стимуляція виведення з організму токсичних речовин, є часткою комплексного очищення організму за допомогою пектинотерапії, яка заснована на властивості полісахаридів рослинного



походження створювати комплекси з важкими та радіоактивними металами, фенолами, амінами і здатності до виведення їх з організму [74]. Результати досліджень вказують на комплексоутворення модифікованих похідних пектинових речовин з амінами [74]. При цьому зберігається конформація піранозного циклу основної ланки полісахариду – галактуранової кислоти.

Характерними об'єктами аквакультури для України є: короп, товстолобик, білий і чорний амур, піленгас, осетер, райдужна форель, каналний сом. Однак серед такого різноманіття об'єктів аквакультури найбільш перспективними є товстолобик білий та строкатий. Товстолобик строкатий широко реалізується у торговельних мережах України в живому та охолодженому вигляді. Для збільшення зацікавленості серед населення у купівлі товстолобика постала необхідність розробити нові продукти з даної риби. Використання такого перспективного об'єкту аквакультури України як товстолобик у технології гарячих маринадів у драгледоподібній заливці пролонгованого терміну зберігання дозволяє отримати безпечний для людини харчовий продукт.

Особливої уваги заслуговують такі технологічні прийоми, які дозволяють регулювати вміст біогенних амінів у гарячих маринадах на основі товстолобика строкатого. Технологічний процес виробництва гарячих маринадів передбачає підготовку шматочків товстолобика, які піддають напівгарячому копченню, і драгледоподібної заливки на основі пряно-оцтового відвару [75]. Під час таких технологічних процесів, як розбирання, посол, зберігання кулінарних виробів можуть утворюватися біогенні аміни, що пов'язано з бактеріальною діяльністю. Відомо, що при температурі від 0 до + 5 °C гістамін також утворюється, але в менших кількостях і іншими бактеріями (*Vibrio spp.*, *Photobacterium spp.*), які потрапляють в рибні продукти в процесі переробки, зберігання або реалізації [10]. Цей діапазон температур відповідає умовам зберігання рибної кулінарної продукції.

Для експериментальних досліджень було підготовлено наступні зразки: м'язова тканина товстолобика після розбирання, модельні зразки кулінарних виробів з різноманітними комбінаціями структуроутворювачів. В якості контролю дослідженню піддавались зразки гарячих маринадів без додавання структуроутворювачів до складу прямих заливок.

Попередніми дослідженнями встановлено раціональний вміст структуроутворювачів, які забезпечують необхідну міцність драглю [75], яка склала 112 г.

Експериментальні дані представлені на рис 1. У свіжовиготовлених зразках вміст гістаміну склав 10 мг/кг. При визначенні кількості гістаміну після



7 доби зберігання у контрольних зразках дослідження були припинені. За мікробіологічними показниками на 8 добу контрольні зразки не відповідали мікробіологічним вимогам (табл. 1).

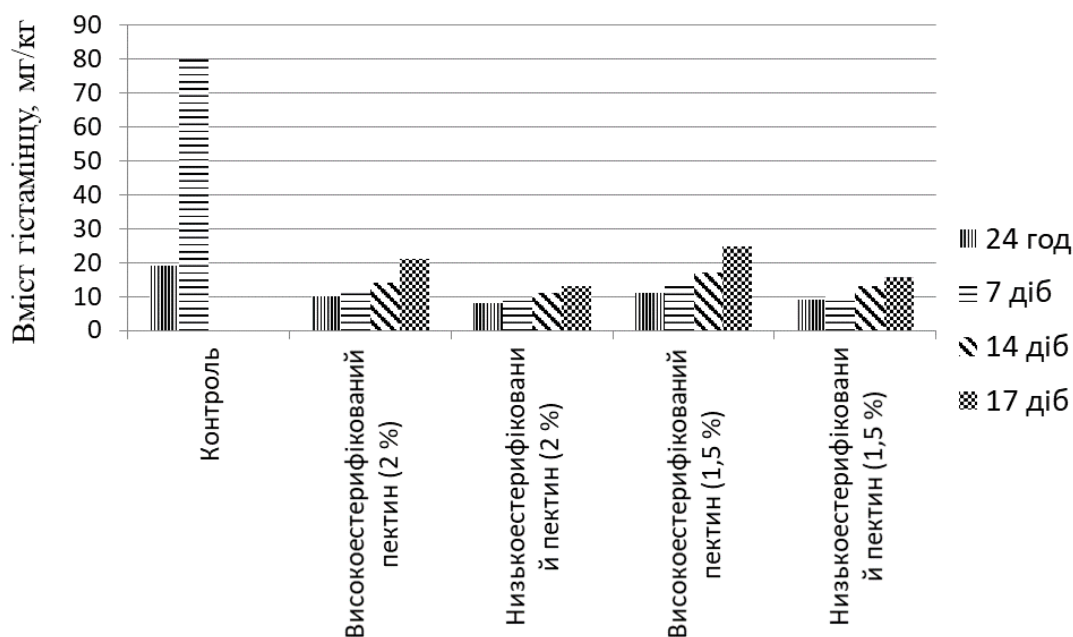


Рис. 1. Вплив пектинових речовин та їх масової частки на вміст гістаміну протягом різних термінів зберігання

З даних, представлених на рис. 1, видно, що максимальною здібністю до зв'язування гістаміну володіють низькоестерифіковані пектинові речовини зі ступенем естерифікації 42 % з масовою часткою низькоестерифікованого пектину 2 % і на момент припинення дослідження вміст гістаміну в кулінарних виробках склав 13,1 мг/кг, а з масовою часткою 1,5 % – 15,8 %. Зразки з високоестерифікованими пектиновими речовинами з масовою часткою 2,0 % містили 21 мг/кг, а зразки з масовою часткою 1,5% – 24,8 мг/кг. Тобто всі зразки за вмістом гістаміну відповідали вимогам, прийнятим в нашій країні (не більше 100 мг/кг).

Відмінності у вмісті гістаміну в досліджуваних зразках можна пояснити через більшу кількість активних функціональних груп у складі пектинових речовин через різну ступінь естерифікації.

У всіх досліджуємих зразках було перевищено показники безпеки за мікробіологічними вимогами (табл. 1), які зберігали 17 діб без внесення консервантів при температурі від 0 до + 5 °С. Норма кількості МАФАНМ для рибних маринадів – 1×10^4 КУО/г [76].

Зразки зі структуроутворювачами зберігалися довше за рахунок бактерицидних властивостей структуроутворювачів, які були підсилені зниженням значення активності води a_w .



Таблица 1

Зміни мікробіологічних показників зразків рибного гарячого маринаду з товстолюбика в процесі зберігання (n = 3, p < 0,05)

Досліджуваний зразок	Термін зберігання, діб				
	Свіжовиготовлені зразки	1	7	14	17
	КМАФАнМ, КУО/г				
контроль	$1,3 \times 10^2$	$3,8 \times 10^4$	$2,9 \times 10^5$	-	-
рибний маринад з висоестерифікованим пектином (масова частка 2 %)	$1,2 \times 10^2$	$5,5 \times 10^2$	$6,8 \times 10^3$	$8,9 \times 10^3$	$4,6 \times 10^4$
рибний маринад з низькоестерифікованим пектином (масова частка 2 %)	$1,1 \times 10^2$	$3,8 \times 10^2$	$5,1 \times 10^3$	$6,2 \times 10^3$	$2,8 \times 10^4$
рибний маринад з висоестерифікованим пектином (масова частка 1,5 %)	$1,2 \times 10^2$	$6,2 \times 10^2$	$7,5 \times 10^3$	$9,3 \times 10^3$	$5,2 \times 10^4$
рибний маринад з низькоестерифікованим пектином (масова частка 1,5 %)	$1,1 \times 10^2$	$4,3 \times 10^2$	$6,2 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$	$3,5 \times 10^4$

Застосування таких гідроколлаїдів рослинного походження як низько- і високоестерифікованих пектинових речовин в технології гарячих маринадів сприяє не тільки уповільненню накопичення гістаміну під час зберігання, але і пригніченню життєдіяльності мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів. Варіювання масовою часткою пектинових речовин має значення при створенні певної консистенції драгледоподібної заливки при виготовленні гарячих маринадів з товстолюбика.

Для гальмування накопичення гістаміну використовувати високо- та низькоестерифіковані пектинові речовини із масовою часткою більше 2% є недоцільним, через ускладнення процесу виготовлення заливки. Перевагу слід надавати низькоестерифікованим пектиновим речовинам. Подальші дослідження будуть стосувалися дослідженням взаємодії низькоестерифікованих пектинових речовин з гістаміном.

Аналіз літературних джерел про накопичення біогенних амінів у харчових продуктах з товстолюбика відсутній, що потребує проведення системних досліджень та оцінити вплив технологічних процесів обробки даної сировини з



сімейства коропових в технології кулінарних рибних виробів з додаванням природних біополімерів рослинного походження, таких як низькоестерифіковані пектинові речовини.

Фізіологічна цінність низькоестерифікованих пектинових речовин (НПР) полягає в тому, що він сприяє нормальному протіканню біохімічних процесів і запобігає негативному впливу токсикантів на організм людини. Як активний ентеросорбент – НПР здатний безпосередньо сорбувати отрути, ендо- та ксенобіотики. Зв'язування цих сполук починається в шлунку. У тонкій кишці сорбуються речовини, прийняті через рот, а також компоненти секрету слизової оболонки, печінки, підшлункової залози: ферменти, регуляторні пептиди, простагландини, серотонін, гістамін і інші метаболіти, надлишок яких спостерігається при патологічних процесах в організмі і які надходять в просвіт кишки з кровоносних судин і з жовчю.

Модифікація природних полімерів з метою підвищення їх хелатуючих властивостей, в основному, не зачіпають основи полімерного носія. До полімерів-хелантів можна віднести хелатуючі макроліганди, в якості якого виступає природний полімер низькометоксильований пектин (НП), отриманий з використанням пектинметилестерази [77].

Було вивчено комплексоутворення нативного і деестерифікованого яблучного пектину з гістаміном. Комплекси отримували при кімнатній температурі зливанням водних розчинів.

Склад комплексних сполук визначали методами ізомольярних серій і молярних відносин [78]. Метод ізомольярних серій заснований на визначенні відношення ізомольярних концентрацій взаємодії пектину з гістаміном, яке відповідає максимальному виходу утворених комплексних сполук. При цьому крива залежності виходу комплексу і, таким чином, зміни інтенсивності сигналу від складу розчину характеризується точкою екстремуму. Така точка свідчить про максимально можливі концентрації комплексу, а її положення на осі абсцис відповідає стехіометричному співвідношенню реагентів. Відповідно до методу ізомольярних серій готувалися розчини двох компонентів однаковою молярної концентрації ($1 \cdot 10^{-4}$ моль / л), які потім змішували в співвідношеннях (від 1:9 до 9:1), зберігаючи загальний обсяг розчину незмінним. При цьому сумарне число молей пектину і гістаміну в розчині завжди залишалося постійним. Через 1 годину вимірювали оптичну щільність розчинів. Кювету порівняння заповнювали водним розчином низькоестерифікованого пектину відповідної концентрації – 10^{-5} - 10^{-4} моль / дм^3 у водних розчинах. Потім будували графік залежності (ізомольярну діаграму)



зміни оптичної щільності від співвідношення концентрацій компонентів і визначали положення максимуму поглинання на отриманій кривій. За екстремальною точкою на ізомолярній діаграмі визначали склад комплексного з'єднання [78].

Метод молярних відносин [78] заснований на встановленні залежності зміни оптичної щільності від концентрації одного з компонентів при постійній концентрації другого компонента. Експеримент проводили наступним чином: готували розчини пектину і гістаміну з концентраціями $1 \cdot 10^{-4}$ моль / дм³. У 10 мірних колб наливали по 2 см³ розчину НПР і від 0,5 до 8,0 см³ гістаміну. Потім загальний обсяг суміші доводили водою до 10 см³. Через 1 годину вимірювали оптичну щільність отриманих розчинів і будували криву насичення $\Delta A = f([\text{гістаміну}] / [\text{НПР}])$. Точка зламу на кривій насичення відповідає відношенню стехіометричних коефіцієнтів, що дорівнює відношенню концентрацій реагуючих компонентів в абсцисі точки еквівалентності [78].

Таким чином, методами ізомолярних серій і молярних відносин визначені константи стійкості комплексів гістаміну з нативним: $(1,72 \pm 0,5) \cdot 10^3$, $(2,80 \pm 0,1) \cdot 10^3$, $(2,97 \pm 0,5) \cdot 10^4$, $(3,07 \pm 0,5) \cdot 10^5$ і деестерифікованим пектинметилестеразою яблучним пектином: $(1,79 \pm 0,5) \cdot 10^4$, $(3,32 \pm 0,5) \cdot 10^4$, $(3,50 \pm 0,5) \cdot 10^4$, $(3,72 \pm 0,5) \cdot 10^5$ відповідно, і встановлено склад комплексів. Константи стійкості гістаміну з деестерифікованим пектином мають більш високі значення в порівнянні з нативним. Кожна структурна одиниця пектину в комплексі взаємодіє з молекулою біогенного аміну в співвідношенні 1: 1.

Наступним етапом явилось дослідження комплексоутворення гістаміну і інгредієнтів пектиновмісних харчових композицій.

На кафедрі ТМРiМ ОНАХТ розроблені науково обґрунтовані рецептури і технології пектиновмісних заливок для рибних пресервів, які мають детоксикаційні властивості по відношенню до гістаміну і утворюють гістамін-пектинові комплекси. Метод визначення гістаміну ґрунтується на вимірюванні величини абсорбції при 495 нм в кюветі товщиною 1 см на спектрофотометрі СФ-46. В якості розчину для порівняння було використано етилацетат. На основі отриманих даних була побудована калібрувальна крива залежно від величини абсорбції і від концентрації гістаміну в розчині [79]. Великою популярністю користуються заливки з невеликою кількістю пряно-олійних екстрактів, коріння петрушки та селери. Для прогнозування комплексоутворюючих властивостей пектиновмісних заливок вивчено вплив основних харчових компонентів композицій заливки на зв'язування гістаміну. Для визначення зв'язування гістаміну у модельних розчинах, що містять



перераховані компоненти заливки, застосовували математичне планування експерименту. Щоб виключити вплив систематичних помилок, викликаних зовнішніми умовами, проводили рандомізований експеримент. В якості незалежних змінних були обрані концентрація пектину X_1 , концентрація пряно-масляних екстрактів X_2 , концентрація екстракту з коріння петрушки і селери X_3 , а залежною змінною – зв'язування гістаміну. Локальну область визначення факторів встановлювали з попередньо проведених експериментів. В результаті обробки експериментальних даних отримані рівняння регресії, що описують залежність між величиною пов'язаних в досліджуваних системах гістаміну і концентрацією обраних харчових компонентів:

$$Y_{(\text{гістамін})} = 5,32 + 91,21X_1 + 0,027X_2 + 1,53X_3 - 21,18X_1^2 + 6,89X_2^2 - 0,048X_3^2$$

Встановлено, що в досліджуваних системах кількість зв'язаного гістаміну залежить в основному від концентрації пектину. Деякий вплив на ступінь зв'язування має і концентрація екстракту з коріння петрушки і селери. Так, при її 23-40 %-му вмісті в модельних розчинах спостерігається зниження зв'язування гістаміну на 10,2-12,5 %, що, можливо, пояснюється утворенням комплексів між пектином і легкорозчинними білками петрушки і селери, які перешкоджають приєднанню гістаміну до аніонних груп полісахариду.

При подальшому збільшенні вмісту екстракту з коріння петрушки і селери – до 42-64 % – рН модельних розчинів приймає значення, що перевищує величину ізоелектричної точки водорозчинних білків, вони набувають негативний заряд і взаємодіють з катіон-радікалом гістаміну, внаслідок чого збільшується їх зв'язування. Залежність зв'язування гістаміну від масової частки низькоестерифікованого яблучного пектину і екстракту з коріння петрушки і селери в досліджуваних системах представлена на рис. 2.

Таким чином встановлено, що пряно-олійні екстракти в даних модельних системах практично не впливають на зв'язуючу здатність пектину. Максимальне зв'язування гістаміну – на 82-86 % – проявляється при вмісті в модельних системах низькоестерифікованого яблучного пектину, екстракту з коріння петрушки і селери та пряно-олійного екстракту в кількості 0,75-1,5; 42-64 і 4,2-5,4% відповідно.

До складу желеподібних заливок у якості структуроутворювача та компонента з високою фізіологічною активністю також вводять альгінову кислоту та її солі, які володіють унікальними імуномодулюючими властивостями. Альгінати сорбують і виводять із організму солі важких металів, токсинів і зміцнюють імунну систему. Специфічна міцність зв'язування залежить від співвідношення в молекулі полісахариду D-маннууронової та L-



гулуруної кислот. В результаті ковалентного зв'язування з полімерною матрицею може знизитися токсичність аміновмісних сполук [80].

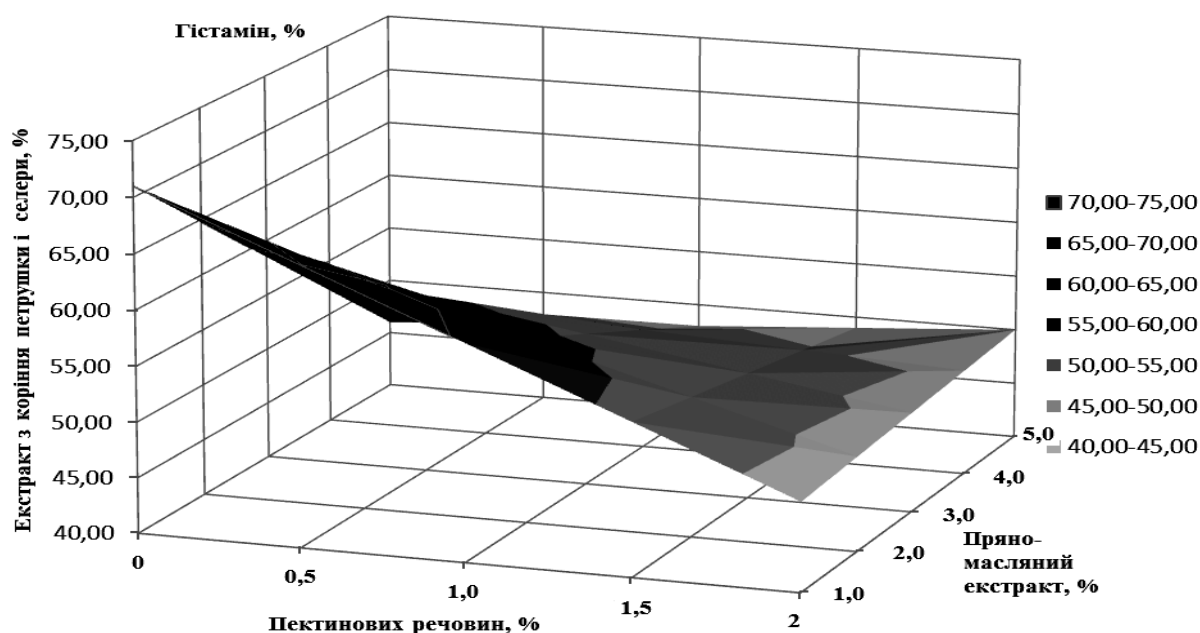


Рис. 2 Залежність зв'язування гістаміну від масової частки НПР і екстракту з коріння петрушки і селери

Для експериментальних досліджень було підготовлено наступні зразки: м'язова тканина товстолика після розбирання модельні зразки кулінарних виробів з різноманітними комбінаціями структуроутворювачів.

В якості контролю дослідженню піддавались зразки гарячих маринадів без додавання структуроутворювачів до складу праних заливок.

Експериментальні дані представлені у табл. 2. У свіжовиготовлених зразках вміст гістаміну склав 10 мг/кг.

Таблиця 2

Вплив структуроутворювачів та їх комбінації на кількість біогенних амінів (n = 3, p < 0,05)

Вид структуроутворювача	Вміст біогенних амінів, мг/кг			
	Тривалість зберігання			
	24 години	7 діб	14 діб	17 діб
Контроль	18,4	79*	-	-
НПР (1,5 %)	8,5	9,5	12,4	15,8
Альгінова кислота (1,5 %)	5,6	6,9	9,8	13,1
НПР + альгінова кислота (1,5 %) у співвідношенні 1:1	7,3	8,9	10,1	14,4

Примітка: * експериментальні дані на 5 добу зберігання. Дослідження припинені в наслідок невідповідності зразків мікробіологічним вимогам.



У всіх зразках було перевищено показники безпеки за мікробіологічними вимогами. Зразки зі структуроутворювачами зберігали довше якість за рахунок бактерицидних властивостей структуроутворювачів, які були підсилені зниженням активності води. З табличних даних видно, що максимальною здібністю до зв'язування гістаміну володіє альгінова кислота і на момент припинення дослідження вміст гістаміну в кулінарних виробих склав 13,1 мг/кг. Зразки з НПР містили 15,8 мг/кг, а з комбінацією структуроутворювачів – 14,4 мг/кг.

Відмінності у вмісті гістаміну в досліджуваних зразках можна пояснити через більшу кількість активних функціональних груп у складі альгінової кислоти.

Застосування різних структуроутворювачів в технології гарячих маринадів сприяє уповільненню накопичення гістаміну під час зберігання. Варіювання співвідношенням структуроутворювачів дозволяє певним чином регулювати вміст гістаміну у рибопродукції.

Висновки

У представленій роботі проаналізовано тенденції у харчуванні людей з позицій якості та безпечності харчових продуктів. Показано, що біогенні аміни, які утворюються у харчових продуктах, являються небезпечними чинниками харчування. Проаналізовані основні причини, механізм і умови утворення біогенних амінів. Показані основні способи регулювання вмістом біогенних амінів у харчових продуктах. Було досліджено застосування біополімерів рослинного походження, як спосіб регулювання вмістом біогенних амінів в рибних продуктах.



KAPITEL 3 / CHAPTER 3.

RESEARCH AND IMPROVEMENT OF ROLLING PARAMETERS AT THE STECKEL MILL

ИССЛЕДОВАНИЕ И УЛУЧШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ НА СТАНЕ СТЕКЕЛЬ
ДОСЛІДЖЕННЯ І ПОЛІПШЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОКАТКИ НА СТАНІ СТЕКЕЛА

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-052

Introduction

Modern technologies including the thermomechanical controlled rolling process (TMCP) and the latest equipment [1, 2], which have been developed recently, have given impetus to the production of rolled products with a new level of quality characteristics, including requirements for microstructure, shear fracture area, increased impact requirements, correlation of yield strength or tensile strength and others. When developing a new technology and mastering a new product mix, with increased requirements, manufacturers and scientists are faced with problems [3, 4] that require further study. The way of solving one of these problems, namely providing increased requirements for these quality parameters, is to study the influence of the deformation degree on the stress distribution that occurs in the metal during rolling, and its penetration through the thickness of rolled products along the deformation zone at different temperatures.

Among the research methods that are conducted to study the rolling process, currently the most common are analytical methods [5-10] and methods of simulation [11-19], which have become widespread with the development of computer technology. The application of mathematical modeling methods in processes of metals processing by pressure allows to satisfy several purposes at the same time: to minimize expenses for research and development of technological processes in the conditions of actual production, to carry out in-depth research of processes of plastic deformation occurring in the experimental deformation zone; to compare the results of the study through the simulation with the actual results that have been obtained during production in order to identify bottlenecks in the technology. Among others, through simulation, in-depth study of temperature processes [20-23] has become widespread which are integral parts of the modern metal-forming process.

Due to the modern development of different variants of technological processes, such as normalized rolling, thermomechanical rolling, with all its varieties, the principles of which are the interaction, under certain conditions, between temperature and deformation, there are still questions about their integrated study and impact on the final products quality [24-26].

The objective of the work is to investigate the stress and strain distribution under the conditions of the rolling process at the Steckel mill by the finite-elements method



(FEM); compare the calculation results of the rolling force parameters obtained by the simulation based on the Abaqus CAE 6.14-2 software with the actual results obtained at the Steckel mill.

In recent years, the number of Steckel mills, which have undergone several evolution stages, has increased considerably. Modern mills are able to produce not only heavy deformed electrical and carbon steels but also high-strength and corrosion-resistant microalloyed steels. The dimensional range has also extended significantly: modern mills can produce rolled products with a thickness of 1.5...50mm, including plates, instead of the thicknesses of 2...12mm. The weight of slabs used is up to 70tons. State-of-the-art Steckel mills are equipped with all the necessary equipment to produce high-quality rolled products.

In keeping with the advancing digital technologies, rolling technology mathematic simulation methods are now widespread. Various authors offer mathematical models with different structures, which are developed by various methods [27-34]. It should be pointed out that most of the papers are based on the finite element and finite differences method.

Various error levels, which can be obtained by using these models, determine their further application from the simulation at the education program level [31] to the target technology design.

In paper [32], the authors suggest using the developed model to design the controlled rolling or thermo-mechanical [33] rolling technologies, since it takes into account thermo-physical and structural parameters [34]. However, the authors do not indicate the error level that this model allows to obtain. The model proposed by the authors [35], which involves the influence of metal anisotropy in the rolling process, is particularly interesting. However, other authors do not indicate or take into account this feature.

The error indicated by the authors in paper [36] is determined by rolling force and is 1.42MN on average. It should be noted that the abovementioned error depends on the rolling force level, which is shown in the graphs in paper [36]. The simulation error indicated by the authors in paper [37] is $\pm 10\%$, and in paper [38] the error is up to 15.6% in the first pass and then decreases. In paper [39], the error is less than 8%. Thus, different error level of the authors makes it possible to differentiate the proposed models for the calculation of more or less sensitive production methods. However, the use of models with the least error in the design of controlled or thermo-mechanical rolling technology, as shown in papers [32, 33], is unanimous.

It should be mentioned that most mathematical models, which have been developed by engineering companies and tested on the existing equipment, have



limited access.

Thus, the use of models for the development of rolling technology, its optimization greatly facilitates this process, reduces technological errors and mitigates risk of obtaining products of unsatisfactory quality, to which, among other things, the authors [29, 34, 40, 41] paid attention.

The relevance of development and mathematical model evaluation for the conditions of the Steckel mill at Ferriera Valsider SpA is driven by the need to master new technologies in order to expand the product mix and meet the needs of the European market.

The paper is focused on evaluating mathematical model of hot-rolled coil rolling at the Steckel mill at Ferriera Valsider SpA (metallurgical plant which has been successfully operating in Verona (Italy); it belongs to METINVEST Group since 2001), for the further development of technology.

3.1. Materials and Methodology

3.1.1. Input data and methodology for finite element simulation

The technological process and power characteristics of the Steckel mill at Ferriera Valsider plant, Italy have been investigated in the work. The scheme of the main technological line for the production of hot-rolled coils at Ferriera Valsider plant is shown in Fig. 1. The characteristics of the experimental product mix and the actual rolling schedule are given in Table 1-3.

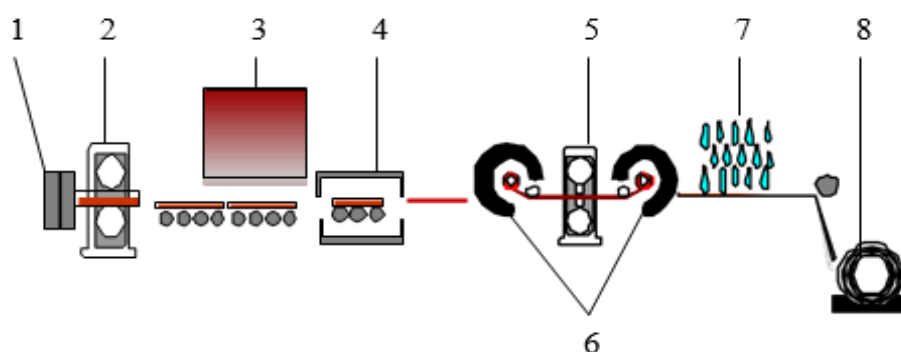


Fig. 1. Scheme of the technological line for the production of hot-rolled coils at Ferriera Valsider plant: 1 – stand with vertical rolls; 2 – roughing stand of 3170; 3 – pushing continuous heating furnace; 4 – through roller furnace; 5 – Steckel stand 1780; 6 – furnace coilers; 7 – equipment of laminar cooling; 8 – coiler



Table 1

The product mix of slabs and coils under study

Heat number	Slab number	Steel grade	Slab cross-section, [mm]	Coil cross-section, [mm]
81518	A1/02005400	S355JR+AR	220×1520×9800	15×1500

Table 2

The chemical composition of the steel grade S355JR+AR under study

Heat number	Mass fraction, [%]														
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Nb	Mo	V	N	As
81518	0.14	0.023	1.40	0.014	0.003	0.05	0.18	0.02	0.035	0.005	0.034	0.01	0.005	0.007	0.005

Table 3

The actual rolling schedule of heat number 81518 on the stands of the Steckel mill

Rolling mill	Pass	H, [mm] ¹	h, [mm] ²	Reduction, [%]	Diameter of working rolls, [mm]	Rolling speed, [m/s]	Temperature before pass, [°C]	Rolling force, [MN×100]
Two-high rolling mill 3170	1	221.3	200.49	9.40	1050	2.20	1090	1007
	2	200.49	178.82	10.81	1050	2.20	1068	904
	3	178.82	158.36	11.44	1050	2.20	1068	1000
	4	158.36	139.55	11.88	1050	2.20	1044	1017
	5	139.55	120.54	13.62	1050	2.20	1073	1015
	6	120.54	103.88	13.82	1050	2.20	1023	1077
	7	103.88	87.23	16.03	1050	2.20	1055	1121
	8	87.23	71.81	17.68	1050	2.20	1009	1243
	9	71.81	57.87	19.41	1050	2.20	1027	1254
	10	57.87	46.82	19.09	1050	2.20	1027	1246
	11	46.82	37.16	20.63	1050	2.20	1041	1397
Fore-high rolling mill 1780 (Steckel)	1	37.16	23.95	35.55	620	4.06	999	1957
	2	23.95	18.98	20.75	620	4.06	958	1351
	3	18.98	15.17	20.07	620	4.06	920	1195

^{1, 2} thickness before (H) and after (h) the pass, mm



It should be noted that in order to exclude calculation errors associated with the fixation of the actual rolling temperature on the passes at the rolling mill, in the Abaqus CAE system simulation, the results of the analytically performed calculation have been used [6]. To build a model of metal physical and mechanical properties processed in the system CAE (Complete Abaqus Environment) it is necessary to specify its density, elasticity and plastic properties. The finite-element (FE) model of a hot rolling process is built for the rolling process of steel grade S355JR+AR according to the requirements of EN 10025-2, with the chemical composition given in Table 2. The following parameters were set in the Abaqus CAE system: density $7.8\text{E}09 - \text{t/mm}^3$; Poisson's ratio – 0.3. The Young's modulus has been given depending on the metal temperature $t, ^\circ\text{C}$ according to the following dependence [42]:

$$E = (213.286 - 4.877 \times 10^{-2}t - 3.33 \times 10^{-5}t^2 - 2.778 \times 10^{-8}t^3) \times 10^3, \text{MPa}. \quad (1)$$

The deformation resistance (flow stress) of the metal was determined according to the method of L.V. Andreyuk and G.G. Tyulenev, by the chemical composition [43]:

$$\sigma_s = S_{\sigma_{0D}} u^a (10\varepsilon)^b (t/1000)^c, \quad (2)$$

where u – is the strain rate, s^{-1} ; ε – engineering strain; t – is the deformation temperature, $^\circ\text{C}$; $S_{\sigma_{0D}}$, a , b , c – coefficients for each steel grade, which are determined by the corresponding dependences, taking into account the content of chemical elements in steel [43].

The transformation of the deformation resistance values $\sigma_{s \text{ true}}$, obtained by the method of L.V. Andreyuk and G.G. Tyulenev, and the engineering strain values ε_{in}^{pl} for implementation in the Abaqus CAE environment has been performed according to the following method:

$$\sigma_{s \text{ true}} = \sigma_s (1 + \varepsilon); \quad (3)$$

$$\varepsilon_{true} = \ln(1 + \varepsilon); \quad (4)$$

$$\varepsilon_{in}^{pl} = \varepsilon_{true} - \frac{\sigma_{s \text{ true}}}{E}. \quad (5)$$

The deformation resistance $\sigma_{s \text{ true}}$ in the Abaqus CAE environment has been given depending on: the engineering strain (ε) in the range of 0.0-0.8; strain rate (u) in the range of 0.0-40.0 s^{-1} ; deformation temperature (t) in the range of 800-1200 $^\circ\text{C}$. In the calculations according to equation (2), to obtain zero values for the engineering strain and the strain rate in the Abaqus CAE system, the values respectively equal to 0.001 and 0.01 have been used. The values of deformation resistance $\sigma_{s \text{ true}}$ and the



engineering strain ε_{in}^{pl} have been processed by formulas (3) and (5).

To reduce the calculation time in the model, according to the software developer's recommendations, process symmetry has been used. Processing of the FE analysis results consisted in the analysis of stress and strain fields. Reactions at the roll reference point have been used to analyze the power parameters of the rolling process. Graphs obtained in the Abaqus CAE environment have been exported to MS Excel in numerical form.

3.1.2. Materials of Research

The main equipment of the Steckel mill train at Ferriera Valsider SpA consists of 6-zone pusher-type reheating furnace for heating of the slabs, which is fed by natural gas, mill 3170 for the rolling of heavy plates and semi-finished rolled stock for the Steckel mill, which involves two-high stand with a rolling force of 25MN, and edger mill, 7-zone pusher-type roller hearth furnace for intermediate heating of the semi-finished rolled stock, which is fed by natural gas. The Steckel mill includes four-high stand 1780 with a rolling force of up to 24MN and batch-type furnace with drum-type coils, which is fed by natural gas. There is also laminar cooling unit for 41m strip after rolling, which allows cooling metal at a rate of up to 40°C/s. The coilers are designed to coil a strip with a thickness of up to 20mm. Layout of the main equipment at the Steckel mill at Ferriera Valsider SpA is shown in Fig. 1.

