

# THEORETICAL FOUNDATIONS IN RESEARCH IN ENGINEERING

Collective monograph

ISBN 979-8-88722-619-4

DOI 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3

BOSTON(USA)-2022

ISBN – 979-8-88722-619-4

DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3

*Theoretical foundations in  
research in Engineering*

*Collective monograph*

*Boston 2022*

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – 979-8-88722-619-4

DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3

Authors – Торба А., Кімейчук І., Хрик В., Левандовська С., Третяк А., Кучерявенко О., Василенко О., Чвирова О., Танірвердієв А., Andrushchak I., Fialko N., Dinzhos R., Meranova N., Sherenkovskii J., Polozenko N., Shubenko O., Goloshcharov V., Kotulska O., Paramonova T., Senetska D., Pylypchuk O., Slobodyanyuk N., Голубничий Д.Ю., Коломійцев О.В., Третяк В.Ф., Пустоваров В.В., Рибальченко А.О., Козачок Л., Мовмига Н.Є., Демідова Ю.Є., Максименко О.А., Котенко К.

## REVIEWER

Ivan Katerynychuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Worker of Education of Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology, Professor of the Department of Telecommunication and Information Systems of Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine.

Kostiantyn Dolia – Doctor of Engineering, Department of automobile and transport infrastructure, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”.

Published by Primedia eLaunch

<https://primediaelaunch.com/>

Text Copyright © 2022 by the International Science Group(isg-konf.com) and authors.

Illustrations © 2022 by the International Science Group and authors.

Cover design: International Science Group(isg-konf.com). ©

Cover art: International Science Group(isg-konf.com). ©

All rights reserved. Printed in the United States of America. No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted, in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. The content and reliability of the articles are the responsibility of the authors. When using and borrowing materials reference to the publication is required.

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe and Ukraine. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science.

The recommended citation for this publication is:

**Theoretical foundations in research in Engineering:** collective monograph / Andrushchak I. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2022. 181 p. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3

## TABLE OF CONTENTS

1.	<b>AEROSPACE ENGINEERING AND TECHNOLOGIES</b>	
1.1	<p>Торба А.<sup>1</sup></p> <p><b>СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ОБТЕКАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ИДЕАЛЬНОЙ СРЕДОЙ</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра ЭВМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники</p>	6
2.	<b>AGRICULTURE AND FORESTRY</b>	
2.1	<p>Кімейчук І.<sup>1</sup>, Хрик В.<sup>1</sup>, Левандовська С.<sup>1</sup>, Третяк А.<sup>2</sup>, Кучерявенко О.<sup>2</sup></p> <p><b>ЛІСОРозВЕДЕННЯ – ОСНОВНИЙ МЕТОД ЕКОАДАПТАЦІЙНОГО ВІДТВОРЕННЯ ЛІСІВ ТА ЗБІЛЬШЕННЯ ЛІСИСТОСТІ УКРАЇНИ</b></p> <p><sup>1</sup> Білоцерківський національний аграрний університет (Україна)</p> <p><sup>2</sup> Відокремлений структурний підрозділ «Бобровицький фаховий коледж імені О. Майнової Національного університету біоресурсів і природокористування України» (Україна)</p>	20
3.	<b>ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION</b>	
3.1	<p>Василенко О.<sup>1</sup>, Чвирова О.<sup>1</sup>, Танірвердієв А.<sup>1</sup></p> <p><b>ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ «СВІТЛОВОЇ СКЛАДОВОЇ» АРХІТЕКТУРНИХ МІСЬКИХ СИСТЕМ</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра дизайну архітектурного середовища, Одеська державна академія будівництва та архітектури</p>	42
4.	<b>COMPUTER SCIENCE</b>	
4.1	<p>Andrushchak I.<sup>1</sup></p> <p><b>IMPLEMENTATION OF INFORMATION AND MATHEMATICAL MODELS AND ALGORITHMS IN THE SOFTWARE ENVIRONMENT</b></p> <p><sup>1</sup> Lutsk National Technical University</p>	52
5.	<b>ENERGY AND ENERGY ENGINEERING AND TECHNOLOGIES</b>	
5.1	<p>Fialko N.<sup>1</sup>, Dinzhos R.<sup>2</sup>, Meranova N.<sup>1</sup>, Sherenkovskii J.<sup>1</sup>, Polozenko N.<sup>1</sup></p> <p><b>THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF POLYMER MICRO- AND NANOCOMPOSITES WHEN THEY ARE OBTAINED BY DIFFERENT METHODS</b></p> <p><sup>1</sup> Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine</p> <p><sup>2</sup> Nikolaev National University named after V.A. Sukhomlinskiy</p>	61

5.2	Shubenko O. <sup>1</sup> , Goloshchapov V. <sup>1</sup> , Kotulska O. <sup>1</sup> , Paramonova T. <sup>1</sup> , Senetska D. <sup>1</sup>  OPERATION OF THE LAST STAGE OF THE COGENERATION TURBINE IN THE MODE OF HEAT DISSIPATION  <sup>1</sup> A. Podgorny Institute of Mechanical Engineering Problems of NAS of Ukraine	70
6. FOOD TECHNOLOGY		
6.1	Pylypchuk O. <sup>1</sup> , Slobodyanyuk N. <sup>1</sup> ,  CHARACTERISTICS OF PLANT RAW MATERIALS AS A FUNCTIONAL AND TECHNOLOGICAL INGREDIENT FOR DAIRY PRODUCTS  <sup>1</sup> Department of technology of meat, fish and seafood, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine	79
6.1.1	Characteristics of plant raw materials as a functional and technological ingredient for dairy products	79
6.1.2	Development of fillers with extracts of inulin-containing raw materials for the dairy industry	84
6.1.3	Technological features of obtaining functional milk drinks with biologically active substances from vegetable raw materials	85
6.1.4	The use of burdock roots and scorzonera in the technology of dairy desserts	89
7. INFORMATION TECHNOLOGIES		
7.1	Голубничий Д.Ю. <sup>1</sup> , Коломійцев О.В. <sup>2</sup> , Третяк В.Ф. <sup>3</sup> , Пустоваров В.В. <sup>4</sup> , Рибальченко А.О. <sup>2</sup>  ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІДСІКАННЯ НЕПЕРСПЕКТИВНИХ ВАРІАНТІВ В АЛГОРИТМАХ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ЦІЛОЧИСЕЛЬНОГО ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ З БУЛЕВИМИ ЗМІННИМИ НА ОСНОВІ РАНГОВОГО ПІДХОДУ  <sup>1</sup> Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця <sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» <sup>3</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба <sup>4</sup> Харківське представництво генерального замовника – Державного космічного агентства України	96
7.2	Козачок Л. <sup>1</sup>  ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ  <sup>1</sup> Кафедра інформатики та прикладної математики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет	134

8.	<b>INNOVATIVE TECHNOLOGIES</b>	
8.1	<p>Мовмига Н.Є.<sup>1</sup>, Демідова Ю.Є.<sup>2</sup>, Максименко О.А.<sup>1</sup></p> <p><b>РЕСУРСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА СУЧАСНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ</b></p> <p><sup>1</sup> кафедра безпеки праці та навколишнього середовища, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»</p> <p><sup>2</sup> кафедри педагогіки і психології управління соціальними системами, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»</p>	144
9.	<b>MECHANICAL ENGINEERING</b>	
9.1	<p>Котенко К.<sup>1</sup></p> <p><b>НАПРУЖЕНО - ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТРИШАРОВИХ ОБОЛОНОК. ВПЛИВ ФОРМИ І РОЗМІРІВ</b></p> <p><sup>1</sup> Кафедра теоретичної механіки, Київський національний університет будівництва і архітектури</p>	162
	<b>REFERENCES</b>	171

**SECTION 1. AEROSPACE ENGINEERING AND TECHNOLOGIES**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.1.1

**1.1 Сравнение моделей обтекания твердых тел идеальной средой**

В настоящее время существует несколько моделей обтекания твердых тел идеальной средой. Наиболее известная модель Д'Аламбера–Эйлера (или парадокс Д'Аламбера–Эйлера) описана во многих энциклопедиях и учебниках.

Формулировка парадокса Д'Аламбера–Эйлера в Википедии [1]:

«Парадокс Д'Аламбера (парадокс Д'Аламбера–Эйлера) – утверждение в гидродинамике идеальной жидкости, согласно которому при стационарном (не обязательно потенциальном и безотрывном) обтекании твёрдого тела безграничным поступательным прямолинейным потоком невязкой жидкости, **при условии выравнивания параметров (потока) далеко впереди и позади тела**, сила сопротивления равна нулю.

В силу принципа относительности Галилея можно говорить и о парадоксе Д'Аламбера в случае поступательного прямолинейного движения тела с постоянной скоростью в безграничном объёме идеальной жидкости, который покоится на бесконечности».

Еще одно определение парадокса Д'Аламбера–Эйлера в Большой Советской Энциклопедии [2]:

«Д'Аламбера – Эйлера парадокс (Д.–Э. п.), положение гидродинамики, согласно которому при равномерном и прямолинейном движении тела внутри безграничной жидкости, лишённой вязкости, вихреобразований и поверхностей разрыва скоростей, результирующая сила сопротивления жидкости движению тела равна нулю.

Это положение было высказано французским учёным Ж. Д'Аламбером в 1744 и петербургским академиком Л. Эйлером в 1745. Отсутствие сопротивления движению тела со стороны жидкости при указанных выше предположениях в гидродинамике доказывается строго математически как для несжимаемой, так и для сжимаемой жидкости. Физически отсутствие сопротивления объясняется

тем, что при указанных условиях поток жидкости должен замыкаться позади движущегося тела, причём жидкость оказывает на заднюю сторону тела воздействие, уравнивающее воздействие (всегда имеющее место) на переднюю сторону. В действительности тело при своём движении в жидкости или газе всегда испытывает сопротивление.

Противоречие между действительностью и содержанием Д.–Э. п. объясняется тем, что в реальной среде не выполняются те предположения, на которых строится доказательство парадокса. При движении тела в жидкости всегда проявляются и вязкость жидкости, и вихреобразования (в особенности позади тела), и возникновение поверхностей разрыва скорости. Все эти факторы и вызывают сопротивление движению тела со стороны жидкости».

Еще одно определение парадокса Даламбера–Эйлера в Циклопедии [3]:

«Парадокс Даламбера – название парадокса, который утверждает, что цилиндр (или шар), обтекаемый стационарным ламинарным потоком невязкой несжимаемой жидкости (движущийся в этой жидкости), не испытывает никакого сопротивления своему движению со стороны потока. Сформулирован французским математиком Жаном ле Роном Д’Аламбером (Даламбером) в 1752 году».

Каждое из этих трех определений последовательно сужает условия (требования) для реализации этого парадокса: если в Википедии [1] поток идеальной жидкости «не обязательно потенциальный и безотрывный», то в Большой Советской Энциклопедии [2] поток идеальной жидкости должен быть «лишён вязкости, вихреобразований и поверхностей разрыва скоростей». Еще больше ограничений заложено в Циклопедии [3]: форма твердого тела может быть только **цилиндром или шаром**.

В Циклопедии [3] для иллюстрации парадокса Даламбера использован рисунок 1 из моих статей 90-х годов прошлого века. Аналогичный рисунок можно найти в моей публикации в Интернете 2005 года [5] или в моей статье 2009 года в Современном научном вестнике [4]. Статья в Циклопедии [3] написана неаккуратно с ошибками, а рисунок 2 в этой статье (в котором якобы



присутствует «застойная зона») повторяет симметричный рисунок 1 (без «застойной зоны»). Любой желающий может найти в интернете рисунок 2 с «Застойной зоной» позади твердого тела в указанных моих статьях [4,5].

Главный вывод в моих статьях [4,5] заключается в том, что так называемый парадокс Д'Аламбера–Эйлера – это всего лишь **теоретическое недоразумение**, возникшее из-за произвольно (необоснованно) выбранных начальных условий – выравнивание параметров потока идеальной среды далеко впереди и позади тела, а также отсутствие учета физических ограничений на параметры потока.

Ни в одном из доказательств парадокса Д'Аламбера–Эйлера не учитывают естественное физическое ограничение для давления в потоке идеальной среды, которое **не может быть отрицательным**.

На рисунке 1 показан пример «строго математического» доказательства парадокса Д'Аламбера–Эйлера при обтекании круглого бесконечного цилиндра потенциальным безвихревым потоком идеальной среды. Рис. 1.а иллюстрирует подход Эйлера. Этот рисунок можно рассматривать как фотографию равномерного, установившегося потока частиц идеальной среды. Поэтому параметры потока идеальной среды на этом рисунке не изменяются во времени, но будут различными для разных точек геометрических координат (например, Декартовой системы координат).

На бесконечном удалении от цилиндра направление вектора скорости потока  $V_\infty$  совпадает с положительным направлением оси  $Ox$  (см. рис. 1.а).

Задача разделяется на два этапа [6,7] :

- определение состояния движения идеальной среды при обтекании твердого тела, то есть построение кинематической картины течения;
- определение сил взаимодействия между идеальной средой и твердым телом, то есть решение динамической задачи.

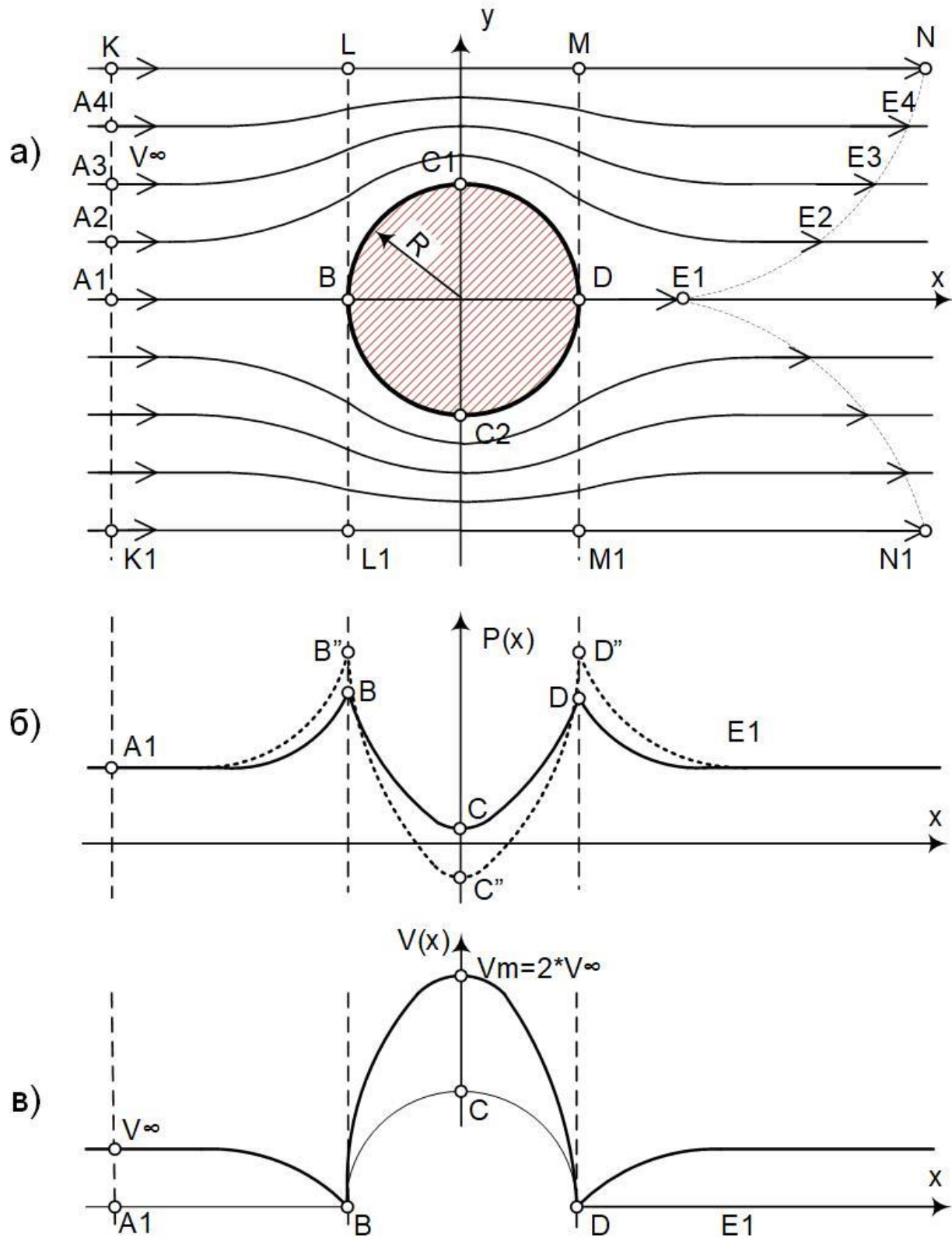


Рисунок 1 – Обтекание круглого цилиндра потоком идеальной среды

На первом этапе обычно выбирают **безвихревое движение** идеальной среды, и задача сводится к нахождению комплексного потенциала [7]:

$$w(z) = \varphi(x, y) + i \cdot \psi(x, y), \quad (1)$$

где:  $\varphi(x, y)$  – потенциал скорости;

$\psi(x, y)$  – функция тока.

Выбор потенциальной безвихревой модели аргументируется не противоречием этой модели теореме Лагранжа [6,7].

Задача может быть сведена к нахождению только одной функции  $\psi$  или  $\varphi$ , так как потенциал  $\varphi$  связан с  $\psi$  известными условиями Коши-Римана, позволяющими определить  $\varphi$  в виде квадратуры по известной функции  $\psi$  [7].

Функция тока  $\psi$ , которая во всех точках потока идеальной среды предполагается непрерывной, удовлетворяет во всех точках уравнению Лапласа:  $\nabla^2 \psi = 0$  (условие безвихревого обтекания) [7].

Должно также выполняться граничное условие – непроникновение через твердую стенку [6,7], т.е. на контуре твердого тела нормальная составляющая скорости прилегающих частиц идеальной среды равняется нулю.

Определение плоского безвихревого движения невязкой и несжимаемой жидкости, вызываемого движением ограничивающих область течения контуров, сводится к решению некоторой задачи Дирихле [7].

Аналитическое решение этой задачи указывает на то, что линия тока, примыкающая к поверхности круглого цилиндра, является линией тока  $\psi = 0$ . Остальные линии тока – суть кривые третьего порядка (рис. 1.а) [7].

Скорость частиц идеальной среды на участке А1-В уменьшается от  $V_\infty$  до 0. На участке В-С-Д скорость изменяется в соответствии с выражением:

$$V = 2 \cdot V_\infty \cdot |\sin \theta| = V_m \cdot |\sin \theta|, \quad (2)$$

где  $\theta$  – угол в полярной системе координат.

Наибольшее значение скорости  $V_m = 2 \cdot V_\infty$  достигается в точках С1 и С2 (рис. 1.а). После точки Д скорость частиц идеальной среды увеличивается от 0 до  $V_\infty$  (рис. 1.в).

На втором этапе, при решении динамической задачи, вычисляется распределение давления по контуру твердого тела на основе интеграла Бернулли.

Полная симметрия распределения скорости движения частиц идеальной среды по поверхности цилиндра относительно вертикальной оси  $OY$  (рис. 1.в) соответствует симметрии распределения давления (рис. 1.б – сплошная линия) [4,5,6,7].

Поэтому интегрирование давления по поверхности цилиндра дает нулевое значение, а, следовательно, и сила, действующая на цилиндр со стороны идеальной среды, равна нулю.

При детальном рассмотрении рис.1.а и рис.1.в обращает на себя внимание тот факт, что время перемещения частицы идеальной среды из точки  $A1$  в точку  $B$  будет в 1,5...2 раза больше, чем время продвижения частицы идеальной среды из точки  $K$  в точку  $L$  с постоянной скоростью  $V_\infty$ :  $t_{KL} = S_{KL} / V_\infty$ .

Потому что расстояние  $S_{KL} = S_{AB}$ , а скорость движения частицы идеальной среды из точки  $A1$  в точку  $B$  уменьшается от  $V_\infty$  до нуля (рис. 1.в).

Аналогично время продвижения частицы идеальной среды из точки  $D$  в точку  $E1$  будет в 1,5...2 раза больше, чем время продвижения частицы идеальной среды из точки  $M$  в точку  $N$  с постоянной скоростью  $V_\infty$ .

При расчете времени движения частицы идеальной среды между точками  $B$ - $C$ - $D$  необходимо учитывать, что расстояние  $S_{BCD}$  рассчитывается по полуокружности:  $S_{BCD} = \pi * R$  (на рис. 1.в этот участок горизонтальной оси  $OX$  изображен в виде полуокружности).

Расчетное время движения частицы идеальной среды между точками  $B$ - $C$ - $D$  будет в 2,25 раз больше, чем время перемещения частицы идеальной среды между точками  $L$ - $M$ . Поэтому частицы идеальной среды, которые начали движение в точках  $A1$ ,  $A2$ ,  $A3$ ,  $A4$ ,  $K$ , выстроятся позади цилиндра в клин  $E1$ ,  $E2$ ,  $E3$ ,  $E4$ ,  $N$ , обозначенный на рис.1.а точечной пунктирной линией.

С учетом изложенного на основе принципа относительности Галилея рассмотрим равномерное движение круглого цилиндра в неподвижной идеальной среде, – это соответствует подходу Лагранжа (рис. 2). Для того, чтобы не загромождать рисунок показаны только верхние траектории движения частиц (на самом деле рисунок должен быть симметричным относительно

горизонтальной временной оси)

Точки неподвижной идеальной среды в начальный момент времени  $t_0$ : A1, A2, A3, A4, K на рис. 2 – соответствуют одноименным точкам на рис. 1.а. В момент времени  $t_0$  цилиндр, который равномерно движется влево со скоростью  $V_\infty$ , находится значительно правее этих точек.

Пунктиром обозначены положения цилиндра в моменты времени:

- $t_1$  – частица идеальной среды из точки A1 ускорилась от нуля до скорости движения цилиндра  $V_\infty$  и переместилась в точку B;
- $t_2$  – частица идеальной среды из точки B переместилась в точку C1, в этот момент времени эта частица движется со скоростью  $V_\infty$ , но в противоположном направлении (с учетом соотношения (2));
- $t_3$  – частица идеальной среды из точки C1 переместилась в точку D, замедлив свою скорость от  $2 \cdot V_\infty$  до  $V_\infty$ .

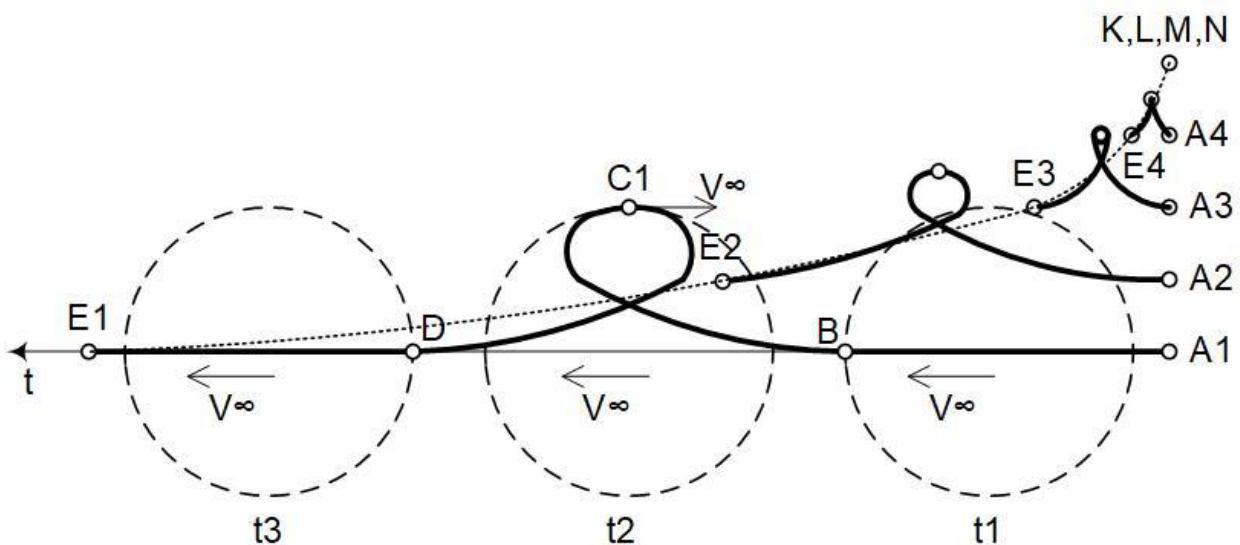


Рисунок 2 – Движение круглого цилиндра в неподвижной идеальной среде

В дальнейшем цилиндр продолжает движение влево со скоростью  $V_\infty$ , а частица идеальной среды, замедлив скорость от  $V_\infty$  до нуля, переместилась из точки D в точку E1.

Частица идеальной среды из точки A2 переместилась в точку E2 за меньшее время, потому что эта частица ускорялась от нуля до скорости, меньшей, чем  $V_\infty$ , и скорость в верхней точке этой траектории меньше, чем  $-V_\infty$ .

Время перемещения частицы идеальной среды из точки А3 в точку Е3 еще меньше. Из точки А4 в точку Е4 частица переместилась еще быстрее. А частица из точки К осталась на месте, то есть никуда не перемещалась.

Таким образом равномерно движущийся в идеальной среде цилиндр перемещает все частицы идеальной среды за собой. На наибольшее расстояние перемещаются частицы, расположенные ближе к центру цилиндра (частица А1). Остальные частицы (А2, А3, А4) перемещаются на меньшие расстояния.

Но, если перемещения этих частиц происходят в горизонтальной плоскости, то никакая работа не совершается и не нужна дополнительная энергия для этих перемещений. Поэтому сила сопротивления движению цилиндра в идеальной среде равна нулю.

Учитывая однозначность решения кинематической задачи для стационарного течения, необходимо признать, что при увеличении скорости потока  $V_\infty$  максимальная скорость  $V_m$  также пропорционально увеличивается в соответствии с распределением (2). В нашем примере при обтекании круглого цилиндра несжимаемой идеальной средой максимальная скорость  $V_m$  в точках С1 и С2 (см. рис. 1.а) в 2 раза больше  $V_\infty$ .