In the mathematical model, used for calculations, the input parameters are as follows: dimensions and chemical composition of the workpiece, burnout loss in the reheating furnace, power, speed, and geometric characteristics of the main equipment used for the coil production.

The model, which takes into account equipment features and factors that affect rolling temperature at the Steckel mill, has been used as a basis when developing rolling process model [27].

To check the mathematical model, the following actual data on rolling of the coils, the product mix of which is shown in Table 4 have been used.

Table 4

Product mix of slabs and coils used to check the mathematical model

Heat code	Slab No.	Steel grade	Slab section, [mm]	Coil section, [mm]
81518	A1/02005400	S355JR+AR	220 x 1520 x 9800	15 x 1500
83270	A1/02008812	S355J2+N		12 x 1500
83749	A1/02008905	S355J2+N		10 x 1500



The chemical composition of the slabs used to check the mathematical model is used in Table 5.

In the simulation, actual steel resistance to the plastic deformation has been calculated using actual chemical composition of the slabs in accordance with Andriiuk and Tiulenev methods.

Table 5

Chemical composition of steel, which is used to produce rolled products to check the mathematical model

Heat code	Mass fraction, [%]														
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Nb	Mo	V	N	As
81518	0.14	0.023	1.40	0.014	0.003	0.05	0.18	0.02	0.035	0.005	0.034	0.01	0.005	0.007	0.005
83270	0.14	0.015	1.34	0.017	0.004	0.04	0.02	0.02	0.033	0.005	0.034	0.01	0.005	0.005	0.005
83749	0.13	0.009	1.37	0.014	0.004	0.05	0.03	0.03	0.037	0.005	0.030	0.01	0.005	0.006	0.005

The gap between the working rolls is to be converted to the thickness of the rolled products, including the stand stiffness, for the use of actual data on the rolling conditions [44, 45].

The stand stiffness of two-high stand (mill 3170) has been calculated on the basis of roll gap data, actual length of the rolled product and rolling force in this pass:

$$S_r = \frac{F}{H_f - H_G}, \quad (6)$$

where F is the rolling force, MN x 100; H_f is the actual thickness of the rolled product calculated on the basis of measurements of the actual width and length of the rolled product in the last pass and the weight of the rolled product, mm; H_G is the roll gap in the last pass, mm.

Thus, the calculated stand stiffness (mill 3170) is 180MN x 100/mm. The data used for calculation are given in Table 6.

Table 6

Data for calculation of two-high stand stiffness, mill 3170

Parameter	Unit measure	Value	Parameter	Unit measure	Value
F	[MH x 100]	1397	Rolled product length	[mm]	56280
H_G	[mm]	29.4	Workpiece weight	[t]	24.48
Rolled product width	[mm]	1494	S_r	[MH x 100/mm]	180



The following formula has been developed to calculate the four-high stand stiffness (Steckel mill 1780 condition), depending on the rolling force, based on the improved equation:

$$S_f = 191.16 \ln(F) - 1032.7. \quad (7)$$

Formula (7) is obtained on the actual data, the processing results of which are shown in Fig. 2.

To calculate the deviations in the thickness of the rolled product due to change in stiffness, depending on the rolling force in the stand (mill 1780), it is possible to use the dependence obtained on the basis of actual data, and equation (7):

$$\Delta H = 2.0242 \ln(F) - 10.646. \quad (8)$$

The comparison of deviations in thickness, when changing the stiffness of two-high stand (mill 3170) and four-high stand (mill 1780), calculated on the basis of dependencies (6-8) is shown in Fig. 3.

When increasing the rolling force from 500MN x 100 to 2400MN x 100, deviation in thickness due to change in the stand stiffness (mill 3170) increases from 3mm to almost 14mm, and from 2 mm to 5mm for the mill 1780. The comparative results show a significantly higher stand stiffness (mill 1780) and, consequently, higher quality of the finished rolled product, as well as the need to take into account deviations in the thickness of the workpiece coming from the mill 3170 when implementing the rolling conditions in the stand of the mill 1780.

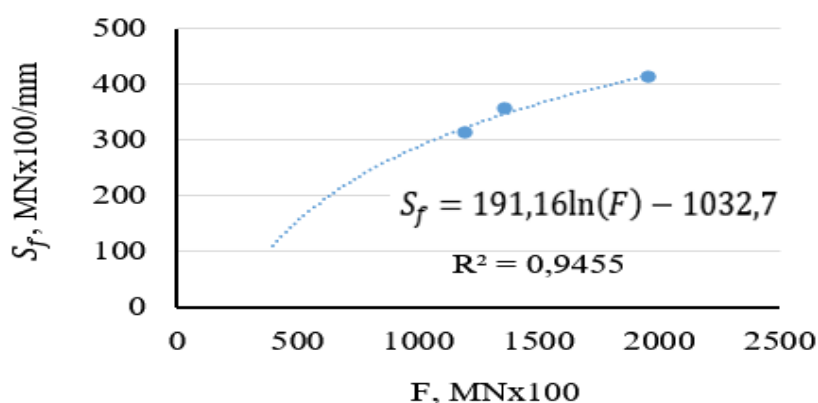


Fig. 2. Dependence of two-high stand (Steckel mill 1780) stiffness on the rolling force

Taking into account the stiffness of both stands, there have been made calculations of the rolling parameters for coils, the product mix of which is given in Table 4. The actual resistance to deformation has been calculated in accordance with the method of L.V. Andriuk based on the chemical composition of steel. Using these parameters, high-speed rates and torques of the main electric motors of the mills of 3170 and 1780 (Steckel) have been calculated. The calculation error has been



calculated with the use of various parameters such as temperature and rolling force.

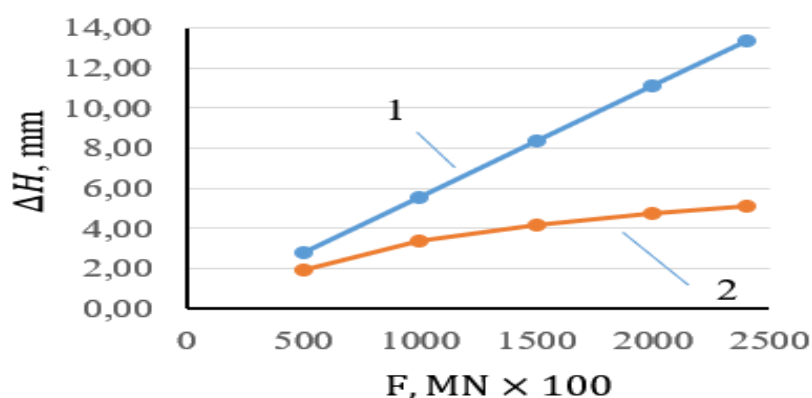


Fig. 3. Comparison of thickness deviations due to change in stiffness of two-high stand, mill 3170 (1), and four-high stand, 1780 (2), depending on the rolling force

3.2. Finite-Element Simulation of Rolling

3.2.1. Results of Research

The calculation of steel grade S355JR+AR rolling processes from slabs with dimensions of 220 mm × 1520 mm × 9800 mm and the final coil dimensions of 15 mm × 1500 mm in the Abaqus CAE environment has been carried out by passes for the roughing stand, rolling mill 3170 and for rolling mill 1780 with furnace coilers (Steckel), taking into account the features of technology and equipment. The results of calculations of equivalent stress fields (S) and equivalent plastic strain (PEEQ) through the demonstration passes in the rolling mill stand 3170 are shown in Fig. 4. It should be noted that in the figures, the fields of equivalent stress (S) have the dimension “MPa”.

Based on the dynamics of changes in the shape of the fields, intensity or level of equivalent stress S in layers, we can make the conclusion as for the penetration of the deformation through the thickness of rolled products. As known, the final properties of the rolled products begin to form at the stage of roughing rolling. Therefore, obtaining data on the occurrence of such a phase in the metal allows to improve processes of the design, development and improvement of the technology in relation to characteristics of a particular condition and the material being processed.

When modeling the rolling schedule of steel grade S355JR+AR in mill stand 3170, the beginning of the deformation penetration into the entire depth of the semi-rolled product, in thickness, is observed in the sixth pass. Here a solid layer or stress



field begins to form which equals 90 % of the maximum equivalent stress in this pass, under other appropriate rolling conditions. The equivalent plastic strain at the exit of the deformation zone, in layers, depending on the depth of penetration into the thickness of the rolled products, varies from 0.121 up to 0.208, the difference is 0.087.

Upon further rolling, in the subsequent passes, there is an increase in the length of this continuous stress field together with an increase in the value of the equivalent plastic strain. In pass 8 the formation of a layer of maximum stress is being observed with its subsequent expansion and mixing with the stress layer, which equals 90 %, taking into account the size of the deformation zone. The equivalent plastic strain at the exit of the deformation zone in layers depending on the depth of penetration into the thickness of the rolled products varies from 0.184 up to 0.246, the difference is 0.062.

Based on the results obtained, one can conclude that the technological efficiency of the rolling process, which is being simulated, starts to occur from the sixth pass. The deformation, which is carried out before the sixth pass, is mostly aimed only at achieving the required shape of the rolled products or semi-rolled product. The technological efficiency means the implementation of the rolling process with a significant impact on internal processes occurring throughout the thickness, and not only on the surface layers of the rolling products. The results of the calculation of the equivalent stress fields S and equivalent plastic strain $PEEQ$ along the passes in the rolling mill stand 1780 (Steckel) are shown in Fig. 5.

When modeling the rolling schedule of steel grade S355JR+AR in mill stand 1780 (Steckel), in all three passes there is the penetration of deformation into the entire depth of the semi-rolled product thickness under other appropriate rolling conditions. In this case, the equivalent plastic strain at the exit of the deformation zone in layers is almost the same throughout the depth / thickness of the rolled products and has the following corresponding values: 0.422, 0.228, and 0.208-0.238.

Based on the obtained results it is possible to conclude that when rolling in mill stand 1780 (Steckel), through all passes, the penetration of deformation is carried out through the entire thickness of rolling products. The maximum equivalent stress and the stress equaled 90 % of the maximum have a continuous layer throughout the entire thickness of the rolled products, taking into account the size of the deformation zone.

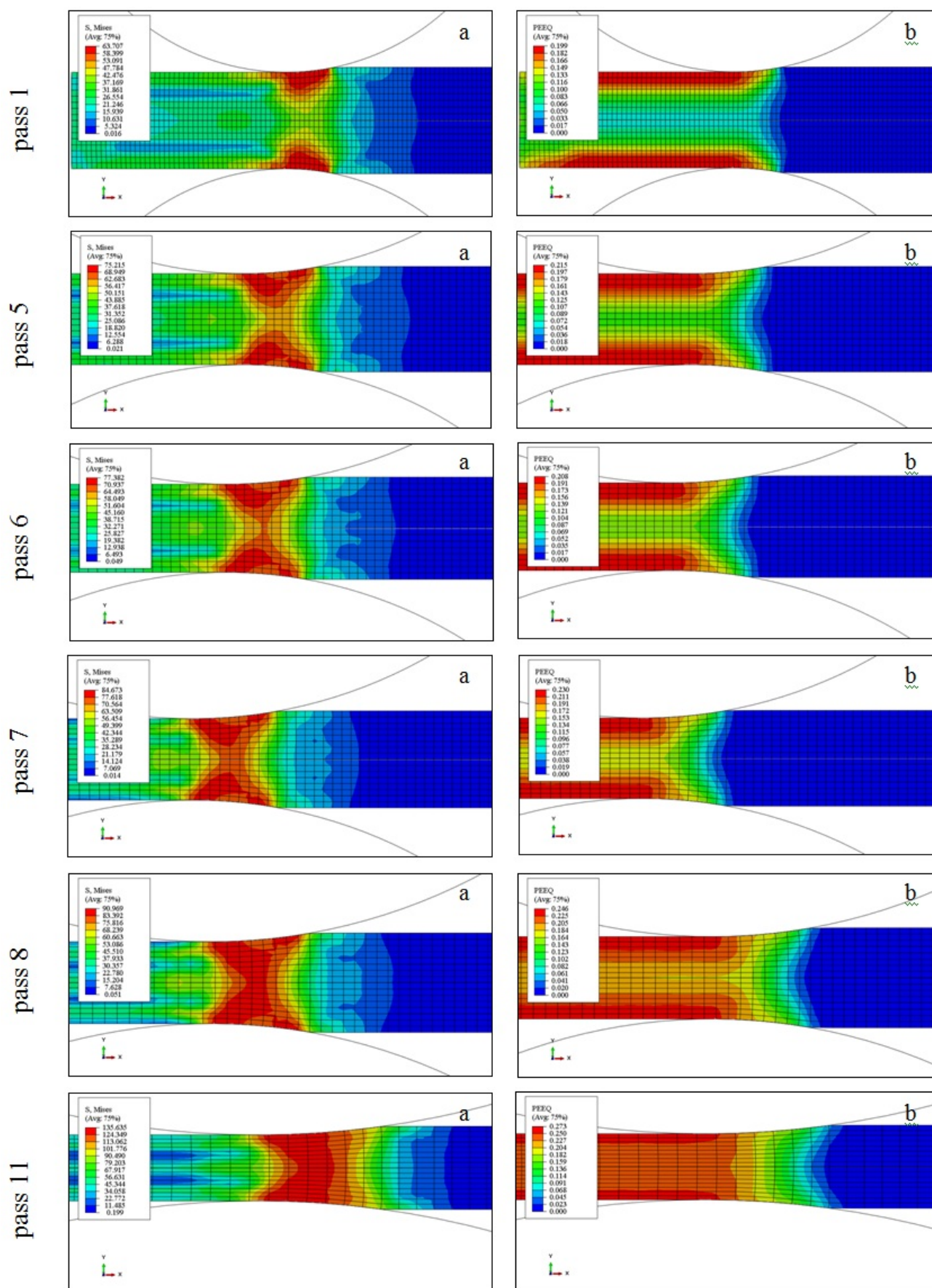


Fig. 4. The results of calculations of the equivalent stress fields (a) and equivalent plastic strain (b) in the passes at mill 3170

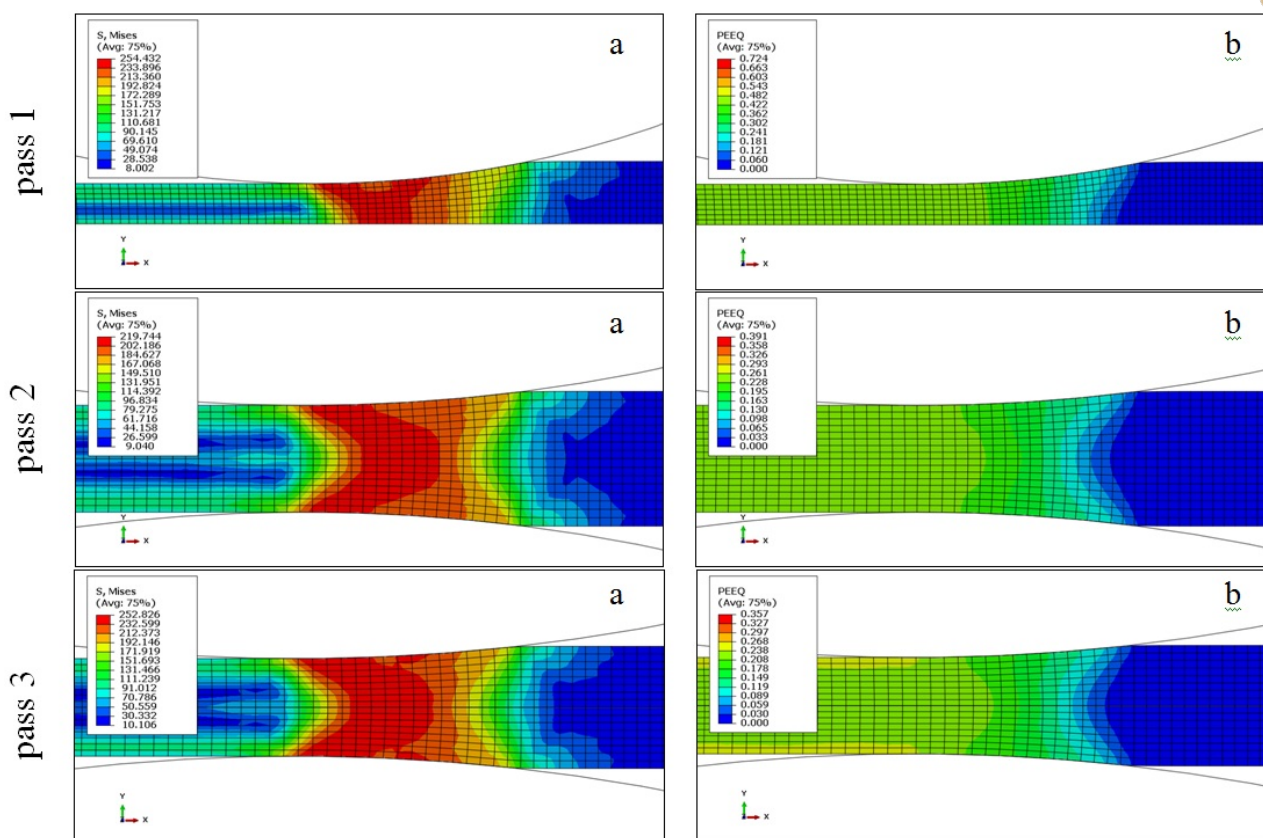


Fig. 5. The results of calculations of the equivalent stress fields (a) and equivalent plastic strain (b) in the passes at rolling mill 1780 (Steckel)

3.2.2. The Analysis and Discussion

The results of calculations in the passes obtained by the FE simulation have been compared to the actual results of coils rolling with dimensions of $15 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm}$, of steel grade S355JR+AR. Additionally, in order to identify deviations associated with the fixation of the actual rolling performance, similar calculations have been performed using the improved analytical model of the rolling process [6]. Comparison of the calculations results of temperature and rolling force is given in Table 7.

On the basis of comparative calculations it has been established that the obtained deviations of the rolling force between the two methods of calculation and the actual data have comparable results and a similar trend of changes in the passes, Fig. 6. The average value of the obtained deviations does not exceed 1.54 % and -1.77 % and indicates the high accuracy of the obtained calculations results by both calculation methods.

The analytical checking calculation of the change in the temperature of the strip along the passes, used in the mathematical modeling, confirmed the presence of significant deviations in the actual temperatures during the roughing rolling, which may occur due to the location of technological pyrometers and the presence of steam.



Table 7

Comparison of actual results of coils rolling with dimensions of 15 mm × 1500 mm produced of steel grade S355JR+AR at the Steckel mill with the results of calculations

Rolling mill	Pass	H, [mm] ¹	h, [mm] ²	Reduction, [%]	Factual data		Calculation in the analytical model		Calculation in Abaqus CAE	Deviation of calculations of rolling force, %	
					t, [°C] ³	Rolling force, [MN×100]	t, [°C] ³	Rolling force, [MN×100]	Rolling force, [MN×100]	Abaqus from the fact	Analytical from the fact
Two-high rolling mill 3170	1	221.3	200.49	9.40	1090	1007	1200	867.78	923.42	8.30	13.83
	2	200.49	178.82	10.81	1068	904	1194	946.42	970.29	-7.33	-4.69
	3	178.82	158.36	11.44	1068	1000	1187	965.31	963.11	3.69	3.47
	4	158.36	139.55	11.88	1044	1017	1179	970.42	943.00	7.28	4.58
	5	139.55	120.54	13.62	1073	1015	1169	1060.42	1011.41	0.35	-4.47
	6	120.54	103.88	13.82	1023	1077	1158	1048.15	981.68	8.85	2.68
	7	103.88	87.23	16.03	1055	1121	1144	1163.62	1088.26	2.92	-3.80
	8	87.23	71.81	17.68	1009	1243	1127	1243.94	1174.54	5.51	-0.08
	9	71.81	57.87	19.41	1027	1254	1105	1341.91	1291.21	-2.97	-7.01
	10	57.87	46.82	19.09	1027	1246	1076	1350.15	1288.40	-3.40	-8.36
	11	46.82	37.16	20.63	1041	1397	1037	1532.49	1484.29	-6.25	-9.70
Average										1.54	-1.23
Fore-high rolling mill 1780 (Steckel)	12	37.16	23.95	35.55	999	1957	999	1900.98	2253.24	-15.14	-2.86
	13	23.95	18.98	20.75	958	1351	973	1173.79	1169.96	13.40	13.12
	14	18.98	15.17	20.07	920	1195	931	1236.66	1202.42	-0.62	-3.49
Average										0.38	-1.77

^{1, 2} thickness before and after the pass, mm

³ temperature before pass

Thus, the legitimacy of application of analytically calculated rolling temperatures for FE simulation has been confirmed.

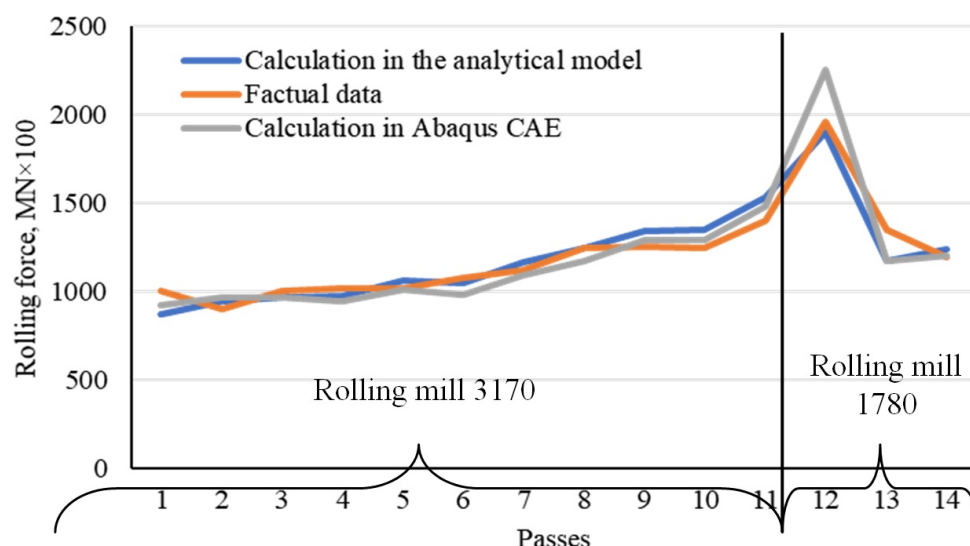


Fig. 6. Changes in the rolling force in passes according to various methods of calculation

It is known that the average pressure when rolling is the weigh-averaged value between the stress that appears in individual layers throughout the thickness of the semi-rolled product when rolling and the stress resulted from the influence of processes outside the contact deformation. Based on the results of mathematical modeling, the levels of equivalent stress on each layer in the deformation zone have been determined, the processing of which in Excel allows to determine the value that is comparable to the average pressure when rolling. Based on this fact, and the results of analytical calculations at the roughing stage of rolling, we can determine the beginning of the formation of a continuous layer of equivalent stress during roughing rolling, i.e. the beginning of the penetration of deformation throughout the entire thickness of the semi-rolled product. The results of the calculations are given in Table 8. The intersection between the deviation curve between the maximum level of the equivalent stress (S) and the average pressure when rolling and the curve of variation of the reduction along the passes (built within the experimental limits) is the beginning and is the corresponding condition of the deformation penetration throughout the entire thickness of the semi-rolled product at roughing rolling at rolling mill 3170, Fig. 7.

Thus, it has been determined that the beginning of the continuous layer formation of the equivalent stress during the roughing rolling, and accordingly the beginning of the penetration of deformation throughout the entire thickness of the semi-rolled product occurs in pass 6 under conditions of engineering strain equal 0.14 (reduction 14 %). The change of the deviation in the passes from positive to negative values can be explained as the process of balancing between the increase of the



equivalent stress layer in the deformation zone and the decrease, in comparison, of the influence outside the contact deformation.

Table 8

The calculation results to determine the beginning of the formation of a continuous layer of equivalent stress during the roughing rolling at mill 3170

Parameter	The value of the parameter by number of passes										
Pass	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Average pressure when rolling, [MPa] ¹	54.80	58.57	61.48	64.46	70.06	73.98	82.15	91.26	103.54	117.01	142.04
Maximum level of equivalent stress, S, [MPa]	63.71	66.42	67.50	70.94	75.22	77.38	84.67	90.97	104.30	116.85	135.64
Deviation between S and average pressure, [%]	13.98	11.82	8.92	9.14	6.85	4.40	2.98	-0.32	0.73	-0.13	-4.72
Reduction, [%]	9.40	10.81	11.44	11.88	13.62	13.82	16.03	17.68	19.41	19.09	20.63

¹ calculated using the analytical model

In the finishing rolling at the Steckel mill, the deformation that occurs is sufficient and penetrates the entire thickness of the rolled product. Accordingly, the deviation curves of the deviation between the maximum level of equivalent stress and the average pressure when rolling and the curve of the reduction change do not intersect, Fig. 8.

Based on the obtained results of the simulation of the rolling process at the Steckel mill by the FEM the line of the beginning of the deformation penetration through the entire thickness of the semi-rolled product during the roughing rolling of steel grade S355JR+AR has been established, which is equal reduction to 14 %. In the case of finishing rolling along all passes, in the conditions of quasi-stationary temperature distribution at the Steckel mill the deformation that occurs is sufficient and penetrates the entire thickness of the rolled product. This condition and the corresponding dynamics are mostly related to the thickness of the semi-rolled product during the finishing rolling. The obtained results allow to control the processes of the internal quality and the set of rolled products properties that are to be obtained by developing appropriate technological schedules taking into account the strains through the thickness of the rolled product.

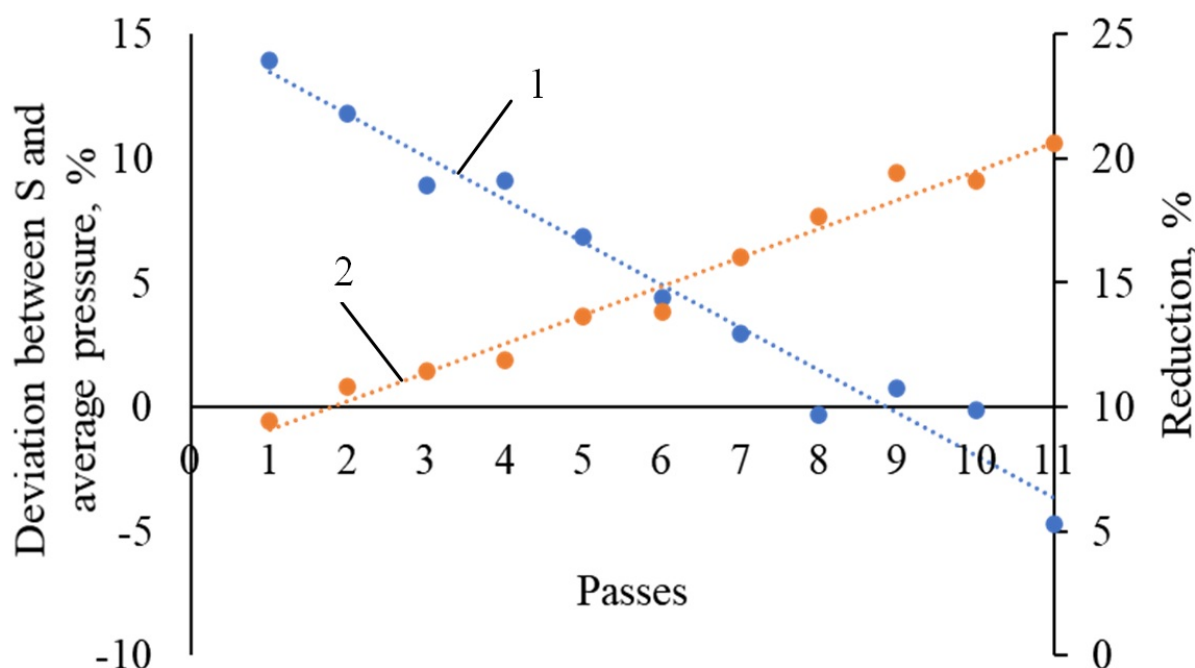


Fig. 7. Determination of the beginning and conditions of the deformation penetration through the thickness of the semi-rolled product during the roughing rolling at mill 3170 based on the deviation curves between the maximum level of the equivalent stress and the average pressure when rolling (1) and the curve of variation of the reduction (2)

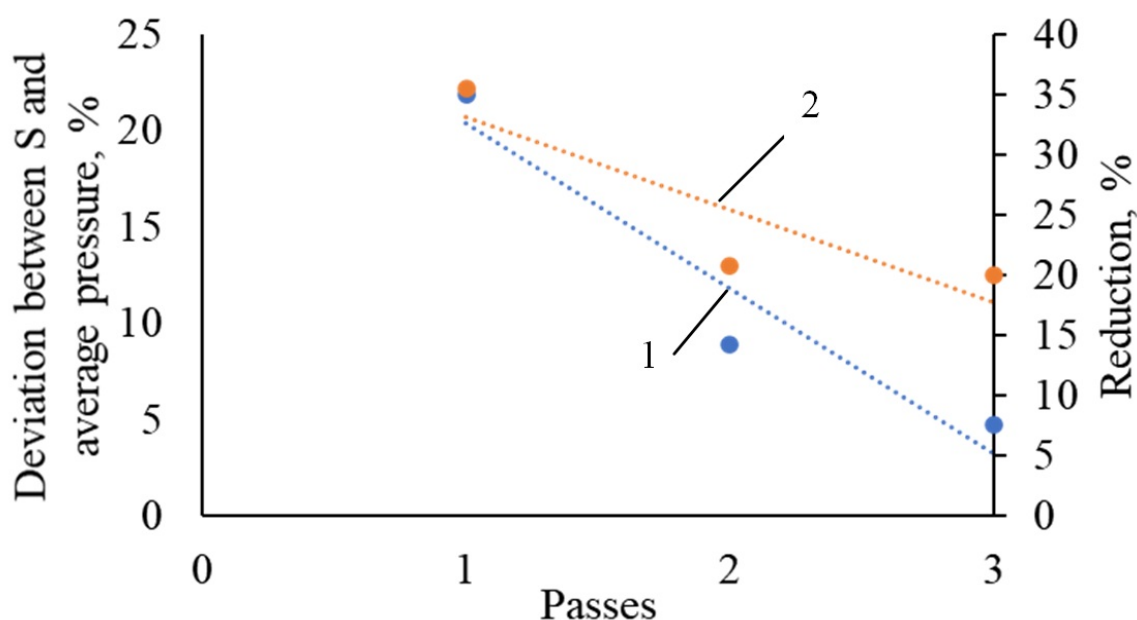


Fig. 8. Determination of the state of the deformation penetration through the thickness of the semi-rolled product during the finishing rolling at mill 1780 on the deviation curves between the maximum level of the equivalent stress and the average pressure when rolling (1) and the curve of variation of the reduction (2); passes 1, 2 and 3 are passes 12, 13 and 14, respectively



3.3. Application for Improving the Rolling Process Modes

As a result of calculation of the rolling force and the temperature by each pass, there has been made an estimation of errors between the actual and calculated data, the results are shown in the Table 9.

Table 9

Errors between the actual and calculated data on the product mix under examination

Mill	Parameter	Calculation error, [%]			
		Heat code	81518	83270	83749
		Coil section, [mm]	15 x 1500	12 x 1500	10 x 1500
3170	Temperature	average	-9.11	-9.06	-8.27
		minimum	-13.2	-15.71	-14.7
		maximum	0.38	0.96	1.81
	Rolling force	average	0.8	5.7	0.5
		minimum	-16.0	-3.6	-13.6
		maximum	8.8	15.5	9.5
1780 (Steckel)	Temperature	average	-0.92	0.03	0.003
		minimum	0	0.22	-0.205
		maximum	1.57	0.31	0.22
	Rolling force	average	-4.89	6.59	-2.73
		minimum	-15.1	-5.6	-12.94
		maximum	3.37	20.9	12.89

Based on the calculation results for rolling parameters and errors, the following should be noted:

- at the mill 3170, significant deviation of the actual temperature from the calculated one is due to errors of the actual measurements, which could be affected by the water remaining on the surface of the feed after descaler or cooling of mill rolls. In this case, calculated and actual temperatures at the end of rolling at the stand 3170 have least errors, which are 0.38%, 0.96% and 0.39% for the coils with a thickness of 15mm, 12mm and 10mm, respectively. The calculated rolling force at the stand 3170 has a similar dynamics with actual data, which also confirms the correctness of the calculated temperatures.

- at the mill 1780, error in the temperature calculation is within the range from 0% to 1.57%, which is a reasonably satisfactory result, taking into account the influence of the equipment being used, in particular furnace coils. The error obtained when calculating the rolling force in the first pass for the coils with a thickness of 12mm and 10mm is related to actually higher metal temperature before the mill than



that measured after descaler.

Thus, the mathematical model of the rolling process can be used for the technology design at the Steckel mills. The resulting calculation errors due to the influence on the actual indicators of technological factors do not deteriorate the value of the developed model, and can be reduced by increasing the accuracy of measurements (temperatures) by adjusting their control points, for example, by the method [46].

Conclusions

1. The research of the processes that occur in the deformation zone during the rolling process has been performed. The study of hot rolling processes at the Steckel mill by means of the FE simulation in the Abaqus CAE system has been performed on the example of the coils production with dimensions of 15 mm × 1500 mm made of structural steel grade S355JR+AR, according to EN 10025-2.

2. Based on the modeling results, the distribution of stress and strain fields along the passes has been obtained. Also, the power parameters of the rolling process have been calculated. The comparison of power parameters obtained by the FEM and calculated by the analytical method with the actual data on the results of coils rolling with dimensions of 15 mm × 1500 mm made of structural steel grade S355JR+AR at the Steckel mill has been performed. The average value of deviations does not exceed 1.54 % and -1.77 %, respectively, which proves the high accuracy of the results obtained by both methods of calculation.