Введем коэффициент :

$$a = \frac{V_m}{V_\infty} > 1 \quad (3)$$

Величина этого коэффициента определяется профилем обтекаемых твердых тел и может достигать больших величин, даже бесконечности.

Существование интегралов Бернулли, Коши, Бернулли-Эйлера [6,7] ставит для величины максимальной скорости  $V_m$  известный предел, превзойти который движущаяся идеальная среда не может без разрыва сплошности [7].

Если в некоторой точке линии тока заданы:  $z_\infty, V_\infty$  и  $p_\infty$ , то для любой точки этой линии тока текущие параметры:  $z, V$  и  $p$  определяются интегралом Бернулли:

$$\frac{p}{\rho \cdot g} = \frac{V_{\infty}^2}{2 \cdot g} + z_{\infty} + \frac{p_{\infty}}{\rho \cdot g} - \frac{V^2}{2 \cdot g} - z \quad (4)$$

Соотношение (4) показывает, что величина  $V$  не может оказаться чрезвычайно большой ни в одной точке линии тока, так как **давление  $p$  в идеальной среде не может быть отрицательным** [4,5,7]. Потому что моделью нулевого давления является вакуум, а что может быть меньше вакуума???

Для точек на одной высоте ( $z_{\infty} = z$ ) получаем неравенство:

$$\frac{V_{\infty}^2}{2 \cdot g} + \frac{p_{\infty}}{\rho \cdot g} - \frac{V^2}{2 \cdot g} > 0, \quad (5)$$

то есть давление  $p$  в любой точке должно оставаться положительным. Из этого неравенства находим предел для величины скорости  $V$  [4,5] :

$$V^2 < V_{\infty}^2 + \frac{2 \cdot p_{\infty}}{\rho} \quad (6)$$

Тогда предельное значение скорости потока  $V_{\infty}$ , удовлетворяющее неравенству (6), ограничено величиной:

$$(a \cdot V_{\infty})^2 < V_{\infty}^2 + \frac{2 \cdot p_{\infty}}{\rho}; \quad (7)$$

$$V_{\infty} < \sqrt{\frac{2 \cdot p_{\infty}}{(a^2 - 1) \cdot \rho}}, \quad (8)$$

где:  $a = V_m / V_{\infty}$  – коэффициент из соотношения (3).

Если, не меняя рис. 1.а, увеличить величину  $V_{\infty}$  до значения, большего, чем в соотношении (8), то в точках В и D давление увеличится до величины В” или D”, а в точках С1” и С2” давление будет отрицательным (смотри рис. 1.б – точечная пунктирная линия) [4,5]. Это указывает на абсурдность парадокса Д’Аламбера–Эйлера

Если постепенно сжимать круглый цилиндр (в точках В и D на рис. 1.а) до плоской поперечной пластины с острыми кромками на краях, то коэффициент

$a = V_m / V_\infty$  стремится к бесконечности. При этом за острой кромкой будет бесконечно большое отрицательное давление [4,5].

Поэтому при движении поперечной плоской пластины в идеальной среде **невозможно получить нулевое сопротивление ни для каких скоростей движения**. Для профилей с острыми кромками (а это не только поперечная плоская пластина, – это может быть квадратный или треугольный и многие другие профили) парадокс Д’Аламбера–Эйлера с нулевой силой сопротивления **является нереализуемой фикцией**.

Альтернативные модели стационарного обтекания твердых тел идеальной средой с вихреобразованием (модели Кирхгофа–Гельмгольца, Кармана и др.) не противоречат теоремам Кельвина (Томсона) и Лагранжа, и позволяют рассчитать силу сопротивления движению твердых тел в идеальной среде [4,5,6,7].

Если при стационарном движении твердого тела в идеальной среде присутствует сила сопротивления, то это означает, что для поддержания движения какой-либо внешний источник энергии непрерывно производит работу для преодоления силы сопротивления. В соответствии с законом сохранения энергии эта работа затрачивается на образование позади твердого тела вихрей, т.е. на увеличение общей кинетической энергии потока. Эти вихри уносятся потоком на бесконечность [4,5,6,7]. А для реальных жидкостей или газов, обладающих вязкостью, кинетическая энергия вихрей диссипируется (т.е. превращается в тепловую энергию) на конечном расстоянии позади твердого тела.

Уравнения движения идеальной среды допускают решения, в которых на поверхности обтекаемого идеальной средой твердого тела происходит, как говорят, **«отрыв струй»**: линии тока, следовавшие вдоль поверхности, в некотором месте «отрываются» от нее и уходят в глубь идеальной среды (модель Кирхгофа–Гельмгольца) [4,5,6,7].

В результате возникает картина течения, характеризующаяся наличием отходящих от тела **«поверхностей тангенциального разрыва»**, на которых скорость идеальной среды (будучи направлена в каждой точке по касательной к



этим поверхностям) терпит разрыв непрерывности. Другими словами, вдоль этих поверхностей один слой идеальной среды как бы скользит по другому (по «застойному» слою неподвижной среды позади тела) (рис. 3).

С математической точки зрения скачок тангенциальной составляющей скорости представляет собой поверхностный ротор скорости [4,5,6,7]. Подчеркнем, однако, что поверхность тангенциального разрыва, представляющая собой тонкий вихревой слой, – неустойчива [4,5,6,7]. Распадаясь на отдельные вихри, поверхности разрыва быстро «заполняют» застойную зону вихревыми движениями. Многочисленные наблюдения подтверждали наличие такой картины явления и привели к созданию теории вихревых дорожек Кармана [4,5,6,7].

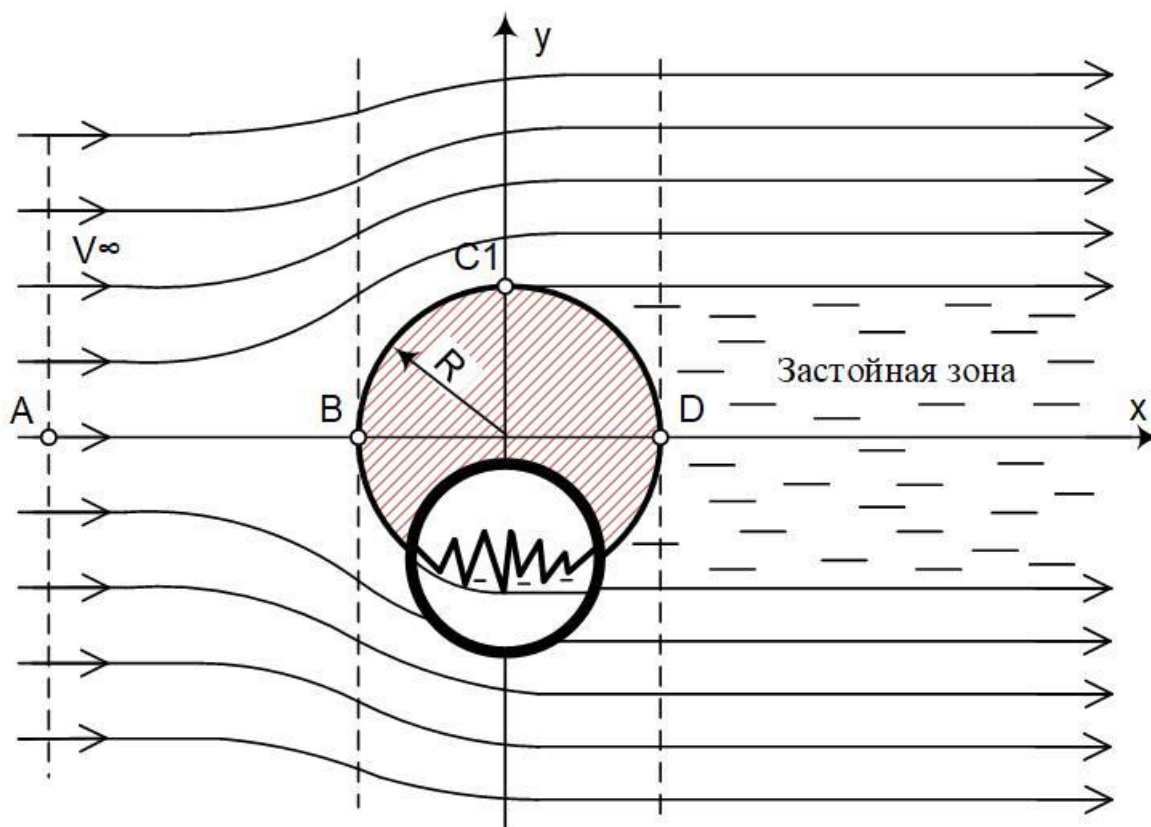


Рисунок 3 – Модель Кирхгофа–Гельмгольца обтекания твердого тела идеальной средой с отрывом струй

В нижней части цилиндра на рис. 3 условно изображена увеличительная лупа и увеличенное изображение шероховатой поверхности цилиндра. За

острыми кромками шероховатостей также образуются отрывы струй и небольшие застойные зоны. Самая нижняя кромка шероховатости поверхности определяет точку отрыва струи от цилиндра.

Наличие небольших застойных зон позади острых кромок шероховатостей поверхности цилиндра объясняет образование пограничного слоя при обтекании твердых тел вязкими жидкостями. Соседние струи движущейся вязкой жидкости взаимодействуют с этими застойными зонами (то есть с пограничным слоем) и вносят дополнительный вклад в величину силы сопротивления движению твердого тела.

Расчеты силы сопротивления на основе модели Кирхгофа–Гельмгольца при стационарном, установившемся движении твердого тела в идеальной среде приводят к результатам, совпадающим с экспериментальными измерениями [7]:

$$F = C * \rho * V_{\infty}^2, \quad (9)$$

где:  $F$  – сила сопротивления;

$\rho$  – плотность идеальной среды;

$C$  – множитель (имеющий размерность –  $m^2$ ), учитывающий форму и размеры обтекаемого тела.

Обычно гидродинамические силы  $F$ , действующие со стороны движущейся идеальной среды на твердое тело произвольной формы, выражают через их проекции [4,5,6,7] :

$$F = X_a * i + Y_a * j + Z_a * k, \quad (10)$$

где:  $i, j, k$  – единичные векторы вдоль осей координат;

$X_a$  – сила лобового сопротивления;

$Y_a$  – подъемная сила;

$Z_a$  – боковая сила.

Наряду с образованием силы лобового сопротивления, используя модель с вихреобразованием, можно также объяснить возникновение подъемной и боковой сил, как нормальных или ортогональных составляющих (относительно направления вектора скорости потока  $V_{\infty}$ ) силы сопротивления  $F$ .

Таким образом, подъемная сила возникает при стационарном обтекании идеальной средой несимметричных (относительно вектора скорости потока  $V_\infty$ ) твердых тел.

Известное условие Кутта о «закругленной передней кромке и острой задней кромке» – не нужно для возникновения подъемной или боковой силы. Да и сама теорема Жуковского-Кутта с фиктивным «присоединенным вихрем» – тоже не нужна для объяснения возникновения подъемной силы [8,9].

#### Выводы

1. Все доказательства парадокса Д'Аламбера–Эйлера, приведенные в учебниках [1,2,6,7], мягко говоря, некорректны, потому что еще до проведения расчетов на этапе выбора начальных условий о выравнивания параметров потока далеко впереди и позади тела – **закладывается нулевой конечный результат.**

Если поток идеальной среды, обтекающий твердое тело, окружить замкнутым контуром (охватывающим твердое тело), и внутри этого контура отсутствуют источники энергии или нет притока энергии извне, то, в соответствии с законами сохранения энергии и сохранения количества движения, внутри этой замкнутой поверхности невозможно силовое взаимодействие [4,5,6,7]. Потому что, допустив наличие силы сопротивления, необходимо признать, что на преодоление этой силы необходимо было бы затрачивать энергию от какого-то источника. Эта энергия приводит к изменению общей энергии потока, то есть к образованию вихрей позади твердого тела, поэтому параметры потока впереди твердого тела и позади его – не совпадают.

Поэтому нулевая сила сопротивления в парадоксе Д'Аламбера не является результатом теоретических расчетов, а есть следствием бессистемно, произвольно выбранных начальных условий, а также отказом учитывать физические ограничения на величину давления, которое не может быть отрицательным.

2. Альтернативные модели стационарного обтекания твердых тел идеальной средой с вихреобразованием (модели Кирхгофа–Гельмгольца, Кармана и др.) не противоречат теоремам Кельвина (Томсона) и Лагранжа,

учитывают физические ограничения на величину давления, и позволяют рассчитать силу сопротивления движению твердых тел в идеальной среде

3. Известная модель Жуковского-Кутта с фиктивным «присоединенным вихрем» противоречит фундаментальному закону сохранения энергии, а также в большинстве случаев приводит к решениям с отрицательными давлениями

**SECTION 2. AGRICULTURE AND FORESTRY**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.2.1

**2.1 Лісорозведення – основний метод екоадаптаційного відтворення лісів та збільшення лісистості України**

**Історія та перспективи лісорозведення в Україні.** Одним з головних методів відтворення лісів в Україні є лісорозведення – створення і вирощування штучних лісових насаджень на землях лісогосподарського призначення (не вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок), низькопродуктивних та непридатних для використання в сільському господарстві землях сільськогосподарського призначення (яри, балки, піски тощо), які виділені для створення лісових плантацій та полезахисних лісових смуг [30].

Історично склалося так, що в Україні захисне лісорозведення, зокрема степове передувало штучному залісненню лісосік. В кінці XVIII – першій половині XIX ст. в степовій зоні України виникають поселення сербів, хорватів, болгар, греків і німців-менонітів. Царський уряд зобов'язував поселенців саджати ліси навколо сіл. Німці-меноніти закладали сади, озеленювали села, саджали ліси. Після знищення в 1775 р. Запорізької Січі Катерина II роздала землі «Вольностей запорізьких козаків» своїм фаворитам, офіцерам і російським поміщикам. Багато поміщиків також саджали парки і ліси. Починаючи з 1817 р. в наказовому порядку лісорозведенням на пісках займалися селяни-солдати військових поселень.

В минулому 43,6 % території України вкривали ліси [13]. На початку XIX ст. більша частина деревостанів в рівнинних районах, зокрема на бідних піщаних землях, була знищена й перетворена в сільськогосподарські угіддя та пустирі. В багатьох губерніях з'явилися сипучі піски, які наступали на поля, села, шляхи і сіножаті. Олешківські (Нажньодніпровські) піски в окремі роки засипали до 9 тис. га родючої землі. В деяких районах з'явилася величезна кількість ярів. Перші спроби закріплення Олешківських пісків розпочалися в 1834 р. До недавнього часу це давало позитивні результати. Лише 40 років тому лісівники,

застосувавши нову агротехніку лісовирощування на базі комплексної механізації, що дало змогу створити майже 100 тисяч га лісонасаджень й зупинити наступ пісків на поля. З 40-х рр. XIX ст. в Чернігівській, Полтавській, Харківській, Катеринославській, Таврійській губерніях проводилося шелюгування пісків, а згодом садіння дичок та сіянців сосни. В наслідок низької агротехніки вирощування, відсутності догляду за лісонасадженнями, посух і пошкоджень шкідниками культури сосни, в основному гинули [13].

Серед піонерів захисного лісорозведення особливе місце належить І.Я. Далилевському, В.Я. Ломиковському, В.П. Скаржинському, І.І. Корсіну і В.Є. Граффу та іншим діячам. Завдяки вище згаданим і багатьом безіменним діячам Україна, по праву, вважається колискою степового і захисного лісорозведення. Без перебільшення можна стверджувати, що у жодній країні світу не було стільки пошуків в справі лісорозведення і лісовідновлення в різних природно-кліматичних природних зонах, як в Україні [12].

Початком державного лісорозведення вважається 1843 р., коли В.Є. Графф заклав Великоанадольський лісовий масив (тепер Донецька область). В 1846 р. створюють лісові насадження в Інгулецькому масиві Херсонської губернії, у 1863 р. – в Бузулукському бору (Оренбурська губернія). В XIX ст. в степах України створено 20 лісових масивів загальною площею понад 15 тис. га. Окрім Великоанадольського масиву (2727,0 га), в Дніпропетровській області – Комісарівський ліс (996,0 га, 1876 р.), Грушоватський масив (608,0 га, 1881 р.), Гуровський масив (612,0 га), Великомихайлівський масив (понад 100,0 га); в Миколаївській області – Рацинський ліс (1786,0 га, 1875 р.), Володимирський масив (2581,0 га); в Запорізькій області – Старобердянський масив (996,0 га, 1846 р.), Алтагирський масив (1098,0 га); в Сумській області – Тростянецький масив та ін. [12]. Закріплення верболозом рухомих пісків у 40-х рр. XIX ст. дали позитивні результати тільки за рахунок лісорозведення [22].

У другій половині XIX ст. в Україні бурхливими темпами розвивається будівництво залізниць. Їх експлуатація взимку ускладнювалася сніговими заметами. У 1876 р. лісівник М.К. Срединський склав проєкт живого захисту

залізниць створенням уздовж них лісосмуг. Під його керівництвом та за його проектами за 1876–1895 рр. було посаджено 1416,0 км лісосмуг.

До впровадження лісокультурних застав (1899–1900 рр.) в Україні заліснювали 1–2 % вирубок, у 1902 р. – 35 %, у 1913 – 96 %. В 1913 р. 78 % лісових культур було створено садінням сіяncів і 22 % – посівом жолудів. Всі роботи виконували вручну.

З початку ХХ ст. сіяncі саджали під меч Колесова. Згідно з архівними даними в дев'яти українських губерніях до 1917 р. було створено 341 тис. га лісових культур, зокрема у казенних лісах 153 тис. га. Лісистість в 1914 р. становила 9,8 %, що в 5 разів менше, ніж була в далекому минулому [12].

Підвищена увага до створення лісових насаджень була приділена у 1921 р. у зв'язку із посухою. Від центрального лісового відділу вимагали укріплення балок і пісків шляхом створення захисних насаджень; полезахисних смуг вздовж залізниць, доріг, берегів річок. За період 1925–1928 рр. створено 38,0 тис. га лісових культур, закріплено пісків на площі 61 тис. га, створено 15,5 тис. га полезахисних лісових смуг. За період 1931–1941 рр. створено 400 тис. га нових полезахисних лісових смуг.

У роки війни, особливо під час окупації фашистів, було нанесено великий збиток лісовому господарству СРСР, а найбільше УРСР. Близько 20 млн. га лісів пошкоджено внаслідок воєнних дій. На значній території були знищені і пошкоджені лісові смуги. Війна призвела до масового збільшення непродуктивних, безлісних ділянок, погіршення вікової структури лісів, зменшення площі хвойних і твердолистяних насаджень, зниження продуктивності лісів [20].

Варто підкреслити, що після прийняття в 1948 р. Постанови про план перетворення природи, організації лісозахисних станцій, великої кількості лісорозсадників та забезпечення їх необхідною технікою, наступив період широкого впровадження машин і механізмів в лісогосподарське виробництво. Починаючи з 1949 р., в Україні на кожен гектар зрубаного лісу лісівники саджали 3–4 га лісових і захисних насаджень. Передбачалося створити повну мережу

полезахисних лісосмуг, заліснення ярів і пісків та інших невідь, створення водозахисних насаджень. Особливу увагу в захисних лісонасадженнях приділяли дубу звичайному, як головному і найбільш цінному та довговічному деревному виду. Передбачалося введення його в лісосмуги і лісові культури гніздовим способом, запропонованим «народним академіком» Т.Д. Лисенком [12].

Практично усі післявоєнні – не заліснені зруби та згарища, пустирі були освоєні у 50–60-і рр. ХХ ст.

Після Другої Світової війни істотною проблемою у Західному Поліссі стало заліснення староорних збіднених земель, внесених до складу держлісфонду [26], на далі – поліпшення стану і відновлення стійкості створених лісових культур [12].

Важливим етапом для розвитку лісового господарства України були розробка і затвердження Генерального плану розвитку на 1956–1970 рр., створення насаджень швидкорослих деревних видів, насамперед тополі тремтячої. Виконуючи завдання, передбачені Генеральним планом, лісівники за 1956–1969 рр. створили в держлісфонді 1427,1 тис. га лісових культур, реконструювали понад 400 тис. га малоцінних насаджень.

У 1958 р. в Каневі для закріплення і заліснення лісів була організована Канівська гідролісомеліоративна станція. За 40 р. колектив станції створив на ярах 13,2 тис. га лісових культур, збудував 94 залізобетонних водоскиди, 9 км донних загат і навколо вершин діючих ярів 425 км водозатримуючих та водорегулюючих земляних валів. Ці заходи дали можливість зупинити ерозію на полях площею 18,8 тис. га. Великі обсяги робіт на ярах і крутосхилах виконали колективи Ржищівського, Верхньодніпровського, Ямпільського та багатьох інших лісових господарств [12].

М.І. Гордієнко [21] писав, що починаючи з 50-х років у колишньому СРСР щорічно закладали понад 1 млн. га насаджень в держлісфонді, близько 300 тис. га в балках, ярах та на пісках, 80 тис. га полезахисних лісових смуг. Темпи робіт в Україні значно зросли в 1961–1965 рр., коли за рік закладали нові ліси в середньому на площі 164 тис. га, зокрема в державних лісах – 119 тис. га, на



непридатних для сільського господарства землях – 33,5 тис. га, та в колгоспних і радгоспних лісах – 11,5 тис. га. З того часу основною категорією площ, яку використовували під заліснення у державних лісгосподарських підприємствах залишаються свіжі зруби [11].

У країнах Західної Європи заходи з лісорозведення низькопродуктивних сільськогосподарських земель здійснюється у рамках реформи Європейського суспільства, починаючи з другої половини 80-х років. У країнах ЄС за період 1983–1988 рр. площа сільськогосподарських земель щорічно зменшувалась приблизно на 600 тис. га, а площа нових лісів збільшувалась на 240–250 тис. га. У 1999 році Європарламент видав Постанову про необхідність заліснення 12 млн. га до 2000 року. Проте, якщо у др. пол. 80-х років у фокусі інтересів домінувало заліснення орних земель і пасовищ з метою зменшення виробництва сільськогосподарської продукції, то в останні роки політиками і вченими все більш інтенсивно дискутується питання екологічної політики, а саме – роль широкомасштабного заліснення, як інструмента зменшення вуглекислого газу у повітрі. Акцентують увагу на першочерговій ролі лісу як елемента глобальної екологічної системи, водного циклу, трофічного ланцюга, рослинного та тваринного світу, глобальної кліматичної системи та енергетичного балансу планети. Політика ЄС пропонує різноманітні заходи стимулювання цього процесу і, зокрема, система грошових компенсацій [14].

Збільшення лісистості є головним пріоритетом й сусідньої Польщі, лісистість території якої складає 27,8 %. У перспективі до 2050 р. планується збільшити її до 33 % за рахунок заліснення 700 тис. га низькопродуктивних сільськогосподарських земель [19].

Підводячи підсумки щодо лісокультурних робіт за ХХ ст. варто зазначити, що за цей період створено захисних лісових насаджень та проведено сприяння природному поновленню на площі понад 7,4 млн га, що у 2,1 рази більше ніж зрубано за цей період. На сьогодні у державних лісах 50 % лісових ділянок вкритих лісовою рослинністю – це штучні насадження. Останні десятиліття

особливу увагу приділяють на підвищення продуктивності лісів і переведення лісового насадництва на селекційну основу [12].

Окремим положенням у процесі заліснення є створення штучних лісів на землях, що вийшли з-під сільськогосподарського користування. У плані відновлення та вдосконалення структури ландшафтів, заліснення таких земель сприяє регенерації природних угідь. Проте, у ряді випадків створення лісів на землях де їх раніше не було, з використанням інтродуцентів, які є агресивними щодо місцевої біоти, заліснення можна розглядати, як загрозу для біорізноманіття [28].

Зроблено лісівниками України чимало, але основним завданням для них залишається створення комплексної мережі захисних лісонасаджень, заліснення невідповідних і земель, які виходять із сільськогосподарського використання, збільшення площі лісів та підвищення їх продуктивності [12].

**Особливості заліснення земель, непридатних для сільськогосподарського використання.** В Україні в 50–70 рр. минулого століття на низькопродуктивних землях сільськогосподарських угідь було створено близько 1 млн. га лісових насаджень. У наступні десятиліття темпи заліснення таких земель суттєво знизилися, досягнувши мінімуму у 90-х роках. У першому десятилітті ХІХ ст., у зв'язку із планами зменшення розорювання території, об'єми заліснення таких земель знову стали зростати. Для Західного Полісся де переважають бідні піщані землі, малоприсадибні для вирощування сільськогосподарських культур, проблема їх заліснення на основі досвіду створення таких насаджень у минулому набуває особливого значення [14].

За даними ФАО (за період з 2000 по 2005 рік), Україна займає почесне місце у списку країн, які приділяють увагу лісорозведенню [40]. За останні 15 років щорічно площа її лісів збільшувалась на 20 тис. га, в зв'язку з чим лісистість України за роки незалежності збільшилась із 16,0 % до 16,6 % [35].

Маурер В.М. та ін. [31] ділянки, що вийшли з-під тимчасового і тривалого сільськогосподарського використання, пустирі, поляни, сінокоси низької якості, перелоги, піщані землі, яружно-балкові системи, які придатні для заліснення без

додаткових підготовчих робіт, відносить до лісових ділянок «з опосередкованим лісівничим потенціалом або без нього». Пріоритетною метою заліснення таких площ, з точки зору екоадаптаційного відтворення лісів, є відтворення на заліснюваних ділянках ознак і властивостей лісового біогеоценозу у короткі терміни, шляхом створення різних видів (масивних, смугових, традиційних і плантаційних лісових культур певного призначення) та формування необхідних умов і можливостей для відновлення на них в майбутньому насаджень аналогічних за складом, формою і структурою до корінних деревостанів (крім зони з незадовільним природним поновленням). На цих ділянках варто створювати суцільні лісові культури з переважанням у їх складі дерев порід-піонерів, або таких, що передують корінним насадженням у процесі їх природних лісозмін. Створення лісових культур на не лісових ділянках починають з робіт, спрямованих на послаблення впливу характерних для них і несприятливих для зростання та розвитку лісової рослинності факторів і чинників (знищення бур'янів, задерніння з метою регулювання складу живого надґрунтового покриву і зменшення питомої частки не лісових трав, розпушення ущільненої ґрунтової «підшви») та відтворення на них ознак лісових ценозів (усунення лімітуючих ґрунтових чинників, зумовлених особливостями використання в минулому, ураження ґрунту специфічними мікотрофними грибами, введення порід-піонерів тощо).

Обов'язковою умовою сільськогосподарського виробництва є раціональне використання земель. Тому штучні насадження створюють у ярах, балках, вздовж водойм та на інших не придатних для сільськогосподарського використання землях. Яри і балки заліснюють з метою попередження ерозійних процесів. При цьому насадження займають приярову і прибалкові смуги завширшки 20–50 м, схили ярів і балок та їх дно.

При залісненні ярів і балок не варто закладати чисті насадження, особливо таких деревних видів, як ялина, ялиця, сосна, що утворюють щільну підстилку. Якщо створювати протиерозійні насадження з головних шпилькових деревних видів, то супутні деревні види повинні бути листяними. На вершині діючих ярів

з метою попередження руйнівних процесів необхідно створювати лісові насадження акації білої у рівних пропорціях з чагарниками, або чисті насадження акації як попередника. Чисті акацієві насадження не довговічні й часто у віці 20–25 років суховершиняють і відмирають. У посушливих степових районах країни у віці 15–20 років вони можуть утворювати щільну лісову підстилку, яка має низьку водопроникність і легко змивається зі схилів зливами [21].

У ярах, де ерозійні процеси уже припинилися, треба створювати складні за формою (з другим ярусом із тіньовитривалих деревних видів і третім – із чагарників) і змішані за складом насадження. До їх складу доцільно вводити деревні види, які вирізняються довговічністю, сприятливо впливають на фізико-хімічні властивості ґрунту, утворюють м'який органічний опад і утворюють коріння на різній глибині. За правильного підбору деревних видів у змішаних насадженнях зменшується глибина промерзання ґрунту, подовжується термін танення снігу, талі і дощові води легко переходять у ґрунті, посилюється механічне закріплення ґрунту від розмивання та обвалів.

Залежно від ґрунтово-кліматичної зони і лісорослинних умов для закладання протиерозійних насаджень можна використовувати дуб звичайний, сосну звичайну і кримську, акацію білу, берест, березу повислу, липу серцелисту, клени гостролистий та татарський, яблуню лісову, грушу звичайну, терен, бузину чорну, ліщину звичайну і ведмежу, вишні магалебську та степову, маслинку сріблясту, скумпію звичайну, смородину золотисту, обліпиху звичайну, бузок звичайний, жимолость татарську. На дні ярів і балок можна висаджувати тополі чорну і сіру, верби різних форм і культиварів, вільху сіру [20].

Під час створення лісових культур на прибалковій і прияровій смугах перший ряд від ярів і балок розташовують на відстані очікуваного відвалу відкосів, але не ближче 3–5 м від брівки. По багатoverшинних ярах смуги розташовують навколо кожного відвершка, якщо відстань між ними понад 100 м. За меншої відстані між відвершками створюють одну загальну смугу вище вершин відвершків, а площу між ними відводять під суцільне заліснення. Перші

кілька рядів від ярів і балок закладають із посухостійких кореневопаросткових деревних видів, оскільки в цих місцях у ґрунті міститься найменша кількість вологи і можливі обвали.

До системи створення штучних захисних насаджень по ярах і балках входить заліснення водовідвідних лощин, тальвегів, дна ярів і конусів виносів. Метою заліснення водовідвідних лощин є зменшення швидкості води, що підходить до яру, і посилення кольматажу. Насадження захищають тавельги від розмивання і перешкоджають розростанню ярів у довжину. В наслідок кольматажу вода значно очищається від твердих часток і не замулює русло річок. Залісненню підлягають усі тавельги, що знаходяться поблизу яру. Лісові культури створюють вздовж водотоку по схилах і дещо вище брівки балки. Щоб кольматажні властивості захисних насаджень проявили себе сильніше, вздовж русла водотоку закладають густі насадження із чагарникових верб. У більш посушливих районах замість чагарникових верб можна висаджувати терен, скумпію, смородину золотисту тощо. Ряди розміщують перпендикулярно до осі тальвегу. Садивні місця розміщують у низовому рядку на відстані  $1,0 \times 0,25(0,5)$  м. довжина кольматажної смуги по дну тальвегів залежить від кількості талих і дощових вод, але вона повинна бути не коротшою 50 м [21].

Щоб не викликати ерозійних процесів, захисні лісові культури по дну лощини створюють без обробітку ґрунту. Заліснення дна ярів зупиняє їх поглиблення і сприяє кольматажу, воно може бути суцільним і частковим. Русло яру заліснюють тільки тоді, коли вода тече у ньому з великою швидкістю. При значному ухилі русла висаджені рослини вимиваються проточною водою [20].

Конус виносу заліснюють у тому випадку, коли закінчилося його зростання. Лісові смуги навколо ставків створюють вище рівня підняття води, а за крутих берегів – вище бровки. Спосіб обробітку ґрунту, вибір схем змішування та розміщення садивних місць і склад культур майже такі ж, як і при залісненні балок. На греблях по мокрому схилу закладають 1–2 рядні смуги з деревних видів, або багаторядні смуги із чагарникових верб. На вершині греблі і по сухому схилу насадження не створюють [34].

В лісокультурному фонді Полісся України велику питому вагу займають староорні землі. Особливістю дерново-підзолистих, глинисто-піщаних і супіщаних ґрунтів є мала потужність гумусового горизонту, а поживні речовини концентруються у верхніх шарах. Систематична оранка таких земель призводить до швидкого виносу органічних речовин в нижні горизонти, недоступні для рослин. Збідненню ґрунтів сприяє щорічне збирання врожаю [22].

В.В. Стопкань [37] встановив, що порівняно з цілиними староорні землі знижують інтенсивність розвитку мікроорганізмів і нітрифікаційну здатність, значно погіршуються також фізичні властивості ґрунту.

На староорних ґрунтах сосна звичайна розвиває коріння у верхніх шарах ґрунту. Після того, як коренева система встигає охопити верхні, найбільш широкі шари ґрунту, коріння її починає заглиблюватись. Проте, в глибину розповсюджуються вони надмірно повільно внаслідок слабого обміну повітря у нижніх горизонтах, що супроводжується не тільки зниженням росту надземної частини, але й послабленням дерев. Ослаблені дерева пошкоджує підкоровий клоп, уражає коренева губка. Внаслідок негативного впливу шкідників і збудників хвороб дерева відмирають. В культурах утворюються прогаліни. Зріджені соснові молодняки заселяють личинки хрущів. Сильне пошкодження кореневої системи личинками хруща, інтенсивне розмноження підкорового клопа і кореневої губки приводить до відмирання культур, яке може наступити в 12–15 років [22].

Різний характер господарського впливу на ґрунти залежно від категорії угідь (орні землі, пасовища, сінокоси та ін.) є одним із найважливіших чинників, що визначають стан створених на них насаджень. У зв'язку з тим, що домінуючими лісорослинними умовами у Поліссі на землях, що були у сільськогосподарському користуванні є свіжі субори, майже всі, за деякими виключеннями, штучно створені лісові насадження – соснові, як чисті за складом, так і з різною участю в основному, берези та подекуди інших деревних видів. Практика лісорозведення на землях, що не були зайняті лісом, свідчать про низьку стійкість цих насаджень до різних патологічних чинників. У соснових

культурах – це масове поширення коренових гнилей [14]. Осередки цієї хвороби зустрічаються в усіх трофотобах, проте, найбільше у свіжих трофотобах борів, суборів і судібров [13].

На думку В.В. Стопканя [37], підвищити біологічну стійкість сосни в культурах на таких землях можна внесенням добрив і боротьбою з шкідниками. Проте, варто мати на увазі, що добрива в основному підвищують хімічну родючість верхніх горизонтів ґрунту, що супроводжується тільки тимчасовим покращенням стану та інтенсивності росту сосни, оскільки її коренева система, як і раніше, залишається поверхневою. Тому, після використання внесених поживних речовин в культурах знову настає криза і стан саджанців погіршується.

Для підвищення біологічної стійкості і покращення інтенсивності росту сосни звичайної в культурах на староорних землях, крім внесення добрив, боротьби з шкідниками і збудниками хвороб, необхідно проводити заходи, які сприяють розвитку у дерев сосни глибинної кореневої системи, зокрема, розпушувати ґрунт рихлювачем Н-60 на глибину 60 см і більше. Це значно зменшить механічний опір для коріння. За таких агротехнічних заходів до кінця двох-трьох років після садіння сіянців на постійне місце коренева система саджанців сосни звичайної значно зміцнюється, покращується її стан. Доцільним при створенні лісових культур є висаджування 10–15 тис. шт. сіянців на гектар; застосування багаторічного люпину; створення мішаних насаджень [22].

На бідних і сухих ґрунтах Полісся, де кількість листяних деревних видів, які можуть успішно рости в цих умовах, дуже обмежена, в склад культур сосни звичайної варто вводити сосну Банкса; на більш родючих ґрунтах – березу повислу, дуб звичайний, клен татарський, грушу дику, ліщину звичайну, бузину червону, калину (калина стійка проти кореневої губки) та інші деревні рослини. Д.Д. Лавриненко на староорних ґрунтах в культури сосни пропонує висаджувати тополі бальзамічну і лавролисту [27], а В.В. Стопкань [37] – березу повислу і зіновать.

На землях сільськогосподарських підприємств залісненню підлягають також піски що не мають прошарків супіску, суглинку і глини, які не можна використати для вирощування сільськогосподарських культур [20].

За довготривалістю і ефективністю дії безполицеве глибоке розпушування ґрунту переважає всі заходи. На вилугуваних пісках, бідних на поживні речовини, зокрема в зоні Полісся, глибоке розпушування поєднують із внесенням місцевих органічних добрив – компостованого торфу в дозі 30–60 тон на 1 га. Після основного обробітку ґрунту і розпушування його в рядах майбутнього садіння на 60–80 см плугом ПКЛ-70 проводять борозни глибиною 20–25 см і за допомогою гноєрозкидача вносять компостований торф і заорюють його в ґрунт дисковими знаряддями поставленими в звал. За такою агротехнікою у ДП «Сарненське ЛГ» Рівненської області, в особливо бідних борових умовах лише, в 70-х роках вирощено 1700 га повноцінних сосняків [12].

Для переважної більшості лісорослинних умов на пісках усіх природних зон України головним деревним видом є сосна звичайна, а на пісках Степу – сосна звичайна й кримська, для мокрих судібров усіх зон – береза пухнаста, вільха чорна та верба біла; свіжих та вологих судібров – тополя чорна; в Степу в сухих та свіжих судібровах – акація біла. Введення до сосни інших деревних видів поліпшує умови розкладу лісової підстилки, збагачує ґрунт поживними речовинами, створює сприятливі умови для оселення в лісі корисних птахів [34]. В умовах Західного Полісся України методи створення насаджень на пісках практично не відрізняються від загальноприйнятих у лісовому фонді: первинний обробіток ґрунту – смугами, рідше суцільний; склад культур – чисті соснові або мішані з березою; схема садіння –  $2-2,5 \times 0,5-0,7$ ; тип змішування – рядовий; садіння – ручне під меч Колесова, зрідка механізоване; садивний матеріал – вирощений у тимчасових або постійних лісових розсадниках [14].

Гордієнко М.І. [20] зазначає, що суцільне розпушення пісків іноді викликає ерозійні процеси. Саджанці сосни звичайної чутливі до дефляції, а тому погано ростуть і розвиваються за оголеного коріння, засипанні надземною частиною піску і механічно пошкоджені. З метою попередження загибелі лісових культур



на пісках, які зазнають вітрової ерозії застосовують розроблений науковцями УкрНДІЛГА спосіб часткової обробітки ґрунту з розпушуванням його на глибину 60–80 см. Садіння проводять на другий рік після обробітки ґрунту [21]. Пилипенко О.І. [34] зазначає, що на Поліссі та Північному Лісостепу особливо під захистом стін лісу, де немає загроз виникнення дефляції, доцільно застосовувати суцільну оранку ґрунту під лісові культури. У свіжих та більш вологих суборах і судібровах ґрунти підготовлюються так само як і в сільському господарстві на супісках та суглинках. В Південному Лісостепу під захистом стін лісу плантажна оранка створює оптимальні умови для росту коріння сосни і значно полегшує боротьбу з трав'яною рослинністю, особливо в перший рік після садіння [34]. При цьому закладають змішані лісові культури з деревних видів і чагарників. Первинна участь деревних видів повинна становити не менше 50 %. Супутні деревні види і чагарники доцільно добирати відповідно до лісорослинних зон і якостей пісків [20].

Як садивний матеріал використовують 1–2 річні сіянці, які висаджують на 4–6 см нижче кореневої шийки. За суцільної підготовки ґрунту ряди насаджень розміщують через 1,5–2,0 м, за часткової – через 2,5–3,0 м. Сіянці в рядах розташовують через 0,5–0,7 м [21]. Пилипенко О.І. [34] вважає що доцільними є міжряддя 1,5 м, які дозволяють вести лінійні рубки догляду молодняків до 10-річного віку і широко використовувати молоді деревця сосни як новорічні ялинки, для виготовлення хвойно-вітамінного борошна [34]. Догляд за культурами за суцільного обробітки ґрунту проводять протягом 3–4 років, за часткової – смугами (у перші два роки вручну тричі протягом вегетаційного періоду на смузі завширшки 0,5–0,7 м). Механізований 3–4 разовий догляд починають з другого року сідланням рядів дисковими культиваторами з розширенням розпушеної смуги. На третій рік два перші механізовані догляди виконують сідланням тим же культиватором і один – у міжряддях бороною БДН-2,0. У наступні 1–2 роки роблять 1–2 догляди у міжряддях [20].

На горбистих пісках, де суцільну підготовку ґрунту не проводять, під культури створюють площадки розміром 1 м<sup>2</sup> у понижених місцях. На

площадках ґрунт розпушують на глибину 50–60 см. На 1 га створюють 800–1200 площадок. На кожній площадці висаджують по 3–5 сіянців, догляд проводять вручну протягом 3–5 років [19].

Під час лісорозведення на ділянках, де з лісівничої точки зору недоцільно вводити деревні види корінних насаджень, варто висаджувати породи-піонери, або такі, що є попередниками корінних в природних лісозмінах і, які забезпечують формування на не лісових площах сприятливих умов для наступного заліснення їх за схемами, рекомендованими для лісових земель [31].

**Вплив трав'яних рослин на ґрунт.** Ліс не може існувати без ґрунту. Поряд із кліматом ґрунт є найважливішим екологічним фактором, що визначає існування лісу. У межах одного регіону, який має однаковий клімат, ґрунт визначає видовий склад та продуктивність лісів. Як один із найважливіших компонентів лісу, ґрунт знаходиться у постійній взаємодії з лісовими рослинами, тваринним світом, мікроорганізмами, що й обумовлює особливості лісового ґрунту [25]. Ґрунт є одним із провідних екологічних факторів у житті лісу. Він визначає лісові властивості лісових насаджень. Ліс у свою чергу впливає на властивості ґрунту [25].

Г.Ф Морозов [33] вказує на важливість знищення трав'яної рослинності в перший рік життя лісових культур, оскільки останні повинні укріпитись, а для цього вони повинні скористатися тими ж шарами ґрунту, що і трав'яні рослини [25]. Перший догляд на весні потрібно проводити, коли ґрунт починає зеленіти, трава, особливо це важливо у боротьбі з пирієм та рослинами, що розмножуються за допомогою кореневищ.

За даними М.І. Гордієнка [20] злаки формують у незімкнених культурах сосну досить товсту сітку тонких коренів, які пронизують значно більший об'єм ґрунту ніж коріння сосни [25]. За даними Б.І. Якушева [39], трав'яні рослини, які ростуть в соснових культурах, мають потужню, ніж сосна, площу кореневих систем. Відношення поглинальної поверхні коренів до ваги надземної маси саджанців сосни дорівнює  $0,15 \text{ м}^2/\text{г}$ , а куничника –  $6,44 \text{ м}^2/\text{г}$ .

А.І. Ахромейко [10] вказує, що транспірація трав (головним чином куничника) у 4–5 разів перевищує транспірацію сосни. Визначаючи випаровування води поверхнею ґрунту (голого) і ґрунту, покритого трав'яною рослинністю, вчений встановив, що випаровування в останньому випадку в 3–5 разів більше, ніж у першому. Транспіраційні витрати трав (головним чином суничника) лише майже на 17 % менші транспіраційних витрат здорового 32-річного соснового насадження. За його даними надземні і підземні органи рослин досягають у Бузулуцькому бору значних розмірів, що призводить до виснаження ґрунту не лише щодо вологи, а й поживних речовин. Цим пояснюються випадки, коли зарослі травами соснові культури, або поодинокі сосни мають пригнічений стан, уповільнений навіть на родючих ґрунтах й за достатнього забезпечення їх вологою.

На ґрунтах, вкритих трав'яною рослинністю, випаровування йде інтенсивніше ніж на голих, оскільки одночасно з випаровуванням значна кількість вологи витрачається рослинами на транспірацію. В той же час при випаровуванні з ґрунту, покритого трав'яною рослинністю, спостерігаються протилежні процеси: рослинний покрив, з одного боку, затримує опади, внаслідок чого зменшується потрапляння вологи в ґрунт, з іншого – він затримує поверхневий стік, внаслідок чого виникає найбільша фільтрація вологи у нижні шари ґрунту, що створює його підвищене зволоження і відповідно випаровування. Витрати вологи на сумарне випаровування знаходиться у тісній залежності від росту і розвитку рослин протягом вегетаційного періоду. На площах, де було проведено скошування, сумарне випаровування після скошування різко знижується і по мірі появи свіжої трави підвищується знову. Найбільше випаровує куничник – 283 мм, полин – 258 мм, голий пісок – 200 мм (фізичне випаровування) [32]. Велике випаровування вологи оголеним ґрунтом відмічав В.Є. Лебедев [29]. Сильне випаровування оголеним ґрунтом порівняно із ґрунтом, покритим трав'яною рослинністю, В.Е. Казаков [22] пояснює їх різним температурним режимом ґрунтів.

Сосновий ліс на піщаних ґрунтах висушує їх не більше, ніж сільськогосподарські культури, або лучна рослинність, а за певних умов навіть менше, ніж злакова рослинність. Інколи вплив трав'яної рослинності на ґрунт може бути сильнішим, ніж чистого соснового деревостану. При сильному нагріванні поверхні ґрунту впродовж дня влітку пружність водяних парів у верхньому горизонті буває значно вищою, ніж у повітрі. Тому конденсація водяних парів у ґрунті не відбувається [32]. Вночі, за зворотного співвідношення, за даними В.Є. Лебедева, досить часто відбувається збагачення ґрунту водою від парів атмосфери [25]. За наявності трав'яної рослинності з'являється на ній конденсація опадів (роса). Часті і різкі зміни температури приґрунтового шару повітря і ґрунту, а також пружності водяних парів приводять до збагачення вологою верхніх горизонтів ґрунту [29]. На площах, покритих трав'яною рослинністю, вологість ґрунту змінюється різкіше, ніж вільних [16].

Дослідження П.Г. Кального [24] показали, що відносні величини коефіцієнтів виносу поживних речовин з ґрунту і ефективність використання основних елементів живлення деревними рослинами змінюється залежно від ґрунтових умов і біологічних властивостей деревних видів [24]. З'ясовано, що між коефіцієнтами виносу і вмістом елементів живлення існує зворотна залежність: чим більше в ґрунті азоту, фосфору і калію в доступній формі, тим менша величина коефіцієнтів виносу. Інше явище спостерігається щодо взаємозв'язку між вмістом елементів живлення в ґрунті та ефективністю використання їх: там, де в ґрунті міститься більше елементів живлення маємо і більшу ефективність їх використання. Для трав'яних рослин багатьма дослідниками встановлено, що поряд з поглиненням із ґрунту елементів живлення має місце десорбція коренями деякими елементів назад у ґрунт. Цей процес відбувається переважно в кінці вегетації.

Г.М. Висоцький [17] відмічає, що рихлий пористий і не дуже міцний мертвий покрив добре захищає ґрунт від сонячного світла і ущільнюючої дії водяних капель і, крім того, зашкоджує прямому випаровуванню вологи [25]. Він же вказує, що поверхня ґрунту більше висушується там, де вона найбільш

відкрита, в той час, як, власне, ґрунт найбільше висушується під заростями трав'яних рослин і найменше – під молодими насадженнями, в яких проводять обробіток ґрунту.

Затіняючи поверхню, трав'яна рослинність певною мірою знижує температуру ґрунту, що, в свою чергу, призводить до сповільнення життєдіяльності мікроорганізмів, розкладу органічних речовин до мінеральних сполук, перешкоджає засвоєнню елементів мінерального живлення саджанцями сосни [22].

**Вплив трав'яної рослинності на культури сосни звичайної.** Для лісорозведення особливий інтерес має вивчення впливу трав'яної рослинності на ріст і розвиток молодих насаджень. Взаємовідношення деревних видів і трав'яних рослин особливо яскраво виявляються у перші періоди життя насадження, коли крони дерев недостатньо зімкнуті, щоб затінювати ґрунт. В умовах інтенсивного розвитку трав'яних рослин між ними та сосною йде жорстка конкуренція за поживні речовини та вологу [22]. З цього погляду цікаві результати отримав В.Н. Сукачов [19], що мочки злаків примушують кореневу систему молодих дубків розвиватись у біднішому підзолистому горизонті [25]. Алелопатичними дослідженнями встановлено, що негативний вплив трав'яної рослинності проявляється не лише в конкуренції за поживні речовини і вологу, а й у тому, що кореневі виділення трав'яних рослин, зокрема пирію, негативно впливають на ріст молодих дубків [15].

Вплив трав'яної рослинності на ріст і розвиток саджанців сосни до 5-річного віку відбувається основним чином через кореневу систему. В дерново-підзолистих ґрунтах дуже мало азоту, а тому деревні рослини часто відчувають його нестачу, що підтверджують дослідження П.М. Ремезова [36]. Вітчизняні та зарубіжні дослідники довели, що трав'яні рослини посилюють нестачу азоту в ґрунті, перехоплюючи його у деревних видів [36]. Більш того, трав'яні рослини створюють в ґрунті умови для втрати азоту, оскільки їх кореневі системи потребують більшої кількості кисню і відтак сприяють процесам денітрифікації [22]. Так у одно- та дворічних лісових культурах сосни формуються своєрідні не

стійкі, динамічні угруповання, які характеризуються низькою видовою подібністю практично з усіма іншими віковими категоріями лісових культур [14].

У шпильках чотирічних культур міститься в середньому 14,7 кг/га азоту. Взагалі, в цьому віці в надземній частині сосни міститься 19 кг азоту, в коренях – 2,3 кг/га, тоді як в трав'яній рослинності міститься відповідно 31,2 кг/га і 24,3 кг/га. Фосфору виноситься сосною в середньому 7,9 кг, трав'яною рослинністю – 19,4 кг/га; калію: сосною – 12,4 кг/га, травами – 53,5 кг/га [22]. Б.І. Якушев [39] відмічає, що в ході росту культур сосни за поступового витіснення трав'яної рослинності баланс поживних речовин складається на користь деревних видів [39]. Уже в 15-річному віці з різнотравно-злаковим покривом сосна виносить з ґрунту 105 кг/га азоту, а трав'яна рослинність – 81 кг/га. Найбільшу кількість радіоактивного фосфору поглинає кунічник наземний, що в 1,8 разі більше порівняно з сосною.

У всіх типах лісу спостерігається збільшення кількості поживних речовин із збільшенням кількості доглядів за ґрунтом як у рядах, так і у міжряддях. Ці зміни добре помітні у верхньому 10-ти см шарі ґрунту. Із збільшенням глибини різниця зовсім не помітна, або навіть її немає. Явище збільшення кількості поживних речовин у верхньому шарі ґрунту пояснюється, з одного боку, знищенням трав'яної рослинності, яка значно більша за сосну поглинає поживних речовин, з іншого боку – поверненням поживних речовин через розклад стебел і листків, зароблених в ґрунт після догляду [22].

Коренева система трав'яних рослин має велику поглинальну площу. На 1 г надземної маси рослини припадає від 1 до 7 м<sup>2</sup>. В перші 10 років трав'яні рослини погіршують мінеральне та водне живлення деревних видів, пригнічують їх шкідливими корневими виділеннями, знижують приріст дерев [39]. Пригнічення сосни трав'яною рослинністю знижує освітленість останньої, зменшує транспірацію, обмежує фотосинтез, що є причиною поганого накопичення органічної маси саджанцями [22]. Разом з тим, трав'яні рослини з року в рік підвищують потенційну родючість ґрунту за рахунок накопичення

гумусу та переводу низки незасвоєваних елементів у засвоєвані, які в подальшому реалізуються після змикання крон дерев, тому інтенсивність росту насаджень в цей період (15–20 років) значно посилюється. Трав'яні рослини в молодих культурах сосни розвивають у 10–15 разів більшу поглинальну поверхню кореневих систем, ніж сосна [39].

Шкода, яку спричиняють трав'яні рослини саджанцям сосни, може бути безпосередньою або побічною. В останньому випадку вона полягає у виснаженні ґрунту внаслідок поглинання поживних речовин і у висушуванні через витрати вологи на транспірацію. Ґрунт, особливо під злаками, ущільнюється, а тому витрати на випаровування збільшуються: у випадку більш, або менш значного просихання ґрунту інтенсивність життєдіяльності мікроорганізмів в ньому знижується, а разом з цим припиняється і багато хімічних процесів розкладу лісової підстилки, перехід різних солей у легко засвоєвані рослинами з'єднання, також зникають дощові черви, які відіграють значну роль у переробці ґрунту і механічному перемішуванні останнього. Безпосередньо трав'яна рослинність виявляє пригнічуючий вплив на появу сходів та їх розвиток, а також на молоді насадження, створюючи механічні перешкоди для їх розвитку. Заглушення сіянців і саджанців відбувається внаслідок нестачі потрібного їм простору як для розвитку коренів, так і надземної частини, від нестачі світла, вологи, елементів мінерального живлення. Крім того, зимою сухі стебла під тиском снігу навалюються на ще не зміцнілі рослини і ламають їх. Густа трав'яна рослинність не рідко стає прихистком для мишей, які створюють в ній гнізда. Суха трава, що перезимувала, являє собою легкозаймистий матеріал, тому у пожежному відношенні вона виступає дуже небезпечною для лісового господарства, особливо весною [22].