3. For the first time, based on the obtained results of the rolling process simulation at the Steckel mill by the FEM the line of the beginning of deformation penetration through the entire thickness of the semi-rolled product during the roughing rolling of steel grade S355JR+AR has been determined, and it is equal to the reduction of 14 %, that corresponds to pass 6.

4. It has been established that during finishing rolling, through all passes, in the conditions of quasi-stationary temperature distribution at the Steckel mill, the deformation that occurs is sufficient and penetrates the entire thickness of the rolled product.

5. The results obtained by the FE simulation method allow to control the internal quality processes and the set of rolled product properties that need to be obtained by developing appropriate technological schedules taking into account the penetration of deformation through the entire thickness of the rolled product. The obtained results can be used to develop hot rolling technology (with one or more stages of roughing



rolling) at other types of mills and complexes of basic equipment with similar technological parameters.

6. In the paper, there has been made a verification of the developed model based on actual data obtained at the mills 3170 and 1780 (Ferriera Valsider SpA). When simulating rolling temperature conditions, an average error was within the range from 8.27 to 9.11% at the mill 3170 and from 0.003% to -0.92% at the mill 1780. When simulating rolling force, an average error was within the range from 0.5% to 5.7% at the mill 3170 and from -4.89 to 6.59% at the mill 1780.

7. There have been determined influence on the measurement of the pre-treatment temperature for the feed processing by descaler, which results in significant errors compared to the calculation results.

8. The equation has been obtained and the comparison of calculated stands stiffness has been made at the mill 3170 and 1780.

9. The developed model can be used for the rolling technology design at the Steckel mills.



KAPITEL 4 / CHAPTER 4.

OPTIMIZATION OF TWO-LAYER RESISTS FOR LASER LITHOGRAPHY ON SUBSTRATES REQUIRED FOR WIDE APPLICATION IN MICROWAVE SENSOR TECHNOLOGY

ОПТИМИЗАЦИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ РЕЗИСТОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ЛИТОГРАФИИ НА ПОДЛОЖКАХ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ В СЕНСОРНОЙ СВЧ ТЕХНИКЕ
ОПТИМІЗАЦІЯ ДВОШАРОВИХ РЕЗИСТІВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЇ ЛІТОГРАФІЇ НА ПІДКЛАДКАХ, НЕОБХІДНИХ ДЛЯ ШИРОКОГО ЗАСТОСУВАННЯ В СЕНСОРНІЙ СВЧ ТЕХНІЦІ

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-012

Introduction

We report on the optimization of laser lithography on various substrates relevant for ultra-high frequency on-chip experiments. We're aiming at fabricating microstructured photoconductive switches for transport experiments with sub-picosecond time resolution. Double layer resist systems for optimal lift-off processing of metal and semiconductor thin films are used. The double layer consist of LOR 3B as under layer and ma-P 1205 as top layer. Substrates are sapphire, i-GaAs, i-Si, SiO₂ on i-Si, and SiO₂ on p-doped Si. The target parameters for the optimization are the exposure dose and the edge roughness of microstructured elements. The latter is important to obtain high bandwidth striplines, microstrips, or coplanar waveguides.

The study of electronic transport properties of nanoscale systems on ultrashort time scales is a hot topic in solid state physics [1, 2]. There are several reasons for interest in such systems. First they comprise a variety of new physical phenomena [3-5]. Another reason is the possibility to manufacture a new generation of ultra-fast optoelectronic devices based on nanoscale systems [6, 7]. These devices include high-bandwidth striplines, microstrips, or coplanar waveguides [9, 10], as well as optical switches, such as photoconductive switches, also called Auston switches [8]. Also an interesting brunch of research in the field of terahertz are nano-devices with the properties of negative differential resistance [11, 12]. For the realization of ultra-fast electronic micro- and nanostructures and for nano-devices with negative differential resistance, the optimization of technological manufacturing methods as deposition, etching, and lift-off processes is very important. The purpose of this work is to improve the quality of resist masks used for lift-off processing under laboratory conditions to produce experimental nanostructures with dimensions down to 500 to 1000 nm, with controlled geometry and controlled boundary quality between different elements. In order to get a clean and reproducible lift-off, double-layer resists are utilized and adapted for our purposes. By using two different types of resist, one can precisely pattern the top photoresist and form an undercut in the photo insensitive bottom resist layer, resulting in a reliable lift-off profile. One should use resists with different solvents to avoid mixing of chemicals so that consistent results



across all sample batches are realized. Microchem PMGI/LOR and LOL [13] series resists work well as underlayer for i-line and broadband lithography, where the undercut rate is well controlled with standard developers [14, 15]. The uppermost layer can be a positive or negative photoresist and should typically not exceed one third of the total thickness. Especially positive photoresists as top layers are well suited for clean and repeatable lift-off processing [15]. In the present work resist of the ma-P 1200 series from microresist technology is used [16]. Optimizing the process requires an exposure series to determine the optimal exposure dose. This depends on the photoresist and the optical properties of the substrate and is described inter alia by the contrast curve [17]. The contrast of a photoresist is a measure of the sharpness of the transition from exposed to unexposed areas after the development process. Because the light spot is not perfectly binary, there will be grey areas where the resist is exposed by a fraction of the maximum dose. The higher the contrast of a photoresist, the less these grey areas are affected by the development process and the better the resolution of the resist system is. In this paper another parameter for the optimization of the resist process is considered, namely the edge roughness R . We find that this roughness critically depends on the exposure dose. The manufacturing process and the results of the optimization are described in detail in the following.

4.1. Experimental

The fabrication process of resist masks discussed here shall be used to manufacture photoconductive switches on various substrate materials that are relevant for ultrafast transport experiments. We study the properties of the double layer resist system for the following substrates: (a) sapphire from Pi-KEM Ltd., (b) intrinsic (low doped) gallium arsenide from Freiberger Compound Materials (i-GaAs), (c) intrinsic (low doped) silicon from Si-MAT GmbH (i-Si), (d) low-doped silicon with a thermally grown layer of silicon dioxide with a thickness 250 nm from Si-MAT GmbH (SiO_2 on Si), and (e) highly p-doped silicon with a thermally grown layer of silicon dioxide with thickness 285 nm from Nova Technology Inc. (SiO_2 on p-doped Si). Schematic images of all substrates and the double layer resist system with detailed parameters and geometries are shown in Fig. 1.

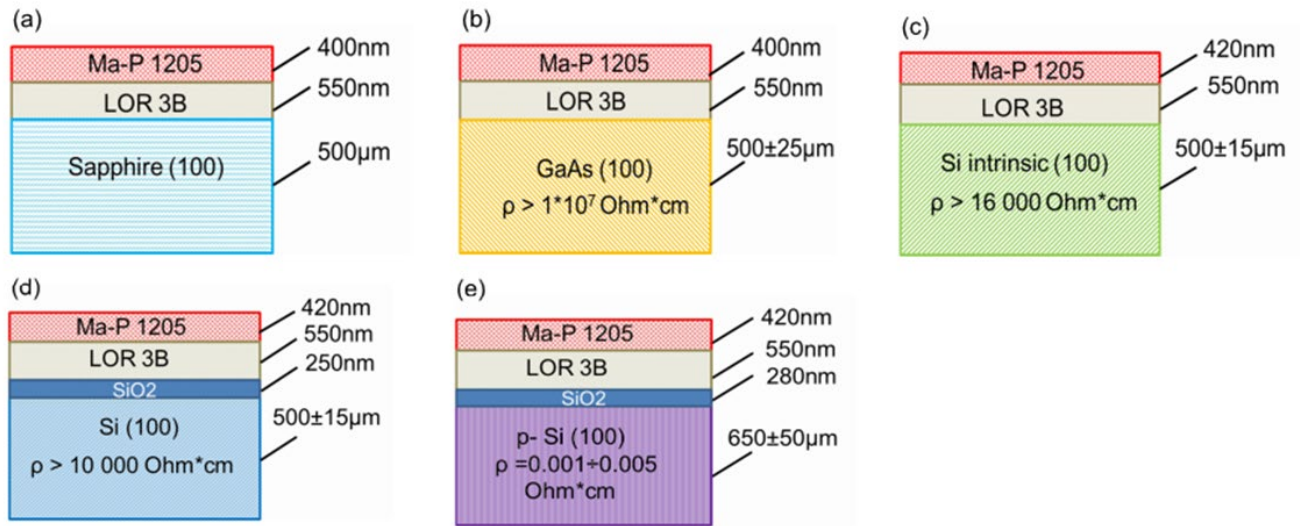


Figure1. Schematic representation of the substrates and double layer resist systems used in this study: (a) Sapphire, (b) i-GaAs, (c) i-Si, (d) SiO₂ on i-Si, and (e) SiO₂ on p-doped Si. Layer thicknesses and specific resistivity are denoted in this figure

4.2. Technology

4.2.1. Wet chemistry process and photoresist coating

The resists LOR 3B [13] and ma-P 1205 [16] are used, as this combination provides the required thickness, the undercut that is important for the later lift-off processing, as well as the sensitivity for the near UV (375 nm) laser beam of the lithography machine. All substrate types are cut into square pieces of 10 x 10 mm² using a laser prototyper LPKF ProtoLaser U3 [18], with the exception of the gallium arsenide wafers, that are cut with a diamond embedded in a custom build mechanical system for cutting wafers. After cutting, the substrates are cleaned with a standard method using acetone and isopropanol in an ultrasonic bath and washed in ultra-pure de-ionized water with a specific resistivity of 18.2 M Ω *cm [19] and dried with dry nitrogen with a purity of 99.999 %. The samples are heated to a temperature of 100 °C for 10 minutes on a hot plate to dehydrate the surface. Photoresists are applied by spin coating with a SPN150 Spin Coater [20]. First, an LOR 3B layer is spin coated on the substrate with 2000 rpm for 45 seconds. Then, the photoresist is baked on a hot plate at a temperature of 180°C for 4 minutes at an air temperature in the cleanroom at +22 °C ambient temperature and a humidity of 35 %. After slow cooling of the samples, a second photoresist of type ma-P 1205 is added by spincoating with 2000 rpm for 30 seconds. Then, the photoresist is baked on a hotplate at a temperature of 100 °C for 30 seconds in air at the abovementioned



temperature of air and humidity in the cleanroom.

4.2.2. Laser lithography

The double-layer resist is exposed in a laser lithography system μ PG 101 from Heidelberg Instruments GmbH [23]. The μ PG 101 uses a direct writing mode in near UV range, namely with a wavelength of 375 nm. To determine the contrast curves we expose arrays of rectangular elements with varying exposure dose. The initial values of the laser power and its intensity are 10 mW and 10 % while using a filter with 16 % transmission. The exposure intensity is increased in steps of 0.5 %. For the gallium arsenide substrate we increased the intensity in steps of 5%. This procedure leads to exposure doses ranging from 3 to 300 mJ/cm². For each intensity five 100 x 20 μ m² rectangles are exposed on the various substrates. All samples are developed in the developer ma-D 331/S [13] for 60 s. Deionized water is used to stop the process. The samples are rinsed in propan-2-ol [24] and dried with dry nitrogen. The developing time is kept constant at 60 s.

4.2.3. Optical inspection and AFM measurements

The lateral quality of the double-layer resist on the substrate is checked with optical microscopy (Leica DM 3000) [21]. Then the roughness of the photoresist and the substrate as well as the thickness of each layer of the photoresist are measured by atomic-force microscopy (AFM) (Bruker, Icon Dimension) [22]. AFM measurements are performed with high resolution, low power, and asymmetric shape FESPA probes. For this type of probes we use the air tapping method in the soft tapping mode, which is most adequate for soft materials. Scanning is carried out both on the photoresist surface and on the surface of the substrate. The scanning region is chosen to be 50 $\times$ 50 μ m². The AFM measurements show that the thickness of LOR 3B ranges from 500 to 550 nm, while the thickness of ma-P 1205 ranges from 450 to 490 nm. Depending on the properties of the various substrates, the total thickness of the double layer is found to range from 960 to 980 nm. To determine the contrast curves exposed with laser lithography we measured the height of the photoresist at the edge of a microstructure with a length of 50 μ m or more. After characterization, a gold layer with a thickness of 200 nm is vapor deposited. In order to ensure better adhesion to the substrates, a titanium interlayer with a thickness between 6 and 10 nm is inserted. All deposition processes are performed in a vapor deposition system HVB 100 [25]. Finally, the lift-off process is carried out with remover mr-REM 700 [26]. Lift-off times varied depending on the substrate and ranged from 2 to 12 hours.



4.3. Results and discussion

4.3.1. Contrast curves

Figure 2 shows the contrast curve for each substrate for the double layer resist system LOR3B/ma-P 1205. In the contrast curve we plot the ratio of the resist layer remaining after development normalized to the original layer thickness as a function of the logarithmically scaled exposure dose as it is done conventionally [17]. The contrast γ is defined as

$$\gamma = \left(\log \left(\frac{D_c}{D_0} \right) \right)^{-1}, \quad (1)$$

where the so called dose-to-clear D_c is the dose at which after the development no photoresist remains on the substrate, while D_0 is the dose where the photoresist starts to develop.

Figure 2 shows the contrast curves and the concomittant fit functions versus exposure dose D for the five substrates. We obtain normalized thickness curves that follow a linear decay for all substrates. The dose-to-clear D_c has values between 70 and 160 mJ/cm² depending on the substrat material.

The calculated values for the contrast γ , the dose-to-clear D_c , and the dose where the photoresist starts to develop D_0 are listed in Table 1.

Table 1.

Exposure doses and contrast values for the five substrate materials.

Substrate	D_c (mJ/cm ²)	D_0 (mJ/cm ²)	Contrast γ
Al ₂ O ₃	110	41	2.3
i-GaAs	159	48	1.9
i-Si	102	37	2.3
SiO ₂ on i-Si	103	46	2.9
SiO ₂ on p-doped Si	68	35	3.5

The contrast values range from 1.9 to 3.5, which is the expected range for optical resists that typically provide contrast values from 0.4 to 4 [25].

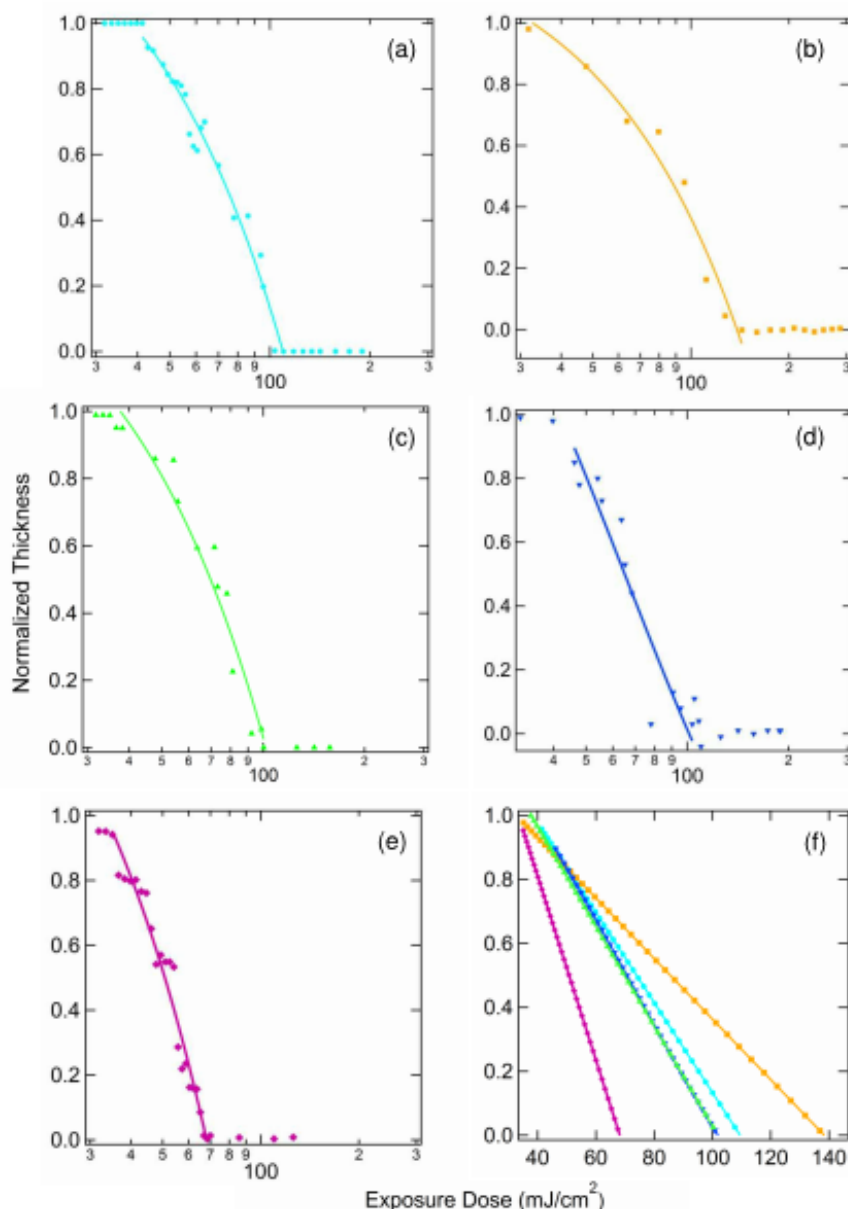


Figure 2. Contrast curves and concomitant fit curves for various substrates. (a) Sapphire, (b) i-GaAs, (c) i-Si, (d) SiO₂ on i-Si, and (e) SiO₂ on p-doped Si, (f) comparison of fit curves

4.3.2. Roughness of double layer resist

The roughness of the double layer resist system as well as of the substrate surfaces are measured with a Bruker Icon Dimension AFM using the roughness statistics software routine from Bruker. Statistics are derived following the standard B46.12 of the American Society of Mechanical Engineers (“Surface Texture: Surface Roughness, Waviness and Lay”) [22]. After plane fitting the data we evaluate the root mean square and the arithmetic mean roughness values R_q and R_a . R_q is here defined as the standard deviation of the measured z_i values within the region of interest



$$R_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N z_i^2}{N}}, \quad (2)$$

where N is the number of points within the region of interest. In our case the region of interest of $50 \times 10 \mu\text{m}^2$ yielded $N \approx 50.000$. R_a is the arithmetic average of the absolute values of the measured z_i values within region interest

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |z_i|. \quad (3)$$

Calculated roughnesses for the double-layer resist on all substrates for optimal dose are listed in Table 2.

Table 1.

Geometric and arithmetic roughnesses of photoresist and substrate.

Name of substrate	Roughness of photoresist (nm)		Roughness of substrate (nm)	
	R_q	R_a	R_q	R_a
Al_2O_3	7.8	3.9	11.3	6.3
i-GaAs	2.6	2.0	3.2	1.7
i-Si	2.7	1.5	6.4	4.1
SiO_2 on i-Si	3.9	3.0	7.9	6.4
SiO_2 on p-doped Si	5.4	2.3	8.6	3.0

The roughness values for all investigated substrates are in the range of 2 to 11 nm. The roughness of the substrates at the exposed sites is 2 to 4 nm larger than the roughness on top of the double-layer resist. After spin coating, soft baking and exposure the best roughness is found for the i-GaAs substrate. During the measurement of the contrast curves, it has been observed that the edge roughness changes strongly. It is reduced for increasing dose and then saturates. To elucidate this more we investigated the edge roughness systematically. The results are presented in the following.

4.3.3. Edge roughness of microstructured double-layer photoresist

Based on the software Igor from WaveMetrics [25] we determine the edge roughness of the microstructured double-layer resist on all five substrates. First, the position x_e of the edge is determined by fitting an error function to each line scanned vertical to the resist edge. After subtracting a linear fit to the edge positions the roughness R_e is calculated by the root mean square of the edge position values. For all samples the edge roughness is calculated for an edge length of at least $50 \mu\text{m}$. All five microstructured elements of varying exposure dose are included in the calculation of



the edge roughness. Edge roughness values R_e , optimal exposure dose values from contrast curves D_c , and optimal exposure dose values from the study of the edge roughness D_e are listed in Table 3 and are shown in Figs. 3 and 4.

Table 3.

Comparison of edge roughness of microstructures, optimal dose from contrast curves, and optimal dose from edge roughness studies on various substrates.

Name of substrate	Edge roughness R_e (nm)	Optimal dose from contrast curve D_c (mJ/cm ²)	Optimal dose from edge roughness D_e (mJ/cm ²)	Contrast γ
Al ₂ O ₃	35.8	110	110	2.3
i-GaAs	10.0	159	159	1.9
i-Si	15.4	102	102	2.3
SiO ₂ on i-Si	20.2	103	110	2.9
SiO ₂ on p-doped Si	24.2	68	78	3.5

The edge roughness is in the range of 10 to 36 nm for the optimum dose D_e depending on the substrate. Figure 3 shows the dependence of the optimal exposure dose D_c on the contrast for the five substrates. From the plot it can be inferred that a high contrast requires a low exposure dose [17].

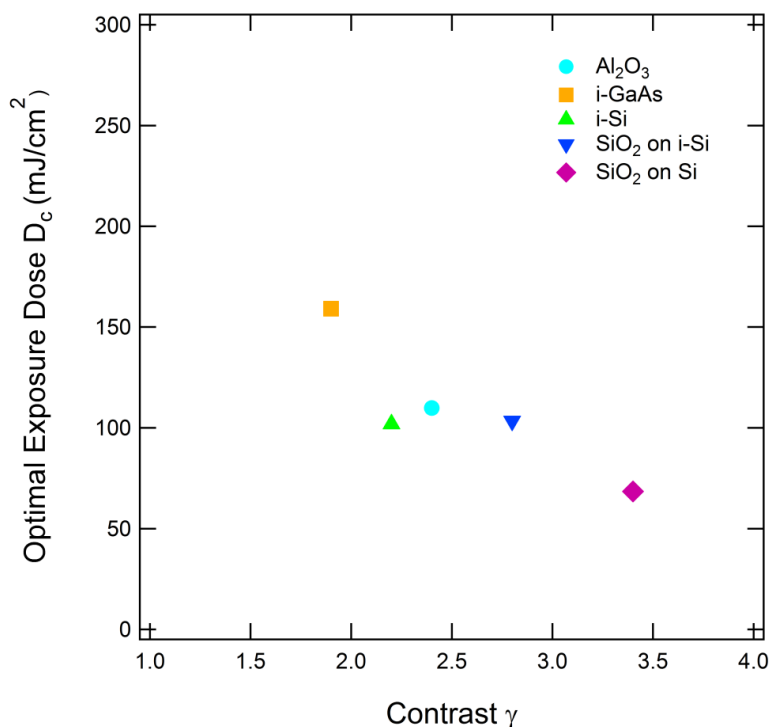


Figure 3. Dependence of the optimal exposure dose on the contrast for the five substrates



Figures 4 (a) and (b) show details of the AFM measurements in two different cases with either non-optimal and optimal dose, respectively. While Fig. 4 (a) shows the AFM image section in the case of low exposure dose yielding a rough edge, Fig. 4 (b) shows the AFM measurement for optimal exposure dose resulting in an optimal edge roughness.

Figure 4 (c) plots the edge roughness for each substrate as a function of exposure dose. Each point corresponds to an AFM measurement of the edge roughness at exposure doses between 60 mJ/cm^2 and 300 mJ/cm^2 . The graph is plotted on a logarithmic scale to make the large span of edge roughnesses visible. All substrates show a similar behavior: with increasing exposure dose the edge roughness decreases and stabilizes at a characteristic optimal value. Interestingly the determination of the optimal dose from the analysis of the contrast curves and the investigation of the edge roughness lead to almost exactly the same dose values as can be seen in Table 3.

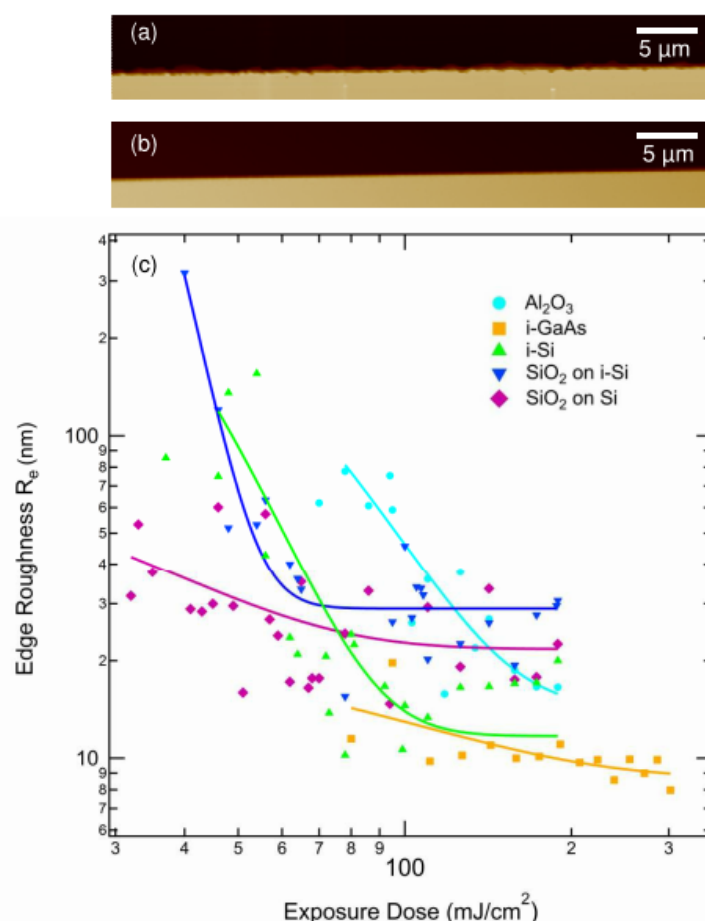


Figure 4. (a) AFM image section in the case of low exposure dose. (b) AFM image section for optimal exposure dose. (c) Measured edge roughness versus exposure dose for all five substrates



Conclusion

We optimized a double layer resist system for lift-off processing. The process is applicable for various substrates such as sapphire, i-GaAs, i-Si, SiO₂ on i-Si and SiO₂ on p-doped Si, which are relevant for ultra-high frequency on-chip experiments. The optimal exposure doses were determined and the contrast curves were generated for five different substrates. We obtain normalized contrast curves that follow an exponential course for all substrates. Depending on the substrate, the optimal exposure dose has a value between 70 and 160 mJ/cm². The contrast values are between 1.9 and 3.4, which corresponds to the expected range for positive optical resists. The edge roughness is an important parameter for optimizing the process. The edge roughness values have been determined at the optimum exposure doses and have been found to range from 10 to 36 nm. The edge roughness versus exposure dose follow an exponential course for all substrates before they stabilize at a characteristic optimal value. The edge roughness values are excellent when considering the wavelength of the UV light used in the laser lithography process.



KAPITEL 5 / CHAPTER 5.

ANALYSIS OF COMPLEX RELIABILITY INDICATORS AND
CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE
ELECTRICAL EQUIPMENT OF THE DRILLING RIGАНАЛИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И ПОСТРОЕНИЕ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
БУРИЛЬНОЙ УСТАНОВКИАНАЛІЗ КОМПЛЕКСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ І ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ
ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ БУРИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-002

Вступ.

При проведенні оцінки надійності систем електропостачання доцільно визначати показники, які відносяться одночасно до декількох властивостей надійності які мають також вартісну форму: середній збиток на одну відмову - математичне сподівання збитків, що припадає на одну відмову елемента електричної системи. Ці комплексні показники надійності та енергоефективності застосовуються при техніко - економічних розрахунках від впровадження енергоощадних заходів (1).

Для електрообладнання бурильних установок з частими демонтажем і наступним монтажем на новій площі буріння розрахунок комплексних показників надійності повинен проводитися з врахуванням параметрів системи технічного обслуговування і ремонту, прийнятих в процесі експлуатації при спорудженні свердловин.

Основний текст. При проведенні підготовчих робіт необхідно розрахунковим способом визначити рівень надійності ремонтпридатного електрообладнання. При цьому важливо визначити значення коефіцієнта готовності K_r , який визначається через середнє напрацювання на відмову T і середній час відновлення працездатності $\bar{\tau}_B$:

$$K_r = \frac{\bar{T}}{\bar{T} + \bar{\tau}_B}. \quad (1)$$

Іноді при дослідженні надійності доцільно визначати коефіцієнт вимушеного простою $K_{\Pi} = 1 - K_r$, який визначає ймовірність того, що елемент системи в будь-який момент часу може знаходитися на відновленні працездатності. K_{Π} більш чутливий до зміни відношення T і $\bar{\tau}_B$, ніж коефіцієнт готовності K_r який відображає працездатність.

Відношення часу відновлення працездатності до напрацювання на відмову вказує на ступінь відпрацьованості об'єкту $\frac{\tau_B}{T}$. Часто це відношення називають



коефіцієнт профілактики $K_{IP} = \frac{\tau_B}{T} = \frac{K_{II}}{K_I}$. Отже за відомим значенням

коефіцієнту готовності K_I можна визначити відношення $\frac{\tau_B}{T} = \frac{1 - K_I}{K_I}$.

Система з відсутністю резервування в будь-який момент часу t може знаходитися в одному із двох можливих станів: в працездатному стані або в стані відновлення працездатності. Якщо позначити ймовірності знаходження в цих станах відповідно через $P_0(t)$ та $q_0(t)$, то тоді в стаціонарному режимі експлуатації вони отримують наступні значення: $P_0(t) = K_I(t)$; $q_0(t) = K_{II}(t)$;

Вирази для визначення коефіцієнта K_I (1) мають обмеження в застосуванні, так як не пов'язуються з механізмами формування відмов, тобто з нестаціонарними випадковими процесами.

В цей період експлуатації при показниковому законі розподілу часу безвідмовної роботи і часу відновлення працездатності отримуємо залежність

$$P_0(t) = \frac{T}{T + \tau_B} + \frac{\tau_B}{T + \tau_B} \exp\left(-\frac{1}{T} - \frac{1}{\tau_B}\right) \cdot t. \quad (2)$$

Ймовірність відмови $q_0(t)$ для нестаціонарного періоду при експоненціальному законі, виходячи з рівняння $q_0(t) = 1 - P_0(t)$ можна визначити наступним чином:

$$q_0(t) = \frac{T}{T + \tau_B} - \frac{\tau_B}{T + \tau_B} \exp\left(-\frac{1}{T} - \frac{1}{\tau_B}\right) \cdot t. \quad (3)$$

В літературних джерелах побудовані графіки зміни $P_0(t)$ у функції відношення $\frac{\tau_B}{T}$ в межах $0,1 \div 0,5$. Встановлено, що при $t \geq (2 \div 3)T$ можна

практично вважати, що $P_0(t) = K_I(t) = \frac{\bar{T}}{\bar{T} + \tau_B}$; а $q_0(t) = K_{II}(t)$.

Розподіл часу безвідмовної роботи для експоненціального закону $P_0(t) = \exp(-\lambda t)$. При $\lambda = \frac{1}{T}$ отримаємо вираз для визначення коефіцієнту готовності для нестаціонарного експлуатаційного періоду:

$$K_I = \frac{T}{T + \tau_B} + \frac{\tau_B}{T + \tau_B} \exp\left(1 + \frac{\tau_B}{T}\right) \cdot \ln P_d, \quad (4)$$

де P_d - довірливий рівень ймовірності.

Враховуючи, що $q_0(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$, отримуємо залежність для визначення коефіцієнта простою K_{II} (3)



$$K_{\Pi} = \frac{\tau_B}{T + \tau_B} - \frac{\tau_B}{T + \tau_B} \exp\left(1 + \frac{\tau_B}{T}\right) \cdot \ln P_{\Pi}. \quad (5)$$

З метою оцінки та аналізу коефіцієнтів K_r та K_{Π} використовуємо номограми (рис. 1).

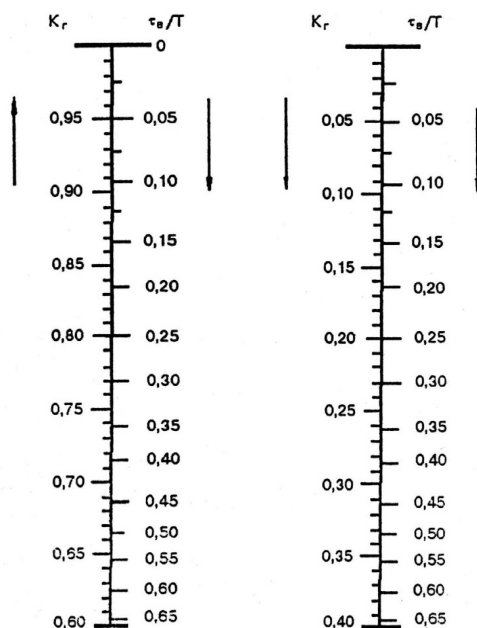


Рисунок 1. Номограми для знаходження коефіцієнтів готовності K_r і простою K_{Π} за відомими співвідношеннями $\frac{\tau_B}{T}$

Таблица 1

Розрахункові дані для струмоприймачів

Струмоприймач ТЭ-45	
Середнє напруження на відмову T , год	Середній час ремонту T_B , год
186	1,8
186	7,3
186	12,7
186	18,2
186	23,6
186	30,9
186	38,1
186	45,4
186	52,6
186	59,9

Проведемо розрахунок надійності елементів системи електропостачання та побудуємо залежності між коефіцієнтом простою K_{Π} і відношенні $\frac{\tau_B}{T}$ при $P_{\Pi} = 0.8 \div 0.99$. Розрахунок виконаємо в програмі EXCEL.