За класифікацією німецького професора Гесса живі лісові горючі матеріали діляться на дві групи: 1) трави і трав'янисті рослини; 2) хвоя, листя і гілки діаметром менше 6 мм. Згідно даних обстеження горільників, діаметр 6 мм – це верхня межа діаметру живих деревних матеріалів, які повністю згорають при лісовій пожежі [38].

Трав'яні рослини є не лише прямими конкурентами дерев за вологу, вони своїми підземними і надземними органами перешкоджають дифузії газів, газообміну між атмосферним і ґрунтовим повітрям, а головне – трави виділяють у ґрунтове повітря велику кількість вуглекислого газу в наслідок чого інтенсивність дихання корневих систем деревних рослин у найбільш відповідні періоди росту різко знижується. Це негативно позначається на поглиненні вологи деревними видами із ґрунту та на їхньому водяному режимі, навіть за достатнього вмісту вологи [22].

Отже, на основі розглянутого матеріалу можна дійти до висновку, що трав'яний покрив виносить із ґрунту значну кількість елементів живлення і цим знижує ріст культур сосни. Енергія поглинання фосфатів сосною у сотні раз менша ніж трав'яними рослинами. Протягом життя трав'яний покрив негативно впливає на водне живлення культур сосни; всмоктуюча сила коренів сосни під впливом трав'яного покриву збільшується в 2–3 рази.

**Рекомендовані для лісорозведення типи лісових культур та їх оцінка з позицій екологічно орієнтованого лісівництва.** «Настанови з лісовідновлення та лісорозведення» [18] при лісорозведенні рекомендують створювати у Західному Поліссі такі лісові культури:

1) на напівзадернілих пустирях з рівнинним і горбистим рельєфом в умовах  $A_1 - 4pCз1pCб$ , або  $1pCз$  із схемою розміщення  $1,5 \times 0,75$  і  $2,5 \times 0,5$  м;

2) галявини і зруби рідколісь вкритих вересом ( $A_{2-3}$ ) –  $4pCз1pБп$ ,  $7pCз3pБп$ , або  $1pCз$  із схемою розміщення  $1,5 \times 0,75$  і  $2,5 \times 0,5$  м;

3) староорні землі, галявини, пустища ( $A_{2-3}$ ) –  $4pCз1pБп$ ,  $7pCз3pБп$ , або  $1pCз$  із схемою розміщення  $1,5 \times 0,75$  і  $2,5 \times 0,5$  м;

4) осушені болота ( $A_{3-5}$ ) –  $4pCз1pБп$ ,  $9pCз1pБп$ ,  $1pCз$  із схемою садіння  $3 \times 0,5$  м;

5) староорні землі, задернілі пустирі і галявини з рівним і хвилястим рельєфом ( $B_1$ ) –  $1pC$  із схемою садіння  $2,5 \times 0,5$  м.

6) висушені болота ( $B_{4-5}$ ) –  $4pCз1pБп$ ;  $4pCз1pВлч$ ;  $1pCз$  із схемою садіння у  $B_4 - 2,5 \times 0,5$  м, а у  $B_5 - 4 \times 0,5$  м;



7) осушені болота (С<sub>4-5</sub>) – 4рС31рБп; 4рС31рВлч; 1рСз; 1рЯв; 1рВлч із схемою розміщення в С<sub>4</sub> – 2,5×0,5 м, у С<sub>5</sub> – 3,0×0,75 м. А у блюдцеподібних замкнених понижень – 3,0×0,5 м [18].

Дані рекомендації зі створення лісових культур у наведених умовах не відповідають належним чином позиціям екоадаптаційного відтворення лісів. Запропоновані схеми змішування необхідно доповнити розширеним асортиментом деревних і чагарникових деревних видів із включенням по можливості усіх компонентів лісу.

**Висновки.** Заселення земель, які не використовуються, відбувається головними та супутніми деревними видами, але не завжди рівномірно і в достатній кількості, із-за дії несприятливих чинників. В таких випадках варто орієнтуватися на природне поновлення деревних видів на покинутих землях, що межують з лісом. У Західному Поліссі в основному це відбувається із північної та західної стін лісу, тому що саме тут створюються умови сприятливі для їх росту.

Чисті за складом культури, що створені на землях, які не були під лісом менш стійкі і частіше пошкоджуються шкідниками та хворобами, а ніж мішані деревостани.

Більш переважаючим і економічно вигідним, та не завжди із лісівничої точки зору правильним обробітком ґрунту, є нарізання борозен ПКЛ-70 та ручне садіння під меч Колесова.

Запроваджувати диференційований підхід до створення насаджень сосни звичайної на ділянках, які не були під лісом, з метою створення біологічно стійких, високопродуктивних насаджень. Тобто при лісорозведенні варто вводити увесь асортимент деревних і кущових видів, що відповідають даним типам лісорослинних умов.

Залучати по можливості природний потенціал самотійного заселення деревних видів на землях з опосередкованим лісівничим потенціалом, з метою пришвидшення темпів збільшення лісистості до рівня оптимального та заощадження державних коштів.

Державним органам влади спростити схему передачі земель, що не використовуються за призначенням і пустують (перелоги), на яких уже поселилися самостійно деревні види, або ж можуть поселитися після комплексу заходів по сприянню цьому і земель під лісорозведення.

З метою сприяння розвитку лісової рослинності на не лісових ділянках рекомендовано внесення в ґрунт лісової підстилки з-під пологу стиглих насаджень, яка сприяє збільшенню в ньому кількості властивих лісовим екосистемам безхребетних тварин і мікроорганізмів.

Широко використовувати інші способи обробітку ґрунту, які більш ефективніше сприятимуть на ріст і розвиток молодих рослин. Наприклад, створювати мікропідвищення на перезволожених ділянках, що дасть змогу збалансувати фізіологічні процеси створюваних лісових культур.

Запровадити створення насаджень сучасним посадковим матеріалом, зокрема із закритою кореневою системою типу «Брика», що дозволить здійснювати садіння увесь вегетаційний період.

**SECTION 3. ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.3.1

**3.1 Загальна методика дослідження «світлової складової» архітектурних міських систем**

Науково-теоретичною базою для проведення даного дослідження є положення таких наукових дисциплін як світлотехніка, філософія, теорія інформації, естетика. Враховуючи *міждисциплінарний* характер досліджуваної проблеми, генеральною стратегією роботи був обраний системний і комплексний підходи.

Серед важливих наукових розробок, які стали підґрунтям для визначення методики даного дослідження, слід виділити монографії М.М. Гусєва, В.Г. Макаревича, М.В. Оболенського, А.Н. Рімши, В.М. Фірсанова (Росія), Г.І. Лаврика (Україна), Йозефа Грашки (Словакія), Йозефа Косо (Венгрія), Яхья Вазірі (Єгипет). Так, Йозеф Косо на основі ретельного вивчення європейського досвіду малоповерхового житлового будівництва, реалізованого в період на межі двох тисячоліть, проаналізував об'єкти біоархітектури, так званих «сонячних будинків».

Перш ніж приступити до проведення даного дослідження, необхідно зупинитися на головному питанні – виборі загальної методології дослідження. Це викликало необхідність звернутися до базових джерел у галузі теорії архітектури і робіт, присвячених методологічним проблемам дослідження архітектурних систем, серед яких виділяється докторська дисертація професора Г.І. Лаврика (1980 р.). Його наукова концепція пройшла апробацію в публікаціях і реальних розробках (наприклад, у Казахстані, в генеральному плані м. Києва), була також високо оцінена Держпланом, підтверджена ВАКом.

З позицій екологічного підходу наш об'єкт (архітектурне світлове середовище) є не технічною системою, яка регулюється на основі техніко-економічних критеріїв, а системою взаємодії людини (населення) і оточуючого її матеріального середовища, що забезпечує необхідні умови життєдіяльності

людини, і спрямована на задоволення його соціальних і біологічних потреб, – демоекосистемою. Принципова структура демоекосистеми (рис. 2.1.1.) складається з компонентів: Н – населення, Е – природне (натурне) середовище, І – штучне (архітектурне) середовище. Населення впливає на природу і перетворює її тільки за допомогою архітектури, тобто «другої природи». Величезний вплив факторів штучного середовища на природу і населення, на його біологічні та соціальні процеси, відзначається багатьма вченими світу. Архітектори всіх часів визнавали важливу роль штучного середовища в життєдіяльності людського суспільства як «оболонки» для різних процесів, тобто оцінювали середовище тільки з позицій техніко-економічних критеріїв, що є помилковим. У взаємодії з середовищем саме населення визначає поведінку демоекосистеми, а, значить, провідними мають бути «людські», а не технічні критерії оптимальності. При дослідженні архітектурні системи можуть бути розчленовані на компоненти за двома основними ознаками – функціональній і просторовій. Демоекологічний підхід вимагає розчленування об'єкта на якісно різні функціональні елементи. Елементи демоекосистеми повинні відображати необхідні з функціональної точки зору (системоутворюючі) види діяльності, які характеризують її як цілісну систему, що самоорганізується.

Г.І. Лавриком розроблена принципова схема впливу зовнішніх факторів і взаємозв'язку внутрішніх факторів і елементів (підсистем) архітектурних об'єктів. У цій схемі:  $\Phi_E$  – група факторів «ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ» (кліматичні, топогеологічні, ресурсні);  $\Phi_N$  – група факторів «Населення» (демографічні, соціальні, економічні параметри життєдіяльності населення);  $\Phi_I$  – група факторів «ШТУЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ» (сфери виробництва, споживання, науково-технічна сфера). Внутрішні фактори ( $\Phi_{дн}$ ,  $\Phi_{ді}$ ,  $\Phi_{де}$ ) визначають функціонування демоекосистеми в рамках обмежень, обумовлених зовнішніми факторами. Фактор (сонце), що досліджується нами, знаходиться у  $\Phi_E$ . Сонце ( $\Phi_E$ ), як зовнішній фактор впливає на природну складову ( $D_E$ ) демоекосистеми. ( $D_E$ ) звертається до ( $D_M$ ), а ( $D_M$ ) – це методологія. Таким чином, сонце ( $\Phi_E$ ) обробляє фактор з точки зору демоекосистеми ( $D_E$ ) методологією ( $D_M$ ).

Методологія говорить, що ланкою – мотиватором системи є населення. Безумовно, сонце нагріває поверхні матеріалів і може їх навіть зруйнувати, від сонця відбувається вигорання кольору різних матеріалів. Але головний вплив сонце робить на людину. Найголовнішим у діяльності архітектора є проектування комфортного середовища для людей. Тому ми повинні проаналізувати сонячне світло ( $\Phi_E$ ) у контексті компонентів: ( $\Phi_H$ ) і ( $\Phi_I$ ). У моїй роботі ( $D_M$ ) аналізує ( $\Phi_{DE}$ ), який є внутрішнім фактором як реакція системи на «директивні» впливи зовнішніх факторів. Далі (відповідно до схеми Г.І. Лаврика) біла стрілка (зворотний зв'язок) від ( $\Phi_{DE}$ ) йде на ( $D_E$ ) – результат роботи. Проаналізувавши цю пряму (білу стрілку), можна буде зробити висновок про те, як природна складова демоекосистеми повинна цікавитися сонцем, які повинні враховуватися параметри і вирішуватися завдання, як необхідно відкоригувати нормативну базу, як вона може бути опосередкована конструктивними заходами і людиною.

Методологічною основою даного дослідження може бути обраний системний підхід як напрямок, орієнтований на вивчення: специфічних характеристик складно організованих об'єктів і різноманітності зв'язків між елементами, їх різноякісності та супідрядності.

Пізнання об'єкта як системи включає до себе: визначення елементів системи; організацію або системи зв'язків; властивості системи; визначення можливостей створення та тенденцій змін системи.

Порівняно точним визначенням предметно-просторового середовища, яке можна віднести до архітектури, є визначення В.С.Тюхтіна (1972 р.). Він визначає це поняття як множину пов'язаних між собою компонентів той чи іншої природи, упорядкованих за відношеннями, які володіють цілком певними властивостями. Це множина, яка характеризується єдністю, що виражається в інтегральних властивостях та функціях множини. Відомо визначення: «Структура об'єкта як системи є вид композиції, або вид упорядкованості елементів, який стійкий (інваріантний) відносно визначених його змін, перетворень». При цьому стійкість залишається й при відносній «унікальності» об'єкта.

В.С. Тюхтін підкреслює, що у випадку, якщо нас цікавить геометрична форма, тобто просторова структура унікального об'єкта, споруди, архітектурної пам'ятки, людини, то його проєкції на різні поверхні, які розташовані під різними кутами схилу по відношенням один до одного, можна розглядати як перетворення цієї форми. Інваріант цих перетворень є власною геометричною формою цього об'єкта. В цьому визначенні автор розшифровує поняття «інваріантності» архітектурної форми, а також прямо вказує на зв'язок понять «архітектурна форма», «структура» та «геометрична форма». В.С. Тюхтін стверджує, що «усі три моменти – різні елементи, різні види відносин та порядок елементів по даним відношенням – і створюють поняття структури та є її складовими».

Для архітектурного об'єкта елементами є локалізовані (освітлені) простори, відносинами – їх ієрархічна супідрядність, заснована на функції, порядок елементів по даним відносинам – їх зв'язки у відповідності з функцією.

І.Б. Михайлов дає визначення предметно-просторової системи та структури: «Система – комплекс елементів, які взаємозв'язані між собою та створюють певну цілісну єдність. Система складається з елементів, структури та виконує певну функцію. Архітектурні елементи – відносно неподільні частини цілого об'єкта. Архітектурна структура – стійкий закономірний зв'язок між елементами системи. Архітектурна функція – зовнішнє виявлення властивостей об'єкта в системі відносин».

Як уже було доведено більшістю дослідників, місто – це динамічна система, тому що в її межах діється постійний розвиток, зміни та взаємодії складових її компонентів. Місто як система являє собою складну будову, яка складається з взаємозв'язаних компонентів. Компоненти міської системи підрозділяються на компоненти природного (натурального) та штучного походження (інженерні, архітектурні та дизайн-об'єкти). У свою чергу, кожний архітектурний об'єкт як цілісність, до самого його інтер'єрного середовища, також являє собою систему.

Для розуміння процесів взаємодії всіх компонентів як усередині міської системи, так і компонентів безпосередньо усередині кожного об'єкта виникає необхідність розуміння об'єктів як складної системи зі структурою елементів, з можливою декомпозицією на підсистеми, і системного підходу, і системного аналізу цієї структури.

Тут система – це цілісне, органічно єдине створення, яке складається з множини елементів, що знаходяться у відносинах або зв'язках один з одним, а підсистема – відносно незалежна частина системи, з'єднуюча елементи, виділені при декомпозиції (роз'єднання системи на частини заради її дослідження), та яка реалізує виконання деякої функції, що забезпечує досягнення загальної мети. Елемент системи – найпростіша неподільна її частина, яка відповідає гранично детальному розгляду системи в рамках завдання, що вирішується, а цілісність – найважливіша характеристика системи, котра виявляється в тому, що в процесі взаємодії елементів, які входять до її складу, виникає принципово нова якість, властивість, яким не володіє жоден з елементів, що входять у систему.

Структура системи – опис сукупності елементів (склад системи) та найбільш стійких зв'язків (взаємозв'язків) між ними.

Системний підхід орієнтує дослідника на розкриття цілісності об'єкта, на виявлення різноманітних типів зв'язків у ньому та зведення їх в єдину теоретичну картину.

Г.І. Лаврик (1970 р.), міркуючи про проблеми системних досліджень архітектурної композиції, писав, що «з позицій системного підходу архітектура включає до себе матеріальне середовище як підсистему та є не технічною системою, а екологічною системою, яка забезпечує необхідні біологічні та соціальні умови життєдіяльності людського суспільства. Архітектура як екосистема людини має деяку спільність з біо-еко-системами, однак у них є і принципіальні відмінності: якщо основою біо-еко-систем є пристосування (адаптація), то людське суспільство активно діє на природне оточення, створюючи «другу природу», яка відповідає людським критеріям. Людське суспільство є в екосистемі ... ланкою – «мотиватором» поведінки у цілому, тому

технічні критерії в нашій екосистемі є важливими, але не визначальними.

Одним з важливіших загальних принципів архітектурної композиції є принцип компактності, принцип визначальних ознак, принцип інваріантності структури» [41].

Цей перелік, звичайно, не вичерпує всього числа архітектурних принципів. Крім специфічно архітектурних принципів, існують загальні системні принципи – цілісності, зворотного зв'язку, ієрархії побудови та інші.

Принцип компактності інтуїтивно усвідомлювався архітекторами всіх епох та виражався у прагненні до «простоти», «лаконічності», «закінченості». З давніх пір увагу зодчих притягували «найдосконаліші» (найкомпактніші) геометричні форми – круг та куля. Наступний їх аналіз призвів до формулювання так званої ізопериметричної теореми. Прагнення архітектури до простоти є відображенням загального принципу «найменшої дії», який міститься в тому, що будь-який процес або явище в живій або неживій природі прагне до мінімально необхідних витрат енергії.

Герон Александрійський відкрив, що промінь світла проходить між оком та джерелом світла по коротшому шляху. У подальшому фізик Е. Фермі сформулював принцип поведінки світла: світло обирає із всіх можливих шляхів, які з'єднують дві точки, той шлях, який потребує найменшого часу для його проходження, тому що у світі не відбувається нічого, у чому не було б видно сенсу якого-небудь максимуму або мінімуму [42].

Біофізиком Н. Рашевським стосовно живої природи сформульований принцип «максимальної простоти» або принцип адекватної конструкції, відповідно до якого конкретна структура або конструкція, існуюча в природі, є найпростішою з можливих структур або конструкцій, здібних виконати дану функцію або групу функцій [42].

Г.І. Лаврик відзначає, що якщо принцип компактності та принцип визначальних ознак належить до якісних (метричних) аспектів архітектурної теорії, то принцип інваріантності структури носить якісний (реляційний) характер. Ним зроблений важливий висновок: відношення між елементами



(підсистемами) цілісних архітектурних об'єктів інваріантні для всіх об'єктів, як би останні не відрізнялися складністю або призначенням (або тим чи іншим одночасно).

О.О. Тіц визначає об'ємно-просторову систему як «систему, що взаємозв'язана об'ємно-просторовими елементами, котрі володіють стійкими принципами формотворення». Це і є поняття інваріанта.

У роботі Д.В. Бахарєва розглядаються загальні методологічні основи розрахунку сонячної радіації в умовах простору, що екранується, методика геометричного розрахунку інсоляції на основі методу числових відміток, що лежить в основі графіків Г. Марті та А.М.Рудницького [43].

Методи розрахунку інсоляції (графіки, пристрої) розробили також Г. Плейжер, М Тваровський, В.Г Макаревич, Л.В Берідзе, А.Я. Штейнберг, В.М Півкін, І.В Маргіані. Найбільш раціональними визнані ідентичні методи Г Марті, А.М. Рудницького та М Тваровського, засновані на застосуванні «Інсоляційних графіків» або «Сонячних лінійок», розповсюджених І.С. Сухановим та Б.А. Дунаєвим [43].

Як відомо, системний аналіз – науковий метод пізнання, який являє собою послідовність дій з установаження структурних зв'язків між перемінними або елементами системи, що досліджується. Існує велика кількість методів та методик системного аналізу (СА), які можуть бути використані для розв'язання завдань, пов'язаних з проведенням досліджень складних, слабо структурованих систем. До числа найбільш ефективних методів прийняття рішень при дослідженні складних ситуацій належить метод аналізу ієрархій (МАІ), запропонований американським ученим Т.Сааті. Метод парних порівнянь Т. Сааті використовується для проведення суб'єктивних оцінок, тобто коли немає можливості чисельно оцінити ситуацію. Встановлення важливості елементів при парному порівнянні є відбиття спроможності людини до висловлювання відносних (порівняльних) суджень. При тому, що вона зазвичай утруднюється відразу оцінити багатоаспектну проблему в цілому. Даний метод опирається на декомпозицію системи на більш прості складові її частини, проведення за

спеціальною формою експертного опитування осіб, які приймають рішення (ОПР) та подальшу математичну обробку їх суджень.

Аналіз проблеми прийняття рішень у МАІ (методі аналізу ієрархій) починається з побудови ієрархічної структури, яка включає три рівні: I рівень – ціль вибору; II рівень – критерії; III рівень – альтернативи та інші фактори, що розглядаються та які впливають на вибір рішення. Вирішення складної проблеми завжди є процесом поетапного встановлення пріоритетів. Ієрархія – структура системи, котра призначена для вивчення функціональних взаємодій її компонентів та їх взаємодій на систему в цілому. Ця структура віддзеркалює розуміння проблем особою, що приймає рішення.

Вершиною ієрархії є головна ціль, елементи нижнього рівня являють множину варіантів досягнення цілі (альтернатив), елементи проміжних рівнів відповідають критеріям або факторам, які зв'язують ціль з альтернативами. Побудова такої структури допомагає проаналізувати всі аспекти проблеми та більш глибоко вникнути в суть завдання.

Кожний елемент ієрархії може являти різні аспекти завдання, що вирішується, причому до уваги можуть бути прийняті як матеріальні, так і нематеріальні фактори, кількісні параметри, які вимірюються, та якісні характеристики, об'єктивні дані та суб'єктивні експертні оцінки. Основне завдання ієрархії – оцінка вищих рівнів, виходячи з взаємодії різних рівнів ієрархії, а не безпосередньої залежності від елементів на цих рівнях. Ієрархічна система більш стійка та гнучка – малі зміни викликають малий ефект, а додатки не руйнують загальних характеристик.

Наступний етап аналізу – за допомогою процедури парних порівнянь визначення пріоритетів, які являють собою відносну важливість або першість елементів кожної групи побудованої ієрархічної структури. Подібно ймовірностям, пріоритети – безрозмірні величини, які можуть набувати значення від нуля до одиниці. Чим більш величина пріоритету, тим більш значним є відповідний йому елемент. Сума пріоритетів елементів, підпорядкованих одному елементу вище лежачого рівня ієрархії, дорівнює одиниці. Пріоритет цілі за

визначенням дорівнює 1.0. Цільова функція – математично представлена ціль проекту.

Безрозмірні пріоритети дозволяють обґрунтовано порівнювати різнорідні фактори, що є відзначною особливістю МАІ. Якщо пріоритети всіх елементів не встановилися ОПР (особами, що приймають рішення), то за умовчанням вони вважаються однаковими, тобто критерії мають рівну важливість з точки зору цілі, а пріоритети всіх альтернатив рівні за всіма критеріями.

Для проведення суб'єктивних парних порівнянь (коли немає можливості чисельно оцінити ситуацію) Т. Сааті запропонована шкала відносної важливості, представлена в таблиці 1.

Табл. 1.

## Шкала відносної важливості

Коефіцієнт відносної важливості	Визначення ситуацій
1	Рівна важливість, пріоритетність
3	Помірна перевага
5	Істотна (сильна) перевага
7	Дуже значна перевага
9	Приголомшлива перевага
2,4,6,8	Проміжні значення між двома сусідніми судженнями (для компромісних ситуацій)

На заключному етапі аналізу збирається інформація з усіх учасників для розставлення пріоритетів, математично оброблюється та виконується синтез (лінійне згортання) локальних пріоритетів усіх елементів ієрархії, в результаті якої обчислюється кількісна оцінка (глобальних) пріоритетів альтернативних рішень відносно головної цілі. Кращою вважається альтернатива з максимальним значенням пріоритету. Послідовне виконання всіх кроків МАІ (методу аналізу ієрархії) передбачає можливість зміни структури ієрархії, з

метою включення до неї критеріїв та альтернатив, що знов з'явилися або раніше не вважалися важливими.

У теорії архітектури системи класифікуються на «відкриті» та «замкнуті». Система є «замкнутою», якщо у неї немає оточуючого середовища, тобто зовнішніх контактуючих з нею систем. До «замкнутих» належать і ті системи, на які зовнішні системи не оказують значного впливу. Система має назву «відкрита», якщо існують інші, зв'язані з нею системи, котрі впливають на неї і на які вона теж впливає. Усі живі системи – це «відкриті» системи. Неживі системи є відносно «замкнутими». Наявність зворотного зв'язку наділяє їх декотрими неповними властивостями живих систем, пов'язаних зі станом рівноваги.

Системи за своїм характером поділяються на «детерміновані» та «ймовірнісні». У «детермінованих» системах елементи однозначно взаємодіють точно визначеним чином. У такій системі зв'язку між елементами суворо та однозначно визначені, детерміновані і тому їх називають «детермінованими» системами. Для «детермінованих» систем важливим є поняття цілісності. У «ймовірнісних» системах зв'язки між елементами носять випадковий характер.

*Архітектурна система* – це відкрита система, тому що існують інші, зв'язані з нею системи (оточуюча природа, людське суспільство та інші), які оказують на неї вплив і на які у свою чергу впливає архітектурна система.

## SECTION 4. COMPUTER SCIENCE

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.4.1

### 4.1 Implementation of information and mathematical models and algorithms in the software environment

The main component of object-oriented analysis in the development of an information system is the decomposition of the problem into separate classes of concepts (conceptual classes) or objects. Domain modeling is one of the initial stages of system design, which is required to identify, classify, and formalize information about all aspects of the domain that determine the properties of the system being developed.

The description of the subject area of epidemiological system research was carried out using the UML language and the Visual Paradigm CE tool integrated in the Netbeans IDE. When modeling the subject area, it was assumed that the designed software environment is intended for entering, saving and processing information about epidemiological systematic studies [44].

The system must provide the following basic functions:

- collection and processing of statistical epidemic information;
- development of compartmental mathematical models based on statistical data;
- quantitative forecasting of the development of the spread of epidemic diseases;
- development of immunoprophylactic measures;
- making decisions about the shape of the epidemic curve.

The main functions actually describe the technical task of this system.

**The characters.** The selection of categories of system users is, as a rule, carried out informally. When choosing actors, we used the features proposed in:

- users participate in various (independent) business processes;
- users have different rights to perform actions and access information;
- users interact with the system in different modes: from case to case, regularly, constantly.