Для прикладу проведемо розрахунок для занурювального струмоприймача. Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків

Струмоприймач ТЭ-45						
Кп						
Тв/Т	Р _д =0,8	Р _д =0,85	Р _д =0,9	Р _д =0,95	Р _д =0,98	Р _д =0,99
0,00968	0,01546	0,01387	0,01236	0,01094	0,01012	0,00985
0,03898	0,06118	0,05475	0,04869	0,04296	0,03966	0,03858
0,06828	0,10543	0,09415	0,08352	0,07346	0,06768	0,06579
0,09758	0,14836	0,13221	0,11698	0,10257	0,09429	0,09158
0,12688	0,19013	0,16907	0,14921	0,13042	0,11962	0,11609
0,16588	0,24415	0,21648	0,19038	0,16570	0,15150	0,14687
0,20488	0,29664	0,26224	0,22982	0,19914	0,18150	0,17574
0,24388	0,34784	0,30660	0,26773	0,23095	0,20981	0,20290
0,28288	0,39799	0,34977	0,30431	0,26130	0,23657	0,22850
0,32188	0,44729	0,39192	0,33972	0,29035	0,26195	0,25268

Отримуємо залежність між коефіцієнтом простою K_{π} і відношенням $\frac{\tau_B}{T}$ для експоненціального закону розподілу, який описує миттєві відмови при $P_d = 0.8 \div 0.99$.

Аналогічні розрахунки проводимо для інших елементів. Телеметрична система СТЭ: середнє напрацювання на відмову $T=245$ год.; середній час ремонту T_v від 3,5 до 68 год.

Пристрій контролю ізоляції УКІ: середнє напрацювання на відмову $T=106$ год.; середнє напрацювання на відмову T від 6 до 35 год.

Кабельна секція КСТ 1-01-09: середнє напрацювання на відмову $T=150$ год.; середній час ремонту T_v від 8 до 40 год.

Станція управління електробуром УЗЭБ-65: середнє напрацювання на відмову $T=989$ год.; середній час ремонту T_v від 9 до 155 год.

Повітряна лінія електропередавання 6 кВ: середнє напрацювання на відмову $T=16720$ год.; середній час ремонту T_v від 4 до 270 год.

Буровий трансформатор ТМТБ-560/6: середнє напрацювання на відмову $T=17910$ год.; середній час ремонту T_v від 12 до 160 год.

Функція K_{π} видозмінюється в залежності від P_d , та при $P_d = 0.8 \div 0.99$ вплив відношення $\frac{\tau_B}{T}$ на комплексний показник надійності K_r проявляється не



суттєво. Отже співвідношенням $\frac{\tau_B}{T}$ є зміст оперувати при $P_d < 0.98$.

В результаті досліджень встановлено, що коефіцієнт вимушеного простою об'єкту в значній степені залежить від нормованого рівня ймовірності безвідмовної роботи P_d , причому зі збільшенням величини P_d значення K_{II} зменшується. Тим самим при високих значеннях P_d підвищення рівня надійності в рівній степені можна досягти як за рахунок зменшення τ_B , так і за рахунок підвищення T .

Таким чином, на основі аналізу отриманих математичних моделей визначені умови ефективності підвищення надійності устаткування.

До переваг буріння електробуром (ЕЛБ) можна віднести високий коефіцієнт корисної дії, що забезпечує передачу на долото більшу потужність і крутний момент. Електробур краще керується з поверхні, дозволяє застосовувати систему дистанційного контролю під час скерованого буріння, бурінні горизонтальних і багатозабійних свердловин, тобто спрощується автоматизація і оптимізація процесу буріння.

Для проведення досліджень електротехнічного комплексу для електробуріння (ЕТКЕ) в середовищі програмування LABVIEW створена математична модель системи електропостачання електробура, за допомогою якої можна моделювати режими роботи ЕЛБ. Адекватність математичної моделі доведена проведеними дослідженнями з використанням програмного забезпечення фірми National Instruments Corporation LabVIEW на буровій «Струти» № 111 Прикарпатського УБР у с. Ясеновець, Рожнятівський район, ІваноФранківська область. Глибина забою свердловини 362 м [3].

В основі даної математичної моделі лежить Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна ЕЛБ. В коло статора введено комплексні опори бурового трансформатора ZTP, жил кабелю ZG і бурильної труби ZT. Останні залежать від глибини буріння та від величини струму електродвигуна. Задаючись числовими значеннями опорів схеми заміщення СЕЕ, глибиною буріння L, номінальними струмом ІН і ковзанням s, знаходимо бажані фазні напруги UA, UB, UC на початку струмопідводу в номінальному режимі. Залишаючи бажані фазні напруги на початку струмопідводу та глибину буріння незмінними, розраховуємо механічну характеристику асинхронного двигуна ЕЛБ M(s) та значення його фазних струмів IA, IB, IC при зміні ковзання s від 0 до 1 [4].

Програмна реалізація математичної моделі дозволяє визначати наступні параметри електротехнічного комплексу для електробуріння:

- опори схеми заміщення електродвигуна ЕЛБ в залежності від ковзання;



опори схеми заміщення бурового трансформатора;

- опори схеми заміщення струмопідводу в залежності від глибини буріння свердловини, типу кабелів та труби;

- лінійні напруги на початку струмопідводу в залежності від ковзання;

- фазні струми та напруги на затискачах електродвигуна ЕЛБ;

- коефіцієнт несиметрії струмів електродвигуна ЕЛБ, його механічні характеристики;

- автоматично перемикає напругу бурового трансформатора в залежності від глибини буріння і становить: глибина буріння від 0 до 1000 - 1700 В, від 1000 до 2000 - 1750 В, від 2000 до 3000 - 1850 В, від 3000 і вище - 1900 В;

- визначає втрати потужності в струмопідводі, втрати в міді обмотки статора двигуна, втрати в сталі, втрати на тертя в шпинделі при неробочому ході, додаткові втрати і втрати потужності на долоті в залежності від глибини буріння ЕЛБ;

- враховує зміну питомого активного опору в залежності від глибини буріння;

- враховує зміну температуру промивної рідини на поверхні свердловини та на забої під час спорудження свердловини;

- усі результати розрахунків виводить на цифровий інтерфейс.

Платформа LabVIEW містить дві панелі програмування. Одна з них - передня панель (Front panel), на якій можна створювати будь-який віртуальний прилад. На передній панелі створюється сам віртуальний інструмент, встановлюються панелі графіків, кнопки, регулятори і індикатори, а також за допомогою елементів дизайну поліпшується його зовнішній вигляд. Разом з передньою панеллю з'являється функціональна панель (Diagram).

Встановлюючи елемент на передній панелі вони синхронно розставляються і на Diagram (з'являються відповідні їм значки). Сполучати термінали між собою в будь-яких дозволених комбінаціях або напрямках необхідно на функціональній панелі. Якщо всі з'єднання зроблені коректно, то програму можна запускати на виконання.

На рис.2 зображено фрагмент функціональної панелі математичної моделі системи електропостачання електробура в середовищі програмування LabVIEW, на якому можна побачити зв'язки між елементами. На цій частині програми можна побачити як визначається опори схеми заміщення електродвигуна електробура в залежності від ковзання, а саме: комплексний опір фази статора; комплексний опір намагнічувального контуру, комплексний опір фази електродвигуна; струм електродвигуна.

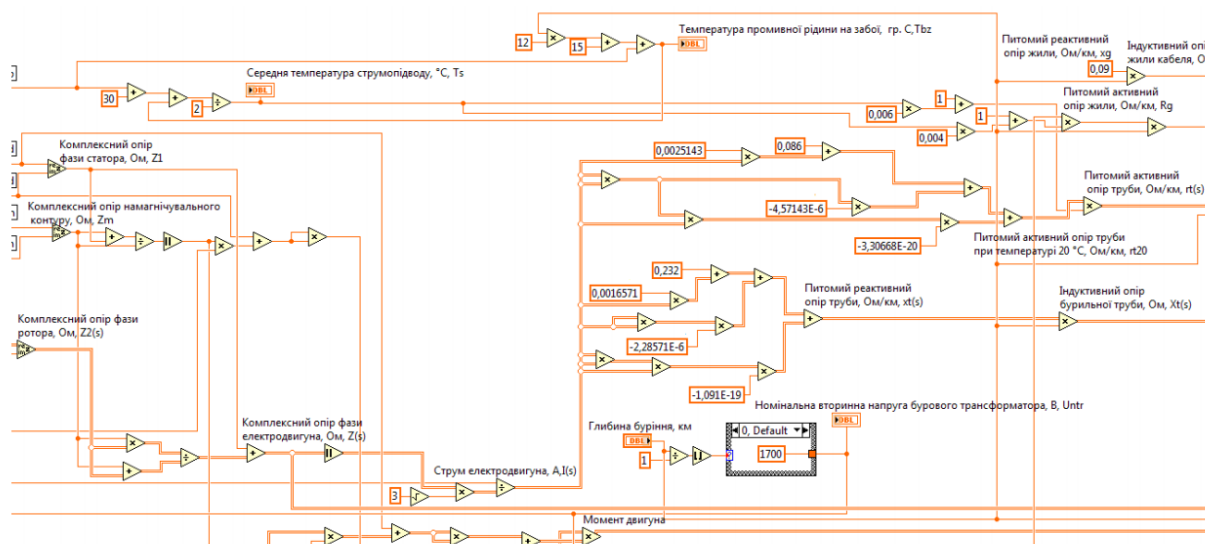


Рисунок 2. Фрагмент математичної моделі системи електропостачання електробура

На рис. 3 показана створена авторами підпрограма за допомогою якої змінюється глибина буріння і при цьому відбувається зміна ряду показників: середня температура струмопідводу, температура промивної рідини, питомий реактивний опір жили, питомий активний опір жили, питомий активний опір труби при температурі 20 °С, індуктивний опір бурових труб.

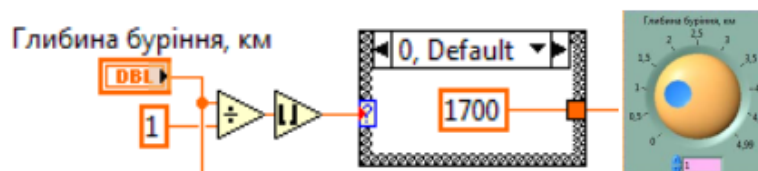


Рисунок 3. Фрагмент підпрограми за допомогою якої змінюється глибина буріння і ряд інших параметрів

Підпрограма має зв'язок з різними параметрами математичної моделі і зміна їх відбувається після обертання кругового регулятора, який імітує процес буріння свердловини. Для прикладу розглянемо роботу моделі під час буріння на глибині 1 км, 2 км, 2,8 км, і 3,5 км результати якої зображено на рис. 4-7.

Розрахунок фазних струмів, напруг на затискачах електробура, сума усіх втрат та корисна потужність на долоті під час буріння:

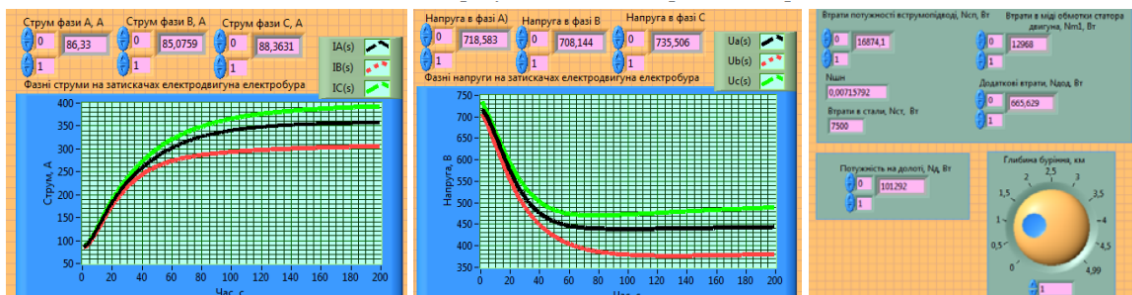


Рисунок 4 - на глибині 1 км

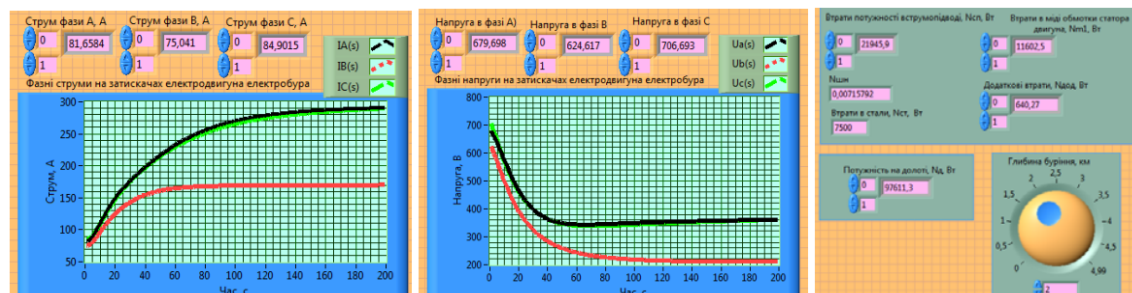


Рисунок 5 - на глибині 2 км

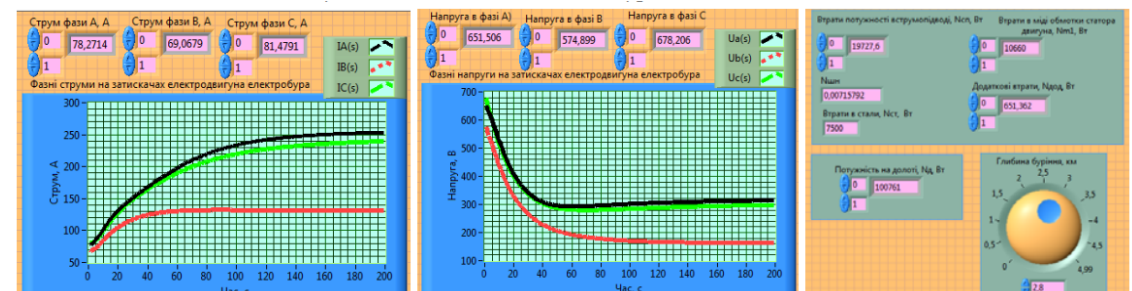


Рисунок 6 - на глибині 2,8 км

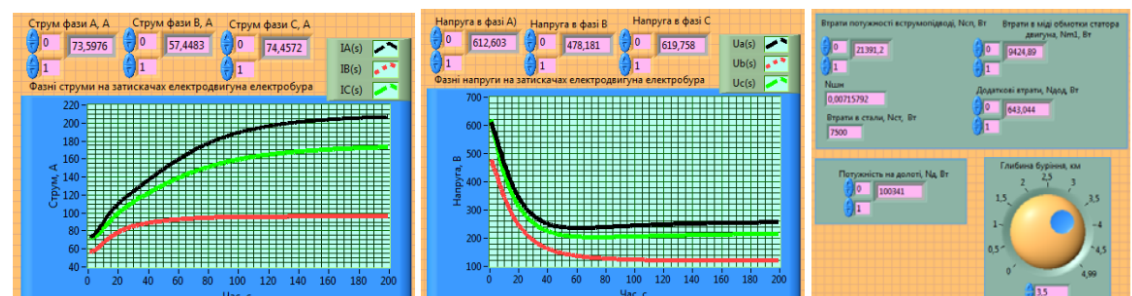


Рисунок 7 - на глибині 3,5 км

Аналізуючи результати роботи математичної моделі системи електропостачання електробура (рисунки 11 -14) бачимо, що під час буріння на різних глибинах створення свердловини потужність на долоті практично не змінюється і становить приблизно 100 кВт, що є нормальним в процесі буріння. Щодо температури промивної рідини на різних глибинах буріння то можна



зробити висновок, що вона зростає і на глибині 1 км коливається в межах 55 °С, 2 км коливається в межах 65 °С, 2,8 км коливається в межах 75 °С і при 3,5 км коливається в межах 85 °С. Температура струмопідводу також зростає з глибиною буріння і коливається в таких самих межах як і температура промивної рідини. Аналізуючи результати розрахунку фазних струмів та напруг на різних глибинах буріння бачимо, що струм та напруга у фазі В відрізняється від струму та напруги у фазах А та С, це зумовлено тим, що фазою В виступає колона бурових труб тому і виникає така несиметрія.

Використання створеної авторами в середовищі програмування LABVIEW математичної моделі системи електропостачання електробура дає змогу досліджувати роботу ЕЛБ в залежності від глибини вибою свердловини. Для підвищення надійності і ефективності електробуріння свердловин в умовах Прикарпаття актуальним є питання симетрування напруги живлення електродвигуна ЕЛБ та плавного пофазного її регулювання, що підвищить економічну ефективність ЕЛБ за рахунок продовження ресурсу долота, збільшення механічної швидкості буріння та експлуатаційної надійності.

Висновки.

Враховуючи складність експлуатації, необхідна постійна оптимізація конструктивного виконання як самого електродвигуна, так і інших вузлів технічних комплексів для буріння нафтових і газових свердловин. Відповідно, виникла й теорія надійності для підвищення показників роботи обладнання, прогнозування його зношування та оптимізації частоти профілактичних ремонтів. Методики, які застосовуються при розрахунках надійності електрообладнання бурильної установки, використовують статистичні дані, кількісні й імовірнісні показники. Найбільш точні результати розрахунків можна отримати на основі даних, отриманих на реально діючих установках.

Як видно з результатів досліджень, найбільш часто виходять з ладу система струмопідводу, через порушення ізоляції, перекриття по поверхні з'єднувальних муфт та сам двигун електробура. Крім того, має місце перегрів обмотки статора електробура через несиметрію напруг та струмів у фазах. Оскільки, момент на валу має квадратичну залежність від напруги живлення на затискачах, то її падіння на декілька відсотків може значно знизити продуктивність бурової установки в цілому.

На основі аналізу способів регулювання напруги потрібно визначити енергетичні характеристики буріння, змодельовати всі види втрат та знайти способи підвищення ефективності буріння.



KAPITEL 6 / CHAPTER 6. MODERN MANAGEMENT OF INNOVATIVE AND HIGH-TECH UKRAINIAN INDUSTRY DEVELOPMENT

СОВРЕМЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫМ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
РАЗВИТИЕМ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ
СУЧАСНЕ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНИМ І ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИМ РОЗВИТКОМ
ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-067

Вступ

Об'єктивне розуміння наявних проблем і стратегічних прорахунків у спробах реформування та розвитку економіки держави за попередні роки її незалежності сприяли пошуку ефективних шляхів переходу вітчизняного господарства на інноваційну модель сталого економічного зростання.

У сфері вивчення проблем і завдань модернізації вітчизняного господарського комплексу, розроблення теоретичних обґрунтувань та практичних процедур управління інноваційними процесами і розвитком високо-технологічного виробництва вагомий внесок зробили відомі вітчизняні та закордонні вчені І.Т. Балабанов, В.М. Біляков, І.А. Бланк, С.В. Валдайцев, З.С. Варналій, В.О. Василенко, А.П. Васильєв, Г.В. Васильков, О.В. Востряков, О.В. Гаврилюк, І.О. Галиця, В.М. Геєць, Н.П. Гончарова, О.М. Гребешкова, В.Ф. Гринев, В.В. Гришко, В.Н. Гунін, М.Л. Денисенко, В.П. Дубіщев та ін.

Виклад основного матеріалу

Узагальнюючи погляди провідних учених і спираючись на результати власного аналізу світових підходів до забезпечення сучасного інноваційно-технологічного прогресу та стійкого зростання індустріально розвинутих країн і провідних компаній світу [1,2] спочатку потрібно дати наше бачення основних рис необхідної для України стратегії її науково-технічного та високотехнологічного розвитку. *Серед ключових питань, на які потрібно звернути увагу, слід визначити:* наявні проблеми інноваційного розвитку та основні причини не-ефективності вітчизняної економіки, її науково-технічної та технологічної сфери; стратегічні аспекти високотехнологічного виробництва в Україні; інноваційні стимули і модератори її сталого економічного зростання; нові сучасні механізми та стандарти.

Ми вважаємо, що головними проблемами національної економіки, які обумовлюють її низьку ефективність і конкурентоспроможність, сьогодні є:

- а) падіння рівня інноваційно-технологічного та економічного потенціалу національного господарства і відсутність його прогресу за останні 30 років;
- б) непослідовність і слабкість державної політики інноваційного розвитку



для забезпечення сталого зростання національної економіки.

Основними причинами неефективності економіки є: непослідовність попередніх економічних реформ; недостатність законодавчої, нормативної, науково-методичної бази формування НІС і високотехнологічного виробництва; відсутність Національної Стратегії і Програми розвитку, зрозумілої державної політики інноваційного розвитку економіки, механізму їх реалізації; обмеженість і неефективність фінансування; відсутність економічних стимулів у суб'єктів господарювання; слабкість та неефективність НІС, у тому числі в наслідок порушення її зв'язків з потребами виробництва і споживачів та ін.

Для усунення цих негативних причин які виникли за попередній період становлення вітчизняної економіки, необхідно розробити більш досконалий і сучасний механізм її якісної та системної модернізації, який би забезпечив розвиток високотехнологічного виробництва:

1. Головною метою інноваційно-технологічного прогресу держави має стати формування сучасного механізму зростання якості, продуктивності, енергоефективності і конкурентоспроможності національної економіки шляхом її техніко-технологічної модернізації, підвищення до світових стандартів процесів створення та виробництва наукоємної продукції, застосування високих технологій, передових форм організації та управління господарською діяльністю для забезпечення сталого економічного розвитку України.

2. Основними завданнями створення передової НІС є:

а) забезпечення результативності і конкурентоспроможності вітчизняного інноваційного сектору і розробок шляхом: розвитку передової освіти, орієнтованої на інноваційний та високотехнологічний розвиток України та її економіки; підвищення ефективності та конкурентоспроможності вітчизняного сектору наукових досліджень і розробок, забезпечення його інтеграції до Європейського дослідницького простору; забезпечення інтеграції академічної та університетської науки, вищої освіти з процесами розвитку економіки та виробництва;

б) прогрес інноваційної інфраструктури за рахунок: фінансово-кредитної підтримки інноваційних проектів і програм; удосконалення виробничо-технологічної інноваційної інфраструктури, посилення її ролі в модернізації економіки; розвитку інформаційно-комунікаційних і консалтингових систем; розширення обсягів і якості трансферу технологій і капіталізації результатів інтелектуальної праці, залучення новітніх систем проведення наукових досліджень, організації та управління виробництвом;



в) покращення державної підтримки і системи важелів щодо прискорення модернізації економіки на інноваційно-технологічній основі шляхом: державного стимулювання пріоритетних напрямів розвитку економіки; упровадження ефективного механізму державно-приватного партнерства; забезпечення захисту вітчизняних інтересів і товаровиробників на внутрішньому і зовнішньому ринках.

г) зростання інноваційної культури суспільства шляхом: створення позитивного відношення до інноваційної та інженерно-технічної діяльності, спрямованої на науково-технічний і високотехнологічний прогрес держави; розвитку професійних навичок і кадрового потенціалу в інноваційній сфері та в галузі реалізації цільових програм інноваційно-технологічного прогресу вітчизняної економіки.

3. Основними цілями інноваційно-технологічного розвитку виробництва та промислової сфери є: модернізація техніко-технологічної бази; підвищення якості виробництва і продукції; розвиток міжнародної кооперації і національних пріоритетів на світовому ринку; захист інтересів держави у сфері її технологічної безпеки; формування транснаціональних високотехнологічних систем і науково-технічних альянсів для створення і трансферу передових технологій і систем виробництва в Україну; розробка і реалізація пріоритетних програм розвитку високотехнологічних науково-виробничих систем.

Інноваційно-стратегічними модераторами трансформації національного господарства і формування фундаментальних основ для початку сталого економічного зростання держави мають стати розроблення та реалізація: загальнонаціональної концепції, стратегії і програми інноваційного розвитку; взаємо узгоджених із ними відповідних концепцій, стратегій і програм регіонального та галузевого розвитку; механізму і стандартів проектного та програмно-цільового управління розвитком.

Головними завданнями цих стратегічних заходів і процесів повинні стати: забезпечення державної інноваційної політики збалансованої взаємодії наукового, освітнього, технічного, інвестиційного і підприємницького потенціалів; розроблення та реалізація механізму активізації інноваційної діяльності економічних систем і суб'єктів; поширення інновацій і розвитку в усіх сферах економіки.

Ми вважаємо, що *Національна стратегія розвитку має інтегрувати:* конкретні заходи загальнодержавного та регіонального прогресу, котрі здійснюються за прямого бюджетного фінансування і реалізують пріоритетні цілі розвитку; здійснення економічними суб'єктами інноваційної діяльності,



інвестицій інноваційного характеру, а також збільшення пропозиції інноваційної продукції, технологій і знань.

Все це забезпечить синергетичний ефект за рахунок: збереження та прогресу вітчизняного науково-технічного та інноваційного потенціалу; удосконалення законодавчої та нормативно-правової бази розвитку; системного та послідовного впровадження функціональних принципів управління економікою та її інноваційною сферою; органічного охоплення всіх елементів інноваційного розвитку в НІС; ліквідації диспропорцій у промисловому та інноваційному потенціалі різних регіонів держави; створення сучасних центрів інноваційного розвитку України; гармонізації взаємовідносин органів влади, як між собою, так і з підприємницькими, науковими та освітніми секторами економіки і територій; трансферу в Україну високих і критичних технологій, а також їх дифузії зі сфери військово-промислового комплексу до цивільного застосування в економіці; зростання частки венчурних інвестицій у високотехнологічне виробництво до 70% від усіх інноваційних капіталовкладень у виробництво; залучення приватного капіталу в науково-технічну сферу; зростання обігу на фондовому ринку частки цінних паперів, емітованих малими високотехнологічними фірмами.

Визначені вище стратегічні параметри інноваційно-технологічної модернізації національної економіки потребують формування сучасних механізмів і стандартів їх ефективної реалізації. Проведений аналіз світового досвіду в цій сфері дозволяє нам рекомендувати наступний порядок удосконалення державної політики інноваційного розвитку України та її системи господарювання:

а) планування і законодавче закріплення Національної Стратегії державно-політичного, суспільного та соціально-економічного прогресу України на найближчі десять років. Цей документ має визначити напрями і темпи трансформації держави в цьому стратегічному періоді її розвитку;

б) формування більш досконалої стратегічної та поточної державної інноваційної політики розвитку, яка охоплює законодавчо і процесуально визначені Концепцію, Стратегію, Програму інноваційного розвитку, процедури та інструменти їх реалізації;

в) формування чітких і дієвих механізмів їх узгодження зі стратегічними процесами управління іншими сферами розвитку економіки;

г) перехід на методологію стратегічного програмно-цільового та проектного управління розвитком, основними елементами якої мають бути: визначення сучасних суспільних потреб та інтересів; макроекономічне



прогнозування та планування; ієрархічне визначення стратегічних, тактичних, поточних цілей розвитку; забезпечення соціальної орієнтації економіки і процесів розвитку; розробка і затвердження нової Концепції сталого соціально-економічного та інноваційного розвитку та її державного регулювання; розроблення і затвердження нової Національної Стратегії сталого соціально-економічного розвитку і Плану її реалізації з визначенням механізмів державної інноваційної політики в цій сфері; перехід на уніфіковану методологію стратегічного програмно-цільового планування та реалізації розвитку, в тому числі шляхом удосконалення і застосування стандартів проектного менеджменту РМВoK [3];

д) урахування світового та національного досвіду планування, організації, координації, контролю і регулювання ходу реалізації та забезпечення ефективності результатів розвитку.

На нашу думку *механізм стратегічного програмно-цільового і проектного управління розвитком пріоритетних напрямів і сфер економіки має охоплювати такі групи уніфікованих процедур і стандартів*: розроблення й обґрунтування концепції програми розвитку; оцінювання ефективності програми з урахуванням фактору ризику; техніко-економічне обґрунтування програми та експертиза проекту програми, її основних заходів і параметрів; планування управлінської діяльності щодо проектування програмних заходів та процесів їх реалізації на всіх стадіях життєвого циклу програми; розроблення предметної сфери програми, її кошторису, бюджету, фінансових планів, їх державна експертиза і затвердження; підбір організаційних структур з професійного управління програмою, її основних виконавців та інших учасників на конкурсних засадах; контрактна та інформаційно-комунікаційна діяльність із забезпечення програмних перетворень; організація програмних перетворень, включаючи закупівлі та постачання ресурсів, трансфер високих і критичних технологій; організація і координація діяльності команди та учасників програми; здійснення постійного контролінгу, регулювання та внесення змін; організація ефективного завершення ключових етапів і цільових проектів програми, перехід у нову фазу розвитку та перетворень; максимальне урахування так званого «людського фактору», системи стандартів професійної діяльності й сучасного управління програмою та її результатами; комплексне оцінювання ефективності проектів і програм, їх інвестиційного забезпечення, очікуваних і реальних результатів.

Сьогодні промисловість є найбільшою за обсягами та важливістю, унікальною за складністю сферою матеріального виробництва і частиною



національного господарства, в якій економічні суб'єкти видобувають сировину, паливо, інші корисні копалини, виготовляють всю сукупність знарядь праці, переважну частину предметів праці та споживання на основі застосування сучасної техніки, передових технологій, різних форм організації виробництва, бізнес-процесів та управління.

Розглядаючи промисловість як складну економічну систему, слід визначити, що її головними ознаками є цілісність, ієрархічність побудови, екзогенний характер і неперервність розвитку.

Передовий досвід сучасного індустріального прогресу свідчить, що економічне зростання країн ЄС значною мірою обумовлюється глибокими структурними змінами, котрі забезпечили впровадження високо інноваційно-технологічних розробок і заходів, економічне та раціональне використання ресурсів, інші позитивні ефекти. Динамічне зростання виробництва в більшості країн Південно-Східної Азії, Китаю, Індії, Бразилії відбувалося (і відбувається) за рахунок прискореного інноваційно-технологічного розвитку в найбільш перспективних галузях, які сьогодні створюють і виготовляють: повітряні та космічні літальні апарати; комп'ютери й іншу оргтехніку; фармацію; прилади і складні електронні системи для радіо, телебачення, систем телеметрії та зв'язку; прилади і складну побутову техніку; автомобілі, унікальні транспортні засоби та інші високотехнологічні машини; наукоємну і складну продукцію хімічного синтезу; найновітніше устаткування для передових систем виробництва тощо.

Загальною характеристикою економіки індустріально розвинутих країн є те, що рівень інноваційності їх продукції становить 70...90 % від загального обсягу промислового виробництва, а техніко-технологічне оснащення в основному відповідає найвищому рівню технологічного укладу у відповідній галузі індустріального виробництва.

Розглядаючи сучасний стан і структуру промисловості України, слід зазначити, що серед основних факторів формування негативних тенденцій її розвитку головними є структурні диспропорції, до яких належать:

1. *Втрата прогресивної соціальної спрямованості* в наслідок тривалої односторонньої орієнтації тільки на озброєння (за часів колишнього СРСР) і відсутності дієвих соціально-економічних, структурних та інших реформ за попередній період становлення незалежної України.

2. *Порушення оптимальних відтворювальних пропорцій*, оскільки до нинішнього часу залишається не розвинутим сучасне виробництво предметів споживання (група «Б»), котре так і не досягло оптимальних пропорцій



порівняно з випуском засобів виробництва (група «А»), якість котрих також не відповідає світовим вимогам.

3. *Значною диференціацією рівня виробництва у різних галузях, а також на підприємствах однієї галузі.* Така ситуація є результатом диспропорції у сфері інвестування, при розподілі матеріальних ресурсів, ціноутворенні, котрі мали місце ще у колишньому СРСР. Дана проблема практично не змінилась і за часів незалежності України в наслідок відсутності реальних реформ і модернізації промисловості.

4. *Ресурсо- та енергоємним необґрунтовано витратним характером виробництва.* За рівнем енерговитрат на випуск одиниці продукції України перевищує показники передових країн світу в 1,5...5 разів, особливо в енергоємних галузях промисловості (металургії, хімії, машинобудуванні тощо).

5. *Обмеженістю паливо-енергетичних і мінеральних ресурсів,* які в останні роки стали гострою проблемою для не модернізованих та застарілих систем виробництва України.

6. *Високим рівнем концентрації виробництва,* недостатньою кількістю й економічною потужністю "малих" підприємств, низькою їх роллю в основні виробництва та технологічні.

7. *Низькою «товарністю» кінцевою продукції, сировинною й напівфабрикатною спрямованістю експорту.* Як уже зазначалося, сьогодні Україна експортує в дуже малих обсягах високотехнологічну конкурентоспроможну продукцію, яка має високий рівень доданої вартості.

Сьогодні стратегічними й тактичними пріоритетними сферами і галузями інноваційно-високотехнологічного розвитку вітчизняної промисловості мають бути наступні її комплекси:

1. Техніко-технологічна модернізація електростанцій, створення та розвиток нових і відновлювальних джерел енергії, новітні ресурсозберігаючи та енергозаощадливі технології. Цей комплекс охоплює: засоби охорони праці та техніки безпеки; сучасне устаткування для складних умов вугледобування; устаткування для видобування і підготовки до споживання метану; енергоефективні двигуни та електроприводи для базових галузей економіки; різне електротехнічне обладнання та ін.

2. Машинобудування та приладобудування, які повинні забезпечити високотехнічний розвиток усіх галузей виробництва.

3. Нанотехнології, мікроелектроніка, інформаційні технології, телекомунікації і комп'ютерні системи.

4. Розвиток хімічних технологій, нові матеріали. Прогрес біотехнологій



охоплює: розвиток генно-інженерних технологій; імунобіологічні препарати та біосумісні матеріали; сучасні конструкційні матеріали ін.

5. Машини і механізми, інша промислова продукція для високотехнологічного розвитку сільського господарства та переробної промисловості.

6. Транспортні системи; будівництво, реконструкція, технічне переозброєння і модернізація.

7. Охорона здоров'я людини та економічна сфера, які охоплюють: діагностичні та лікувальні програмно-технічні комплекси; енергоефективне, ресурсозберігаюче, модульне, екологічно безпечне обладнання для систем водопідготовки, очищення води, теплопостачання та засоби їх управління.