Based on these characteristics, we come to the following categories of users in a first approximation:

- epidemiologists – scientists who work with epidemiological models and statistical data, develop diagrams of transitional states;
- system analysts – scientists who develop epidemiological mathematical models, carry out their quantitative and qualitative research;
- sanitary-epidemiological service (SES) - SES specialists working on collection, storage and primary processing of statistical data on the spread of epidemic diseases. Forming a representation of the diagram of the use of the software environment of epidemiological system studies. An epidemiologist is called an Epidemiologist, a systems analyst is called a Systems Analyst, and a SES specialist is called an Epidemic Service Officer [45].

**Options for use.** The analysis of the technical task allows us to identify the following options for use:

- collection of statistical epidemic information;
- processing of statistical epidemic information;
- development of compartmental mathematical models;
- quantitative forecasting of the development of the spread of epidemic diseases;
- development of immunoprophylactic measures;
- making decisions about the shape of the epidemic curve [46].

**Relationships in the usage chart.** In the first approximation, two types of relationships are used in the usage diagram: the association between the actor and the use case, which shows how the actor in one way or another interacts (gives input, receives a result) with the use case; dependence between use cases, which shows that one use case depends on another (in this case, the dependence is that in a certain scenario of an independent use case, a dependent use case scenario can be inserted as a subsequence of actions in a certain place - the "extend" stereotype ).

Based on how actors participate in scenarios belonging to certain use cases, it is advisable to establish associations:

- for epidemiologists with options for use "development of compartmental mathematical models", "quantitative forecasting of the development of the spread of epidemic diseases", "development of immunoprophylactic measures", "making decisions about the shape of the epidemic curve";

- for system analysts with options for use "development of compartmental mathematical models", "quantitative forecasting of the development of the spread of epidemic diseases", "development of immunoprophylactic measures", "making decisions about the shape of the epidemic curve";

- for specialists of SES with options of use "collection of statistical epidemic information", "processing of statistical epidemic information".

In addition, there are dependencies (stereotype extend) between certain usage options. Thus, the usage option "processing of statistical epidemic information" depends on "collection of statistical epidemic information"; the use case "development of compartmental mathematical models" depends on "processing of statistical epidemic information"; the use options "quantitative forecasting of the development of the spread of epidemic diseases" and "development of immunoprophylactic measures" depend on "development of compartmental mathematical models"; the use option "making decisions about the shape of the epidemic curve" depends on "quantitative forecasting of the development of the spread of epidemic diseases" [47].

Usage chart. So, if we look at this usage model from the most general point of view, we can see that the model contains: an internal modeled system in the form of a set of usage options connected by dependencies; external environment in the form of actors; the connection between the modeled system and the external environment in the form of associations between actors and use cases. The internal part, separated by boundaries, has a specific name in UML - subject [48].

**Implementation of use cases.** For each of the use cases, the goal was to describe all the scenarios that make up the use case. At the same time, two types of diagrams were used - action diagrams and sequence diagrams.

Thus, the use case for the collection of epidemiological information is represented by an action diagram ( Fig. 1)

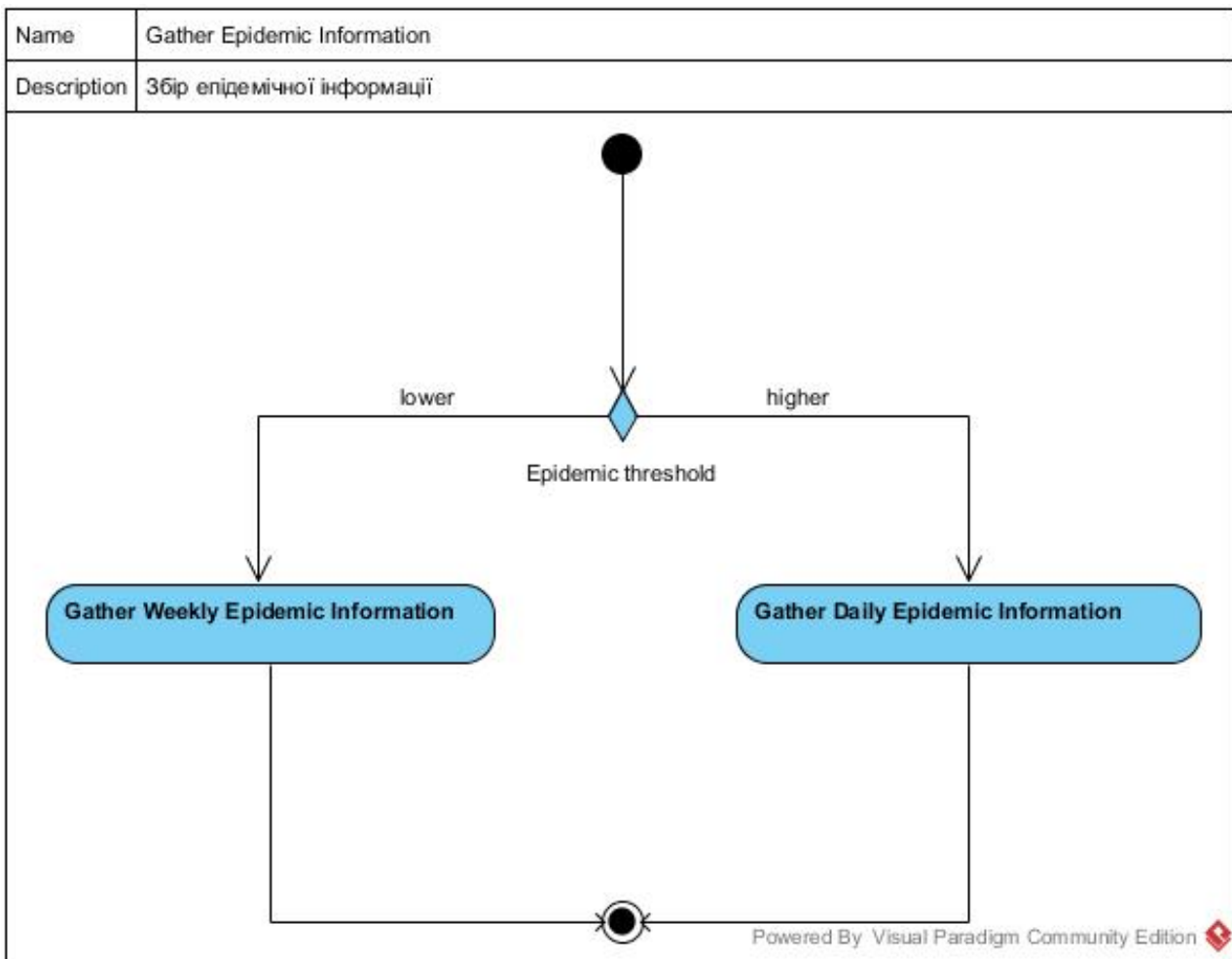
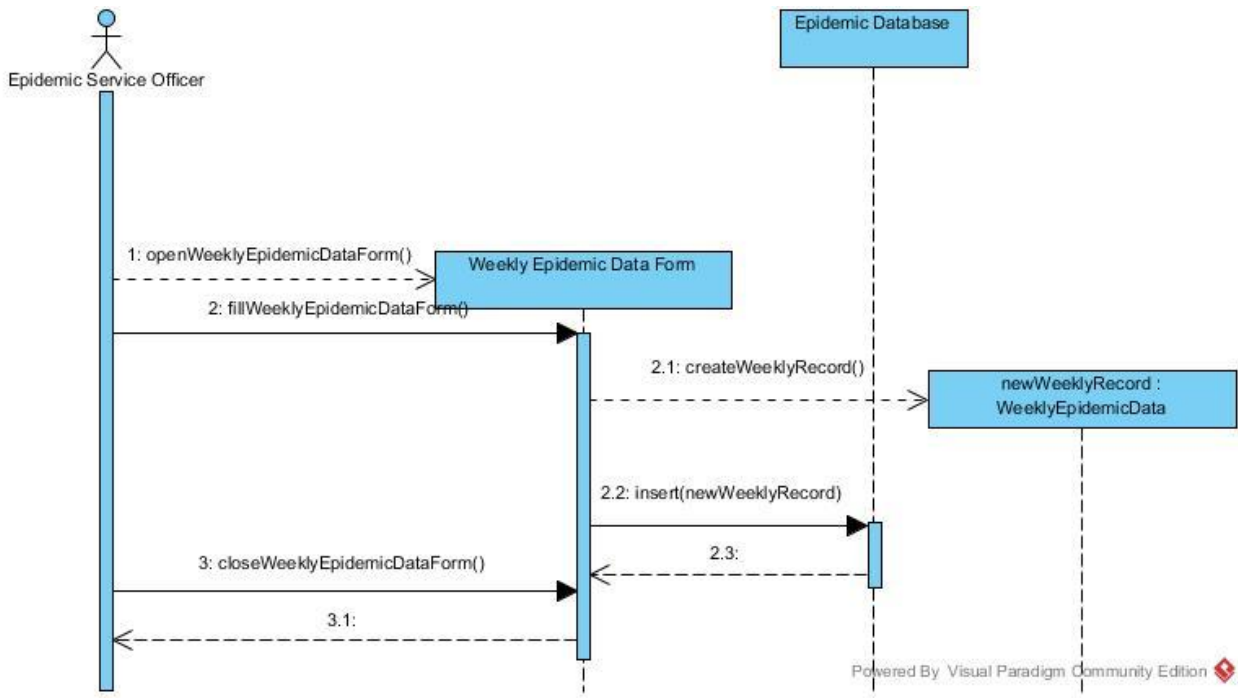


Figure 1. Action diagram "Collection of epidemic information"

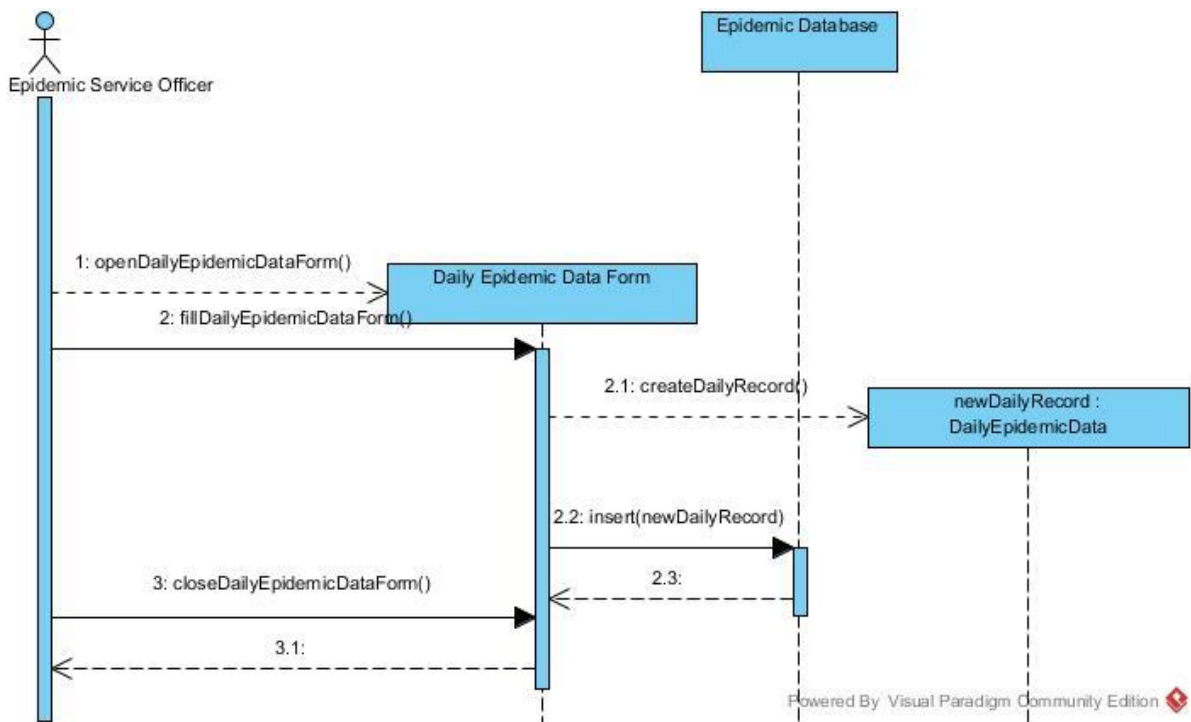
The procedure for collecting epidemic information (weekly or daily data) is determined by the incidence exceeding the epidemic threshold value [49].

At the same time, the use options "Collection of weekly epidemic information" and "Collection of daily epidemic information" are implemented by sequence diagrams (Fig. 2).





a)



b)

Figure 2. Sequence diagrams for the use cases "collection of weekly epidemic information" (a) and "collection of daily epidemic information" (b)

The use case "processing of statistical epidemic information" includes the calculation of epidemic thresholds based on previously accumulated information in the database and the construction of epidemic curves (Fig. 3)

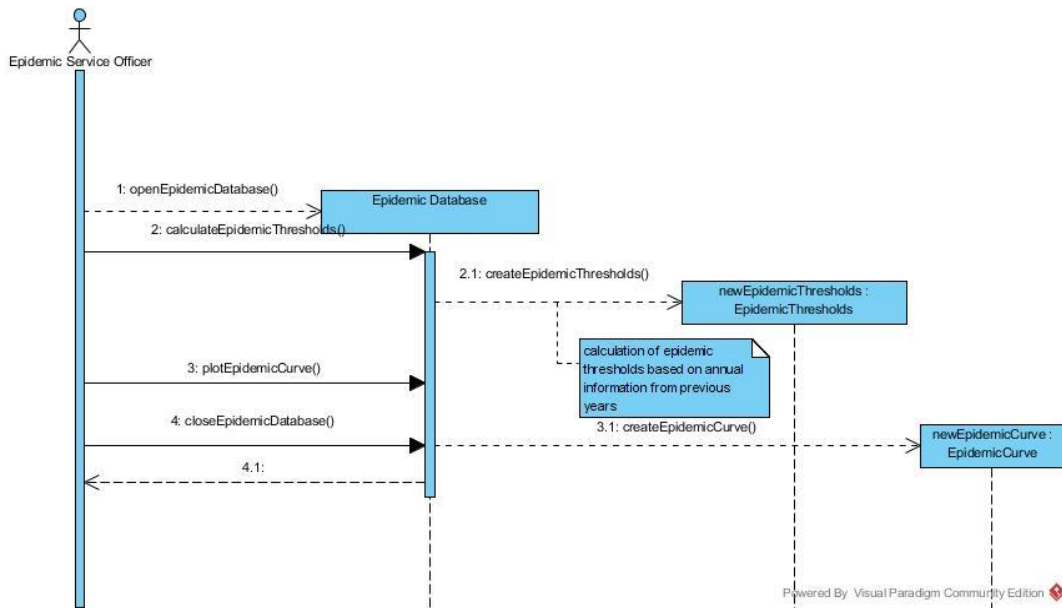


Figure 3. Sequence diagram "processing of statistical epidemic information"

Compartment model development involves building models with one or two virus strains in mind (Fig. 4).

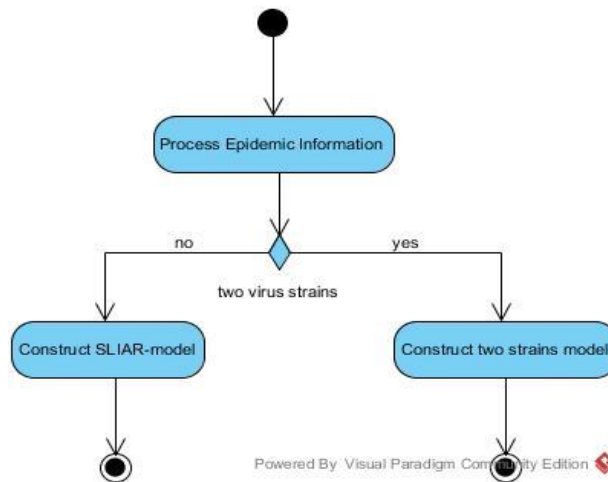


Figure 4. Activity diagram for the "compartment model development" use case

The development of immunoprophylaxis measures is based on a previously developed compartmental model. Such a model should be accompanied by controls

such as the intensity of immunoprophylactic measures and corresponding quality criteria (Fig. 5)

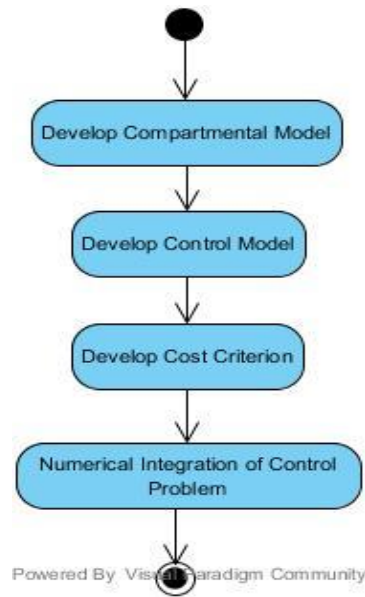


Figure 5. Action diagram for the development of immunoprophylactic measures

Quantitative forecasting based on a previously developed compartmental model begins with the identification of model parameters. Next, the numerical integration algorithm of the model equations is applied (Fig. 6).

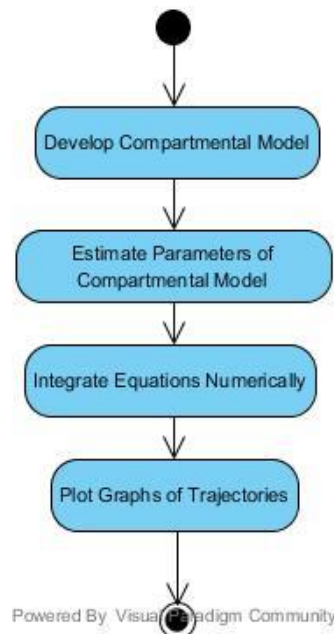


Figure 6. Action diagram for quantitative forecasting.

Qualitative forecasting of the epidemic curve includes both the study of the stability of endemic states of models using Lyapunov methods, and the analysis of more complex forms of trajectories (such as the prediction of repeated outbreaks) - using data mining technology, through the construction of a decision tree (Fig. 7)

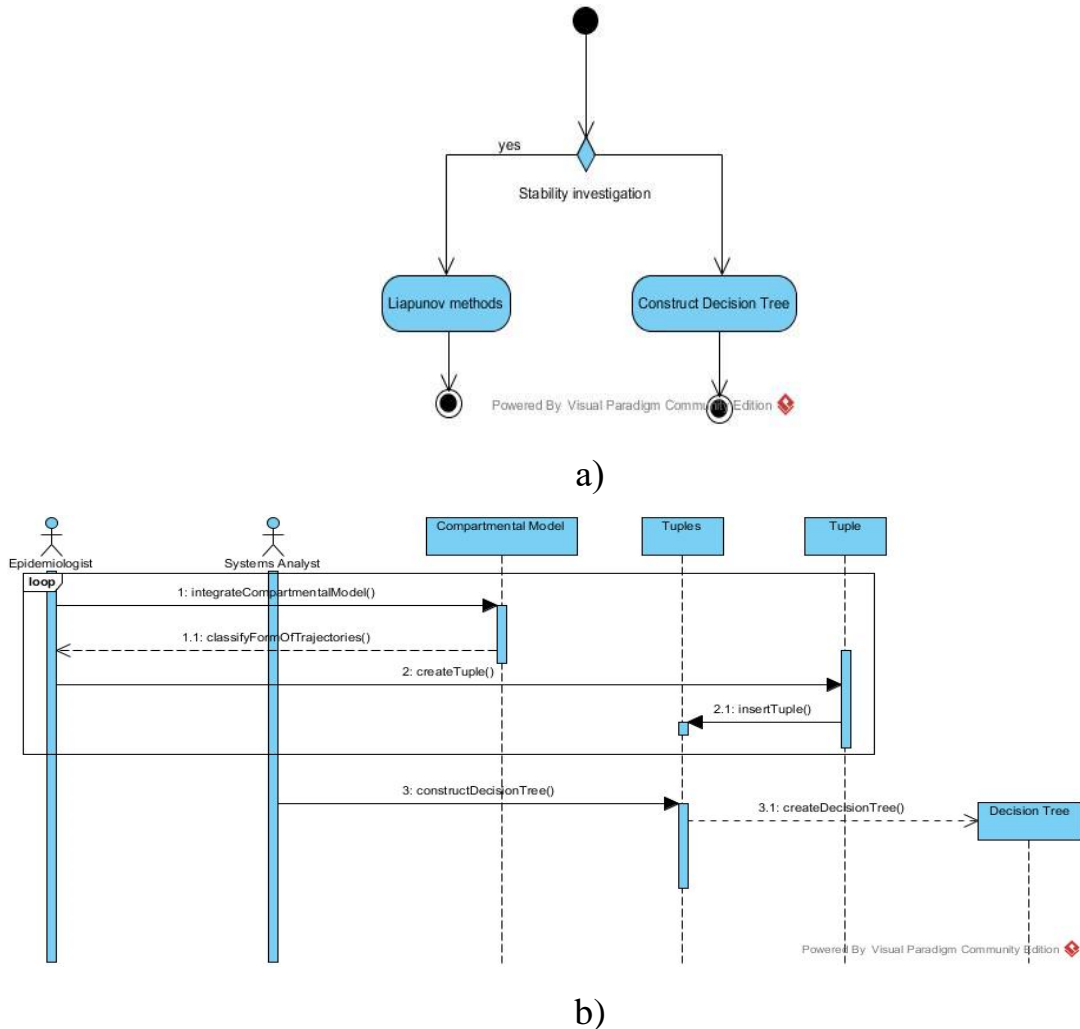


Figure 7. a) action diagram for qualitative forecasting of the epidemic curve;  
b) sequence diagram for building a decision tree.

The developed software environment is actually a decision support information system intended for operation in the conditions of a research laboratory of infectious diseases. An important task is forecasting the development of the epidemic with the prediction of repeated outbreaks, as well as the development of optimal schemes of preventive measures. The previously built information model was used in the development of a decision support system for forecasting and development of optimal prevention schemes for the influenza epidemic at the regional level [50].

The input data entering the regional SES database is provided by the district (city) state sanitary-epidemiological supervision weekly (in the period of rising incidence, the data is transmitted daily). In addition to data for the construction of epidemic curves, the database contains arrays of data with the results of simulation simulation of epidemics and qualitative conclusions of epidemiologists, which will be used for the construction of knowledge structures.

It is possible to increase the efficiency of prevention of acute respiratory infections by applying methods of intelligent data analysis. It is appropriate here to use data mining tools, among which the decision tree induction method and the sequential coverage algorithm are chosen. To solve the problems, the use of these methods in the environment of operational analytical processing is the most productive. Based on the accumulated information, a decision-making support block for intelligent data analysis has been developed, which for the user is represented by a set of forms for the development of models, their quantitative and qualitative analysis [51].

In this case, the subsystem of intelligent data analysis is implemented on the basis of developed compartmental models of the forecast of the development of the acute respiratory syndrome epidemic. Therefore, a necessary condition for the analysis is the formation of analytical metadata for the processing system.

To assess the sensitivity and specificity of the built models, a cross-validation test was used, i.e. a method of evaluating the model and its behavior on independent data. To determine the classification value of the resulting prognostic model, the ROC curve was used, followed by the determination of the area under it [52].

For the convenient application of the constructed models and working with the database, in order to make a decision on epidemic forecasting and preventive measures, a user application has been developed, which contains forms for filling in and displaying information about the dynamics of morbidity and calculating the forecast of the development of the epidemic and its qualitative analysis. If we consider the system from the user's point of view, the most important criteria for him when working with data are work with a user-friendly interface, high data processing speed, and the ability to customize the system to his own needs.

## SECTION 5. ENERGY AND ENERGY ENGINEERING AND TECHNOLOGIES

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.5.1

### **5.1 Thermophysical properties of polymer micro- and nanocomposites when they are obtained by different methods**

The increasing use of polymer micro- and nanocomposites is known to be associated with their improved properties compared to unfilled polymers. The needs of further development of this direction necessitate an in-depth study of the influence of various factors on the main characteristics of these composites [53 – 60]. According to the results of a number of studies, these characteristics significantly depend on the methods for obtaining composite materials [61 – 67]. Said circumstance determines the relevance of a comparative analysis of methods for obtaining composites to establish the regularities of their influence on the structure and properties of composites. Of particular interest is the conduct of relevant studies for high-heat-conductive composites, the prospects for the use of which are associated with the manufacture of parts for heat power equipment, installations for the chemical, food, processing industries, etc.

This article is mainly devoted to experimental and theoretical studies of the regularities of the influence of methods for obtaining high heat conductivity polymer micro- and nanocomposites on their thermophysical characteristics.

During the experiments, the two most widely used methods for obtaining polymer composites in engineering practice were used:

- method A, based on mixing dry components using a magnetic stirrer and an ultrasonic disperser with further hot pressing of the resulting composition;
- method B, based on mixing the components in a polymer melt using an extruder, with further giving the composite the required shape by hot pressing.

As for the second of these methods, within the framework of this study, one of its modifications was used, in which the so-called disk extruders are applied, which are

characterized by a number of well-known advantages in comparison with traditional screw devices.

The considered methods were used to obtain composites based on polypropylene filled with CNTs or aluminum particles. When conducting research, the mass fraction of fillers  $\omega$  varied from 0.3% to 10%. A description of the methods for manufacturing these fillers and their characteristics is given in [68]. In this article there are also the technics used to determine the thermophysical properties of the resulting composites.

Let us first consider the results of experimental studies of the dependence of the heat conductivity coefficients  $\lambda$  of polymer composites on the mass fraction of fillers (CNTs or aluminum microparticles) when using methods based on mixing components in dry form and in a polymer melt to obtain these composites. According to those shown in Table 1 data, the use of the second of these methods makes it possible to obtain polymer composites with significantly higher heat-conducting properties than in the case of the first method.

Table 1. Dependence of the heat conductivity coefficient  $\lambda$  of polymer composites based on polypropylene, obtained using the methods of mixing components in dry form (Method A) and in a polymer melt (Method B) when filling the polymer matrix with CNT and aluminum microparticles

$\omega, \%$	Method A		Method B	
	Al	CNT	AL	CNT
0.0				
0.3	0.22	0.24	0.23	0.23
0.5	0.22	0.25	0.30	0.30
0.55	0.224	0.26	0.33	0.34
0.8	0.23	0.27	0.35	0.37
1.0	0.32	0.33	0.36	0.38
1.15	0.38	0.39	0.40	0.43
1.5	0.42	0.49	0.47	0.49

Continuation of table 1

2.0	0.45	0.56	2.45	3.15
2.5	1.05	2.11	11.42	16.78
2.85	1.78	2.79	15.45	26.15
3.0	2.10	3.99	18.47	31.11
3.15	2.98	4.52	20.23	33.14
4.0	5.48	10.41	23.08	41.63
4.2	6.01	12.52	23.9	42.21
4.6	8.40	15.90	24.50	44.01
5.0	10.68	17.40	25.39	45.82
7.0	19.44	27.82	27.03	54.56
9.0	23.90	32.11	28.56	57.69
10.0	24.91	32.55	28.92	58.73

It is also noteworthy that the increase in the values of  $\lambda$  associated with the use of method B is more significant for a polymer composite filled with CNTs than for a microcomposite filled with aluminum particles. Thus, the differences in the values of  $\lambda$  for the two considered methods with a mass fraction of fillers of 5.0% are 28.4 W/(m K) when CNTs are used as a filler, and only 14.7 W/(m K) when the polymer is filled with aluminum microparticles.

As can be seen from Table 1, the discrepancies in the heat conductivity coefficients of polymer composites obtained by various methods depend significantly on the mass fraction of the filler  $\omega$ . For both considered composites, these deviations are insignificant in the range of  $\omega$  from 0.3% to 2%. With an increase in  $\omega$ , they increase, reaching a maximum value at a mass fraction of fillers equal to 4%. At the same time, the heat conductivity coefficients of composites obtained by method B exceed the corresponding values for composites obtained on the basis of method A, in the case of filling the polymer with CNT and aluminum by 4.0 and 4.2 times, respectively. Further, with an increase in the mass fraction of fillers from 4% to 10%, there is a tendency to reduce the discrepancies in the values of  $\lambda$  corresponding to



different methods of obtaining composites. Moreover, this trend is much more expressed for aluminum-filled microcomposites. Here, the indicated discrepancies decrease from 17.6 W/(m K) at  $\omega = 4\%$  to 4.1 W/(m K) at  $\omega = 10\%$ . For composites filled with CNTs, this decrease is not so significant, from 31.2 W/(m K) to 26.2 W/(m K).

Let us briefly consider the features of the influence of methods for obtaining composites on the effects of a sharp change in the value of their thermal conductivity coefficients at certain values of the proportion of fillers  $\omega$ . As can be seen from Table 1 for both considered composites, two jumps in the thermal conductivity coefficient are observed. The first of them corresponds to the formation of percolation clusters from filler particles, which are a kind of heat-conducting channels, the second - to the formation of a percolation network, which is a highly thermally conductive medium. As for the position of these jumps, it follows from the data presented that it varies depending on the method of obtaining the composite. In this case, the values of  $\omega$  corresponding to these jumps, the so-called percolation thresholds, for method B are shifted to the region of lower filler concentrations. Thus, for both considered composites, the first percolation threshold is 1.15% and 0.55%, respectively, when these composites are obtained by methods A and B. The second percolation threshold corresponds to a concentration of CNTs equal to 4.2%, and aluminum microparticles, 4.6% method A. This threshold decreases when using method B to 3.15% particles and to 2.85% when the polymer is filled with CNTs and aluminum microparticles.

The described picture of the influence of methods for obtaining polymer composites on their heat-conducting properties is associated with the following circumstances. As the results of the performed studies have shown, the use of method B for obtaining composites provides a more uniform distribution of the filler in the polymer matrix. This, in turn, leads to a higher efficiency of the formation of continuous percolation clusters and percolation networks from filler particles, which are responsible for increasing the heat conductivity of materials.

Regarding the established fact of greater sensitivity of the composite filled with CNTs to the method of its preparation, it is explained by a more significant effect of

the degree of uniformity of the filler distribution in the polymer volume on the formation of the indicated percolation structures. Indeed, due to the fact that the length of a carbon nanotube significantly exceeds its diameter, and the forces of electromagnetic interaction between the tubes are significantly less than between aluminum microparticles, the formation of percolation structures from CNTs with an increase in the uniformity of their distribution in the polymer matrix occurs more efficiently in comparison with aluminum microparticles.

Let us proceed to consider the results of experimental studies to determine the specific heat capacity  $c_p$  of polymer micro- and nanocomposites obtained by different methods. As can be seen from Fig. 1, differences in the values of  $c_p$  corresponding to method A and method B ( $\Delta c_p = c_{pA} - c_{pB}$ ), are significant only in the region of polymer melting. In this case, the values of  $c_p$  for the composites obtained by method B are lower in this region for all values of the mass fraction of fillers  $\omega$ . The data presented also indicate that the effect of the method of obtaining a composite on the values of its specific heat capacity is more significant when the polymer is filled with CNTs.

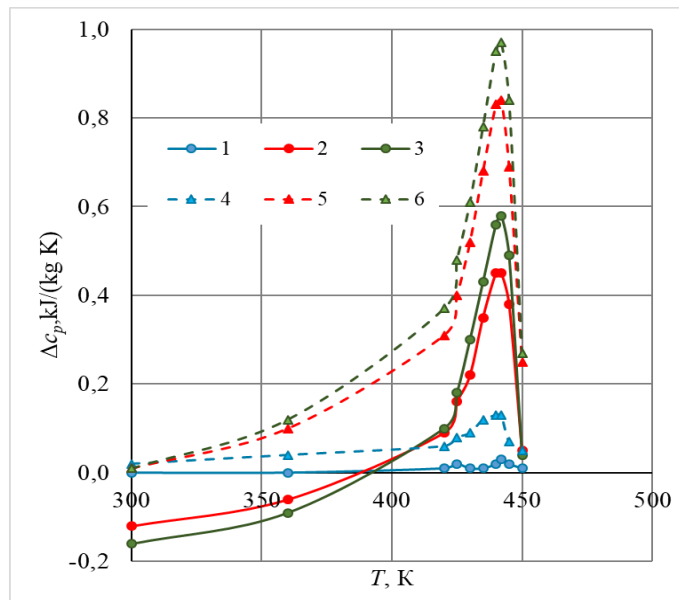


Figure 1. Temperature dependence of differences in specific heat capacity  $\Delta c_p$  (kJ/(kg K)) of polymer composites based on polypropylene, obtained using the method of mixing components in dry form (method A) and in a polymer melt (method B), for different mass fraction of fillers  $\omega$ : 1, 4 -  $\omega = 0.3\%$ ; 2, 5 -  $\omega = 3.0\%$ ; 3, 6 -  $\omega = 10.0\%$ ; when filling the composite with aluminum microparticles (1, 2, 3) and carbon nanotubes (4, 5, 6).

Based on the results of studies of the temperature dependence of the heat capacity  $c_p$ , the degree of polymer crystallinity  $\chi$  in composite materials obtained by various methods was estimated. The value of  $\chi$  was determined using these data according to the formula [69].

$$\chi = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_{mc}} \cdot 100\%. \quad (1)$$

where  $\Delta H_m, \Delta H_{mc}$  – enthalpy of melting of the composite and fully crystalline polymer, J/kg

The results of calculations of the degree of crystallinity of polypropylene are shown in fig. 2. As follows from the presented data, for the considered polymer composites, the degree of crystallinity of polypropylene decreases with an increase in the mass fraction of fillers. Moreover, this decrease is more significant for composites obtained by method B. As for the degree of crystallinity of polypropylene filled with CNTs and aluminum microparticles, it turns out to be lower in the entire studied range of  $\omega$  when polypropylene is filled with CNTs for both considered methods of obtaining composites.

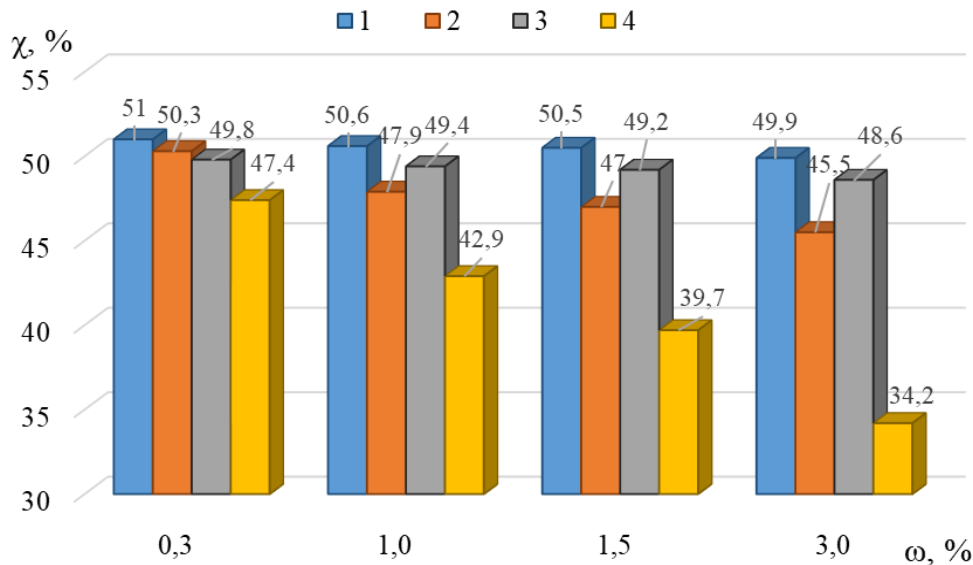


Figure 2. Dependence of the degree of crystallinity of polypropylene on the mass fraction of filler in composites obtained using the method of mixing components in dry form (1, 3) and in a polymer melt (2, 4), when polypropylene is filled with aluminum microparticles (1, 2) and CNTs (3, 4).

The established patterns of the influence of the method of obtaining composites on the degree of crystallinity of the polymer matrix are directly related to the level of uniformity of the filler distribution in polymer matrix. As already noted, a higher level of this uniformity occurs when method B is used. Under these conditions, a higher efficiency of the formation of percolation clusters and networks, which are steric obstacles to the formation of crystalline structures in the polymer matrix, is observed. In other words, the lower level of crystallization of the polymer matrix for composites obtained by method B is explained by the formation of more branched percolation systems from the filler particles due to the greater uniformity of the distribution of these particles in the volume of the matrix. It is the noted high branching that complicates the process of polymer crystallization.

On Figure 3 presents the results of experimental studies to determine the temperature dependence of the density of the polymer composites under consideration, obtained by various methods, at a fixed mass fraction of the filler  $\omega = 3\%$ .

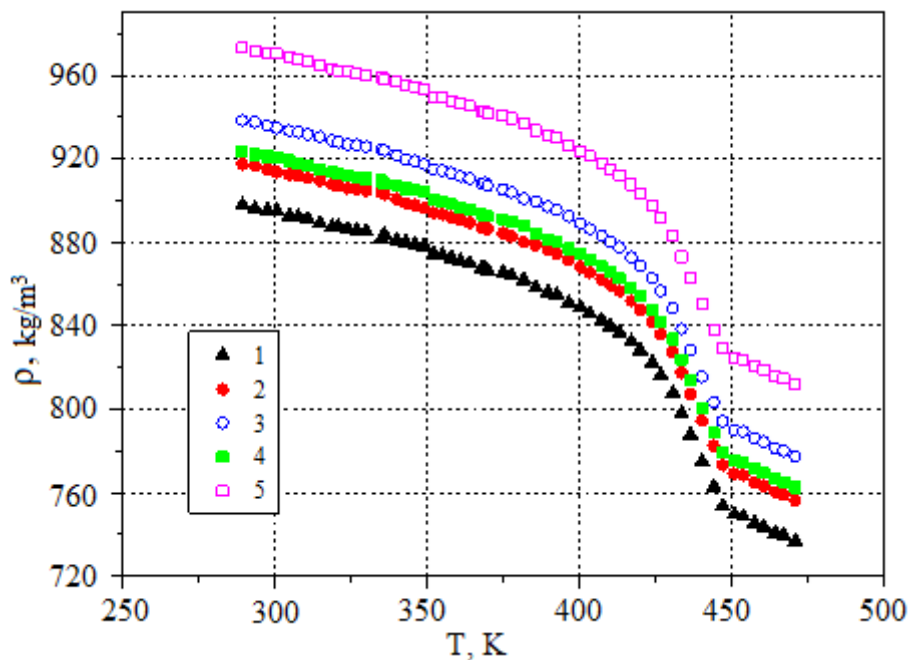


Figure 3. Temperature dependence of the density of polypropylene (1) and composite materials based on it, obtained using the method of mixing components in dry form (2, 4) and in a polymer melt (3, 5), when polypropylene is filled with CNTs (4, 5) and aluminum particles (2, 3) for  $\omega = 3\%$ .

As can be seen, for both methods under study, over the entire temperature range, the density of composites filled with CNTs turns out to be higher than the corresponding density values when the polymer is filled with aluminum microparticles. In this case, however, the ratio of the densities of the considered fillers is opposite, namely, the density of CNTs is  $2200 \text{ kg/m}^3$ , and that of aluminum microparticles is  $2700 \text{ kg/m}^3$ . Thus, the high density of composites with CNTs is determined not by the level of filler density, but by the mechanisms of formation of these composite materials. Indeed, under the conditions under consideration, in the amorphous zones of the polymer, due to the electromagnetic interaction of the filler particles with the polymer matrix, the material as a whole is compacted. Moreover, such densification occurs somewhat more intensively when the CNT polymer is filled, since these forces in this case turn out to be more significant due to the peculiarities of the shape of the tubes and their huge specific surface area ( $190 \text{ m}^2/\text{g}$ ).

As for the influence of the methods of their preparation on the density of composites, method B corresponds to a higher density. This is due to the above-described picture of an increase in the level of uniformity of the distribution of fillers in the matrix and, as a result, with a greater branching of the percolation structures formed during the implementation of this method. The presence of such structures determines the strengthening of the electromagnetic interaction between the fillers and the polymer matrix, which leads to the compaction of the material.

It is also important to note that, according to the experimental data, the differences in the density of composites obtained by different methods turn out to be more significant for composites filled with CNTs.

Figure 4 illustrates the dependence on the mass fraction of the filler of the increase in the porosity of composites  $\Delta\Pi$ , which is due to the introduction of the filler into the polymer matrix ( $\Delta\Pi = \Pi - \Pi_{pm}$ ). Here, the values of  $\Pi$  were determined in accordance with [70] by the formula

$$\Pi = 1 - \frac{\rho - \left[ \frac{\rho_f}{\rho_p} (1 - \omega) \right] \rho_p}{\left[ 1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} (1 - \omega) \right] \rho_f} \quad (2)$$

Where  $\Pi$ ,  $\Pi_{pm}$  – porosity of composites and polymer matrix, %;

$\rho_p$ ,  $\rho_f$  – density of the polymer matrix and filler,  $\text{kg/m}^3$ .

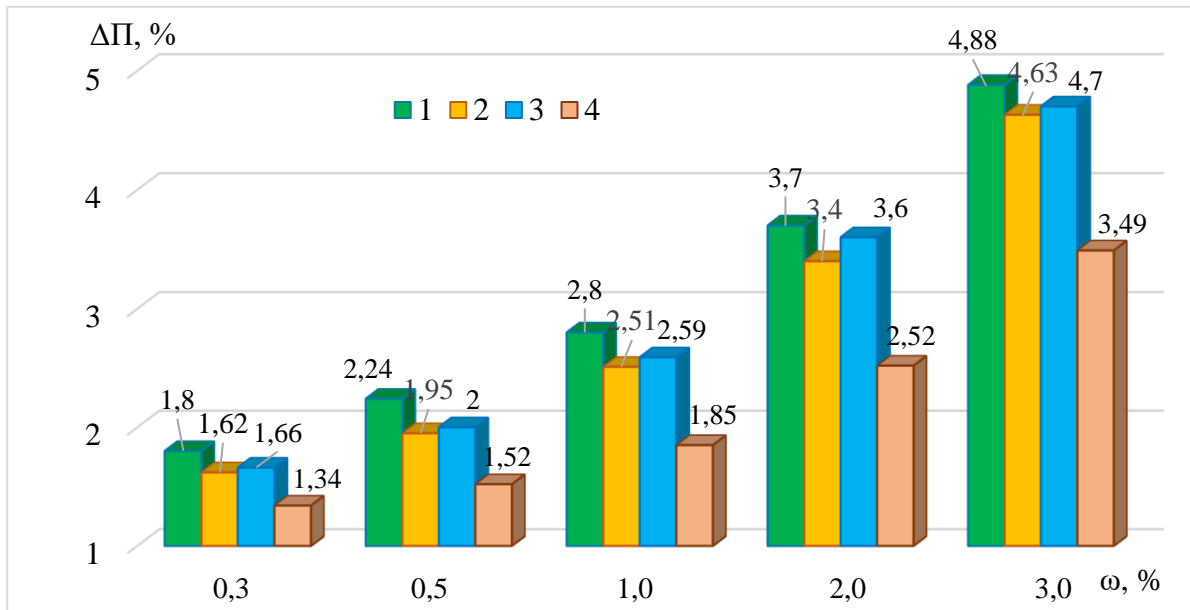


Figure 4. Dependence on the mass fraction of fillers of the increment in porosity  $\Delta\Pi$  of polymer composites obtained using the method of mixing components in dry form (1, 3) and in the polymer melt (2, 4), when filling the composite with CNT (3, 4) and aluminum particles (1, 2).

The data obtained indicate that the porosity of the composites increases with an increase in the mass fraction of the filler. At the same time, this increase is somewhat more significant for composites filled with aluminum microparticles, and it manifests itself to a greater extent when implementing the first of the considered methods for obtaining composite materials - the method of mixing components in a dry form.

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.5.2

## 5.2 Operation of the last stage of the cogeneration turbine in the mode of heat dissipation

Cogeneration turbines of high power (from 100 MW and more) are made with two heat extractions and condenser, which ensures its operation in the condensing mode with increased electrical power [71, 72]. As a rule, two network water heaters provide its heating in the range from 50 to 110°C when the steam flow rate changes from 1000 to 7500 ÷ 8000 m<sup>3</sup>/h. In the designs of cogeneration turbines, a low-pressure cylinder (LPC) consists of 2 stages (turbine T-100/120-130) and 3 stages (turbines T-180/220-12.8, T-185/230-12.8, T-250/300-240, T-260/300-240). LPCs are performed according to a 2-line scheme [71]. Each flow is equipped with a control stage with a rotary diaphragm. Full opening of the swivel ring and shutdown of the network water heaters ensures the condensing mode of the turbine.

Cogeneration modes are created when the network heaters are on the steam condensation pressure in which depends on the network water flow rate and its temperature at the outlet of the top extraction heater and is provided by covering the swivel ring of the control stage diaphragm from full to zero position, corresponding to full closure. The minimum steam flow passes through the stages in LPC flow at the zero position of the swivel ring, which is necessary to remove heat from the ventilation losses of stages operating at different steam pressures in the condenser and a minimum steam mass flow rate of 2 ÷ 5% of the flow rate at the nominal operating mode of the last stage from which the steam is directed to the condenser.

The operation of LPC at different levels of pressure in the condenser leads to a change in the specific volume of steam  $v$ . Therefore, at a constant flow rate  $G$  through the last stage for different operating modes, the characteristic of the low-flow rate mode will be the volume flow rate of steam through the last stage  $V = Gv$  [73]. In this case, it is advisable to represent the operation of stages depending on the relative volume flow rate of steam as

$$\overline{Gv_2} = Gv_2 / (Gv_2)_{\text{nom}}, \quad (1)$$

where  $(Gv_2)_{\text{nom}}$  is the volume flow rate of steam at the outlet of the rotor wheel at the nominal mode.

An analysis of the last stage operation of cogeneration turbines showed that it operates in a wide range of changing modes, corresponding to both the generation of mechanical energy (turbine mode) and its consumption (low-flow rate mode).

If considerable attention is given to the study of the operation of large fanning stages in nominal and close to it modes when creating high-power turbines [71, 73 – 75], then insufficient attention is currently given to certain issues of their operation in the region of modes below idle.

The special attention is given to the determination of power losses due to friction and ventilation, a method and algorithm for calculating the temperature state of the flow path of a steam turbine are given in [76]. It is noted that when modeling the flow path of LPC at the low-flow rate modes, it is necessary to consider the hydrodynamic processes occurring in the turbine stages. Non-stationary aerodynamic characteristics in a low-pressure steam turbine were numerically studied under off-design operating conditions using commercial software ANSYS-CFX [77]. This paper discusses the issues of changing the torque on the steam turbine blade, the distribution of Mach number, the determination of the flow line and the distribution of static pressure over the surface of the blade at different heights. The calculation results indicate the formation of vortices in the interblade channel.

An assessment of modern approaches to describing the flow and energy characteristics of high-power turbine stages [78] makes it possible to integrate them into computer simulation of the calculation of processes occurring in high-power turbines for variable modes, including low-flow rate modes.

The most complete description of the operating parameters for the low-flow rate modes of T-250/300-240 cogeneration turbine based on the results of experimental data is given in the monograph by A. V. Khaimov [79].

However, not enough attention has been given to the issues of the flow structure of the working medium in the stages with a large fanning. This may be one of the



reasons why the calculated data obtained during mathematical modeling of the flow in the large fanning stage are contradictory by various authors.

Knowledge of the flow formation conditions in the large fanning stage in the last stage of LPC will make it possible to evaluate the main energy characteristics of the stage at the low-flow rate modes.

At modes close to the nominal flow in the stage is close to cylindrical and the conditions for energy transfer from the flow to the sections of the working blades for such modes are considered in detail based on Zhukovsky's theorem on the circulation of velocity around the profile of the elementary blade of the stage [73], when the projection of the resultant force  $R_u$  on the circumferential direction

$$R_u = \rho w_z \Gamma, \quad (2)$$

where  $\rho$  is the working environment density;  $w_z$  is the axial (consumable) component of the oncoming flow velocity;  $\Gamma$  is the velocity circulation around the profile of the rotor blade element, equal to

$$\Gamma = \oint w_s ds = w_{1u} d_1 - w_{2u} d_2, \quad (3)$$

where  $w_{1u}$ ,  $w_{2u}$  are projections of the relative flow velocity onto the circumferential direction in front of and behind the profile blade, respectively;  $d_1$  and  $d_2$  are the step of the blade profile at the entrance and exit from it (Fig. 1).

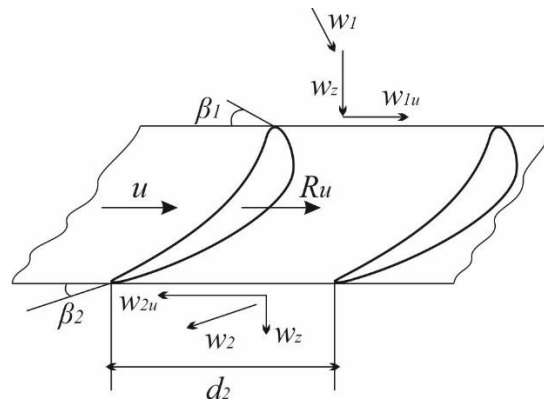


Figure 1. Determination of the flow circulation in the blade profiles

As follows from (2) and (3), the energy transfer, depending on the ratios  $w_{2u}/w_{1u}$  and  $d_2/d_1$  occurs both from the flow to the rotor blade elements ( $+R_u$ ) and from the blade elements to the flow ( $-R_u$ ).

It follows from the analysis of the flow structure [80] that, depending on the relative volumetric flow rate  $\overline{Gv_2}$ , these ratios change and the rotor wheel both receives energy from the flow and gives it away flow, receiving energy from an external source [81]. Since the stage under consideration has a large fanning, then, according to equation (3), the transition from transferring energy to the working blades from the flow and vice versa occurs along elementary streams, starting from the peripheral sections of the blade, ending in the root ones, i.e., the idle for each stream ( $\Gamma = 0$ ) varies along the length of the blade and the idle mode of the stage is an integral value determined by the summation of the consumed and produced energy along the length of the working blade.

Taking into account the changes in the flow structure and the impossibility of determining the energy losses in the stream filaments, in order to determine its characteristics at the low-flow rate modes, it is advisable to use the results of an experimental study of models of large fanning stages, processing them according to the approach based on the use of the Lagrange method [73], dividing the flow into its components and each of them into elementary streams.

The power  $\Delta N$  developed by the element of the rotor wheel of the stage, referred to a layer of small thickness  $\Delta G$ , can be represented as

$$\Delta N = \Delta G \cdot h_u, \quad (4)$$

according to the Euler equation, the specific work  $h_u$  of the selected stream of the working medium is for the streams passing through the rotor wheel [71]

$$h_u = u_1 \cdot C_{1u} + u_2 \cdot C_{2u}, \quad (5)$$

where  $u_1, u_2$  are circumferential velocities at the inlet "1" to the rotor wheel and the outlet "2" of the elementary stream from it;  $C_{1u}, C_{2u}$  are circumferential components of the stream velocity at the rotor wheel inlet and outlet (the + sign corresponds to the circumferential velocity direction).

To determine the performance characteristics of the stage, because the actual measured values include the power costs for moving the working medium into the elementary stream and the energy losses in it, when processing the results of experiments, one can use the generalized Bernoulli equation written for section 1 at the

inlet of the stream into the rotor wheel and for section 2 at the exit from it in the form [71]

$$\frac{P_1^*}{\rho^*} = \frac{P_2^*}{\rho^*} + h_u + h_r, \quad (6)$$

where  $h_u$  is the specific work (5) spent on moving the stream from radius  $r_1$  in the section 1 to radius  $r_2$  in the section 2;  $h_r$  is the irreversible (thermal) energy losses in the stream when moving from the section 1 at the rotor wheel inlet to the section 2 at its outlet (Fig. 2).