8. Розвиток інформаційно-комунікаційних систем і технологій.

Поряд із визначенням і гарантуванням реалізації пріоритетних напрямів розвитку вітчизняної промисловості, сучасні механізми державної структурної політики мають забезпечувати заходи щодо: стимулювання перетікання інвестицій та інших ресурсів у пріоритетні галузі; підтримки розвитку інноваційно-високотехнологічних галузей; захисту й надання фінансової підтримки галузям, котрі перебувають у стані стагнації, диверсифікації та оптимізації; санації або згортання виробництв у депресивних галузях; розроблення державних стратегічних, тактичних та інших планів, цільових програм, національних, галузевих і регіональних проєктів; розв'язання завдань, пов'язаних із фокусуванням капіталу в пріоритетних і капіталоємних напрямках структурної перебудови.

Механізми реалізації державної політики в зазначених сферах розвитку вітчизняної промисловості мають охоплювати:

- *методи прямого впливу*, до яких відносяться: надання фінансової допомоги у вигляді інвестиційних надбавок, субсидій, дотацій, позичок і грантів на розвиток окремих галузей, виробництв, регіонів і територій; використання системи державних замовлень;

- *методи непрямого регулювання*, котрі включають: стратегічне й індикативне планування (та науково-обґрунтоване прогнозування); надання податкових і кредитних пільг з їх диференціацією за різними галузями та сферами виробництвами, які визначені пріоритетними; здійснення політики прискореної амортизації; проведення гнучкої цінової та експортно-імпоротної політики, включаючи встановлення раціональних імпорتنних та експортних тарифів.



Висновки

Автори переконані, що реалізація на практиці запропонованих вище заходів буде сприяти швидкому переходу України на світові стандарти господарювання та забезпечення конкурентоспроможності, дозволить перейти на інноваційну модель динамічного сталого розвитку не тільки реального сектору вітчизняної економіки, а й усього суспільства.

**KAPITEL 7 / CHAPTER 7.****APPLICATION OF INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES IN
THE OPTIMIZATION OF TRANSPORTATION**

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ
ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК
ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ
ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-040**Introduction**

The rapid development of the digital economy requires the appropriate development of information systems (IS) and information technologies (IT), changes the direction of the state strategy to overcome the current challenges of the need to build relationships with the global giants of the IT industry (Google, Apple, Facebook and Amazon), total capitalization which exceeded the GDP of many developed countries of the European Union. For Ukraine, the question arises about the choice of priorities, which requires an extremely rapid transformation of the traditional economy into its traditional paradigm to the modern information intellectual digital economy, which involves a synergistic effect from building the foundation on the concepts of "digital economy", "knowledge economy", "information society". In this context, the process of "consumption" of IT products becomes more significant. That is - not only to produce powerful IT solutions for other countries, but also to implement modern IS and IT in the national manufacturing sectors. In addition, the analysis of deep trends in energy and raw material geopolitics shows a sharp increase in energy, natural resources and food needs, which will exacerbate tensions due to access to these resources. Producers and at the same time consumers of these resources are complex territorially-distributed systems (CTDS) or - economic entities for which the tasks of management of large pools of resources (labor, financial, material, etc.) are the most relevant and significant.

In the unpredictable directions of development of the world production system, the use of intelligent information technologies is a necessary means for making strategic decisions in the following areas: development of strategies of state regulation of market segments, integration processes of the economy of Ukraine and the EU, increase of investment attractiveness of national economic entities, including AH, vertically-integrated national companies (VINCs), cluster development of territorial entities.

Currently, logistics is one of the fastest growing areas of productive activity. This process is associated not only with the growing demand for logistics services, but also with the strengthening of mutual integration of business opportunities while



logistics and infrastructure development of the Territories. The most significant development of methods and algorithms of interaction of the logistics processes is due to the rapid development of information technology, which resulted in a widespread network of organizational forms of business, on-line flow of documents, the transition to electronic payment systems, virtualization logistic processes, etc. On the basis of the information infrastructure of innovation Logistics takes you to a new level of intelligent control processes, the formation of new logistics concepts «PartyLogistics».

7.1. Methods for solving NP - complex problems

One of the modern bionic principles of solving a wide class of applications, which are intractable tasks by classical methods, especially in the area of NP-complete optimization problems, is the use of GA - adaptive search methods that implement evolutionary computation, based on the genetic processes of biological organisms. The efficiency and quality of transport complexes (TC) largely depends on the rational coordination of the various modes of transport, optimal redistribution between traffic volumes and the formation of the necessary management decisions. Solution these and other scientific and applied tasks requires the formation of appropriate organizational and functional structures at the regional and national levels, which should assume the functions associated with the various modes of transport as horizontally (different modes of transport), and vertical (industrial, regional and state levels).

7.2. Locations for the application of transport tasks

Effective organization of work in different types of transport requires the solution of a number of important scientific and applied problems, the main ones are:

- formation of state and regional TC as a single functional units in the structure of public administration transport system;
- development of mathematical models of effective functioning of the individual elements of the TC in the modern market conditions;
- development of methods and algorithms of optimization of TC;
- formation of informational and functional organizational structures and systems, organizational management, production processes TC;



- development of methods of forecasting the economic production and financial activity of the TC;
- formation of the market of transport-forwarding services.

At the moment only in the technological essence of the process of cargo transportation at different levels and stages of their life cycle operation is divided interests of individual actors are not coordinated and, in General, focused on economic confrontation, there is a system interaction customers and transporters. The existing system of production organization and management does not provide the optimal choice of the economic-organizational criteria and does not direct transport to the high efficiency of their performance. Integration processes that occur in TC at this stage of its operation, are not able to provide its innovative development and do not meet the requirements for structural and temporal adequacy of the global logistics processes.

The organization of the consolidated transportation process should reduce the cost of processes of transportation in comparison with the option to self-perform a full range of logistics operations by the consignee. It is necessary to ensure the development of transport infrastructure in points of direct interaction between different modes of transport and create multifunctional TC, as well as information and logistics centres . Thus, the problem of substantial improvement of organizational production management in TC countries and regions at the present stage is urgent and requires an appropriate solution based on the implementation of modern technical, technological, organizational, and economic activities.

One way of saving resources in the transportation of goods is the application of the systems decision support (DSS) in the field of transport logistics. The development of software packages, comprehensively solve the problem of the subject area requires serious research with the aim of obtaining efficient algorithms suitable for use in everyday practice.

Intelligent information system (IIS) , underlying any DSS must have the application architecture and have the user-friendly interface for ease of use.

- IIS should have the following functionality:
 - ✓ Providing information management support transportation.
 - ✓ Solution the transportation problem by different methods.
 - ✓ Universal class for working with genetic algorithms.
 - ✓ Finding the optimal solution for scheduling transportation.
- The purpose of the transportation activity is considered to be reached when performing six conditions:
 - ✓ the desired product;



- ✓ the required quality;
- ✓ in sufficient quantities;
- ✓ at a certain time;
- ✓ at the appointed place;
- ✓ at minimum cost.

By now we know a lot of algorithms for solving problems of vehicle routing problem (VRP). For the most part this is a heuristic methods used in the presence of a matrix of distances or information about the location of the vertex on the plane. VRP is an NP-hard problem, therefore, the most intensive search is conducted in the direction of approximate algorithms. Proposed exact methods for solving the VRP, as, for example, a method of branches and borders, but the computation time when their use is growing too quickly. VRP involves a significantly larger number of options for viewing than gears with the same number of vertices, while the application of the method of branch and bound to solve the gear is already difficult for datasets with 30 vertices and more.

7.3. Classical methods for solving transport problems

Among the classical methods for solving VRP can enumerate the following[1]:

1. Construction algorithms - algorithm Clarke-Wright and its extensions, the sequential insertion of Mole -James, sequential algorithm for insertion Christofides - Mingozi - Toth,
2. Two-phase classical algorithms.
3. The covering algorithm, the algorithm petals
4. The algorithm of Fischer - Jaikumar, the algorithm Bramel - Simchy - Levy.
5. Classic improving the algorithms.

Formal mathematical models of decision making currently, all more fully reflect the complexity of real-world problems that, on the one hand, makes them more adequate to real systems, and on the other, leads to the need to tackle more complex optimization problem. Basic properties of real-world optimization problems - the presence of many criteria, significant restrictions , variables measured in different and algorithmic job functions make it impossible to use traditional methods. The way out of this situation is the use of adaptive stochastic algorithms, successfully overcoming these difficulties.



7.4. Basic Genetic Algorithm

One of the most frequently used in this setting approaches are evolutionary algorithms [2] that represent stochastic optimization procedures that mimic the processes of natural evolution, in particular genetic algorithms (GA) as in Fig. 1.

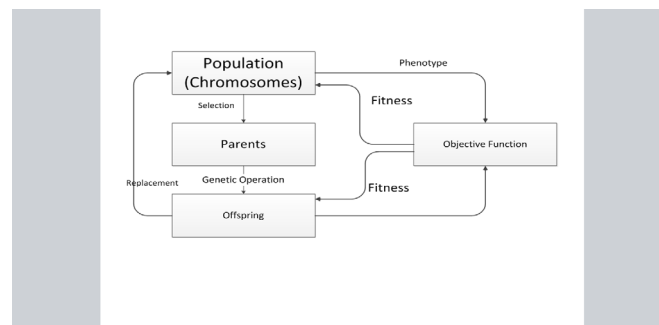


Fig.1. - Basic Genetic Algorithm

Outline of the Basic Genetic Algorithm:

1. *[Start]* Generate random population of n chromosomes (suitable solutions for the problem)

1. *[Fitness]* Evaluate the fitness $f(x)$ of each chromosome x in the population

2. *[New population]* Create a new population by repeating following steps until the new population is complete

3. *[Selection]* Select two parent chromosomes from a population according to their fitness (the better fitness, the bigger chance to be selected)

4. *[Crossover]* With a crossover probability cross over the parents to form a new offspring (children). If no crossover was performed, offspring is an exact copy of parents.

5. *[Mutation]* With a mutation probability mutate new offspring at each locus (position in chromosome).

6. *[Accepting]* Place new offspring in a new population

7. *[Replace]* Use new generated population for a further run of algorithm

8. *[Test]* If the end condition (for example number of populations or improvement of the best solution) is satisfied, stop, and return the best solution in current population

9. *[Loop]* Go to step 2.

Algorithmic job functions and variables measured in different do not pose additional difficulties for GA, which are binary representations of the solutions and



do not require information about the properties of the objective functions. However, there are many criteria and limitations hinder the use of GA in practical tasks, since most of the approaches proposed in the field of evolutionary optimization, focused only on one problem, i.e., either there are many criteria, or the presence of restrictions. Approaches combining both directions, are rare, and their efficiency is not always satisfactory [3]. Thus, the improvement of existing and development of new efficient adaptive search algorithms conditional multi-objective optimization is an actual scientific problem.

7.5. Formalization of the transport problem

It is known that the classical algorithms do not have the possibility of parallelization and have exponential increase in execution time from the dimension of the problem. I.e., the number of mathematical operations (commands) grows exponentially, and the development of processor elements (increase the clock frequency, reducing the number of cycles instruction execution, the delay to fetch data from memory) does not compensate for the growing (with increasing problem dimension) needs to classical algorithms. Exact methods of solving transportation problems (TP), allow you to find a solution only for problems with a small number of clients (i.e., up to 50 clients). To solve large-scale problems exact methods are not effective in relation to their lot of time. However, right now, requires efficient algorithms for solving large-scale problems, because currently, there is a globalization of the economy. This leads to the necessity of planning transport operations with a large number of customers, i.e., TP of high dimensionality. Thus, the solution TP high dimensionality is an important task. One of the classes TP is TP with a time limit. This class of problems is difficult to solve, but it is necessary and widely used in practice. Model TP-limited time describes: banking and postal delivery, transportation of people, the collection of industrial and household waste, food delivery, delivery of fuel and materials to enterprises. An important drawback of these algorithms is that they are not designed to solve problems with changing the number of requests from clients, which is important today in connection with the development of mobile communications, enabling them to track the route of the vehicle and to transmit the modified route. Therefore, the task of developing complex algorithms for solving TP with static and dynamic customer requests is an actual scientific problem.

TP with the time limit belongs to the class of NP-hard problems, exact solution



methods for problems of this type is effective in a small number of clients (i.e., up to 50 clients). The main methods of solving this problem with a large number of clients are heuristic and metaheuristics methods. The best results in solving test problems give hybrid algorithms, guided by the global heuristic (metaheuristics), which, in turn, in the process of looking at the intermediate stages uses various methods to improve the route based on the method of local search. Effective are different postoptimization procedures that improve specific final decision and techniques to adapt the algorithm to the current task (when at different stages of the search are used in different parts of the algorithm).

Mathematically TP with limited time can be represented as a graph $G=(N,A)$, where: N is the set of vertices corresponding to the set of customers) (peaks 1, 2, ..., n) and the source depot, which begin and end their route all vehicles (vertices 0 and $n+1$); A - set of arcs connecting the vertices of the graph. We introduce the notation:

C - many clients, $|C| = n$;

i, j is the i -th and j -th clients ;

A_{ij} is an arc that connects the i -th and j -th vertex;

d_i is the demand of the i -th customer;

t_{ij} is the travel time of arc (i, j) , consisting of the service time of customer i and the travel time of the vehicle from customer i to customer j ;

c_{ij} - the cost of car travel from customer i to customer j ;

V is the number of identical vehicles of capacity q ;

k - k -th vehicle ;

$[a_i, b_i]$ is the time window - the period of time during which must be serviced by the i -th customer; S_i^k - arrival time of the k -th vehicle to the i -th customer; the departure time from the depot for all cars equal to 0 (i.e., $S_{0k} = 0$); X_{ij}^k is a variable taking values $\{0, 1\}$ and characterizing the direction of movement of the car:

$X_{ij}^k = 1$ - from customer i to customer j , $X_{ij}^k = 0$ - in the opposite direction.

7.6. The solution of the transport problem using genetic algorithms

TC with the time limit can be described as follows [4]. There are a number of vehicles, one warehouse (depot) and a number of clients. For each vehicle you want to make a route over which a vehicle visits a number of clients (for example, to deliver any cargo). On the route of each vehicle there are a number of limitations. The main limitation is represented by the formulas (1) to(3).

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} X_{ij}^k = 1, \forall i \in C \quad (1)$$



$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} X_{ij}^k \leq q, \forall k \in V \quad (2)$$

$$a_i \leq S_i^k \leq b_i, \forall i \in N, \forall k \in V \quad (3)$$

Constraint (1) believes that every client is served by only one transport mean and only once. Variables X_{ij}^k take values $\{0, 1\}$, where 1 means that the car moves from vertex i to vertex j , 0 - otherwise. The upper index k is denoted by the corresponding car, where $k \in V$, V is the number of identical transport mean of capacity q . Constraint (2) determines that the transport mean cannot serve more customers than its capacity d_i is the demand of the corresponding client, $i \in C$, C - many clients. Constraint (3) is the time limit; the arrival of the vehicle to the customer must be within the time window, where S_i^k is the arrival time of the corresponding vehicle to a specific client, and $[a_i, b_i]$ - period of time, the so-called time window (*time window*) for which must be serviced by the customer. For this task are formulated the following goal (objective function): the primary goal is to minimize the total number of vehicles required to service all clients; secondary is to minimize the total service time of all customers and the total distance traveled by all transport means.

Exact methods based on the methods of directed enumeration, are not effectively solve the problem of high dimensionality. Heuristic and metaheuristics methods, which include genetic algorithms, give more acceptable results.

7.7. Designing a class library for genetic algorithms

Software implementation of the class library GA is implemented on the platform .NET Framework and shell development MS Visual Studio, programming language - C# [5].

Created a generic class library that implements the basic steps GA:

1. The creation of a population
2. Selection
3. Crossing
4. Mutation

Created a base class *BaseSpecies*. All types must be derived from the base class *BaseSpecies* <*TSpecies*>, where *TSpecies* - specific derived type:

abstract public class BaseSpecies<*TSpecies*>:

{

Comparable where



```

TSpecies: BaseSpecies<TSpecies>
{...}
static protected Cross (double x, double y)
{...}
static protected double Mutation (double val)
{...}
static protected double TestChromosomes()
{...}
}

```

As you can see from the code, *BaseSpecies* is an abstract class that contains static protected methods for crossing and mutation. Let us examine some of the methods in more detail. Let's start with the methods that must be implemented in derived classes : *static protected double TestChromosomes()*. This method should set the internal protected Boolean variable *m_Dead* that shows fit chromosomes of the limitations that they impose (for example, in our example, are the values of the chromosomes in the interval [-5.0; 5.0]). If the value of the chromosomes suit us, then *m_Dead* is set to *false*, otherwise - *true*. With this variable (obtained through the property *Dead*) population rejects obviously unsuccessful. The next method that you must implement in derived class, it is abstract public *TSpecies Cross (TSpecies Species);*.

This method creates a new view, crossing himself and another type that is passed as an argument. Here you need to make some notes. Usually, if the view contains multiple chromosomes, and hybrid chromosomes "one species", i.e. in our case *a0* cross itself (i.e. *this*) and *a0* to another similar cross *a1* and *a1*, i.e. it makes no sense to breed *a0* yourself and *a1* of another class. The sense of crossing is that you take one part of the chromosome itself and the second part of another type and create a new chromosome, which will be held in a new form. Often chromosome in bitove. The essence bitwise crossing is that the first randomly selected break point (crossing) of the chromosome, then create a new chromosome, which consists of a left part of the first chromosome and the right second. For example, suppose we have two eight-bit chromosome : 10110111 and 01110010. Randomly selected break point (marked by the symbol '|'): 101 | 10111 and 011 | 10010 .

From here we can get the following two chromosomes - 101 10010 and 011 10111. You can also search for two or more points of intersection. Thus, we must have a constructor that creates the appearance of the chromosomes. For this class *BaseSpecies* included the implementation of known static methods for mating chromosomes of some types (*Double*, *Int64* and *Int32*). Let us consider the first two



methods. In this case, there are two intersection points: first, in the middle of a word, the second the sign of the number, that is, first crossed chromosomes in bitove without regard to sign, and then also randomly selected for a sign from one of the chromosomes - *public void Mutation()*.

The next step is mutation. Mutation operates on a single chromosome. In theory, when mutations can occur any changes. But in this implementation the mutation changes one bit in the word. Mutations occur relatively rarely. For example, often in practice, the probability of mutation is set 5-10%, but sometimes we try to make it a little more (about 30%). The process of selecting chromosomes for mutation can be solved by using random selection (as the simplest option - random number generator). Quite often as a mutation for small numbers it is better to use not written above function, but simply a random number generator that generates a random number in a certain interval.

Implementation of population(class Population) -

public class Population<TSpecies> where TSpecies:BaseSpecies<TSpecies>.

As you can see, it has a generic parameter that is a type, which must be derived from *BaseSpecies <TSpecies>*.

Let's start with the properties that must be configured before you begin algorithm:

- *MaxSize (Int32)* - maximum number of species that can contain the population.

This is the size to which "cut" the population after mating. The default is 500.

- *CrossPossibility (Double)* - the probability of crossing. It must be in the interval (0.0; 1.0). If this condition is not met, implement an *ArgumentOutOfRangeExceptionException*. By default this value is set equal to 0.95.

- *MutationPossibility (Double)* - the probability of mutation. It must be in the interval (0.0; 1.0). If this condition is not met, implement an *ArgumentOutOfRangeExceptionException* exception.

In the work value of the probability of selection is taken equal to 1.0. Otherwise there would be no need to remove the worst kinds of populations according to the values of a certain probability. But in any case, the species whose chromosomes do not fall within the desired interval, or do not meet any other specified conditions (the so-called dead species), should be removed anyway.

Now let's look at the public methods that will need to address:

- *public void Add (TSpecies species)* - add new type in the population. The necessary number of species should be added in-hand. Before the algorithm requires that the population was at least two types. The number of species in a population may be smaller than the set value of *MaxSize*. If after breeding population size is less than



MaxSize, just not removed the worst kinds (even the dead).

- *void NextGeneration ()* - get the next population. This method may take a lot of time, so it is best to call from a separate thread.

7.8. The overall plan for the use of the library

Consider the General plan of the steps when using the library:

✓ Create a class type that is derived from *BaseSpecies* *<TSpecies>*, where the argument of generalization in *BaseSpecies* is passed the name of the class type.

✓ Inside the class type to create a set of chromosomes necessary types.

✓ Abstract method overloading *public Tspecies Cross (Tspecies Species)*, which should create a new look. As a method parameter is an individual of the same species, which must be crossing.

✓ Overloading the property (only *get public double FinalFunc ()*), that returns the value of the objective function. If the target function complex, it is convenient to store the value of the objective function in a separate variable whose value and returns this property, and the calculation of the objective function to be implemented in the constructor of the form.

✓ Overloaded method *public void Mutation ()*.

✓ Overloaded method *public override void TestChromosomes ()*, which sets the value of the variable *m_Dead* to true if this type we do not knowingly arranges, for example, *e* is the value of its chromosomes falls within the prescribed limits, and to *false* otherwise.

✓ Create population *Population <Tspecies>*, which will keep individuals as required.

✓ Call the *Reset ()* method population for removal of all kinds, if they were already in the population.

✓ Through *MaxSize* population to set the maximum size of the population.

✓ To establish the probability of mutation through the property *MutationPossibility*. The value of this property must lie in the range from 0 to 1. The default value is set to 0.1.

✓ To establish the probability of crossing through the property *CrossPossibility*. The value of this property must lie in the range from 0 to 1, with zero probability of crossing is not allowed. The default value is set to 0.95.

✓ Add to the population needed the number of individuals of the respective species through method *void Add (Tspecies)*.



✓ Call method *void NextGeneration ()* as long, while in the population need be, for example, until it reaches the desired value tolerance.

✓ Through the property *Tspecies BestSpecies* can get the best at a given iteration (in this generation) an individual of the species, in which the objective function is smaller than the other.

7.9. Software implementation

Thanks created the class library, you can implement any modification of the genetic algorithms . So, use it to implement the following algorithm:

Step 1. Construction of the initial population of a certain size (the initialization statement).

Step 2. Select two parent chromosomes from the population (operator selection).

Step 3. Copy the selected chromosomes and application of genetic operators to create new chromosomes (operators of crossover, mutation).

Step 4. The selection and subsequent removal of the chromosomes from the population to recover to its original size.

Step 5. Until not completed the specified number of steps, return to step 2; otherwise, end the algorithm.

The first step is finding the initial population, as in Fig.2, this would solve the transportation problem by the method of the North-West corner” and the method “minimum elements”.

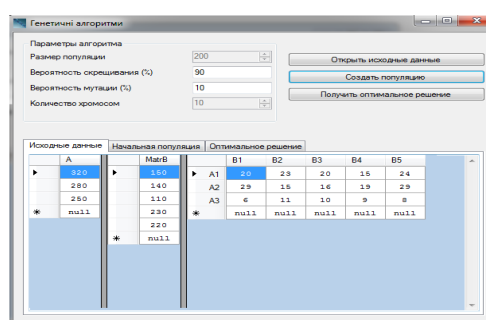


Fig.2. - Finding the Initial Population

The resulting table will be the source samples as in Fig.3.

After sampling software package performs crossover and mutation. Then there is a formation of the optimal solution as in Fig.4.

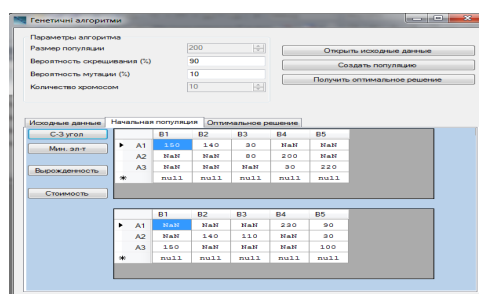


Fig.3. - Original Sample

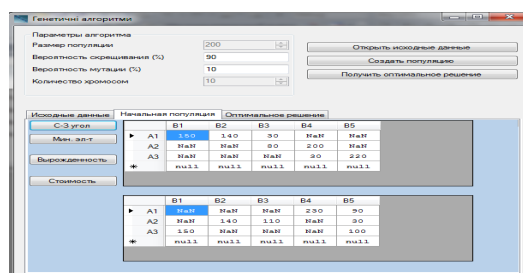


Fig.4. - Optimal Solution

Conclusions

The problem of decision making under uncertainty has an important place in the General problem of decision making. The successful solution of this problem is currently impossible without the use of new information technologies, as an integral part of the intellectual tools of information processing. The use of various modifications of HA allows to solve the problem of choosing the optimal parameters of methods, models and algorithms for decision support under uncertainty in an acceptable time. Based on the proposed algorithm software developed software environment that allows you to solve practical problems in management decisions. Studying the problem of optimization of logistics processes for managing objects, we can conclude that the use of genetic algorithms for solving such problems is a powerful mathematical tool and can be used for a wide range of applied problems, which can be enabled and those that are difficult or impossible to solve by other methods. The following functions are implemented as software:

- ✓ Create a generic class for working with genetic algorithms.
- ✓ The solution of the transport problem by different methods.
- ✓ Finding the optimal solution for scheduling transportation.

The main advantage of evolutionary, genetic methods can be called relatively simple (compared to traditional methods of decision) adaptation of the algorithm to different variants of the task. Using the same version of the algorithm can solve a number of similar tasks.

**KAPITEL 8 / CHAPTER 8.****THE PROBLEMS OF DEVELOPING AN AUTOMATED WORKPLACE FOR
A HOTEL MANAGER****ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА МЕНЕДЖЕРА В
ГОСТИНИЦЕ****ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ МЕНЕДЖЕРА В ГОТЕЛІ****DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-045****Introduction**

In the last 10-15 years in Russia, the development of the hotel business has become a hot topic. The experience of international hoteliers began to be used. As an alternative to state-owned hotels, small private hotels have emerged. To improve the level of service in these complex, financial and economic complexes, new management tools are needed [1].

Information technology has become these management tools. Automation systems such as this application provide hotel workers with the opportunity to improve the quality of management, which will contribute to a higher level of hotel management [2].

Computer software market, develops control systems for any sectors of the economy. The software reduces many costs and efforts, makes management easier, and replaces large archives. In addition, it guarantees accuracy and efficiency in any business of any specialist, which increases the productivity of any work. At the same time, it becomes more and more common to combine professions (training in related professions). The developed application will not only increase the professionalism of hotel managers and administrators, but also make their work of higher quality. Using the application does not require special knowledge and professional computer training of the hotel staff. Work is carried out with familiar documents and objects.

The application assumes control and systematization of all work processes in the hotel, processing of documents and data with minimal staff involvement. Therefore, this topic is relevant today for any hotel complex. The purpose of the paper is to develop an application for the hotel manager's AWP to improve the level of service of the manager's work with clients, promptly register all types of services, as well as save guests' time with minimal staff involvement [3, 4].

8.1. Analysis of the characteristics of automated information systems

Automated information systems (AIS) are a complex of specialized computer software that allow a person to perform his work (production) tasks with minimal



participation. By definition, AIS is a man-machine system designed to collect and process information. It is used to manage production processes, teams of people.

The main purpose of AIS is to store, search and transmit information at the request of a large number of users. Advantages of AIS: economic benefit, efficiency, safety, comfort of communication, compliance with standards.

According to the purpose of the AIS there are: state, legal, financial, scientific and technical, educational, social, entertainment and others.

By types of information - documentary, factual and documentary factual information systems (IS).

There are four types of AIS:

1. Covering one operation in one organization;
2. Covering the chain of technological processes in one organization;
3. Ensuring the functioning of one process in several organizations;
4. Providing work of several processes in several organizations.

AIS can be fairly simple and fairly complex systems. Even simple AIS consists of several modules and elements.

AIS is a complex of automated information technologies designed for information services to consumers.

Automated working place (AWP).

The overwhelming use of AIS today is: collection, accumulation, processing, storage, transmission and use of information. AIS user workstation is called "workstation". That is, the AWP is a place for a specialist user, equipped with technical and software equipment. AWP's created on the basis of personal computers are the simplest and most widespread version of them.

The AWS uses various operating systems and application software, focused on the profile of the user's activity. This activity requires a high level of information services [5, 6].

The purpose of the AWP implementation is to strengthen management functions. The creation of automated workplaces assumes that the main operations for the accumulation, storage and processing of information are entrusted to computer technology, and a specialist performs part of the manual operations. Therefore, the user of the AWP should have a professional approach to the preparation of solutions.

AWP should ensure the performance of a group of functions:

1. Information and reference service;
2. Performing arithmetic functions;
3. Accounting function;
4. Analysis and regulation function.



1. The technical support of the automated workplace should guarantee the reliability of technical means, the organization of user-friendly operating modes (autonomous, with a distributed database, information, with upper-level technology, etc.), the ability to process the required amount of data at a given time. In addition, the efficiency of input, processing, duplication and search of documents should be ensured; exchange of information within the organization and outside it; safety for the user's health and comfort of service.

2. Workstation software should be oriented towards the user's professional level and specialization. The decision-making in general is carried out collectively or by a superior administrative person. But the AWP should provide the preparation of information for decision-making, and the very adoption at various levels of management personnel independently.

3. AWP, created on the basis of personal computers, are systems that allow the user to have a monopoly over the entire session. The user himself will fulfill all the obligations to transform information [7, 8].

Classification of AWP.

Classification of automated workplaces based on professional criteria:

1. AWS of administrative and managerial personnel;
2. Workstation for the designer of electronic equipment, automated control systems, etc .;
3. Workstation of a specialist in the field of economics, mathematics, physics, etc .;
4. Workstation for production and technological purposes.

Classification of AWP according to the mode of its operation:

- Single - all resources in the user's monopoly. Low-power computer;
- Group - resources combine several workplaces (administrative or functional community). Higher power computers and more complex software;
- Network - combines the advantages of the first and the second (serving stable groups of specialists and managers in one department). Each AWP is built on the basis of one computer, but the shared resources of the computer network are used.

Classification of AWP by types of tasks to be solved.

1. Information and computing tasks;
2. The tasks of preparing and entering data;
3. Information and reference tasks;
4. Tasks of accounting;
5. Tasks of statistical data processing;
6. The tasks of analytical calculations.



AWP properties.

Basic principles of AWP design:

- Maximum focus on the end user, his professionalism with the help of tools;
- To enable the user to independently solve new problems using the AWP in the process of gaining experience with the system;
- Orientation of AWP towards solving a class of problems, united by a common technology of information processing, the unity of modes of operation and operation;
- Modular design, which allows the AWP to perform tasks with different elements of the information processing system, without interrupting its operation;
- Possibilities of AWP to create comfortable working conditions for the user and methods and methods of simultaneous operation [9] of several unconnected linear information systems. AWP must meet the following requirements:
 1. Timely satisfaction of the information and computing needs of a specialist;
 2. The minimum response time to user requests;
 3. Adaptation to the level of training of the user and his professional needs;
 4. Ease of mastering the techniques of work at the AWP and ease of communication, reliability and ease of maintenance, therefore, the possibility of quick user training;
 5. Tolerance towards the user.

As a conclusion, any automated workplace should have: consistency, flexibility, stability, efficiency. □ Consistency. AWP should be considered as systems, the structure of which is determined by the functional purpose.

□ Flexibility. The system is adapted to possible restructuring due to the modularity of all subsystems.

□ Stability lies in the fact that the AWS system should perform basic functions regardless of the impact of disturbing factors on it. That is, malfunctions in some of its parts should be easily eliminated, and the system's performance should be quickly restored.

The efficiency of the automated workstation means the costs of creating and operating the system must correspond to the level and quality of functioning of the automated workstation for the above qualities [10].

8.2. Providing AWP

After parameterization (this is the process of building a relationship between the



parameters of a system or systems), several types of support are used for the smooth operation of the AWP, the main ones are:

1. Information support for AWP - organization of the information base. Relationships between information flows are determined, input documentation packages are formed, etc.

2. Automated workstation software - providing a set of algorithms that provide input, control, storage, processing and protection of information. And also its formation in the form of graphs, tables and diagrams.

3. The technical support of the automated workplace should guarantee the reliability of all means, the organization of operating modes (autonomous, with a distributed database, information, with upper-level technology, etc.), the ability to process the required amount of data at a given time.

4. The software allows the user to work quickly with the database and the ability to share resources in network technologies [11, 12].

5. Linguistic support of AWS includes languages of communication of AWP technology with users (Russian, English), languages - queries (SQL), information and legal languages and languages-intermediaries in networks.

6. Technological support of AWP - setting the compatibility of design solutions that determine the sequence of operations in the implementation of tasks.

7. Operational support includes a set of documents regulating the actions of a specialist when using AWP.

8. Ergonomic support of AWP - ensuring regulatory requirements for the location and color range of screen forms, for illumination and location of technical equipment, room size, quality and comfort of the interior.

9. Legal support for AWP is a system of negative legal documents that define the rights and obligations of specialists in the conditions of AWP functioning.

These documents are strictly linked to a set of developments that regulate the procedure for storing and protecting information, rules for revising data, ensuring the legal authenticity of operations performed on the workstation, etc.

8.3. Analysis of the activities of the hotel industry

The organizational structure of the hotel.

The law stipulates that the hotel operates on the basis of a certificate of conformity for the safety of the services provided [13, 14].

Hotel classification is the determination of a hotel, its rooms and services



according to government criteria or standards. It affects the prestige of the hotel, the formation of the clientele, the cost of hotel services.

A hotel of any category must meet safety and hygiene requirements, provide round-the-clock service, emergency medical care, safety of valuables, laundry, and postal services.

The hotel should provide a minimum set of basic services to ensure the provision of basic hotel services:

1. Room fund management service;
2. Administrative service;
3. Catering service;
4. Commercial service;
5. Technical services;
6. Supporting and supplementary services.

1. Room fund management service. This is the solution of issues related to booking rooms, receiving customers, registering and placing them by numbers, as well as checking out and sending, customer service in rooms, maintaining the sanitary and hygienic state of rooms and the level of comfort, and providing household services. The service includes administration, managers, maids. There is also a unified service department: doormen, bellhop attendants, cloakroom attendants, garage employees, porter and messengers, security service, etc.

2. The administrative service is responsible for organizing the management of all services of the hotel complex, resolves financial issues, personnel support, safety, fire and environmental safety. The service includes specialists from the relevant professions [15, 16].

3. Catering service. Serving hotel guests in restaurants, cafes or bars, solving issues of organizing and serving banquets, presentations, conferences, etc. As well as organizing the work of the catering department, providing guests with food in the rooms. Each food point has its own leader.

4. Commercial service. Solution of planning issues. Analysis of the results of economic and financial activities, marketing.

The Commercial Service is headed by the Commercial Director. He oversees all the financial work of the hotel. The marketing department is establishing contacts with organizers of congress events, negotiating long-term plans for the use of hotel premises.

5. Engineering services. Ensuring the functioning of all technical systems, sanitary equipment, electrical devices, repair and construction services, television and communication systems. The service includes a chief engineer, a maintenance



service, a territory improvement service, and a communications service.

6. Support services. Services of a luggage room, post office, first-aid post, library, laundry, linen services, cleaning services, warehouse services, etc. Additional services provide paid services. They include a sauna, hairdresser, swimming pool, solarium, souvenir kiosks, sports facilities, etc.

8.4. Activities of the manager, his tasks and functions

A manager is a specialist professionally engaged in management activities. Hospitality managers are responsible for the efficient operation of hotel service personnel. He is responsible for the actions of the hotel personnel within the limits of his competence and in accordance with the powers granted to him. The manager has to talk a lot both on the phone and with people. And yet he has little time to process information.

But the information that the manager receives must be quickly analyzed by him, and he must be able to make a quick decision [17, 18]. Therefore, a manager must be a psychologist, find a common language with a variety of people and stoically cope with any surprises, i.e. his professionalism depends primarily on the human factor, and not on the mechanical state of the situation. In this regard, a hotel manager must have certain professional and personal qualities: high competence, flexibility of thinking, the ability to take risks, be a leader in a team, and be able to convince.

In addition, being a manager means being responsible for the successes and miscalculations of the hotel team members, whose work he coordinates. A person who is not capable of this will not become a professional manager.

A person who has a professional (economic) education, additional training in the direction of "Management in the hotel business" is appointed to the position of a hotel manager.

8.5. About development tools when solving a problem

Today practically no sphere of human activity is complete without information technology. Various application development tools are also actively developing. A language such as C # is most often used for developing desktop applications.

The C # programming language is an object oriented language. It is simple, type-safe, and belongs to the C-like syntax family. C # is sometimes referred to as a



C ++ / Java hybrid that inherits all the best. This language is statically typed, supports polymorphism, explicit and implicit operator overloading, delegates, attributes, events, properties, generic methods, iterators, anonymous functions with closure support, exceptions, and much more. Thanks to its many innovations, C # enables rapid application development. Visual Studio from Microsoft was used in the design of the "Automated Workplace for Hotel Manager" as a development environment. This program allowed the developer to create console and GUI applications that support the Windows Forms environment.

Another software development tool is the .NET Framework. .NET Framework - as a computer platform, has simplified application development. The core of the .NET Framework is the common language runtime. It implements a lot of different functions and interactions with the database, interfaces (for example, Windows Forms - the application programming interface responsible for the graphical user interface.). The .NET Framework has a very extensive class library.

It includes an object-oriented collection of reusable classes, so it was used to create an application.

8.6. Development of a data model

A data model is a description of a complex of concepts, features and operations for their processing, which is available in a specific database management system (DBMS). The functions of this DBMS include the definition of objects and the order of their interaction with each other. That is, it is a user-controlled data access machine. Several specific DBMSs and the databases they manage, if they are based on the same model, can compare specific interactions [19, 20] using the same common language.

The data model includes:

- Structural part. It describes the types and logical data structures used by the user when organizing the database;
- Manipulation part. It contains the specification of languages for writing database queries. And the main purpose of this model is to provide a reference database language, backed up in DBMS implementations that correspond to this model;
- Integral part. It describes the mechanisms for maintaining the integrity of the database that must be supported by all DBMSs that conform to this model.

Any DB and DBMS is built on a data model, and those DBMSs that are built on



the same model are of the same type (i.e. the basis of a hierarchical DBMS is a hierarchical data model, relational DBMSs are a relational data model, network DBMSs are a network data model, etc.).

8.7. Analysis of the database of the hotel manager

Database (DB) is a structured collection of data intended for the accumulation, storage and processing of data using a computer, and in which an effective search is organized.

Databases differ according to different criteria.

When developing the application, a relational database was used. Relational database - objects and their relationships are displayed in the form of tables, and operations on data are reduced to operations on data in these tables. Each of the tables contains its own information about objects of this type.

The table consists of fields (columns) - data elements that contain the attributes of the object. The rows in the table are called records. Each line contains information about a single object, and each record has the same structure.

The table consists of fields (columns) - data elements that contain the attributes of the object. The rows in the table are called records. Each line contains information about a single object, and each record has the same structure.

All data processed in the system is stored in a SQL database.

The Hotel DB under development contains the following tables:

- client - a table containing information about clients;
- employees - a table containing information about hotel employees, their logins and passwords;
- order - a table containing information about placement;
- room - a table containing the number of rooms;
- room_dop - a table containing room types, their description and cost;
- services - a table containing the types of services;
- services_dop - a table containing information about the services used by guests.

Conclusion

The result of the paper is an automated workstation for the hotel manager. The work is implemented in the C # language.

The application provides for the creation and saving of new records, correction



of old ones, viewing information regarding the entire spectrum of the manager's duties. It allows the manager to fully automate the receipt of detailed information about the hotel complex, its rooms, customers, employees, the cost of rooms and services provided by the hotel;

In addition, the application contains reference books. The program allows the manager to change information in them (add, delete), and search for specific data in the search mode. Based on all this information, the manager makes reports of various formats on the work of all divisions of the hotel complex and monitors their work. The application protects all information by means of a username and password.

**KAPITEL 9 / CHAPTER 9.****THE PROBLEMS OF DESIGN THE COMPUTER CLUB**

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО КЛУБА

ПРОБЛЕМИ ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО КЛУБУ

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-042**Introduction**

Currently, information technology is making big strides in development. Today, modern methods of customer service have already reached the level where the system serving the enterprise is capable of processing data at a very high speed in a multi-user mode. The entire workflow is implemented on computers, and all information is stored in databases [1, 2]. With the development of information technology, the computer entertainment industry is also developing. Every year, games are becoming more resource-intensive, and the ability to buy or upgrade a computer that could meet the requirements of a particular video game is becoming less affordable.

These trends are driving the development of public institutions such as computer clubs that can meet the demand for access to powerful computers and the ability to play the newest and resource-intensive games on them without any problems and drawdowns in personnel at an acceptable cost.

The aim of the paper is to develop an information system that will automate the process of servicing the clients of the computer club.

9.1. The characteristics of the automation object

The object of this paper is the activity of a computer club.

The computer club is a public institution that provides access to an Ethernet network, powerful computers and various game consoles at the disposal of the user.

The activities of a computer club are often associated with providing customers with the opportunity to play certain games on various platforms, conducting e-sports events in various disciplines.

Different computer clubs function differently, but often they work 22-23 hours a day and 7 days a week. The time when the computer club is closed is set aside for technical inspection and equipment maintenance. The staff often includes the director of the institution and several administrators. The director can also act as an administrator. The institution often tries to create all the conditions for a comfortable game and friendly communication.



9.2. Justification of the need to use an automated information system

Despite all of the above, computer clubs do not provide for the possibility of booking a separate PC by the user for a certain period of time [3].

The whole process of renting a computer takes place on the spot, this approach may not cause convenience for a separate company of people who came to rest together, but in the case of a clogged room, they can be distributed in different corners, which can subsequently negatively affect the process of playing and communication among friends. Also, such an approach can cause inconvenience for some regular visitors, whose already familiar places may be occupied.

Thanks to the use of the information system, customers will have the opportunity to pre-book seats that are convenient for themselves, in case of urgent matters, the client can make changes to an already booked session or completely delete it. The administrator will have the opportunity to monitor the session log, and if the client has not canceled the reservation and has not shown up within a certain time, delete this reservation and rent the vacated seats to other people [4].

Thus, the development of an information system is able to solve these problems, facilitate interaction between clients and the computer club. We consider detailing functional requirements [5]. The developed information system of a computer gaming club should be easy to use, both for the Administrator serving the computer, and for the accountant, club director, tax inspector, as well as any interested client. It makes it possible to obtain complete information about the exact date, time, service provided for a specific computer, visitor or service administrator.

The system should help the employees of the computer club in keeping records of the rent of computers by visitors, in finding the necessary information about the players, keeping statistics of visits to a certain player. Also, it helps the administrator to determine the date of duty, daily and total profit without wasting time.

This information system should solve the problem of finding a suitable computer of the appropriate level, depending on the service that the visitor chooses.

The system enables the administrator to keep records of the constituent devices of the computer, which allows for timely modernization, as well as the calculation of the cost for it. When building an information system, the following is known: a computer, its platform, frequency, monitor, hard disk installed on it, video card, manipulators, headphones, administrator and information about it, services, their description and tariff. The data entered in the table may be updated over time [6].

Requirement for software solutions:

The software should be developed on a modular basis and be a set of



functionally complete subroutines.

A structured database is required to store information entered by users into the systems. The architecture of software solutions should ensure the use of any of the common ones (FireBird; MS SQL, etc.) as a DBMS.

It is possible to execute the software according to the client-server architecture.

The use of illegal copies of the software or unlicensed modifications of software products is not allowed.

9.3. Implementation of UML diagrams

This section describes how to design diagrams in Enterprise Architect.

UML (Unified Modeling Language) - This is a universal visual system modeling language. Most often, UML is associated with modeling object-oriented software systems, the scope of this language is quite wide, due to its inherent extensibility.

Enterprise Architect is a program that provides a set of tools for analysis and design at all stages of development.

9.3.1. Implementation of UML diagrams

Use Case Model - a model of use cases, necessary for modeling the business processes of an organization and the requirements for the system being created.

The use model uses two main types of entities: use cases and actors, between which the following basic types of relationships are established:

- Association between the actor and the use case;
- Generalization between actors;
- Generalizations between use cases;
- Dependencies (of various types) between use cases.

A use case is a sequence of actions, so-called transactions, which the system executes in response to an event triggered by some external object (actor). A use case describes a typical interaction between a user and a system. In the simplest case, the use case is determined through discussions with the user about the functionality they would like to implement.

Actor - the role that the user plays in relation to the system. Characters represent roles, not specific people or job titles. The actor can also be an external system that needs some information from this system.

Actors are divided into three main types - users of the system, other systems interacting with the given one, and time. Time becomes an actor if the launch of any



events in the system depends on it [7].

The information system includes a number of functions and connections of customers, employees and the director of the computer club.

9.3.2. The development of sequence diagrams

Sequence diagram - designed to represent the flow of events that occur during the implementation of some use case. This diagram depicts actors, objects, and the events they receive and send.

When constructing a sequence diagram, first of all, the temporal sequence of the events occurring is reflected.

Object - it can be an instance of a class, a specific entity or a sample, it can also trigger some events that can affect the system. In a sequence diagram, all objects are sequentially located at the top of it, with the exception of objects created as a result of certain messages.

A dashed line extends down from each object, it is also called the object's life line. It is necessary to demonstrate everything that happens to an object from the moment of creation to the moment of destruction [8, 9].

Actor - is a special case of an object, it is necessary in cases when it is necessary to show the connection between the participant and the use case.

Messages transmitted from one object to another are realized by arrows located between the life lines of these objects. The order of the messages is set from top to bottom. Each message has at least a name, and can also have arguments and some control information.

In order to show the moment in time at which the object is active, activity rectangles are used, they are depicted over the life line.

The control information can be represented as a condition that indicates when the message can be transmitted, or by using an iteration marker, indicating that the message is sent multiple times.

9.3.3. The development of activity diagrams

Diagrams describing the behavior of a system include Activity diagrams. Activity diagrams are needed to describe the flows and work sequences of some use cases.

Typically, activity diagrams are used to describe complex algorithms, and they are also used to describe business processes and use cases. Activity diagrams can be expressed both in terms of system objects and in terms of business objects.

The main object of activity diagrams is Activity. Activity diagrams have the



following elements:

- Pseudo-activity of the beginning and end of streams;
- Transitions;
- Fork / Join;
- Super activity;

In addition, the activity diagram may have a Decision element - This element indicates the moment of branching or connection of threads. In the decision object, the process continues along only one branch, while in Fork / Join, all branches at once [10].

The Partition element is an addition to the activity diagram, does not carry any logical meanings by itself and is intended for visual grouping of works according to any characteristic.

9.3.4. Development of a class diagram

A class diagram is the main way to structure a system. On a class diagram, one main type of entities is used: classes (including numerous special cases of classes: interfaces, types, association classes, and many others), between which the following main types of relations are established:

- Association between classes (with many additional details);
- Generalization between classes;
- Dependencies (of various types) between classes and interfaces.

In general, a class diagram is a finite graph, the vertices of which are elements of the "classifier" type, which are connected by various types of structural relations.

A UML class is an abstract description or representation of properties of a set of objects that have the same structure, behavior, and relationships with objects from other classes. Graphically, a class in UML notation is depicted as a rectangle, which can additionally be divided by horizontal lines into sections or sections. These sections can contain a class name, attribute, and operation.

The class name must be unique within the package, which can contain multiple class diagrams, or possibly just one diagram. The name appears in the top-most section of the rectangle, so this section is often referred to as the class name section.

A class attribute is used to represent a separate property or characteristic that is common to all objects of a given class. Class attributes are written in the second from the top section of the class rectangle, therefore this section is often called the attribute section.

An operation is some service that represents each instance or object of a class at the request of its clients (other objects, including instances of this class). Class



operations are written in the third section from the top of the class rectangle, so this section is often called the operations section. The set of operations characterizes the functional aspect of the behavior of all objects of a given class.

9.4. Implementation of methods

9.4.1. Basic concepts

This section will describe the implementation of the methods mentioned earlier in sequence diagrams. This project was developed using a tool like Laravel.

Laravel is a Framework written in PHP that does not have any specific system requirements and works on the capabilities of almost all hosting providers on the market. Laravel provides all the basic functionality of sites, including a powerful and completely ready-to-work system of access control, means for sending e-mail and an extremely convenient migration mechanism [11, 12].

Framework (Framework) - a software platform or a set of components and models that facilitate the process of web development.

In order to get to the client part of the site, the user needs to register; this can be done by going to the registration page.

If the user has already registered, then he can get to the client part of the site by authorization by going to the corresponding page.

The client side includes three pages:

- Home page;
- PC Booking Page;
- Session log;

The booking page is a form containing 4 fields:

- User.
- Start time.
- End time.
- Select PC.

The "User" field is automatically filled in with the data of the authorized user. Data changes cannot be made in this field.

"Start time" and "End time" are fields of datetime-local format and are used to enter the date and time of the beginning and end of the session.

The "Select PC" field is a drop-down list that contains the names of all computers recorded in the computer club database.

If the computer [13, 14] selected by the user has already been booked, then



when trying to make a booking, an error will occur, which will inform about the inability to book the selected computer within this period of time. If the computer is free, a message about successful booking will appear, the data that the user specified on the booking page, including the user's data, such as id, will be written to the `p_c__club_ses` table, after which the user will be taken to the editing page of this session.

9.4.2. Administrative part

The administrative part of the site includes three pages:

- Home page;
- Journal of Sessions;
- PC magazine;

The session log page is a form with a table that has the following fields:

- id (session id).
- id PC (id of the booked computer).
- User id (contains username).
- Time Start (Contains the date and time the session started).
- Time End (Contains the date and time of the end of the session).

In contrast to the page of the same name shown in the user part, this page displays information on all sessions of the computer club, and not just one user, as it was before [15, 16].

On this page, the administrator has the ability to modify existing sessions and add new ones.

Next to each record of the session there is a button “Edit”, when clicking on it, the administrator gets to the page for editing the selected session.

On the edit page, the administrator is provided with the following data:

- session id.
- Creation time of this entry.
- The time the entry was modified.
- The time at which this entry was deleted.

In addition to the above information, the administrator has access to the following edit fields:

- PC id.
- User id.
- Time Start.
- Time End.
- On this page the administrator can change the computer that was selected by



the user, change the user who belongs to this session, and also change the date and time of the beginning and end of the session.

- In case of successful editing, the administrator will notify a message about successful saving, and also, all information related to the changed record will change to the one specified by the administrator, these changes will be visible on the “Session Log” page.

- If the changes cannot be made [17, 18], an error message will appear in front of the administrator, which will indicate the reason for the impossibility of this action.

If the computer selected by the administrator has already been booked, then when trying to create a new session, an error will occur, which will inform about the inability to book the selected computer [19, 20] in this period of time. If the computer is free, a message about successful booking will appear, after which the administrator will be redirected to the page for editing a new session.

Conclusion

The information system of the computer club was implemented using the UML design of Enterprise Architect and the programming languages HTML, PHP and the framework for the PHP Laravel language with the addition of a MySQL-based database. A program was also implemented with division into administrative and user parts. The functionality of the user part gives the client the ability to register and subsequent authorization on the site, the ability to book individual computers and view their booking records with the subsequent change, deletion or addition of new records. The administrative part gives the administrator the ability to view the session log of all users, make changes to the session records, delete or add new ones; the administrator also has the ability to manage the computer log, add new records to it, change or delete old ones.

**KAPITEL 10 / CHAPTER 10.****PROCESSING AND COMPRESSION OF DIGITAL IMAGES WITH
MEASURING INFORMATION BASED ON FRACTAL MODELS**

ОБРАБОТКА И СЖАТИЕ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ НА
ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ
ОБРОБКА ТА СТИСНЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЄЮ НА
ОСНОВІ ФРАКТАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-038**Introduction**

The study found that it uses a method of fractal modeling and color image styling that adhere to video information. An algorithm for fractal stylization of color images has been developed, which recommends international standards ITU-T.81. The experimental results of the fractal compression algorithm are given.

The compression of digital videos with a high compression ratio is based on methods that involve the loss of some information contained in the video [1, 2]. A common approach to digital video compression is to compress them based on encoding with conversion, for example, based on a discrete cosine transformation in the JPEG or wavelet transformation method [3, 4]. However, the results of many studies point to the advantages of fractal modeling and video compression methods over these methods, which results in smaller errors and a significant reduction in the amount of digital video data [3]. These benefits are exemplified by images intended for human visual perception. However, the use of video compression in automated measurement systems requires additional research and development of compression algorithms that take into account the particularities of this information processing area. The purpose of the research is to improve the degree of compression and accuracy of recovery of videos containing measurement information, based on the further development of fractal modeling methods and the compression of digital videos with measuring information about the objects' geometric parameters.

Fractal transformation allows you to find major similar areas in the video considering rotation, geometric scaling and video amplitude for these areas. As a result, there is a significant reduction in the volume of digital videos that only need to store base-like areas and a set of conversions that allow them to be restored to original videos. Fractal transformation methods are especially effective for objects with fractal properties [3, 5, 6]. These include structural elements of the surface of natural stone products.



10.1. Fractal transformation and image processing with measuring information

Fractal transformation T_{fr} allows restoring the original video f_0 based on basic similar areas set f_t using an iterative procedure [3]. For this purpose, they find an estimate T_{frest} and apply reverse fractal transformation T_{frest}^{-1} to the video f_{out} , generated by a digital camcorder and contains an error Δ_{f0} (Fig. 1):

$$f_t = T_{frest}^{-1}(f_{out}), \quad f_{out} = f_0^* = f_0 + \Delta_{f0}.$$

Video restoration is an iterative application (with the number of iterations N_{fr}) estimates of fractal transformation T_{frest} to $f_T = f_{0est}(0)$:

$$f_{0est}(i) = T_{frest}(f_{0est}(i-1)) = f_0 + \Delta_{fr}(i), \quad i \in \overline{1, N_{fr}}.$$

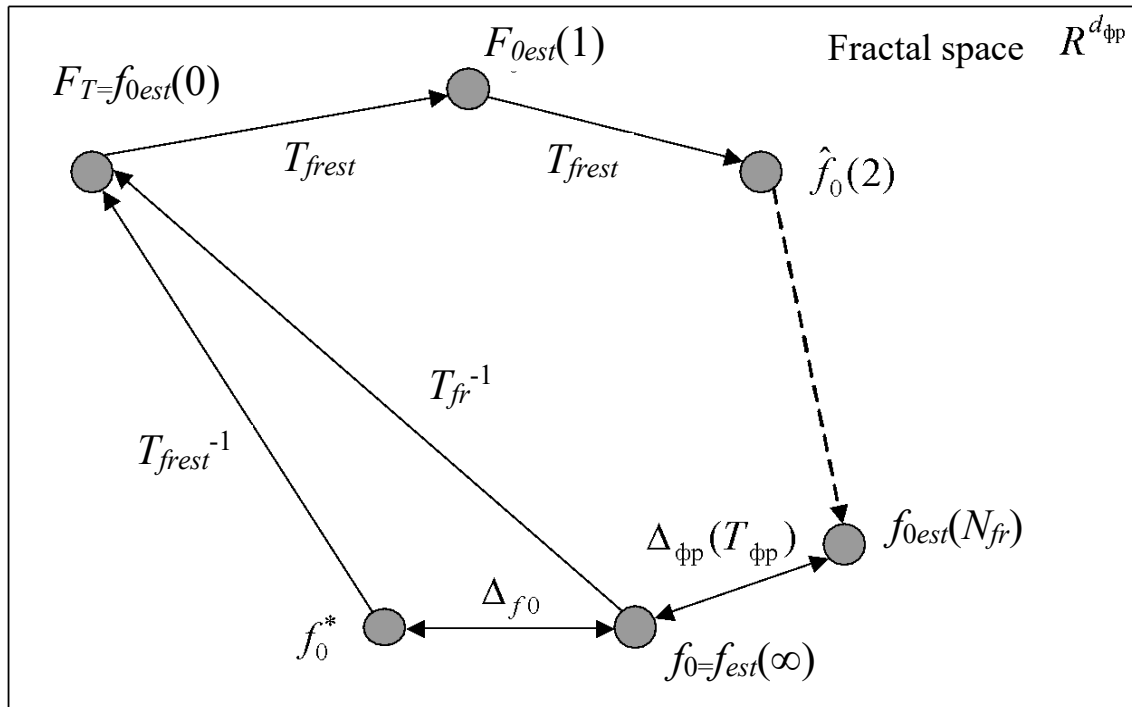


Fig. 1. Video fractal conversion with measurement information about geometric proportions

To get the original video f_0 we need to perform an infinite number of iterations. For a finite number of iterations N_{fr} we get an estimate of the original video f_{0est} with error $\Delta_{fr}(N_{fr})$.

By choosing fractal conversion parameters and the number of iterations, the geometric parameters measurement errors on images can be significantly reduced, provided $\Delta_{fr}(N_{fr}) < \Delta_{f0}$.



An example of such videos is the natural stone products surface characterized by a certain texture or industrial products of complex shape that need to be recognized, their orientation in space and sorted. The practical need for compression of such videos arises when developing an automated quality control system for industrial stone products (long-term storage of video reference products) and when creating multimedia directories with samples of natural stone products. These videos are characterized by the presence of elements with specific entities in the signal, which are self-similar at different scale factors. This is one of the conditions for effective application of fractal modeling and video compression methods.

For these tasks, important requirements for the fractal model and the video compression algorithm are: high compression rates achievement in the encoding process; achievement of an information recovery high speed in the decoding process; the ability to scale the resulting video while preserving its main characteristics.

Model x_m of signal x in this case, it is fully described by some compression fractal transformations T , for which this signal model is a fixed point: $x \rightarrow x_m = T^\infty x$.

The process of restoring the signal model x_m is the process of finding the fixed point of a given compression transform T and can be executed by an iterative algorithm: $x_n = Tx_{n-1}$, where x_0 – an arbitrary starting point of all possible signals.

The choice of starting point position only affects the number of iterations of the algorithm required to obtain a fixed transformation point.

In this case, compression fractal transformation T has the following features:

- the scheme of segmentation of image based on a quad;
- the class of transformations is limited by the basic type of affine transformations of appearance $T(u) = s \cdot u + o \cdot 1$, де s – scaling option, o – offset parameter;
- a plurality of domain blocks consists of all possible domain blocks of a video with a sampling step within a particular scaling parameter range (for example, it is possible to select sampling step 2 for a scaling factor in the range $(1/3) \leq k \leq 4$;
- domain block classification scheme is used;

10.2. Compressing images with measuring information based on fractal models

The main operation performed by fractal methods is to reduce the amount of



images stored and stored in the measurement system.

The images of the products have a significant redundancy with respect to useful measurement information about geometric parameters. This implies the possibility of reducing video volume by eliminating redundant information, which does not significantly affect the accuracy of the geometric measurement results.

Therefore, a method for reducing the volume of video with measuring information on GP stone products was developed. When fractal conversion of digital color video is performed, the distribution of digital data for each of the video channels into rank blocks, for example, by the quad-tree method. In contrast to existing methods [2, 7], the developed method provides a variable size of rank blocks, which adapts to the local features of digital color images of natural stone products. If there is a contour of a structural element on a surface of a digital color video image, then the area is divided into smaller rank blocks. This provides a more accurate transmission of the outline coordinates as the volume decreases. If a section of digital color video is a homogeneous area without contours, then the size of the rank blocks in that area increases. As a result, the total number of rank blocks is significantly reduced, resulting in a significant reduction in video volume.

During compression, the parameters of fractal transformation is determined, which provide a given accuracy of measurement information transmission about geometric parameters. This is the minimum size of a rank block in discrete points (dp) of video; quantity and dimensions in dt domain blocks; the maximum permissible error that determines the differences between rank and domain blocks when comparing them. They further convert the digital color video into a colorimetric system that provides separate storage of information about the brightness and color of the digital dots, and sub-sample the digital data for each of the digital color video channels. The next step is the fractal transformation of the digital data and the statistical coding of the results of that transformation.

Natural stone products surface images fractal compression experimental studies were also carried out. These studies evaluated the digital image errors caused by compression. In doing so, the criteria for estimating errors should take into account the particularities of the measurement information contained in the video image.

When measuring object color metrics, it is advisable to directly calculate these errors for each of the color video channels, and then determine the maximum or average errors among the channels.

If the geometric characteristics of the objects under investigation or control are measured, then the geometric measurement error resulting from video compression can be estimated according to [8].



10.3. Experimental studies of fractal compression of measuring video information

For experimental study of the developed method, videoimages of samples of natural facing stone with textures of natural origin were used. The appearance and quality of the surface of such specimens determine the decorative and aesthetic properties of natural facing stone. To quantify the surface quality of such samples, it is necessary to determine the geometrical parameters and the color of the structural elements of this surface [9]. 512×512 dp, 24-bit color depths represented in the standard RGB colorimetric system were used for the studies. The algorithm was tested for 5 types of natural stone surface textures.

An example of compressing and restoring one of these videos is shown in Fig. 2.

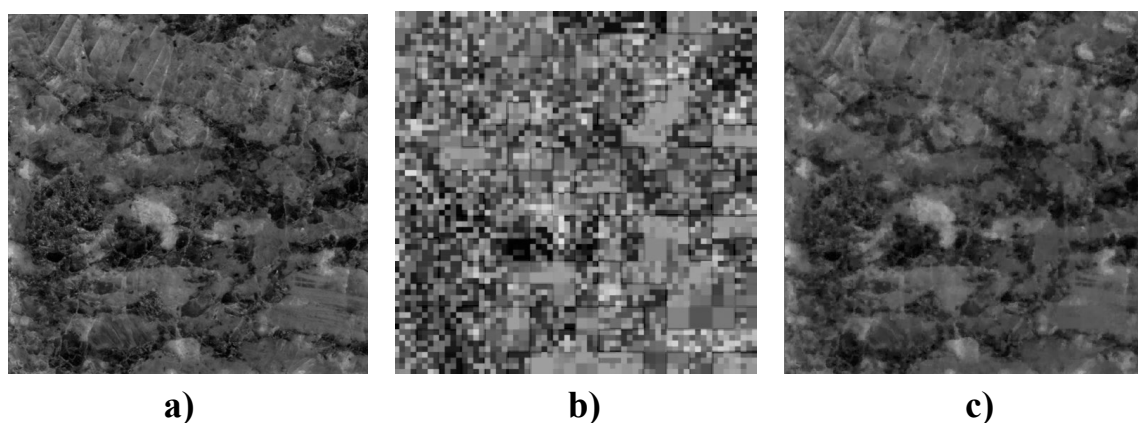


Fig. 2. The results of the restoration of the video compressed by the developed algorithm: a) the initial video; b) restored video after 1 iteration; c) after 6 iterations

The compressed videos reconstruction accuracy depending on the number of iterations of the algorithm is shown in Fig. 3.

Accuracy was determined by a criterion based on the signal-to-noise ratio. The accuracy of video restoration increases with the number of iterations, reaches a constant value after 6 iterations and does not change. Based on these results, you can select the required number of iterations for the fractal compression algorithm and restore video containing measurement information.

Table 1 for videos of 5 different types of natural stone textures shows the accuracy of restoring compressed video by criterion signal-to-noise ratio and the degree of compression obtained.

The effect of fractal compression on the accuracy of determining the geometrical parameters of the structural elements of the textural surface of natural



stone products was also evaluated. The results of such measurements are necessary to evaluate the quality of the products' surface. The results of the studies are shown in Fig. 4.

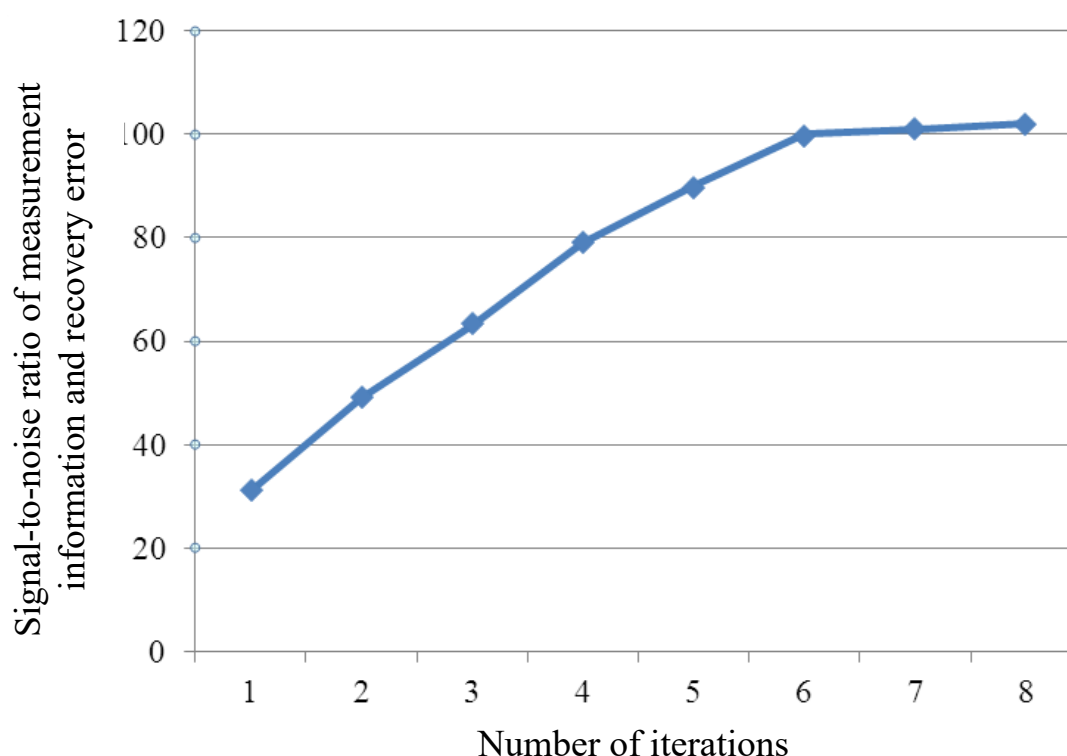


Fig. 3. The accuracy of restoring videos compressed by the developed algorithm

Table 1

The results of video compression by fractal method and JPEG method based on discrete cosine transform

Natural stone species	Fractal method		JPEG method	
	Signal to noise ratio for recovery error, dB	Video compression, amount	Signal to noise ratio for recovery error, dB	Video compression, amount
1	100,66	56,7	112,7	29,7
2	104,3	58,4	114,8	30,6
3	118,9	63,6	122,6	42,5
4	105,2	59,3	107,7	26,4
5	104,9	58,6	110,3	27,6

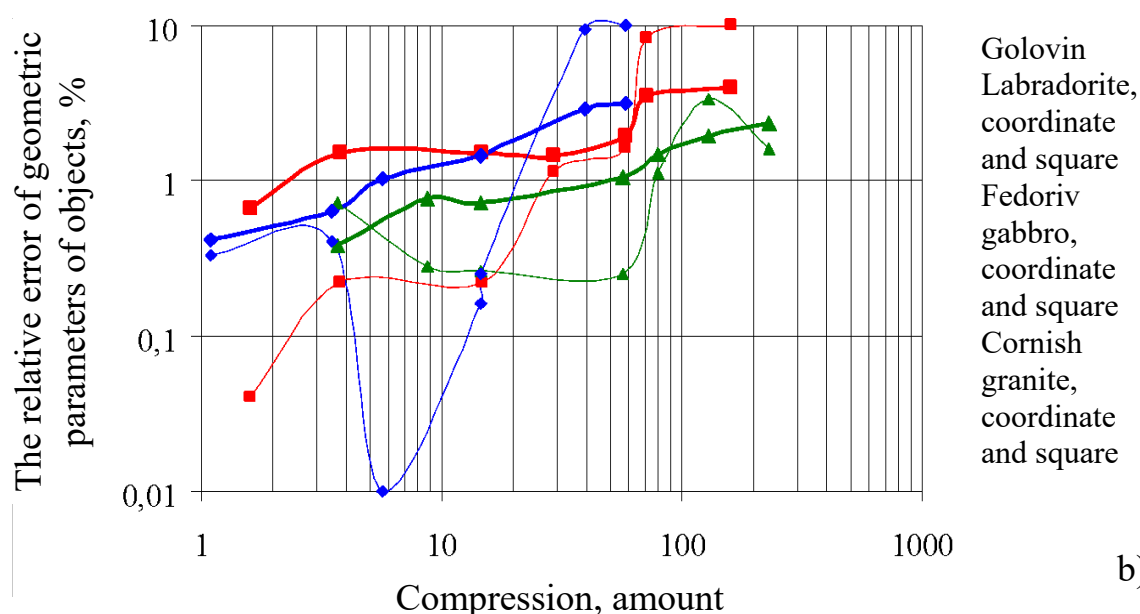
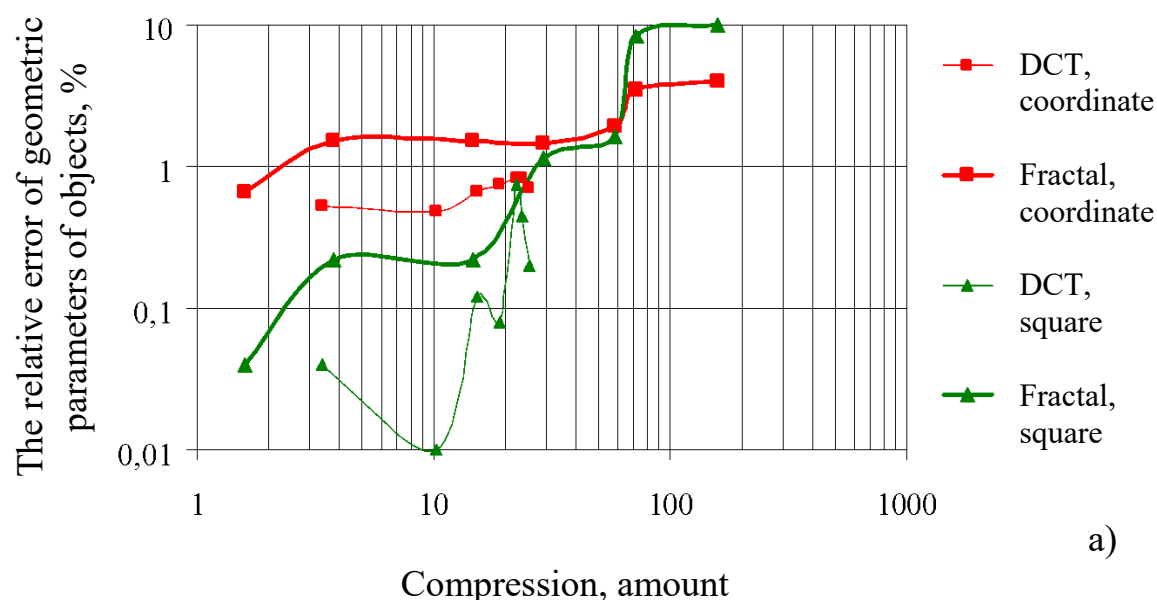


Fig. 4. Errors of geometrical parameters of structural elements of the natural stone products surface on images after fractal transformation:
a) - Labradorite of Golovin field; b) Golovinsky's Labradorite and the Fedorov deposit, granite of the Cornish deposit

In the course of these studies, digital color images of natural facing stone were formed using the Sony Cyber-shot DSC-H9 digital camera with the following characteristics: size 2048x1536 dp, color depth 24 bits per dp. The fragment size 256x256 dp was allocated directly for the study of compression methods. To reduce the volume, the fractal method and the known JPEG method were used [7]. 6)



Conclusions

The main advantage of the developed method is to achieve much more compact measurement information (reducing video volume by several hundred times) with acceptable geometric parameters accuracy (0.3 mm contour error), unlike the existing methods that reduce the volume in 20... 30 times with the same accuracy.