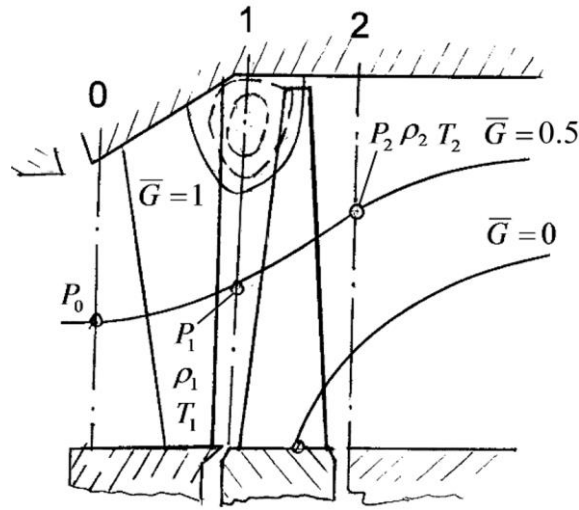


Figure 2. Flow parameters in the stage

The stagnant flow pressure (total pressure)  $P^*$  is equal to

$$P_1^* = \rho^* \cdot \frac{C_1^2}{2} + P_1, \quad P_2^* = \rho^* \cdot \frac{C_2^2}{2} + P_2, \quad (7)$$

where  $P_1$  and  $P_2$  are the static pressure in the stream at the inlet "1" to the rotor wheel and exit "2" from it, the difference of which  $\Delta P_{1-2} = P_1 - P_2$  characterizes the compression of the working medium in the stream;  $C_1, C_2$  are velocities of the working medium in the stream in front of the rotor wheel "1" and behind it "2".

When generalizing equation (6), the density of the working medium is taken as an average value determined from the parameters of the stagnant flow using the equation of state

$$\rho_1^* = \frac{P_1^*}{RT_1^*}, \quad \rho_2^* = \frac{P_2^*}{RT_2^*}, \quad (8)$$

$$\rho^* = \frac{1}{2}(\rho_1^* + \rho_2^*). \quad (9)$$

The difference  $\frac{\Delta P_{1-2}^*}{\rho^*}$  is the specific work for an elementary stream expended during its movement in the interblade channels of the rotor wheel.

Having experimentally obtained values  $P^*$ ,  $P$ , angles  $\alpha_1$ ,  $\gamma_M$  and their distribution along the radius for the sections in front of the rotor wheel (section 1) and behind it (section 2), after constructing streamlines and separating elementary streams in the flow  $\Delta G$ , the specific work  $h_u$  can be determined from the equation (5). In this case, the energy losses (heat losses) are defined as

$$h_r = \frac{P_1^* - P_2^*}{\rho^*} - h_u = \frac{\Delta P_{1-2}^*}{\rho^*} - h_u, \quad (10)$$

where the average density of the working medium is determined according to the dependences (8) and (9) at the measured temperatures  $t_1^*$  and  $t_2^*$ .

According to the accepted flow structure model, a similar approach is applicable to the main flow. In this case, the mass flow rate  $G_0$  is determined at the entrance to the stage and the relative mass flow rate is found from the dependence  $\bar{G} = G/G_0$ , where the flow rate  $G$  is the fractional part of the total flow rate when taking the flow rate in an elementary stream

$$G_i = \sum_{i=0}^n \Delta G_i = i \Delta G_i,$$

when dividing the flow through the stage into  $n$  equal parts.

The parameters of the working medium are taken on the middle line of the selected stream  $\Delta G_i$ .

A similar approach is used to determine the characteristics of a rotating vortex and the breakaway near a bushing. In this case, the mass flow rate in the vortex is found by the value of the velocity component  $C_{1z}$  of the flow that enters the rim clearance from the interblade channels of the rotor wheel. The boundaries of the area of the flow entering the clearance are the value  $C_{1z} = 0$  and the surface of the outside bypass above the rim clearance.

For the breakaway near a bushing, the mass flow rate in the vortex adjacent to the trailing edges of the rotor blades is determined by the reverse flow in the bushing area and the boundaries of the area occupied by the inflowing flow to the trailing edges are the surface of the bushing and the line  $\bar{G} = 0$  (Fig. 2) [82].

For the large fanning stage, the lines of equal flow rates were constructed based on the results of traversing [80], which made it possible to distinguish the flow of the working medium in the flow structure, limited by the lines  $\bar{G} = 0$  and  $\bar{G} = 1$  for all considered modes of the stage operation. At the same time, the main attention is given to the stage operation under the low-flow rate modes [83], which occur when the relative volumetric flow rate  $\overline{Gv_2}$  decreases to the value of the idle  $\overline{Gv_{2id}}$ .

To analyze the change in flow characteristics depending on the value  $\overline{Gv_2}$ , the components of equation (6) can be represented as a pressure difference for the total energy as  $\Delta P_{1-2}^*$ , the specific work  $\rho^* h_u$  and the compression  $\Delta P_{1-2}$  [84]. This makes it possible to estimate the difference between static and total pressure in the streams of the main flow. In the mode below idle, in which the peripheral part and a large proportion of the central part of the blade operate under the conditions of energy transfer from the sections of the blade to the flow, the difference in static pressures  $\Delta P_{1-2}$  (except for the bushing area) is close to zero. A further decrease in the mode leads to some compression of the working medium in the streams, the level of which is determined by their position relative to the average value.

The nature of the change in the specific work  $\rho^* h_u$  in the streams of the main flow largely repeats the change in the total energy. The development of a rotating vortex and the breakaway near a bushing with a decrease in the mode ( $\overline{Gv_2} = 0.254$  and  $\overline{Gv_2} = 0.04$ ) leads to an intensification of mass transfer at the boundaries of the main flow, an increase in the specific work spent on changes in the main flow, and an increase in irretrievable energy losses.

The share of energy losses determined according to dependence (10) at  $\overline{Gv_2} = 0.367$  for streamlines  $\bar{G}_i = 0.95$  is  $\sim 27\%$ , for  $\bar{G}_i = 0.8$  is  $\sim 38.5\%$ . The share of the specific work attributable to the compression of the flow in contact with the rotating vortex is 22% and 25% for the corresponding streams [84].

To obtain quantitative characteristics when the stage operates at the low-flow rate modes, it is necessary to have integral characteristics that determine the level of energy spent to maintain the flow structure and irreversible losses.

An analysis of the change in the specific energy along the stream filaments showed that when the specific work is distributed along the lines of the stream  $\bar{G}_i$ , in most of the experimentally found dependences  $h_{u_i} \sim \bar{G}_i$ , the equality is

$$\sum_{i=0.5}^n h_{u_i} \Delta G_i = h_u \Delta G,$$

which allows us to take the value  $h_{u\bar{G}=0.5}$  on the average streamline as a value for the integral characteristic  $\bar{G}_i = 0.5$

$$\bar{h}_{u\bar{G}=0.5} = \frac{h_{u\bar{G}=0.5}}{h_{u\bar{G}=1.0}} \sim \bar{G}v_2. \quad (11)$$

The values  $h_{u\bar{G}=0.5}$  and  $h_{u\bar{G}=1.0}$  pass through zero at the integrally determined value  $\bar{G}v_{2id}$ , which corresponds to the idle mode, in this case dependence (11) will take the following form

$$\bar{h}_{u\bar{G}=0.5} = \frac{\bar{G}v_2 - \bar{G}v_{2id}}{1 - \bar{G}v_{2id}}. \quad (12)$$

Considering equation (4), the integral nature of the value  $\bar{h}_{u\bar{G}=0.5}$  and  $h_{unom} = H_{0nom} \cdot \eta_{unom}$ , the power consumption attributable to the advancement of the main flow of the working medium through the stage can be represented as

$$\Delta N = \frac{\bar{G}v_2 - \bar{G}v_{2id}}{1 - \bar{G}v_{2id}} \cdot \bar{G}v_2 \cdot G_{nom} \frac{v_{2nom}}{v_2} \cdot H_{0nom} \cdot \eta_{unom}, \quad (13)$$

where  $H_{0nom}$  is the heat drop triggered in the stage at the nominal mode.

A similar approach can be applied to determine the power consumption required to maintain a rotating vortex and the breakaway near a bushing.

As an example, let us determine the energy costs attributable to the promotion of the main flow through the stage during its operation at the low-flow rate modes in the last stage of T-250/300-240 cogeneration turbine, which has the following geometric characteristics:

–  $\alpha_{1eff} = 17.4^\circ$  is the effective exit angle of the flow from the guide vanes at the average diameter;

–  $\beta_{2eff} = 27.84^\circ$  is the effective exit angle of the flow from the channels of the rotor wheel at the average diameter;

–  $\gamma_m = 47^\circ$  is the inclination angle of the peripheral contour of the guide vanes;

–  $v_{2nom} = 25 \text{ m}^3/\text{kg}$  is the specific volume;

–  $\varphi = 0.97$  and  $\psi = 0.93$  are the speed coefficients for guide vanes and rotor wheel respectively.

For these initial data, the idle of the stage is equal to  $\overline{Gv}_{2id} = 0.30$  [83].

To determine the power costs, according to dependence (13), the heat drop triggered in the stage is equal to  $H_{0nom} = 175.4$  kJ/kg, the efficiency at nominal mode is  $\eta_{unom} = 0.748$ , the steam consumption at the nominal mode, considering the degree of steam dryness  $x_2 = 0.925$  is  $G_{nom} = 69.5$  kg/s. The steam density  $\rho_2 = \frac{1}{v_2}$  is determined considering the steam temperature at the outlet of the main flow from the rotor wheel due to thermal (irreversible) losses [80].

The rotary diaphragm is closed (the swivel ring is on the “stop”), through the leaks between the ring and the diaphragm, only the “ventilation” steam flow enters the flow path of LPC to cool the flow path of the turbine.

The values of the relative volume flow rate of steam are obtained by calculation for a sealed diaphragm equals  $\overline{Gv}_2 = 0.0493$  and for an unsealed diaphragm is  $\overline{Gv}_2 = 0.0143$  [80].

In this case, based on formula (13), the power consumption is  $\Delta N = 26.8$  kW for a sealed diaphragm and  $\Delta N = 110.4$  kW for an unsealed one.

Comparison of the power costs for moving through the main flow stage indicates the advantage of using a sealed diaphragm. However, the power costs for the drive of the last stage at the low-flow rate modes also include the costs of maintaining the vortex rotating in the rim clearance and the breakaway near a bushing behind the rotor wheel, the value of which, based on the analysis of the experimentally established values [79], significantly exceeds the power costs for promoting the main flow, especially when the rotary diaphragm is fully closed. Therefore, to determine the total power costs for the operation of the last stage, it is necessary to have a balanced power of all cost components.

## SECTION 6. FOOD TECHNOLOGY

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.6.1

### 6.1 Characteristics of plant raw materials as a functional and technological ingredient for dairy products

#### 6.1.1 Characteristics of plant raw materials as a functional and technological ingredient for dairy products

In recent years, there has been a sharp trend in the creation of products in which the milk base is combined with raw materials of plant origin. This allows, on the one hand, to increase the nutritional value of the product, on the other - to partially reduce the existing deficiency of protein, polyunsaturated fatty acids, vitamins and minerals [85, 86].

Plant raw materials have become widespread in the food industry - due to their high nutritional and biological value. The scheme of application of vegetable raw materials for products of various branches of the food industry is presented in Figure 1.

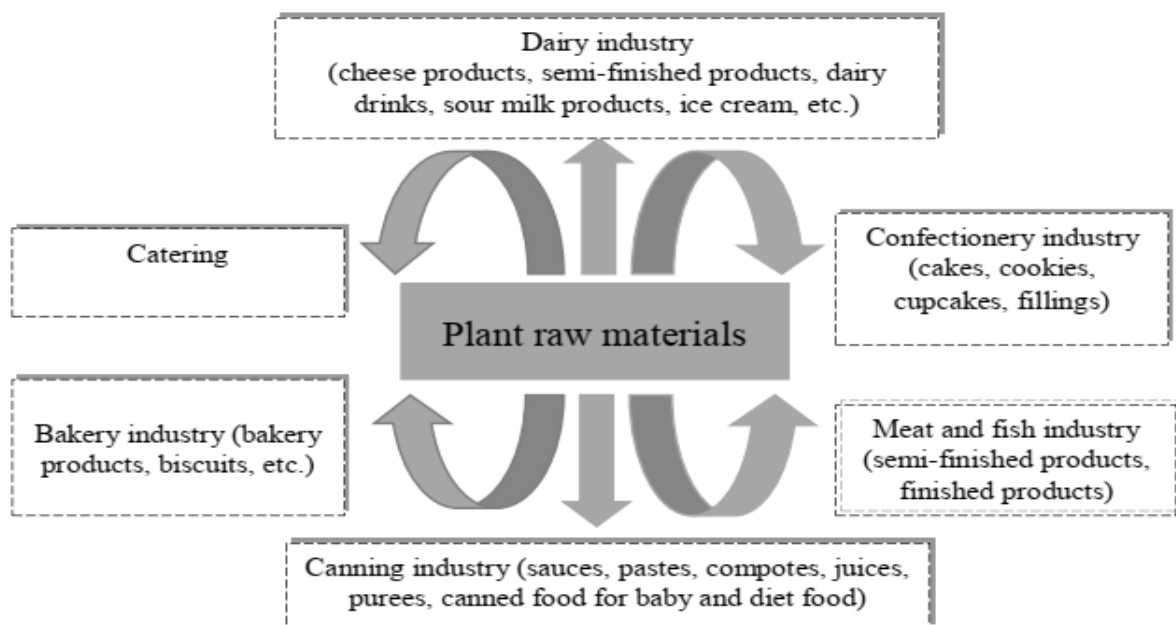


Figure 1. The use of plant materials

To ensure a balanced diet, new dairy products are being developed that contain, in addition to traditional ingredients, plant raw materials that are carriers of vitamins, macro- and microelements and other substances essential for the normal functioning of



the body. In the dairy industry, vegetable raw materials are usually used in crushed form, in the form of purees, powders, extracts, juices, as a filler and coagulant of milk proteins in the production of cheese products. To determine the suitability for use in the dairy industry, it is advisable to familiarize yourself with the properties of domestic vegetable raw materials.

Plant raw materials - a source of biologically active substances, especially organic acids, in easily digestible form and raw materials for the food industry. Biologically active substances contained in plants are able to remove heavy metals, radionuclides from the body, as well as neutralize their negative effects. Pectins form complexes that bind heavy metals and radioactive elements, and vitamins C and P have anti-radiant effects [87].

Ukraine grows a large number of crops, including wildflowers, which can be used as raw materials (additives) in the production of dairy products, including cheese products [88, 89]. The development of dairy-based products with plant raw materials is relevant for the use of functional and technological properties of medicinal plants and optimization of products for vitamins. Insufficient research on the use of plants as a natural coagulant to obtain protein-berry clots - the basis of cheese products [90]. According to literary data [91] there are significant deviations in the diet of almost all groups of the population, which has a negative impact on health.

Recently, the trend of curd products, in which the milk base is combined with various plant and grain additives, has been clearly defined. Their introduction allows to enrich traditional products with essential nutrients, thereby ensuring a high level of balance in amino acid, fatty acid, mineral, vitamin composition and increase the body's overall resistance to adverse environmental factors [92, 93].

There are a variety of cheese products with vegetable fillers: melon meal and pollen; wheat grain and dried apricots; sugar, vanilla and raisins, or fruit and berry powder; sea buckthorn; millet groats and mashed berries or vegetables; citrus fillers [94, 95].

The technology of obtaining curd mass with dried sea buckthorn fruits has been developed. To saturate the taste and aroma, dried sea buckthorn, blanched in syrup,

with a dry matter content of at least 30% at the stage of mixing the protein base with sugar in the amount of 6% of the total weight was added. Herbal supplement does not affect microbiological parameters and allows you to get a product with new taste characteristics and shelf life up to 72 g [96].

The introduction of berry powders leads to changes in the quality of cheese products, shown in Figure 2 [97].

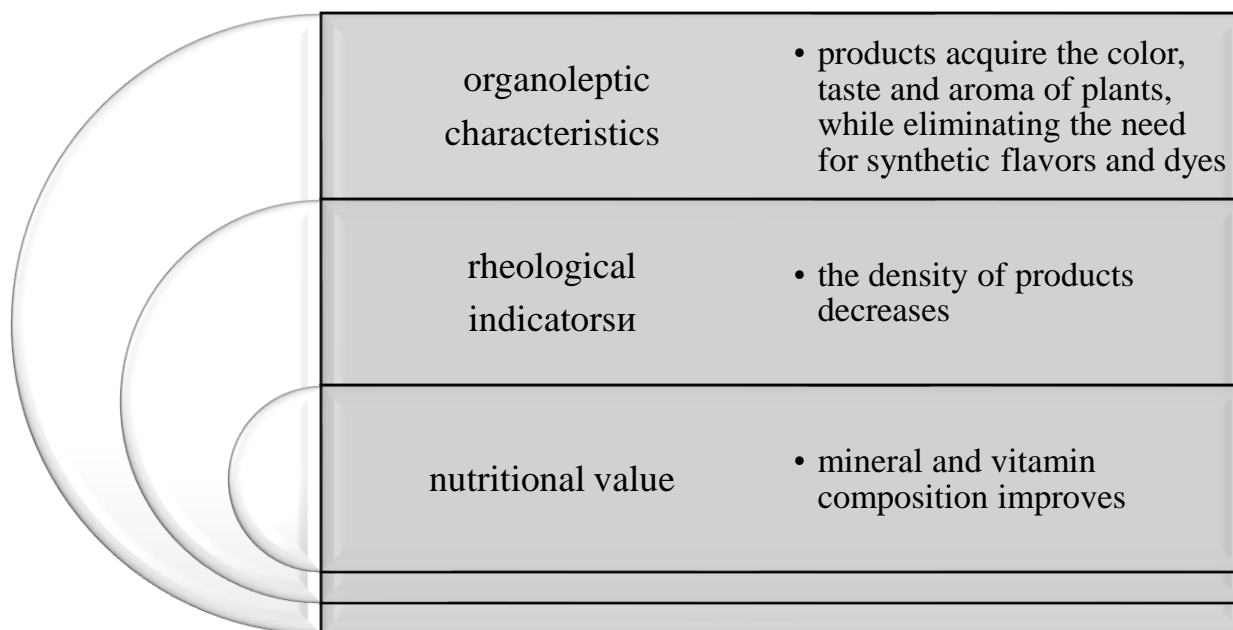


Figure 2. Changes in the quality of cheese products with plant additives

The possibility of using blueberry powder in quantities of: 3%, 5%, 7%, 10%, 15% as an enriching additive for low-fat cottage cheese is considered. The obtained samples of curd product were evaluated by organoleptic parameters on a 10-point scale. A sample of sour milk cheese with a powder content of 7% received a low score for a pronounced sour taste, the color of this sample was deep purple. The sample with the introduction of blueberry powder 10% had an excessively sour taste and a heterogeneous dry consistency. The lowest score was obtained with a content of blueberry powder 15% - for sour taste, dry texture and dark purple color. Subsequently, samples of cottage cheese with blueberry powder content of 5% and 7% were investigated [98].

A study was conducted to obtain a crude product by an acidic method with the addition of black currant berries. The purpose of the berry component is increased to

increase the acidity of milk to form a clot and change of organoleptic indices of the crude product. As a berry component used juice and crushed after freezing black currants. In the milk, a leaven and a berry component in an amount from 5% to 25% in a step of 5% were added. When the berry component is introduced in an amount of 15% and 20%, the yield of the crude product increases, and when added 25% begins to decrease. The acidity of the cheese product increases with an increase in the percentage of the berry component. When increasing the amount of berry component, the quality of grain is reduced. The maximum yield of the crust product was achieved with the extruded berries of black currants. The best organoleptic parameters were samples containing 10% and 15% of the berry component.

The possibility of using berries of aronia (black sorbitas) in the technology of production of crop products has been studied. As a raw material, a sour milk cheese was used, made in two ways: acidic and acid-saturated. The berries were introduced in an amount from 5% to 25% in a 5% step. According to organoleptic estimates, the best composition of the cheese of sour milk and printed rowan in the ratio: 80% cheese and 20% of berries. It is established the possibility of prolonging the implementation of the combined product with the Black Rainbow product up to 8 days [99].

The use of Fejoa as a filler in the technology of obtaining crude products is proposed. A distinctive feature of Fejoa is a high content of water-soluble compounds of iodine 0.2 - 1 mg in 100 g of product. The feature of technology is that in a finished cheese add a filler in the form of a mixture of smattered pulp and sugar in a ratio of 1: 1 and a dry skin powder. Dosage of syrup varied from 1% to 10%, dry filler - from 0.5% to 3.5%. The mixture of fillers was introduced into a finished cheese product in a ratio of Fejoa syrup and dry peel powder 8: 1.5. The antioxidant activity of the syrup Fejoa 1.963 mg / dm<sup>3</sup> is determined [100].

With the taking into account of the chemical composition and taste properties of the good raw materials, the technology and formulations of a crude dessert with the introduction into the silk base of additives in the form of powders of IR drying were developed. After cooking, the samples were cooled to a temperature of  $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . and kept to jellify the structure. With an increase in the concentration of powders up to 2%

(sea buckthorn up to 1.5%) there is a decrease in densber density due to organic acids and pectins that contribute to foaming. When administering additives at a concentration of 2% and the ratio of berry and vegetable powders 70:30 products were obtained with the corresponding organoleptic parameters.

In the production of grass desserts as a multivitamin functional additive, cranberries and sea buckthorn were used. Product from milk with the addition of berry mashed potatoes is obtained. The method involves the preparation of a milk-berry mixture of normalized pasteurized cow's milk and berry mashed potatoes and simultaneous treatment by heating, mechanical treatment and structural formation by continuous dispersion of a milk-berry mixture before the completion of its complete coagulation. The berries are black, white and red currants, cranberries, cranberries are blanked in water at a temperature of 90-100 °C, with an exposure of 3-8 minutes, the amount of water is 10-15%. Berries with a gentle consistency of pulp - raspberry, blackberry, blueberries - do not bless, but rub fresh immediately after thermal treatment. It consists in selling the berry mass through the holes in the walls of a perforated drum under the action of centrifugal force. The product is divided into two fractions: liquid, consisting of crushed pulp and solid, comprising seeds, peel and stones. Milk is normalized by the mass fraction of fat, pasteurize, cooled, make a bacterial leaven for cheese sour milk and a fruit component, which use fruit mash in an amount of 5-8% by weight of the mixture. The mixture is stirred, maintained to dry to form a fluid consistency without separation of serum or with a serum separation from a clump up to 30% until a dense dairy product is obtained. The effect of making berry puree - the operation of processing the mixture by squashing is found faster than without the introduction of a berry component, and the yield of the cluster increases. The introduction of a berry component in an amount of 5-8% of the mixture of the mixture is optimal.

The possibility of using mashed berries and cranberries for the production of a thermocoucular crude product is investigated. The introduction of mashed potatoes and cranberries, due to high acidity, will allow to form a clot, and due to the content of dry substances to increase the yield of the product. In addition, berries contain dyes that

allow the product of a pink or light purple shade depending on the components that make it possible to expand the range of soft thermal acid cheeses.

As raw material for the production of grass desserts, a raw root root can be used or processed by any of the thermal methods.

The widespread use of the roots of the burdock is due, first of all, the content of a rich complex of polysaccharides, mainly inulin - up to 45%.

Inulin for patients with diabetes is better than fructose, which produces products for this category of patients. This is due to the fact that fructose that is in the body in the composition of food products is absorbed in the small intestine and enters the liver mainly. At the same time, fructose formed from inulin under the influence of enzymes of microflora of the large intestine enters immediately in a large circle of blood circulation and absorbed as a liver, but also by other tissues, in particular muscles.

Due to the fact that for patients with diabetes mellitus, it is very difficult to pick up the necessary desserts, the task of developing assortment of desserts using the root of the burdock, while preserving its main pharmacological properties is quite relevant.

According to modern meals science, protein products are of great importance for balanced nutrition. In this regard, the issue of expanding the assortment of the above products, namely - the development of technologies of grassworks with plant components is relevant. Based on a balanced composition due to the combination of raw materials of animal and plant origin, combine the consumer characteristics of traditional products.

### **6.1.2 Development of fillers with extracts of inulin-containing raw materials for the dairy industry**

Inulin and its derivatives (inulin fructans) are natural components of cereals, fruits and vegetables. They are contained in many plants: wheat, topinamburi, onions, bananas, chicory, etc. Recently, it is convincingly shown in research on volunteers that inulin and oligophuctose improves lipid metabolism. In patients suffering from cancer and intestinal polyposis, different markers associated with these diseases are suppressed. Other physiological effects of inulinic fructans are involved in regulation of appetite, reducing the deposition of fat.

Industrial source of inulin and its derivatives is the root of chicory, from which they are obtained by hot extraction. At the same time, a good scientific and technical base of the production of bifidogenic substances from the topinambura was created.

It should be noted that chicory and topinambur are not only a valuable source of prebiotic components, but also contain a significant amount of vitamins, minerals, enzymes. To date, the resource-saving technologies of processing of topinamburus and chicory, which maintain biologically active components in practice are theoretically substantiated and implemented. Recycling products (powders, juice and mashes) can be used in nutrition both independently and by introducing into the formulations of other food products by providing them with functional properties.

From the point of view of food science, it is most advisable to develop new functional products based on fermented dairy products having high food and biological value.

### **6.1.3 Technological features of obtaining functional milk drinks with biologically active substances from vegetable raw materials**

Given the prebiotic characteristics of inulin, its significant content in chicory (14-15%) and Topinamburi (11-12%) was an interesting study of their bifidogenic properties when used in the technology of fermented dairy drinks.

Studies have shown that with a powder of topinamburus in an amount to 1% to a mass of nutrient medium containing bifido or lactic acid bacteria, increased the optical density density in comparison with solutions without the addition of topinamburium by an average of 30-40% of the final measurement point. Probably this is due to the introduction of water-soluble nutrients and inulin Topinambura, which positively affect the growth of microorganisms. However, the beginning of intensive growth of bacteria was uneven for different cultures - for lactic acid sticks after 6 hours of fermentation, for bifidobacteria - after 10 hours, which is due to various biotechnological properties of microorganisms.

Unlike the powder of the Topinambur, the use of chicory powder did not lead to a significant change in the optical density of nutrient media cultivated by probiotic cultures. The value of the indicator of the optical density coefficient (%) in control and

experimental samples at the end point were practically the same and comparable to the experience of experience. It is noted that growth of cultures on an environment with chicory components began later an average of 3 hours for lactic acid cultures and 12 hours for bifidobacteria. Obviously, it is with adaptation of cultures to an environment containing chicory components.