The relative error of the geometric parameters of the natural stone surface structural elements is (1... 5)% and is acceptable in the procedures for evaluating its decorative properties [10]. The developed fractal compression algorithm provides a video compression ratio of approximately 1.5 times better than the JPEG compression method, with approximately the same accuracy of video recovery. The results obtained can be applied to the development of automated control and control systems that use video with measurement information.



KAPITEL 11 / CHAPTER 11. WATER QUALITY IN THE CENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEM OF LVIV

КАЧЕСТВО ВОДЫ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г.ЛЬВОВ
ЯКІСТЬ ВОДИ В СИСТЕМІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ М.ЛЬВІВ

DOI: 10.21893/2709-2313.2020-03-03-041

Вступ

Якість питної води та забезпечення нею населення є однією з головних проблем у світі. Значна кількість мешканців планети потерпає від нестачі якісної питної води, що безпосередньо загрожує стану їх здоров'я.

Частина мешканців м. Львова для питних потреб використовує воду нецентралізованого питного водопостачання, зокрема фасовану. Але лівова частка городян споживає воду з комунального водопроводу. Однак, під час транспортування води мережею трубопроводів до споживачів її якість може змінюватися. Отже, актуальним є дослідження можливості зміни якості води у системі централізованого водопостачання.

11.1. Характеристика водозаборів

Місто Львів за географічним розташуванням знаходиться на хребті Головного європейського вододілу, в місцевості, бідній на джерела водопостачання. Вода постачається із джерел, розташованих у Львівській області. Водопостачання міста здійснюється з підземних джерел (17 водозаборів), розташованих на відстані 20–110 км. Проектна потужність водозаборів – 452 тис. м³/добу, загальна кількість свердловин – 182 шт. завглибшки 40–200 м (глибина окремих свердловин сягає 250 м).

Водозабори, що експлуатуються для водопостачання м. Львів, об'єднані в 4 групи: західну, північну, східну та південну [1].

Західна група включає водозабори: Воля-Добростанська, Кам'янобрід, Великополе, Будзень, Мальчиця та Керниця, які експлуатують нижньобаденські родовища підземних вод і розміщені на схилі території Розточчя.

Одним з основних, що має важливе значення для господарсько-питного водопостачання, є водоносний горизонт верхньокрейдяних відкладів, поширений на північному схилі Розточчя. На ньому облаштовані найбільші водозабори для м. Львів – так звана *Північна група*. До неї входять водозабори Рава-Руська, Магерів, Крехів, Кунин, Зарудці.

До *Східної групи* відносяться водозабори Вільшаниця Ремезівці та Плугів.



Перший відбирає підземні води верхньокрейдяних відкладів і є аналогом водозаборів Північної групи.

До *Південної групи* входять водозабори Стрийської групи (Жулинський, Братківський, Любинецький), а також водозабори Бібрка та Глина Наварія.

Кожен район Львова отримує воду з різних водозаборів, яку видобувають із підземних джерел, розташованих у межах Львівської області, та відповідає вимогам стандарту якості [2] за всіма показниками, крім твердості та вмісту заліза.

Підвищеним вмістом заліза характеризується вода, що видобувається на водозаборах Будзень і Бібрка. Для поліпшення якості води на майданчику насосної станції Будзень-2 у 2005 р. збудовано станцію знезалізнення води з фільтрами, заповненими цеолітовим завантаженням.

11.2. Якість води, що надходить у мережу централізованого водопостачання

Вода з підземних джерел, що надходить до Львова, характеризується незначним перевищенням значення загальної твердості. Таку воду отримують дві третини львів'ян. Воду з підвищеною твердістю подає насосна станція Плугів (Золочівський напрям). М'яку воду для третини мешканців Львова подає водозабір Стрий, Воля Добростанська, Великополе, Кам'яноброди, Мальчиці.

Протягом жовтня 2011 р. – жовтня 2012 р. на кафедрі гідротехніки та водної інженерії Національного університету «Львівська політехніка» на підставі даних ЛМКП "Львівводоканал" та держсанепідемнагляду м. Львова досліджено якість води, що подається в централізовану систему водопостачання м. Львів з підземних джерел.

Якість води, що подається населенню міста Львова, постійно перебуває під контролем відомчої лабораторії ЛМКП "Львівводоканал", а також держсанепідемнагляду м. Львова за санітарно-хімічними та мікробіологічними показниками.

Хімбакалаторія ЛМКП "Львівводоканал" перевіряє якість води в 11 контрольних точках – з них відбирається вода для аналізу щодня.

У Львівській міській СЕС воду перевіряли вибірково, відбираючи проби води паралельно з ЛМКП "Львівводоканал". Львівська міська СЕС щомісяця перевіряла воду на насосних станціях, у старих зношених мережах і ділянках з



підвищеною аварійністю, раз на квартал – воду з "тупикових" водорозбірних колонок та ліній, запасних резервуарів, раз на рік – моніторила якість природної води на водозаборах.

На підставі проведеного порівняння хімічного та бактеріологічного аналізів проб води можна зробити такий висновок [3]. Вода, що подається в мережу централізованого водопостачання м. Львів, в контрольних точках (на межі міста) та на насосних станціях відповідає вимогам [2]. Воду з незначним перевищення значення загальної твердості подає в місто східна група водозаборів.

Протяжність міської розподільної водопровідної мережі становить понад 1000 км. Експертними дослідженнями встановлено, що технічний стан 76% міських мереж незадовільний. Отже, мета подальших досліджень – визначення можливості зміни якості води безпосередньо у міській розподільній мережі централізованого водопостачання міста.

11.3. Якість води у розподільній мережі системи централізованого водопостачання

Головними причинами вторинного забруднення води у трубопроводах є: тривалість їх експлуатації, матеріал труб, протяжність мережі, зношеність трубопроводів, зміна гідравлічного режиму роботи ділянок мережі, зовнішнє та внутрішнє захисне покриття трубопроводу, корозія металевих труб, утворення осаду та біоплівки на внутрішній поверхні трубопроводів тощо.

Місто Львів поділене на шість адміністративних районів (рис. 1). У кожен адміністративний район подається вода з певних насосних станцій, проте у межах міста вода з різних водозаборів змішується. Для проведення досліджень відібрано 8 проб води з мережі господарсько-питного водопостачання за адресами: вул. Масарика, 3 (Шевченківський район); вул. Китайська, 14 (Личаківський район); вул. Майорівка, 1 (Личаківський район); вул. Драгана, 14 (Сихівський район); вул. Пулюя, 34 (Франківський район); вул. Любінська, 98 (Залізничний район); вул. Кольберга, 6 (Галицький район); вул. Вітовського, 53 (Галицький район).

За даними ЛМКП “Львівводоканал” (м. Львів, Україна) визначено робочі параметри трубопроводів розподільної мережі міста (діаметр трубопроводу від насосної станції, діаметр труби вводу в будинок, матеріал та термін експлуатації трубопроводу, тип аварійних робіт протягом 2008–2014 рр. на



ділянці вводу в будинок). Результати подані у табл. 1. Результати порівняння якості води на насосних станціях (початок розподільної водопровідної мережі) та у споживачів (кінець розподільної водопровідної мережі) подані у табл. 2.



Рис. 1. Схема адміністративного поділу м. Львів на райони:

1 – Шевченківський; 2 – Личаківський; 3 – Сихівський;

4 – Франківський; 5 – Залізничний; 6 – Галицький

У відібраних пробах води сухий залишок не визначали. Ймовірно його значення буде близьке до значення сухого залишку у воді на насосних станціях.

Питна вода на вул. Кольберга, 6 надходить з насосної станції “Сокільники” по трубопроводу діаметром 1240 мм на початковій ділянці. Протяжність мережі від насосної станції до споживача становить 10 785 м.

У межах міста цей трубопровід з’єднується з іншими, внаслідок чого в ньому змішується вода з різних водозаборів. Термін експлуатації – понад 50 років. Матеріал трубопроводу – переважно чавун. Діаметр вводу у будинок – 100 мм. У 2010 та 2014 рр. на ділянці вводу проведено аварійні ремонтні роботи із заміни труб унаслідок їх корозії.

Порівняно з водою з насосної станції у пробі води, відібраній у споживача, незначно збільшені загальна твердість та окисність. Це пояснюється змішуванням вод з різних водозаборів, що мають різні загальну твердість та окисність.

До споживачів на вул. Вітовського, 53 вода надходить з насосної станції “Сокільники” по трубопроводу діаметром 1240 мм на початковій ділянці. Протяжність мережі значно менша порівняно з попередньою точкою відбору проби води – 6761 м, що істотно зменшує ризик забруднення води під час її



Таблиця 1

Робочі параметри трубопроводів розподільної мережі м. Львів

Насосна станція	Діаметр трубопроводу від насосної станції, мм	Адреса споживача	Діаметр труби вводу в будинок, мм	Матеріал трубопроводу	Термін експлуатації трубопроводу, роки	Протяжність трубопроводу від насосної станції до споживача, м	Тип аварійних робіт
Сокільники	1240	вул. Кольберга, 6	100	Чавун	> 50	10 785	2010, 2014 рр.: корозія металу – заміна труби
Сокільники	1240	вул. Вітовського, 53	100	Чавун	> 50	6 761	2012 р.: корозія металу – хомут
Сокільники	1240	вул. Драгана, 14	300–100	Чавун, сталь	30	4 825	2008 р.: корозія металу – заміна труби; 2012 р.: корозія металу – хомут
Сокільники	1240	вул. Пулюя, 34	100	Чавун, ПЕ	30	4 796	2008 р.: розгерметизація стику – зачekanення стику; 2010 р.: корозія металу – хомут
Збойськ	600	вул. Масарика, 3	100	Чавун, сталь	2–3	6 961	2008 р.: ремонт засувки, корозія металу – хомут; 2010 р.: техогляд; 2012 р.: корозія металу – хомут
Довга	600	вул. Китайська, 14	200–100	Чавун, сталь, ПЕ	2–3	3 522	2008 р.: корозія металу – заміна труби; 2010, 2012, 2014 рр.: корозія металу – хомут
Будзень	900	вул. Любінська, 98	200–100	Чавун	> 50	6 179	2008 р.: корозія металу – хомут; 2012 р.: перелом трубопроводу – накладка
Кривчиці	500	вул. Майорівка, 1	150	ПЕ, сталь	2 20	6 895	2008, 2010 рр.: корозія металу – хомут

транспортування. Матеріал трубопроводу – переважно чавун. Термін експлуатації – понад 50 років. Діаметр трубопроводу відгалуження від магістралі, прокладеного по вул. Зарицьких – 100 мм. Такий же діаметр труби вводу у будинок. У 2012 р. виявлено корозію металевої труби, на аварійній ділянці якої встановлено хомут.

Під час транспортування у воді збільшуються такі показники: концентрація нітратів, загального заліза, загальна твердість, лужність.



Таблиця 2

**Показники якості проб води, відібраних
на насосних станціях (межа міста) та у розподільній мережі м. Львів**

Показник	Точка відбору проби води												
	н/с Сокильники	вул. Кольберга, 6	вул. Вітовського, 53	вул. Драгана, 14	вул. Пулюя, 34	н/с Збойськ	вул. Масарика, 3	н/с Довга	вул. Китайська, 14	н/с Будзень	вул. Любінська, 98	н/с Кривчиці	вул. Майорівка, 1
Санітарно-хімічні показники безпечності та якості питної води													
Запах за 20 °С, бал	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Запах за 60 °С, бал	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Кольоровість, град	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Каламутність, мг/дм ³	< 0,1	< 0,58	< 0,58	< 0,58	< 0,58	< 0,1	< 0,58	< 0,1	< 0,58	< 0,1	< 0,58	< 0,1	< 0,58
Смак і присмак за 20 °С, бал	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Водневий показник рН	7,52	7,42	7,46	7,12	7,59	7,30	7,29	7,35	7,35	7,37	7,53	7,32	7,32
Амонійний азот, мг/дм ³	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Нітрити, мг/дм ³	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,005	< 0,003
Нітрати, мг/дм ³	4,79	3,98	5,24	2,94	3,76	2,65	8,63	1,75	1,55	15,98	4,20	1,78	1,99
Залізо загальне, мг/дм ³	< 0,1	< 0,1	0,19	0,16	< 0,1	0,11	0,11	0,14	0,18	0,13	< 0,1	0,15	0,11
Твердість загальна, ммоль/дм ³	3,8	4,0	5,6	7,55	4,05	7,6	4,55	8,42	8,25	6,5	4,05	8,4	8,4
Лужність, ммоль/дм ³	3,9	3,8	4,7	6,2	3,8	6,4	3,8	6,83	6,5	5,1	3,8	6,7	6,6
Окисність, мг О ₂ /дм ³	0,87	0,96	—	1,76	0,96	1,53	0,88	1,34	1,04	1,73	1,04	1,28	1,12
Хлориди, мг/дм ³	13,9	12,5	11,0	23,0	12,0	22,9	8,0	11,78	12,3	23,5	12,5	12,6	12,0
Сухий залишок, мг/дм ³	322,07	—	—	—	—	591,07	—	632,13	—	496,62	—	613,62	—
Залишковий хлор, мг/дм ³	0,36	0,28	0,14	0,14	0,28	0,34	0,1	0,22	0,21	0,36	0,28	0,22	0,14
Характер осаду	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.	Н.в.
Показники епідемічної безпеки питної води													
Загальне мікробне число, КУО/см ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Загальні коліформи, КУО/100 см ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ентерококи, КУО/100 см ³	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Примітки: Н.в. – не виявлено; “—” – показник не визначали.													

До споживачів на вул. Драгана, 14 вода надходить з насосної станції “Сокильники” по чавунно-сталевому трубопроводу діаметром 1240 мм на початковій ділянці. Протяжність мережі – 4825 м, термін експлуатації – близько 30 років. Ввід у будинок влаштовано через центральний тепловий пункт (ЦТП) трубопроводом діаметром 300 мм. У 2008 та 2012 рр. виявлено корозію



сталевого трубопроводу по вул. Драгана 14, пошкоджені ділянки замінено.

Під час транспортування у воді помітно збільшуються такі показники: загальна твердість, лужність, окисність, вміст загального заліза, хлоридів.

До споживачів на вул. Пулюя, 34 вода надходить з насосної станції “Сокільники” по трубопроводу (чавун–поліетилен) діаметром 1240 мм на початковій ділянці. Протяжність мережі – 4796 м, термін експлуатації – близько 30 років. У 2008 р. на ділянці чавунної труби діаметром 150 мм виявлено розгерметизацію стику труб, проведено його зачеканення. У 2010 р. виявлено корозію металевої труби, на аварійну ділянку якої накладено хомут.

Під час транспортування незначно збільшуються загальна твердість, окисність та рН води.

До споживачів на вул. Масарика, 3 вода надходить з насосної станції “Збойськ” по трубопроводу діаметром 600 мм. Протяжність мережі – 6961 м. Трубопровід на цій ділянці новий, термін експлуатації – не більш як 3 роки. Матеріал трубопроводу – чавун, сталь. У 2008 р. проведено ремонт засувки та виявлено корозію металевої труби, в місці руйнування накладено хомут. У 2012 р. знову виявлено корозію металевої труби, накладено хомут.

У пробах води, відібраних у споживача, встановлено перевищення показників якості порівняно з такими на насосній станції за вмістом нітратів.

До споживачів на вул. Китайська, 14 вода надходить з насосної станції “Довга” по трубопроводу діаметром 600 мм. Протяжність мережі – 3522 м, термін експлуатації – не більш як 3 роки. Матеріал трубопроводу – чавун, сталь, поліетилен. У 2008 р. внаслідок корозії проведено заміну труби, у 2010, 2014 та 2014 рр. виявлено корозію металевих труб, яку ліквідовано за допомогою хомутів.

У пробах води, відібраних у споживача, встановлено незначне збільшення вмісту загального заліза та хлоридів.

До споживачів на вул. Любінська, 98 вода надходить з насосної станції “Будзень”. Чавунний трубопровід діаметром 900 мм прокладений у 1952 р. Протяжність мережі до споживача – 6179 м. У 2008 р. за допомогою хомута ліквідовано корозію металевої труби. У 2012 р. ліквідовано перелом труби влаштуванням накладки.

У пробах води, відібраних у споживача, виявлено незначне збільшення значення рН.

До споживачів на вул. Майорівка, 1 вода надходить з насосної станції “Кривчиці” по поліетиленовому трубопроводу (з вставками сталевих труб) діаметром 500 мм. Протяжність мережі – 6895 м. У 2008 та 2010 рр. виявлено



корозію металевих труб, яку ліквідовано за допомогою хомутів.

У пробах води у споживачів встановлено збільшення вмісту нітратів.

У воді усіх досліджуваних ділянок розподільної мережі зафіксовано зменшення концентрації вільного залишкового хлору.

Перевищення вимог фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води зафіксовано за показником загальної твердості (норма – 1,5–7,0 ммоль/дм³) – у воді трьох досліджуваних ділянок та ймовірно показником сухого залишку (норма – 200–500 мг/дм³) – у воді чотирьох досліджуваних ділянок, куди подається вода з підвищеним солевмістом з водозаборів. Проте, ці значення не перевищують гранично допустимих меж для питної води, вказаних у [2] – відповідно 10 ммоль/дм³ та 1500 мг/дм³.

Висновки

1. Якість води, що подається в мережу централізованого водопостачання м. Львів, в контрольних точках (на межі міста) та на насосних станціях відповідає вимогам [2]. Воду з незначним перевищення значення загальної твердості подає в місто східна група водозаборів.

2. Розподільна мережа системи централізованого водопостачання м. Львів характеризується значної протяжністю та терміном експлуатації. Зменшення водоспоживання населенням міста вимагає перерахунку діаметрів труб окремих ділянок траси трубопроводів та введів у будинки. Головна причина аварійних ситуацій на ділянках вводу у будинки – корозія металевих труб.

3. Під час транспортування від насосних станцій (межа міста) до споживачів у двох пробах води виявлено порівняно значне збільшення значення загальної твердості та лужності. Значиме збільшення окисності води зафіксовано на одній досліджуваній ділянці. На двох досліджуваних ділянках спостерігалось значне збільшення концентрації загального заліза у воді. Під час транспортування води розподільною мережею у ній зменшується концентрація вільного залишкового хлору.

4. Підвищення загальної твердості та лужності води пояснюється змішуванням води з різних водозаборів у розподільній мережі. Зростання значення окисності води пояснюється можливими аварійними ситуаціями з потраплянням у трубопровід забруднювальних речовин органічного походження. Корозія ділянок розподільної мережі, що характеризуються тривалим терміном експлуатації та великою протяжністю, призводить до збільшення концентрації загального заліза у воді. Зменшення вмісту вільного залишкового хлору у воді під час її транспортування до споживача свідчить про



його витрачання на окиснення хімічних речовин, що містяться у воді, а також на знищення патогенних мікроорганізмів біоплівки на внутрішніх стінках труб.

5. Збільшення значень показників якості води на досліджуваних ділянках не перевищує гранично допустимих меж, вказаних у [2]. Вода відповідає гігієнічним вимогам до води питної, призначеної для споживання людиною. У трьох пробах води зафіксовано перевищення вимог фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води за показником загальної твердості, у чотирьох – за ймовірним значенням сухого залишку.

6. У зв'язку з тривалим терміном експлуатації розподільної мережі та заміною труб із традиційних матеріалів пластиковими, що впливатиме на якість води, рекомендується впровадження сучасних систем моніторингу та моделювання зміни якості води у розподільній мережі.



Verweise / References

Chapter 1.

1. Вибрации в технике. В 6 томах под ред. В.Н.Челомея. М.: Машиностроение. Т.1. 1978. С. 352.
2. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. - в 2-х томах. - Изд. 3. Изд. Юрайт, 2011. - 526 с.
3. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. - М., Наука, 1971. - 576 с.
4. Потураев В.Н., Равцов М.В. Основы методики инженерных расчетов машин шарошечного бурения. - В кн.: Надежность горных и транспортных машин. – К., Наукова думка, 1985. – с. 111-116.
5. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. - М., Наука, 1969. - 420 с.
6. Тимошенко С.П., Янг Д.Ч., Уивер У. Колебания в инженерном деле. - М., Наука, 1985. - 444 .
7. Вульфсон И.И., Коловский М.З. Нелинейные задачи динамики машин. - М., Машиностроение, 1969. - 282 с.
8. Кумабе Д. Вибрационное резание. - М., Машиностроение. 1985. - 424 с.
9. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Йосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. - М., Машиностроение, 1979. - 702 с.

Chapter 2.

1. Лацис А.О. Как построить и использовать суперкомпьютер. – М.: Бестселлер. 2003, - 240 с.
1. ФАО. 2020. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2020. Меры по повышению устойчивости. Рим, ФАО. <https://doi.org/10.4060/ca9229ru> (дата звернення 10.10.2020 р.)
2. Белоусова, І. А. «Методологічні засади посилення економічної безпеки України в контексті формування продовольчої безпеки.» *Вчені записки Університету «КРОК»* 1 (53) (2019): 145-150.
3. Онопрієнко, Володимир, et al. «Продовольча безпека – як складова сталого розвитку України.» *Редакційна колегія* (2019): 26.
4. Про державну підтримку сільського господарства України: закон України від 24 червня 2004 року № 1877-IV // Відомості Верховної Ради України, 2004. № 49. Ст. 527.
5. Сидорова, И. Г. «Концепция WELLNESS в медицинском дискурсе (на



материале русскоязычных и англоязычных текстов интернет-сайтов о здоровом образе жизни)» К 63 Коммуникативные стратегии и лингвокогнитивные механизмы порождения профессионального дискурса: Сборник научных статей. Иркутск: ИГМУ, 2019. 172 с. (2019): 137.

6. Смычков, О. А. «ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ МОЛОДЕЖИ.» *Инновационная наука* 5 (2019). С. 184-185.

7. Потапчик, Е. Г. "Экономические механизмы мотивации граждан к следованию здоровому образу жизни: международный опыт." *Профилактическая медицина* 22.2 (2019): 32-37.

8. Сафонова, О. А., О. В. Рудая, and М. В. Антонова. «Здоровый образ жизни и правильное питание в молодежной среде» Введение. «Общетеоретические и отраслевые проблемы науки и пути их».(2019): 46.

9. Україну накрила епідемія вегетаріанства. URL: <https://www.unian.ua/society/2297556-ukrajinu-nakrila-epidemiya-vegetarianstva-zmi.html>. (дата звернення 10.09.2019 р.)

10. Comas-Basté, Oriol, et al. "Histamine and other biogenic amines in food. From scombroid poisoning to histamine intolerance." *Biogenic Amines*. IntechOpen, 2019.

11. Безусов А.Т., Манолі Т.А., Нікітчина Т. І., Баришева Я.О. Щодо питання про утворення біогенних амінів у харчових продуктах // Наук. пр. / Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса, 2018. Т. 82, вип. 2. С. 40 – 46.

12. Серпунина Л.Т. Оценка безопасности рыбных консервов по уровню гистамина // Известия КГТУ, 2013. № 29. С. 115-122.

13. Манолі Т.А., Баришева Я., Нікітчина Т., Менчинська А. Вплив технологічних факторів на рівень гістаміну рибних продуктів у драгледоподібній заливці. Стаття. Продовольча індустрія АПК, 2019. № 1-2. С. 13-17.

14. Venugopal V. Marine products for healthcare : functional and bioactive nutraceutical compounds from the ocean // CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business. 2017. Vol. 5, No. 10. P. 20-27.

15. Haas H., Panula P. The role of histamine and the tuberomamillary nucleus in the nervous system // *Nat. Rev. Neurosci.* 2003. Vol. 4. P. 121–130.

16. Akdis C. A., Blaser K. Histamine in the immune regulation of allergic inflammation // *J. Allergy.Clin. Immunol.* 2003. Vol. 112. P. 15–22.

17. Gale E. F. // *Adv. Enzymol.* 1946. Vol. 6. P. 1 31

18. Akdis, Cezmi A., and Kurt Blaser. "Histamine in the immune regulation of allergic inflammation." *Journal of allergy and clinical immunology* 112.1 (2003): 15-22.



19. Hattori Y, Seifert R. «Histamine and Histamine Receptors in Health and Disease», 2017. P. 141-160.
20. Hattori Y, Seifert R. «Histamine and Histamine Receptors in Health and Disease», 2017. P. 277-301.
21. Jutel M, Akdis M, Akdis CA (2009) Histamine, histamine receptors and their role in immune pathology. *Clin Exp Allergy* 39:1786–1800. doi:10.1111/j.1365-2222.2009.03374 x
22. Haas H, Panula P. «The role of histamine and the tuberomamillary nucleus in the nervous system» *Nat Rev Neurosci* 2003. Vol. 4. P. 121-130.
23. The role of histamine on cognition / Alvarez E. O. // *Behavioural brain research*. 2009. Vol. 199. №. 2. P. 183-190.
24. СанПин 42-123-4083-86 «Про затвердження Державних санітарних правил і норм для підприємств і суден, що виробляють продукцію з риби та інших водних живих ресурсів»
25. Fusek, Michal, et al. "Modelling biogenic amines in fish meat in Central Europe using censored distributions." *Chemosphere* (2020): 126390.
26. Ruiz-Capillas, Claudia, and Ana M. Herrero. "Impact of biogenic amines on food quality and safety." *Foods* 8.2 (2019): 62.
27. Морозов, А.А. Определение биогенных аминов в водных ресурсах и продукция из них // *Известия КГТУ. Калининград*, 2010, № 17. – С. 79-83.
28. Подсосонная М.А., Родина Т.Г. Проблема гистамина в рыбной продукции // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2004. №1. С. 30-32.
29. Чашина С.Л., Серпунина Л.Т. Исследование уровня гистамина в рыбных консервах в процессе их хранения // *Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы междунар. научн.-практ. конф. Владивосток*, 2010. С. 54-58.
30. Кизеветтер И.В. К вопросу о накоплении гистамина в тканях тела тихоокеанской скумбрии // *Известия ТИНРО. Владивосток*, 1972. Т. 83. С. 27-34.
31. Gram, L., and Huss, H. H. (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. *Int. J. Food Microbiol.* 33, 121–137.
32. Glória, M. B. A., Daeschel, M. A., Craven, C., Hilderbrand, K. S. Jr.(1999). Histamine and other bio-genic amines in Albacore tuna. *J. Aquatic Food Prod. Technol.* 8, 55–69.
33. Özogul F, Özogul Y. Biogenic amine content and biogenic amine quality indices of sardines (*Sardina pilchardus*) stored in modified atmosphere packaging and vacuum packaging. *Food Chemistry*. 2006;99 : 574–578.



34. Klausen, Niels Kristian, and Erik Lund. "Formation of biogenic amines in herring and mackerel." *Zeitschrift fuer Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 182.6 (1986): 459-463.

35. Á. MARCOBAL, P. J. MARTÍN-ÁLVAREZ, M. C. POLO, R. MUÑOZ, and M. V. MORENO-ARRIBAS (2006) Formation of Biogenic Amines throughout the Industrial Manufacture of Red Wine. *Journal of Food Protection*: February 2006, Vol. 69, No. 2, pp. 397-404.

36. Buteau, C., Duitschaeffer, C.L. & Ashton, G.C., 1984. A study of the biogenesis of amines in a Villard Noir wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 35, 228-236.

37. Le Jeune, Christine, et al. "Development of a detection system for histidine decarboxylating lactic acid bacteria based on DNA probes, PCR and activity test." *Journal of Applied Bacteriology* 78.3 (1995): 316-326.

38. Кушнерева Е. В., Марковский М. Г., Гугучкина Т. И., Агеева Н. М. Определение содержания биогенных аминов в виноградных винах // *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2012. №1. С.106-108.

39. Lonvaud-Funel, Aline, and Annick Joyeux. "Histamine production by wine lactic acid bacteria: isolation of a histamine-producing strain of *Leuconostoc oenos*." *Journal of Applied Bacteriology* 77.4 (1994): 401-407.

40. Серпунина, Л. Т., and Е. В. Бречко. "Уровень гистамина в рыбных консервах в зависимости от технологических факторов." *Известия КГТУ* 23 (2011): 191-198.

41. Straub, Bernhard W., et al. "The formation of biogenic amines by fermentation organisms." *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung* 201.1 (1995): 79-82.

42. Fernández M, Linares D M, Rodríguez A, Alvarez M A. Factors affecting tyramine production in *Enterococcus durans* IPLA 655. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2007;73:1400–1406.

43. Burdychová R, Komprda T. Biogenic amine-forming microbial communities in cheese. *FEMS Microbiology Letters*. 2007;276:149–155.

44. Novella-Rodríguez S, Veciana-Nogués M T, Izquierdo-Pulido M M, Vidal-Carou M C. Distribution of biogenic amines and polyamines in cheese. *Journal of Food Science*. 2003;68:750–755.

45. Burdychová R, Komprda T. Biogenic amine-forming microbial communities in cheese. *FEMS Microbiology Letters*. 2007;276:149–155.

46. Stute, R., et al. "Biogenic amines in fish and soy sauces." *European Food Research and Technology* 215.2 (2002): 101-107.

47. Л.Г. Нетюхайло. Метаболізм амінокислот, специфічні шляхи



перетворень амінокислот, спадкові ензимопатії. Вісник проблем біології і медицини – 2012 – Вип.2, том 1 (92) С.11-13.

48. Straub B. W., P Tichaczek and W. P. Hammes. 1992 Formation of tyramine by lactobacillus curvatus tTH 972 in Bilrage des ' Symposiums Aktucilier stand and Trends in det Lebensmittel technologic am 09. and 10 Oktober, Univeristat Hohenheim, Stuttgart.

49. Wang, D., Yamaki, S., Kawai, Y., & Yamazaki, K. (2020). Histamine Production Behaviors of a Psychrotolerant Histamine-Producer, *Morganella psychrotolerans*, in Various Environmental Conditions. *Current Microbiology*, 77(3), 460-467.

50. Lonvaud-Funel, A. (2001) Biogenic amines in wines: role of lactic acid bacteria. *FEMS Microbiol Lett* 199, 9–13.

51. Пенчук, Юрій Миколайович, and Юрий Николаевич Пенчук. "Сучасний стан та перспективи біотехнологічних методів виробництва амінокислот." (2012).

52. Lehane, L., and Olley, J. (2000). Histamine fish poisoning revisited. *Int. J.Food Microbiol.* 58, 1–37.

53. Kim, S. H., Price, R. J., Morrissey, M.T., Field, K. G., Wei, C. I., and An,H. (2002b). Histamine production by *Morganella morganii* in mackerel, albacore, mahi-mahi, and salmon at various storage temperatures. *J. Food Sci.* 67, 1522–1528.

54. Gale E. F. // *Biochem. J.* 1940. Vol. 34. P. 392-413

55. Kranner, P., F. Bauer, and E. Hellwig. "Investigations on the formation of histamine in raw sausages." *International Congress of Meat Science and Technology*. Vol. 37. 1993.

56. Chander B., V.K. Batish. S Babu, and K. L. Bhatia. 1988. Studies on optimal conditions for amine production by *E. coii*. *Milchwissenshaf*, 43: 90-91.

57. Bremer PJ, Fletcher GC, Osborne C. 2003. Scombrototoxin in seafood. Christchurch , New Zealand : New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited.

58. Bover-Cid S, Hugas M, Izquierdo-Pulido M, Vidal-Carou MC. 2000a. Reduction of biogenic amine formation using a negative amino acid-decarboxylase starter culture for fermentation of Fuet sausages. *J Food Prot* 63:237–43.

59. Osborne CM, Bremer PJ. 2000. Application of the bigelow (z-value) model and histamine detection to determine the time and temperature required to eliminate *Morganella morganii* from seafood. *J Food Prot* 63(2):277–80(274).

60. Kang IJ, Park YH. 1984. Effect of food additives on the histamine formation during processing and storage of mackerel. *Bull Korean Fisheries Soc* 17:383.



61. Özogul, F., et al. "Biogenic amines formation in Atlantic herring (*Clupea harengus*) stored under modified atmosphere packaging using a rapid HPLC method." *International Journal of Food Science & Technology* 37.5 (2002): 515-522.

62. Колганов Е.В., Дозорова М.С., Мурашов И.Д. Применение лазерного излучения для уменьшения микробиологической обсемененности мяса и мясных продуктов. М.2010.

63. Быкова В.М., Белова З.И. Справочник по холодильной обработке рыбы. М.: Агропромиздат, 1986. 208с.

64. Михайлова Н.Ф., Родин Е.М. Совершенствование способов холодильной обработки и хранения рыбы. М.: Агропромиздат, 1987. 208с.

65. Родин Е.М. Холодильная технология рыбных продуктов. М.: Агропромиздат, 1989. 303с.

66. ГОСТ 7631–85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Правила приемки, органолептические методы оценки качества, методы отбора проб для лабораторных испытаний. [Введен 1986–01–01]. М.: Издательство стандартов, 1991. 26 с.

67. ГОСТ 7636–85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. [Введен 1986–01–01]. М.: Изд-во стандартов, 1985. 75 с.

68. ГОСТ 28972-91 Группа Н59 Межгосударственный стандарт. Консервы и продукты из рыбы и нерыбных объектов промысла. Метод определения активной кислотности (рН) Canned fish and other seaproducts. Method for determination of actual acidity (рН) МКС 67.120.30 ОКСТУ 9209 Дата введения 1992-07-01.

69. ДСТУ 8446:2015 Продукти харчові. Методи визначення кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів. [Чинний від 2017-07-01]. Київ: Держстандарт України, 2015. 16 с.

70. ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. – Дата введ. 1996—01—01– ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 6 от 21 октября 1994 г.) Издательство стандартов, 1994. 5 с.

71. ГОСТ 10444.12-88 Межгосударственный стандарт. Продукты пищевые. Метод определения дрожжей и плесневых грибов. Food products. Method for determination of yeast and mould. МКС 07.100.30. ОКСТУ 9109. Дата введения 1990-01-01. 6 с.



72. ДСТУ 8069:2015 Продукты перероблення фруктів та овочів. Титриметричний метод визначення пектинових речовин. Дата введення 2017-01-01. 13 с.

73. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. URL: http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_91319. (дата звернення: 25.09.2019).

74. Барішева Я.О., Манолі Т.А., Безусов А.Т. Дослідження впливу пектинових речовин на вміст біогенних амінів у рибних кулінарних виробках. 36. тез. VIII Міжнародної науково-практичної конференції вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства», 17-18 квітня 2019 р. НУБіП Київ, 2019. С. 159.

75. Barysheva Y., Glushkov O., Manoli T., Nikitchina T., Bezusov A. A technology developed to produce hot fish marinades for a jellylike filling of prolonged storage / - Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 5/11 (89) 2017. С. 40–45.

76. Инструкция по санитарно-микробиологическому контролю производства пищевой продукции из рыбы и морских беспозвоночных Инструкция по санитарно-микробиологическому контролю производства пищевой продукции из рыбы и морских беспозвоночных, МЗ СССР N 5319-91 от 22.02.91.

77. Безусов А.Т., Нікітчина Т.І. Саркісян Г.О. Розробка способу одержання продуктів із біохімічно модифікованих пектинових речовин поліфенолами рослинної сировини. Наукові праці [ОНАХТ]. 2016. Том 80, Вип. 2. С. 13–16.

78. Бек М., Надьпал И. Исследования комплексообразования новейшими методами. М.: Мир. 1989. 413с.

79. Временные гигиенические нормативы и методы определения содержания гистамина в рыбопродуктах: СанПиН 42-123-4083-86. Режим доступу: <https://dokipedia.ru/document/5182267> – Назва з екрана.

80. Биологическая активность фукоиданов из бурых водорослей и перспективы их применения в медицине/ Кузнецова Т.А., Шевченко Н.М., Звягинцева Т.Н., Беседнова Н.Н.// Антибиотики и химиотерапия.- 2004.- 49, № 5.- С. 24-30.



Chapter 3.

1. Artiukh V., Mazur V., Pokrovskaya E. Influence of Strip Bite Time in Work Rolls Gap on Dynamic Loads in Strip Rolling Stands. MATEC Web of Conferences. 2016, Vol. 86, 01030 p.
2. Artiukh V., Mazur V., Prakash R.V. Increasing Hot Rolling Mass of Steel Sheet Products. Materials Science Forum. 2016, Vol. 871, pp. 3–8.
3. Kukhar V., Balalayeva E., Prysiashnyi A., Vasylevskyi O., Marchenko I. Analysis of relation between edging ratio and deformation work done in pre-forming of workpiece by bulk buckling. MATEC Web of Conferences. 2018, Vol. 178, 02003 p.
4. Mazur V.L., Timoshenko V.I., Prihod'ko I.Y. Regulating the Coil Stress by Adjusting the Rigidity of the Winding Drum. Steel in Translation. 2018, Vol. 48(8), P. 528–535.
5. Kim J., Lee J., Hwang S.M. An analytical model for the prediction of strip temperatures in hot strip rolling. International journal of heat mass transfer. 2009, Vol. 52, pp. 1864–1874.
6. Kurpe O.H., Kukhar V.V., Klimov E.S., Chernenko S.M. Improvement of Process Parameters Calculation for Coil Rolling at the Steckel Mill. Materials Science Forum. 2020, Vol. 989, pp. 609–614.
7. Kurpe O.H., Kukhar V.V. Development and Optimization of Flat Products Manufacturing at Rolling Mill 3200. Materials Science Forum. 2018, Vol. 946, pp. 794–799.
8. Anishchenko O.S., Kukhar V.V., Grushko A.V., Vishtak I.V., Prysiashnyi A.H., Balalayeva E.Yu. Analysis of the Sheet Shell's Curvature with Lamé's Superellipse Method during Superplastic Forming. Materials Science Forum. 2019, Vol. 945, pp. 531–537.
9. Anishchenko A., Kukhar V., Artiukh V., Arkhipova O. Application of G. Lamé's and J. Gielis' formulas for description of shells superplastic forming. MATEC Web of Conferences. 2018, Vol. 239, 06007 p.
10. Artiukh V., Kukhar V., Balalayeva E. Refinement issue of displaced volume at upsetting of cylindrical workpiece by radial dies. MATEC Web of Conferences. 2018, Vol. 224, 01036 p.
11. Xu. Y, Yu. Y, Liu. X, Wang G. Modeling of microstructure evolution and mechanical properties during hot-strip rolling of Nb steels. Journal of University of Science and Technology. Beijing. 2008, Vol. 15, pp. 396–401.
12. Schausberger F., Steinboeck A., Kugi A. Mathematical modeling of the contour evolution of heavy plates in hot rolling. Applied Mathematical Modelling.



2015, Vol. 39, pp. 4534–4547.

13. Quan-Ke Pan, Qing-da Chen, Tao Meng, Bing Wang, Liang Gao. A mathematical model and two-stage heuristic for hot rolling scheduling in compact strip production. *Applied Mathematical Modelling*. 2017, Vol. 48, pp. 516–533.

14. Rudkins, N., Evans, P. Mathematical modelling of mill set-up in hot strip rolling of high strength steels. *Journal of Materials Processing Technology*. 1998, Vol. 80-81, pp. 320–324.

15. Ettl A., Prinz K, Mueller M., Steinboeck A., Kugi A. Mathematical Model and Stability Analysis of the Lateral Plate Motion in a Reversing Rolling Mill Stand. *IFAC-PapersOnLine*. 2018, Vol. 51(2), pp. 73–78.

16. Phaniraj M.P., Behera B.B., Lahiri A.K. Thermo-mechanical modeling of two phase rolling and microstructure evolution in the hot strip mill Part I. Prediction of rolling loads and finish rolling temperature. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005, Vol. 170, pp. 323–335.

17. Orlov G.A., Orlov A.G. Simulation of Roller-Type Cold Rolling of Tubes. *Metallurgist*. 2019, Vol. 62(9-10), pp. 857–863.

18. Jamal F., Rath S., Acherjee B. Process modelling of flat rolling of steel. *Advances in Materials and Processing Technologies*. 2018, Vol. 5(1), pp. 1–10.

19. Markov O.E., Gerasimenko O.V., Shapoval A.A., Abdulov O.R., Zhytnikov R.U. Computerized simulation of shortened ingots with a controlled crystallization for manufacturing of high-quality forgings. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019, Vol. 103 (5-8), pp. 3057–3065.

20. Weisz-Patrault D. Coupled heat conduction and multiphase change problem accounting for thermal contact resistance. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017, pp. 595–606.

21. Weisz-Patrault D., Ehrlacher A., Legrand N. Temperature and heat flux fast estimation during rolling process. *International Journal of Thermal Sciences*. 2014, pp. 1–20.

22. Weisz-Patrault D. Inverse three-dimensional method for fast evaluation of temperature and heat flux fields during rolling process. *Symposium on Modelling of Rolling Processes*, France. 2012, pp. 20–22.

23. Efremenko V.G., Zurnadzhi V.I., Chabak Y.G., Tsvetkova O.V., Dzherenova A.V. Application of the Q-n-P-Treatment for Increasing the Wear Resistance of Low-Alloy Steel with 0.75% C. *Material Science*. 2017, Vol. 53, pp. 67–75.

24. Anishchenko A., Kukhar V., Artiukh V., Arkhipova O. Superplastic forming of shells from sheet blanks with thermally unstable coatings. *MATEC Web of Conferences*. 2018, Vol. 239, 06006 p.



25. Tarelnyk V., Martsynkovskyy V., Gaponova O., Konoplianchenko I., Dovzyk M., Tarelnyk N., Gorovoy S. New sulphiding method for steel and cast iron parts. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017, Vol. 233, 012049 p.

26. Shao Z., Wang Z., Li Z., Wang S., Wang J. Effect of thermomechanical processing on the microstructure and mechanical properties of low carbon steel, Proc. of the 5th International conference on advanced design and manufacturing engineering (ICADME 2015). Advances in Engineering Research, Shenzhen, China. 2015, pp. 1984–1989.

27. Kukhar V., Kurpe O., Klimov E., Balalayeva E., Dragobetskii V. Improvement of the Method for Calculating the Metal Temperature Loss on a Coilbox Unit at The Rolling on Hot Strip Mills. International Journal of Engineering & Technology, 7(4.3) (2018) 35-39.

28. J. G. Lenard, Mathematical and Physical Modelling of the Flat Rolling Process. Primer on Flat Rolling. Elsevier Ltd. 2007, Vol. 3, pp. 36–98.

29. Mantyla P., Korhonen R., Jonsson N-G. Improved Thickness and Shape Accuracy with Advanced Pass Scheduling in Plate Rolling. Journal of Materials Processing Technology. 1992, Vol. 34, pp. 255–263.

30. Yue S. The Mathematical Modelling of Hot Rolling of Steel. Metal Forming Science and Practice. Published by Elsevier Science Ltd. 2002, Vol. 11, pp. 213–226.

31. Radionova L.V., Chernyshev A.D., Lisovskiy R.A. Interactive Educational System – Virtual Simulator “Sheet Rolling”. Procedia Engineering. 2017, Vol. 206, pp. 512–518.

32. Galantucci L.M., Tricarico L. Thermo-mechanical simulation of a rolling process with an FEM approach. Journal of Materials Processing Technology, 1999, Vol. 92–93, pp. 494–501.

33. Hanoglu U., Šarler B. Multi-pass hot-rolling simulation using a meshless method. Computers and Structures. 2018, Vol. 194, pp. 1–14.

34. Kukhar V., Prysiashnyi A., Balalayeva E., Anishchenko O. Designing of induction heaters for the edges of pre-rolled wide ultrafine sheets and strips correlated with the chilling end-effect. Modern Electrical and Energy System, MEES'2017, IEEE, Kremenchuk, 2017, pp. 404–407.

35. Matruprasad Rout, Surjya K. Pal, Shiv B. Singh. Finite element simulation of a cross rolling process. Journal of Manufacturing Processes. 2016, Vol. 24, pp. 283–292.

36. Lee D.M. Applications to improve rolling force prediction ability in a plate mill. Automation in Mining, Mineral and Metal Processing. IFAC Proceedings. 2004,



Vol. 37(15), pp. 65–70.

37. Yuen W.Y.D., Dixon A., Nguyen D.N. The modelling of the mechanics of deformation in flat rolling. *Journal of Materials Processing Technology*. 1996, Vol. 60, pp. 87–94.

38. Jin-ling Zhang, Zhen-shan Cui. Prediction of Velocity and Deformation Fields During Multipass Plate Hot Rolling by Novel Mixed Analytical-Numerical Method. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2011, Vol. 18(7), pp. 20–27.

39. Min-ting Wang, Xin-liang Zang, Xue-tong Li, Feng-shan Du. Finite Element Simulation of Hot Strip Continuous Rolling Process Coupling Microstructural Evolution. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2007, Vol. 14(3), pp. 30–36.

40. Xian-lei Hu, Zhong Zhao, Jun Wang, Zhao-dong Wang, Xiang-hua Liu, Guo-dong Wang. Optimization of Holding Temperature and Holding Thickness for Controlled Rolling on Plate Mill. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2006, Vol. 13(3), pp. 21–25.

41. Xiang-dong Qi, Tao Wang, Hong Xiao. Optimization of Pass Schedule in Hot Strip Rolling. *Journal of Iron and Steel Research. International*. 2012, Vol. 19(8), pp. 25–28.

42. Fedorinov V.A., Satonin A.V., Gribkov Je.P. *Matematicheskoe modelirovanie naprjazhenij, deformacij i osnovnyh pokazatelej kachestva pri prokatke otnositel'no shirokih listov i polos. monogr.*, Kramatorsk, DGMA. 2010, 244 p. [In Russian].

43. Konovalov Ju.V., Ostapenko A.L., Ponomarev V.I. *Raschet parametrov listovoj prokatki. Spravochnik*, Moskva, Metallurgija. 1986, 430 p. [In Russian].

44. Kukhar V., Artiukh V., Prysiazhnyi A., Pustovgar A. Experimental Research and Method for Calculation of 'Upsetting-with-Buckling' Load at the Impression-Free (Dieless) Preforming of Workpiece. *E3S Web of Conference*. 2018, Vol. 33, 02031 p.

45. Prysiazhnyi A.H., Kukhar V.V., Balalayeva E.Yu. Method for Determining the Optimum Counter-Flexing Force of Working Rolls during Sheet Rolling. *Solid State Phenomena*. 2018, Vol. 284, pp. 416–424.

46. Minaev A.A., Nosanev A.G., Smirnov E.N., Bublik P.F., Shishkevich V.V. Unit for accelerated cooling of reinforcement bars in the line of a 330 mill after deformation. *Metallurgist*. 1990, 32 p.



Chapter 4.

1. M. Rini, R. Tobey, N. Dean, J. Itatani, Y. Tomioka, Y. Tokura, R. W. Schoenlein, and A. Cavalleri, *Nature* 449, 72 (2007)
2. N. Hunter, A. S. Mayorov, C. D. Wood, C. Russell, L. Li, E. H. Linfield, A. G. Davies, and J. E. Cunningham, *Nanolett.* 15, 1591 (2015)
3. D. N. Basov, R. D. Averitt, D. Hsieh, *Nat. Mat.* 16, 1077 (2017)
4. M. Mitrano, A. Cantaluppi, D. Nicoletti, S. Kaiser, A. Perucchi, S. Lupi, P. Di Pietro, D. Pontiroli, M. Riccò, S. R. Clark, D. Jaksch, and A. Cavalleri, *Nature* 530, 461 (2016)
5. E. J. Sie, J. W. McIver, Y.-H. Lee, L. Fu, J. Kong and N. Gedik, *Nature Mat.* 14, 290 (2015)
6. A. Brenneis, L. Gaudreau, M. Seifert, H. Karl, M. S. Brandt, H. Huebl, J. A. Garrido, F. H. L. Koppens, and A. W. Holleitner, *Nature Nano.* 10, 135 (2015)
7. J. McIver, B. Schulte, F.-U. Stein, T. Matsuyama, G. Jotzu, G. Meier and A. Cavalleri, submitted (2018)
8. D. H. Auston, *IEEE J. Quant. Electr.* QE-19, 639 (1983)
9. D. Grischkowsky, I. N. Duling, III, J. C. Chen, and C.-C. Chi, *Phys. Rev. Lett.* 59, 1663 (1987)
10. L. Pecht, L. Song, D. Schuh, P. Ajayan, W. Wegscheider, and A. W. Holleitner, *Nature Comm.* 3, 646 (2012)
11. V.S. Osadchuk, O.V. Osadchuk, O.M. Zhaglovskaya. Radio-measuring microelectronic converters of frequency output optical radiation. - Vinnytsia: National Technical University, 2016. - 168 p. ISBN 978-966-641-652-3
12. Functional Nanostructures and Sensors for CBRN Defence and Environmental Safety and Security. A.Sidorenko, H.Hahn. 12, p. 161- 184, ISBN 978-94-024-1911-5, (2018), <https://doi.org/10.1007/978-94-024-1909-2>
- 13.Datasheets: <http://microchem.com/pdf/PMGI-Resists-data-sheetV-rhcredit-102206.pdf>
14. Optimization of Bi-layer Lift-Off Resist Process. J. Golden, H. Miller, D. Nawrocki, J. Ross, CS MANTECH Conference, Tampa, Florida, USA, May 18th-21st (2009)
15. A. Aassime, F. Bayle, M. P. Plante, F. Hamouda, *Micro. Engineering* 168, 62 (2017)
- 16.Datasheets:https://www.microresist.de/sites/default/files/download/PI_maP1_275_hv_2015_1.pdf; <https://www.microresist.de/de/product/positiv-photoresiste-2>
17. Photolithography - Basics of Microstructuring, MicroChemicals, C. Koch, T. J. Rinke, ISBN 978-3-9818782-0-2 (2017)



18. <https://www.lpkf.de/produkte/rapid-pcb-prototyping/laserstrukturierung/laser-mikromaterialbearbeitung-u4.htm>
19. <https://de.elgalabwater.com/products-de/purelab-de/purelab-classic-de>
20. <https://www.sps-europe.com/order/spin150i-ptfe-int-single-substrate-spin-processor/15878/>
21. <https://www.leicamicrosystems.com/de/produkte/lichtmikroskope/clinical/details/product/leica-dm3000/>
22. <https://www.bruker.com/de/products/surface-and-dimensional-analysis/atomic-force-microscopes/dimension-icon/overview.html>
23. <https://www.himt.de/index.php/upg-101.html>
24. https://www.microchemicals.com/fileadmin/user_upload/TechnicFrance/SPEC/spec_Isopropanol_VLSI.pdf
25. <http://www.wintervakuumtechnik.com/produkte/vakuumbeschichtungssysteme/>
26. Datasheet: remover mr Rem 700 <https://www.microresist.de/en/product/positive/photoresists-2>

Chapter 5.

1. Костырко Я.-В.И., Романюк Ю.Ф., Ожоган В.А. К вопросу определения периодичности предупредительных ремонтов двигателей электробуров // Пром. энергетика, 1986. - №7. – С. 22-24.
2. Костирко Я.-В.И., Ожоган В.А., Федорів М.Й., Галушак І.Д. Електробур – перспектива і дослідження його надійності // Тези НТК ПВС ун-ту, II ч. – Івано-Франківськ, 1995. – С.89.- (Секція ФАЕ).
3. Ожоган В.А., Федорів М.Й., Галушак І.Д. Комутаційні перенапруги в системах електропостачання електробурів // Тези НТК ПВС ун-ту, II ч. – Івано-Франківськ, 1997. – С. 174. – (Секція ФАЕ).
4. Яремійчук Р.С., Байдюк Б.В. Напрямки створення української технології буріння свердловин, конкурентноспроможної на світовому рівні. – Нафтова і газова промисловість. – 1997. - №4. – С. 17-18.

Chapter 6.

1. Стратегія інноваційного розвитку України на 2010-2020 роки в умовах глобалізаційних викликів: Матеріали парламентських слухань у Верховній Раді України 17 червня 2009 року / За заг. ред. проф. В.І. Полохала. – К.: Парламентське видавництво, 2009. – 630 с.
2. Редкін О.В. Стратегічне та проектне управління інноваційним розвитком національного господарства, його високотехнологічних науково-виробничих



систем і підприємств: [монографія] / О.В. Редкін, Д.М. Толкачов. – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – 334 с.

3. Руководство к своду знаний по управлению проектами / Шестое издание (Руководство PMBoK) // Русское издание PMI. – 2017. – 793 с.

Chapter 7.

1. Pozhidaev, M. C., Kostiuk, Y. L. (2009), “Balanced vehicle routing problem and the problem of practical application metaheuristics strategies”, *Information technologies and mathematical modeling (ICCM 2009)*, Tomsk , TU, November 13-14, 2009, pp. 233-235.

2. Charles C. Peck, Atam P. Dhawan, “Genetic algorithms as global random search methods: An alternative perspective”, *Evolutionary Computation*, Volume 3 Issue 1, MIT Press, March 1995.

3. Gumennikova, A.V. (2004), “ An evolutionary approach to solve multicriteria problems constrained optimization ” , *VIII International scientific – practical conference “System Analysis in Planning and Management”*, Snt – Petersburg, October 25-27, 2004, pp. 72-76.

4. Emelyanova , T.S. (2008), “Research and development of algorithms solutions to transport problems using genetics methods”, There is abstract for Cand. Sc. (Engineering), 05.13.01, Technological Institute of Southern Federal University, Taganrog, Russia.

5. Herbert Schildt (2011), C# 4.0. The Complete Reference, Translated by Bershtane, I.V., Williams.

Chapter 8.

1. Львович И.Я., Воронов А.А. Применение методологического анализа в исследовании безопасности // *Информация и безопасность*. 2011. Т. 14. № 3. С. 469-470.

2. Воронов А.А., Львович И.Я., Преображенский Ю.П., Воронов В.А. Обеспечение системы управления рисками при возникновении угроз информационной безопасности // *Информация и безопасность*. 2006. Т. 9. № 2. С. 8-11.

3. Паневин Р.Ю., Преображенский Ю.П. Реализация транслятора имитационно-семантического моделирования // *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2009. № 5. С. 057-060.

4. Комаристый Д.П., Агафонов А.М., Степанчук А.П., Коркин П.С. Использование информационных систем на предприятиях // *Вестник*



Воронежского института высоких технологий. 2017. № 2 (21). С. 104-106.

5.Львович Я.Е., Львович И.Я., Волкова Н.В. Проблемы построения корпоративных информационных систем на основе web-сервисов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 6. С. 8-10.

6.Паневин Р.Ю., Преображенский Ю.П. Структурные и функциональные требования к программному комплексу представления знаний // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 061-064.

7.Преображенский Ю.П. Разработка методов формализации задач на основе семантической модели предметной области // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 075-077.

8.Максимов И.Б. Классификация автоматизированных рабочих мест // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 127-129.

9.Максимов И.Б. Принципы формирования автоматизированных рабочих мест // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 130-135.

10.Львович И.Я., Преображенский Ю.П., Ермолова В.В. Основы информатики // Воронеж, 2014, 339 с.

11.Черников С.Ю., Корольков Р.В. Использование системного анализа при управлении организациями // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2014. № 2 (5). С. 16.

12.Преображенский Ю.П. О видах информационных систем в организации // В сборнике: Молодежь и системная модернизация страны. Сборник научных статей 3-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 4-х томах. Ответственный редактор А.А. Горохов. 2018. С. 131-134.

13.Гостева Н.Н., Гусев А.В. Информационные системы в управлении производством // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 1 (20). С. 58-60.

14.Преображенский Ю.П. Информационная безопасность - вызовы современного мира // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 2 (21). С. 60-63.

15.Преображенский Ю.П., Мясников О.А. Анализ перспектив информационных технологий в сфере интернет вещей // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 1 (32). С. 43-45.

16.Суворов А.П., Лесников А.С. Особенности развития современных телекоммуникационных сетей // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 1 (32). С. 46-48.



17.Преображенский Ю.П. Об обеспечении безопасности корпоративной сети // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 2 (25). С. 47-50.

18.Комков Д.В. Создание программы анализа компьютерной сети // Успехи современного естествознания. 2011. № 7. С. 126.

19.Маричев А.В., Щетникова Д.А. Анализ существующих технологий адаптивной передачи потоковых данных // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 1 (24). С. 47-49.

20.Lvovich Ya., Choporov O., Preobrazhenski Yu. Оценка производительности и состава оборудования локальных компьютерных сетей // Information Technology Applications. 2017. № 2. С. 18-33.

Chapter 9.

1.Львович И.Я., Воронов А.А. Применение методологического анализа в исследовании безопасности // Информация и безопасность. 2011. Т. 14. № 3. С. 469-470.

2.Воронов А.А., Львович И.Я., Преображенский Ю.П., Воронов В.А. Обеспечение системы управления рисками при возникновении угроз информационной безопасности // Информация и безопасность. 2006. Т. 9. № 2. С. 8-11.

3.Паневин Р.Ю., Преображенский Ю.П. Реализация транслятора имитационно-семантического моделирования // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 5. С. 057-060.

4.Комаристый Д.П., Агафонов А.М., Степанчук А.П., Коркин П.С. Использование информационных систем на предприятиях // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 2 (21). С. 104-106.

5.Львович Я.Е., Львович И.Я., Волкова Н.В. Проблемы построения корпоративных информационных систем на основе web-сервисов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 6. С. 8-10.

6.Паневин Р.Ю., Преображенский Ю.П. Структурные и функциональные требования к программному комплексу представления знаний // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 061-064.

7.Преображенский Ю.П. Разработка методов формализации задач на основе семантической модели предметной области // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 075-077.

8.Максимов И.Б. Классификация автоматизированных рабочих мест //



Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 127-129.

9.Максимов И.Б. Принципы формирования автоматизированных рабочих мест // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 130-135.

10.Львович И.Я., Преображенский Ю.П., Ермолова В.В. Основы информатики // Воронеж, 2014, 339 с.

11.Черников С.Ю., Корольков Р.В. Использование системного анализа при управлении организациями // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2014. № 2 (5). С. 16.

12.Преображенский Ю.П. О видах информационных систем в организации // В сборнике: Молодежь и системная модернизация страны. Сборник научных статей 3-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 4-х томах. Ответственный редактор А.А. Горохов. 2018. С. 131-134.

13.Гостева Н.Н., Гусев А.В. Информационные системы в управлении производством // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 1 (20). С. 58-60.

14.Преображенский Ю.П. Информационная безопасность - вызовы современного мира // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2017. № 2 (21). С. 60-63.

15.Преображенский Ю.П., Мясников О.А. Анализ перспектив информационных технологий в сфере интернет вещей // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 1 (32). С. 43-45.

16.Суворов А.П., Лесников А.С. Особенности развития современных телекоммуникационных сетей // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 1 (32). С. 46-48.

17.Преображенский Ю.П. Об обеспечении безопасности корпоративной сети // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 2 (25). С. 47-50.

18.Комков Д.В. Создание программы анализа компьютерной сети // Успехи современного естествознания. 2011. № 7. С. 126.

19.Маричев А.В., Щетникова Д.А. Анализ существующих технологий адаптивной передачи потоковых данных // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2018. № 1 (24). С. 47-49.

20.Lvovich Ya., Choporov O., Preobrazhenski Yu. Оценка производительности и состава оборудования локальных компьютерных сетей // Information Technology Applications. 2017. № 2. С. 18-33.



Chapter 10.

1. Претт У. Цифровая обработка изображений / У. Претт. – М. : Мир, 1982. – 792 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии / С. Уэлстид. – М. : Триумф, 2003. – 320 с.
4. Wallace G. K. The JPEG Still Picture Compression Standard / Wallace G. K. // Communication of the ACM, 1991. – Vol. 34. – № 4. – P. 31 – 44.
5. Федер Е. Фракталы : пер. с англ. / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
6. Индутный В. В. Планиметрический анализ структур минеральных агрегатов / В. В. Индутный. – К. : Наукова думка. – 1991. – 180 с.
7. Мюррей Д. Энциклопедия форматов графических файлов : пер. с англ. / Д. Мюррей, У. Ван Райпер. – К.: BHV, 1997. – 672 с.
8. Подчашинський Ю. О. Метод розрахунку похибок геометричних вимірювань при стисненні цифрових зображень / Ю. О. Подчашинський // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2000. – № 15. – С. 125 – 132.
9. Купкін Є. С. Автоматизована система для визначення характеристик текстури поверхні облицювального каменю / Є. С. Купкін, Ю. О. Подчашинський // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – № 2, Частина 1, Том 1, Технічні науки. – С. 21 – 24.
10. Бакка Н. Т. Облицовочный камень. Геолого-промышленная и технологическая оценка месторождений : справочник / Н. Т. Бакка, И. В. Ильченко. – М. : Недра, 1992. – 304 с.

Chapter 11.

1. Стратегія використання ресурсів питних підземних вод для водопостачання / за редакцією Е.А. Ставицького, Г. І. Рудька, Є.О. Яковлева. – Чернівці: Букрек, 2011. – Т.2. – с. 315–322.
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною // Затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України №400 від 12.05.2010 р.
3. Мацієвська, О. О. Якість питної води, що надходить у мережу централізованого водопостачання м. Львів // Харчова наука і технологія. – 2013. – № 1 (22). – С. 87–89.



SCIENTIFIC EDITION

**MONOGRAPH
INTELLEKTUELLES KAPITAL - DIE GRUNDLAGE FÜR INNOVATIVE
ENTWICKLUNG**

INNOVATIVE TECHNIK UND TECHNOLOGIE, INFORMATIK

INTELLECTUAL CAPITAL IS THE FOUNDATION OF INNOVATIVE DEVELOPMENT

INNOVATIVE ENGINEERING AND TECHNOLOGY, INFORMATICS

MONOGRAPHIC SERIES «EUROPEAN SCIENCE»

BOOK 3. PART 3

Authors:

Anishchenko O.S. (3), Barysheva Y.O. (2), Benedikt S. (4), Bezusov A.T. (2), Choporov O.N. (9),
Danylina H.V. (1), Datsenko S.Y. (1), Fedoriv M.Y. (5), Galushchak I.D. (5), Guido M. (4),
Klimov E.S. (3), Koenig E. (4), Kravchuk I.N. (1), Kukhar V.V. (3), Kurpe O.H. (3),
Lvovich I.Y. (9), Lvovich Y.E. (8), Malinovskiy Y.A. (1), Manoli T.A. (2), Matsiyevska O. (11),
Nikitchina T.I. (2), Osadchuk A.V. (4), Osadchuk I.A. (4), Pahomov R. (6), Peretiaka N.A. (2),
Podchashinskiy Y.A. (10), Preobrazhenskiy A.P. (8, 9), Preobrazhenskiy Y.P. (8),
Prysiachnyi A.H. (3), Redkin O. (6), Shavurskaya L.Y. (10), Shavurskiy Y.A. (10),
Skakalina E.V. (7), Tsvirkun S.L. (1), Uchitel A.D. (1), Vlasenkov D.P. (1), Zyma O. (6)

The scientific achievements of the authors of the monograph were also reviewed and recommended for publication at the international scientific symposium

« Intellektuelles Kapital - die Grundlage für innovative Entwicklung '2020 / Intellectual capital is the foundation of innovative development »

(November 2-3, 2020)

The monograph is included in

International scientometric databases

Service sheet 10.1

Circulation 500 copies.

Signed: December 30, 2020

Published:

ScientificWorld-NetAkhatAV

Lußstr 13,

Karlsruhe, Germany

in conjunction with Institute «SEI»

e-mail: orgcom@sworld.education

www.sworld.education



Publisher is not responsible for accuracy
information and scientific results presented in the monograph

ISBN 978-3-949059-04-9



9

783949

059049