The study of the process of propagating the samples of normalized milk by probiotic leaven showed that with an increase in the percentage of the acid-introduced component, the process of acid formation slightly slowed down. The introduction of chicory in an amount of 1-2% slightly influenced the process of drying milk against control samples without chicory. The process of fermentation lasted 6-8 hours and was accompanied by the process of increasing acidity in characteristic of each type of leaven range. The introduction of chicory influenced the viscosity of samples, reducing this index directly proportional to the amount of chicory. In this connection, it is necessary to use leaven with a microflora that produces viscous polysaccharides or introduce stabilizers to provide the necessary organoleptic properties of a fermented drink. According to the results of the study for further product development, a sample containing 2% chicory obtained using a comprehensive leaven "Bifit" was selected.

When drying normalized milk containing 1 to 3% powder of the Topinambura, the dynamics of an increase in acidity acidity, for all samples in comparison with control samples has not changed. The resulting clots had a homogeneous dense consistency, an acidity of 70-90 °T, depending on the desktop used.

Dynamics of changing inulin content when drying milk containing powder of Topinamburu 3% and chicory powder 2% using probiotic crops are reflected in Figure 1.

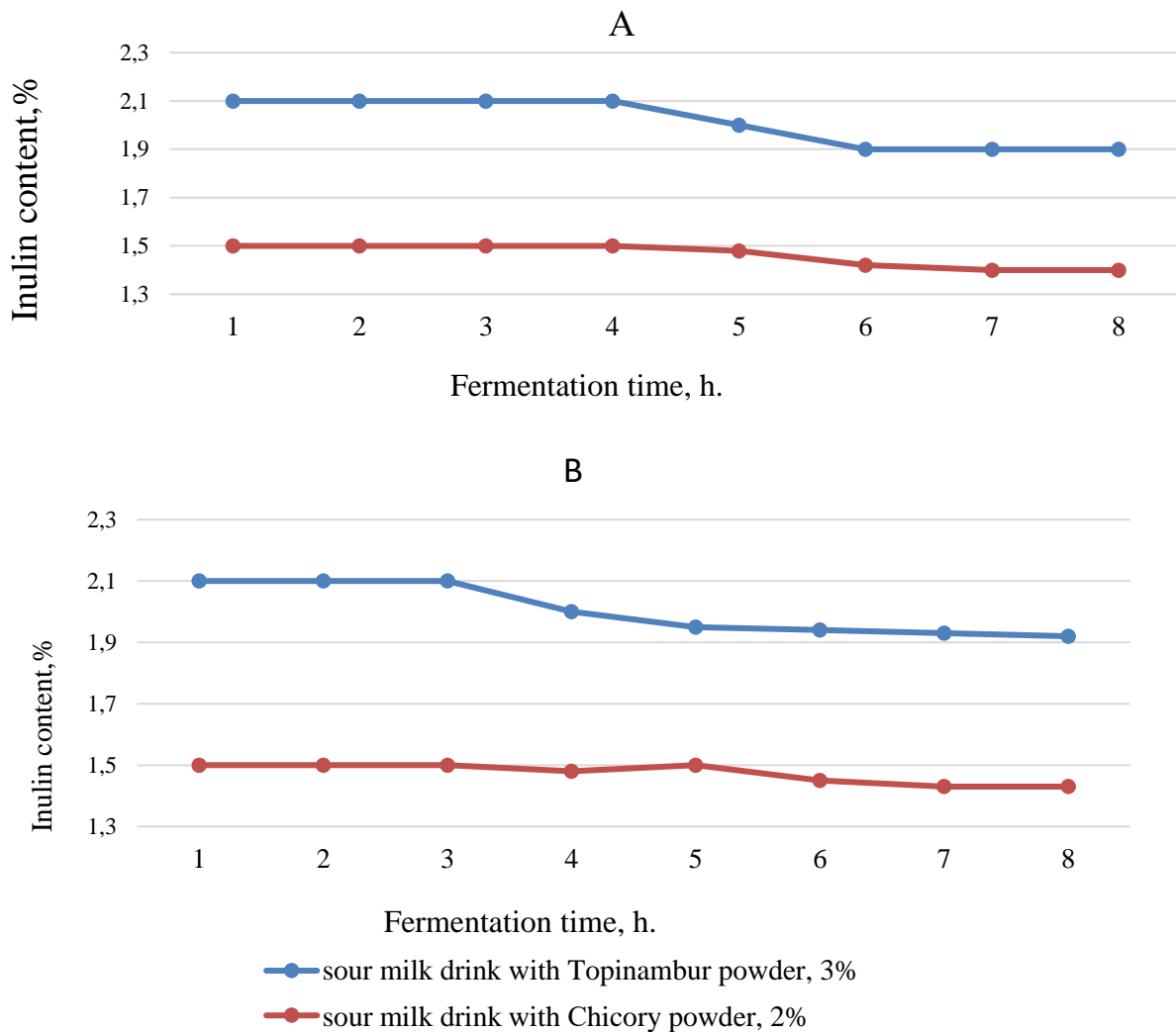


Figure 3. Changing the content of inulin in samples of sour-milk drinks using the leaven "Bifit" (A) and Biomatrix (b)

As the results show, at the beginning of the fermentation process of both samples, the inulin content does not change. After 5-6 hours there is a decrease in inulin content before the end of the process. In general, the inulin content is reduced by 9.52% and 5.96% for samples with Jerusalem artichoke and chicory powder, respectively. When using the leaven "BioMatrix" inulin content decreased by 7.5% for the sample with Jerusalem artichoke powder and 3.86% for the sample with chicory powder.

Thus, in the fermentation of raw milk containing dry powders of vegetable raw materials, there is the utilization of inulin by the microflora of the yeast as a source of nutrition *in vitro*. In addition, fermented beverages remain sufficient inulin to obtain a bifidogenic effect *in vitro*.



Due to the specific organoleptic characteristics of the drink with chicory powder, the correction of its formulation was carried out with the introduction of stevia powder and pectin.

Stevia was used as a natural sweetener of intensive type, the total sweetness of stevioside which ranges from 200 to 300 sweetness of sucrose. Stevia has not only low energy value, but also has a therapeutic effect on the body [101]. For the experiment, several recipes for beverages with stevia content from 0 to 0.12% were prepared. Stevia was added to the heat treatment normalized mixture.

The addition of pectin powder to pasteurization in an amount of 1 to 2% naturally increased the viscosity of fermented milk drinks (table 1). Samples with a pectin content of 1.25% by weight had acceptable rheological characteristics.

Table 1.

Dynamic viscosity of fermented milk drinks, mPa · s

The leaven used	Mass fraction of pectin, %				
	1.0	1.25	1.5	1.75	2
Bifivit	72.4/73.2	90.1/90.6	92.2/94.31	102.1/104.2	106.1/110.2

Note: mass fraction of milk fat 2.5%

The technology of sour milk drinks with powders of vegetable raw materials is as follows: in part of the normalized milk heated to a temperature of 40-45 °C make Jerusalem artichoke powder in the amount of 3% or chicory in the amount of 2% of the total mass of milk. Stevia powder at the rate of 0.8 kg/1000 kg of finished product and dry pectin at the rate of 12.5 kg/1000 kg of product are additionally added to the milk-chicory mixture. After mixing and dissolving the components, the resulting milk-vegetable mixture is added to the main volume of milk and sent for heat treatment at a temperature of 92-95 °C for 2-8 minutes. Then the mixture is cooled to the fermentation temperature – 35-37 °C for sourdough "Bifivit" and 38-40 °C for sourdough "BioMatrix". Beverages are fermented at the fermentation temperature to form a dense clot.

Organoleptic characteristics of the obtained fermented beverages are shown in table 2.

Table 2.  
Organoleptic indicators of fermented milk drinks with  
biologically active additives of vegetable raw materials

Sample drink	Appearance and consistency	Taste and smell	Color
Sour milk drink with chicory, stevia and pectin	Homogeneous, viscous consistency	Sour milk with a slight bitterness and chicory aroma, moderately sweet	Creme
Sour milk drink with Jerusalem artichoke (sourdough "Bifivit")	Homogeneous, moderately viscous consistency	Sour milk, tender	Creme
Sour milk drink with Jerusalem artichoke (sourdough "BioMatrix")	Homogeneous, viscous consistency	Sour milk, tender	Creme

Thus, the study of functional-technological and biotechnological properties of prebiotics, determination of rational doses and stages of introduction, study of technological features of fermentation allows to create scientifically sound technologies of functional dairy products of bifidogenic action. Therefore, chicory and Jerusalem artichoke powders are recommended for use in the production of fermented dairy products as prebiotic components without significant changes in the technology of fermented milk drinks.

#### **6.1.4 The use of burdock roots and scorzonera in the technology of dairy desserts**

Wild plants are recognized as one of the sources of dietary fiber. Dietary fiber has the ability not only to affect the metabolic process, but also to regulate the structural and mechanical properties of the products of which they are part. Their importance is especially important in the structure of high-calorie, high-fat food systems. In the diet of many peoples of the Pacific region, burdock root and scorzonera are integral components.

The roots of these plants contain up to 45% of inulin polysaccharide.

The physiological value of inulin is that, being a prebiotic, it serves as a substrate for profits, including bifidobacteria. Its use with food does not increase blood glucose and does not stimulate insulin production.

In the presence of sugar and protein, the structure-forming properties of inulin increase. Adding inulin to low-fat foods gives them a deeper, softer and more balanced taste. It increases the stability of foaming products and emulsions, shows synergism with other texturizing agents. Inulin is a promising ingredient for the production of dietary, functional, including protein-rich foods with low fat and sugar content [102].

In order to obtain a curd dessert with the best organoleptic characteristics and the maximum possible content in the dessert of burdock root, burdock root puree was introduced into desserts in the amount of 20-80% by weight of dessert. Studies have shown that burdock root puree significantly affected the structural and mechanical properties of cheese desserts. Figure 4 shows the dependence of the shear deformation of cheese desserts on the content of burdock root puree.

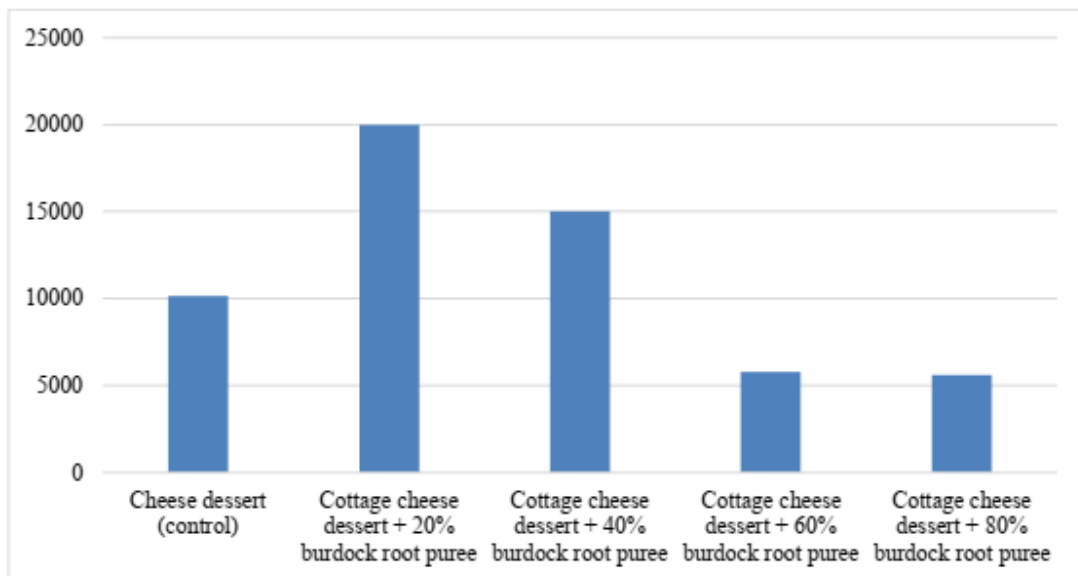


Figure 4. Dependence of shear deformation of cheese desserts on the content of burdock root puree in them

As can be seen from the results, the effect of puree on the deformation characteristics is complex. When keeping puree in dessert from 20 to 40% increases the stability of the structure of desserts, probably due to the mechanism of interaction of dietary fiber and milk protein cheese. Increasing the proportion of puree to 60% leads to the dilution of desserts and reduce this interaction by reducing the proportion

of protein by 2.3 times compared to control samples. When kept in desserts up to 60% of burdock root puree increases their viscosity. Probably due to the fact that when reducing the strength of desserts, they are more saturated with air during whipping, which leads to an increase in their dynamic viscosity.

The results of the dynamic viscosity of gray desserts are presented in Figure 5.

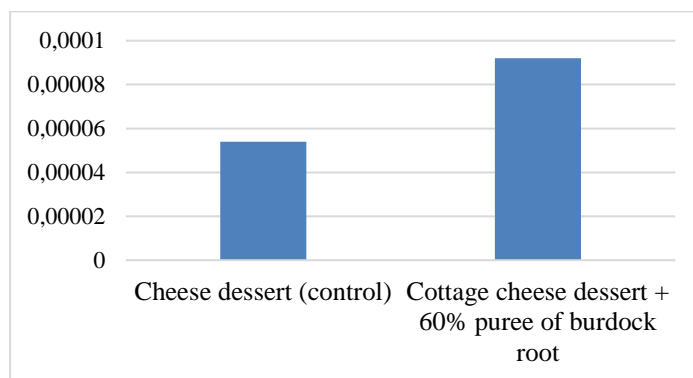


Figure 5. Dynamic viscosity of cheese desserts, Pa · p

With the improvement of the structure of curd desserts containing up to 40% of burdock root puree, their organoleptic characteristics change almost little compared to the control sample. The structure of desserts is lush, porous, but since the cheese itself has a light grain, the inclusion of small dietary fibers of burdock root is not felt in the overall structure of the dessert. The content in the dessert of up to 60% puree leads not only to the formation of a more porous structure, but also to a noticeable change in its color - from white to light beige, the taste is light burdock, which does not impair the taste of cheese dessert. When you increase the amount of burdock puree to 65%, the taste of burdock becomes more pronounced, which affects the unpleasant aftertaste. Based on this, the recipe for a cheese dessert containing burdock root puree in the amount of 60% was chosen.

Thus, in the course of research, it was experimentally established that burdock root puree in the amount of up to 60% improves the structural and mechanical properties of the product and allows you to get a cheese dessert with a lush structure and high organoleptic characteristics.

To expand the range of fermented milk products, giving them functional properties, we proposed to use the developed multifunctional food composition (dairy-plant extract scorzonera) in the production of yogurt drinks.

To obtain a milk-plant extract, dried scorzonera roots were used, which are characterized by a high content of inulin polysaccharide (up to 12%). The dry matter of unpeeled tubers scorzonera also contains dietary fiber, in particular, pectin (up to 4%) and fiber (up to 2%), which act as a sorbent and remove toxins from the body, as well as polysaccharide starch (up to 1%). Of particular importance among the physiologically valuable nutrients scorzonera belongs to the amino acids that regulate various metabolic processes. Scorzonera roots have a valuable mineral composition, which is represented by calcium, potassium, sodium, phosphorus, magnesium, iron, manganese, copper, zinc.

The developed recipe for thermized yogurt drink provides for the complete replacement of sucrose and water with milk-vegetable extract of scorzonera. The use of apple puree as a filler improves the organoleptic and rheological properties of the finished product.

In the production of yogurt drink as a protective hydrocolloid that allows the mixing of milk base and acidic agent with subsequent heating, selected pectin. It is adsorbed on the surface of casein particles, "fixing" their size and preventing the connection of protein particles in large formations, preventing the precipitation and separation of serum [103, 104].

For the formation of a milk clot used sourdough direct application of Yo-FLEXMILD 1.0, which includes lactic acid bacteria (*S. thermophilus* and *L. bulgaricum*). This leaven due to the ability to synthesize exopolysaccharides forms a stable clot, preventing syneresis in the finished product.

The composition and properties of the produced product were studied (table 3).

Table 3.  
Chemical composition and nutritional value of  
yogurt drink with scorzonera extract

Nutrient	Mass fraction,%	Nutritional value,% satisfaction of daily human needs
Dry matter, g	11, 20	-
Carbohydrates	8,9	1,78
incl. inulin, g	1,9	15,8

Continuation of table 3

reducing sugars, g	7,0	17,0
incl. fructose	6,68	26,70
Amino acids,%	1,9	2,2
arginine	0,074	1,21
lysine	0,128	3,12
tyrosine	0,048	
phenylalanine	0,067	2,61
histidine	0,041	1,95
leucine	0,152	3,3
isoleucine	0,050	2,5
methionine	0,003	0,17
valine	0,096	3,84
proline	0,166	3,69
threonine	0,067	2,79
serine	0,087	1,05
alanine	0,059	0,89
glycine	0,051	1,46
cysteine	Less 0,001	-
glutamic acid	0,358	2,63
aspartic acid	0,0161	1,32
Fat, g	1,8	1,8
Macronutrients,%		
Ca	0,1	0,01
P	0,07	0,01
Trace elements, mg%:		
Fe	0,16	0,01
Cu	0,04	0,04
Zn	1,28	0,10
Vitamin C, mg	3,66	5,23
Antioxidants, mg / dm <sup>3</sup> in terms of quercetin	12,13	20,20
The content of lactic acid microorganisms CFU / cm <sup>3</sup>		1,1 · 10 <sup>10</sup>
Energy value, kCal / 100 g		30

Its high antioxidant activity is due to the presence of methionine, serine, cysteine and vitamin C.

Developed yogurt drink can be classified as functional in inulin, antioxidants, reducing sugars and fructose. The product is characterized by synbiotic properties, as it contains prebiotics (inulin, pectin) and probiotics (lactic acid microorganisms). This is confirmed by the results of analysis of prebiotic activity. The content of live lactic acid microorganisms in the developed product at the end of the shelf life is 1000 times higher than in yogurt drinks obtained by traditional technology.

The product is produced according to the scheme shown in Figure 6.

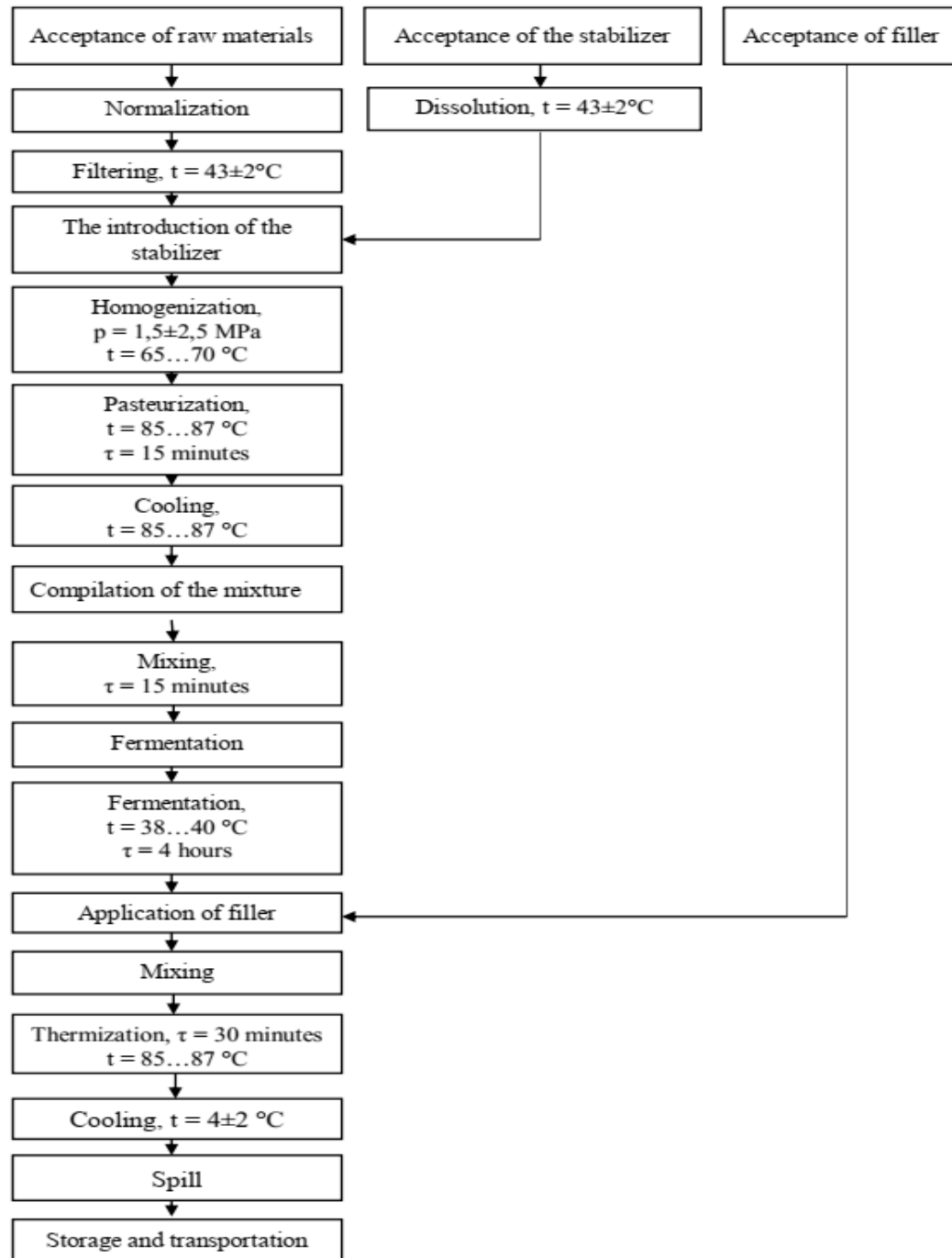


Figure 6. Technological scheme of production of yogurt drink with scorzonera extract

Improving production technology is the introduction of additional operations related to the preparation of basic prescription components and obtaining milk-vegetable extract scorzonera.

Implementation of this technological scheme will expand the range of fermented milk drinks, make maximum use of raw milk nutrients and obtain a multi-component

product of high nutritional value, containing physiologically functional ingredients: inulin, antioxidants, reducing sugar and fructose.

Thus, the developed recipe for thermized yogurt drink provides a complete replacement of sucrose and water with milk-vegetable extract scorzonera. The use of apple puree as a filler improves the organoleptic and rheological properties of the finished product.

In order to obtain a curd dessert with the best organoleptic characteristics and the maximum possible content of burdock root, burdock root puree was administered in an amount of 60% by weight of dessert.



## SECTION 7. INFORMATION TECHNOLOGIES

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.7.1

**7.1 Інформаційна технологія відсікання неперспективних варіантів в алгоритмах рішення задачі цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними на основі рангового підходу**

Розглянемо сутність рангового підходу до рішення задач цілочисельного лінійного програмування (ЦЛП) з булевими змінними (БЗ) на прикладі задачі про рюкзак. Загальна постановка цієї задачі формулюється таким чином. Необхідно знайти вектор  $\vec{x}$ , що доставляє максимум функції:

$$f(\vec{x}) = \sum_{j=1}^n c_j \times x_j, \quad (1)$$

при виконанні умов:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \times x_j \leq b_i, \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad i = (\overline{1, m}); \quad j = (\overline{1, n}). \quad (3)$$

Для спрощення викладу математичної моделі розглянемо одномірну задачу, тобто максимізуємо функціонал

$$f(\vec{x}) = c_1 \times x_1 + c_2 \times x_2 + \dots + c_n \times x_n, \quad (4)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{j=1}^n a_{1j} \times x_j \leq b, \quad (5)$$

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_n; \quad a_{ij} > 0; \quad c_j > 0 \quad j = (\overline{1, n}). \quad (6)$$

Поставимо у відповідність задачі (4–6) граф  $G$  (рис. 1), що зображує бінарне дерево усіх рішень, число яких дорівнює  $2^n$  [105-111].

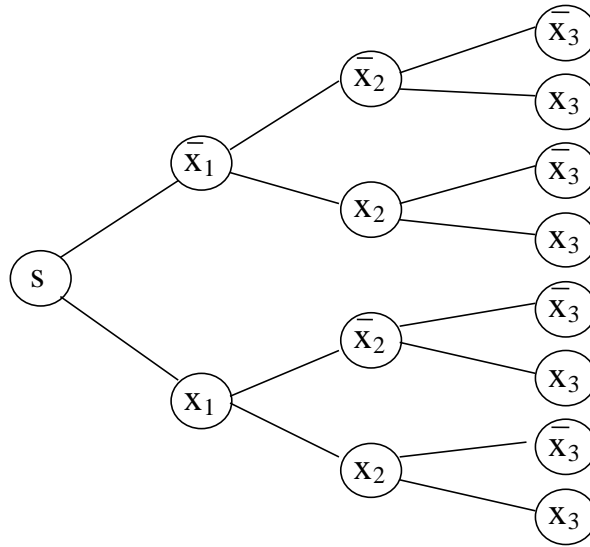


Рисунок 1. Граф G

Множина  $X = \{x_j\}$  усіх векторів розмірності  $n$ , усі компоненти яких  $x_j \in \{0, 1\}$  становлять множину можливих значень.

Деяка його підмножина  $V$ , усі вектори якої задовольняють обмеженням (5 – 6), утворюють множину припустимих рішень.

Множина  $H \subset V$  є множиною оптимальних рішень вихідної задачі, якщо для будь-яких векторів  $x \in H$  функціонал (4) досягає свого екстремального значення.

Усю множину можливих рішень можна розбити на групи векторів, що містять: один компонент  $x_j = 1$ ,  $j = (\overline{1, n})$  і всі інші рівні 0; два компоненти  $x_j = 1$  і всі можливі їхні сполучення по 2, а інші, рівні 0; три компоненти  $x_j = 1$  і всі можливі їхні сполучення й т. д.  $n$  – компонент  $x_j = 1$ . Якщо позначити підмножини векторів цих груп через  $m^r$   $r = (\overline{1, n})$ , тоді множину усіх можливих рішень можна записати як об'єднання підмножин  $m^r$ :

$$X = \bigcup_{j=1}^n m^r. \quad (7)$$

Як показано в роботі [106], згідно з графом  $G$  можна побудувати граф  $G'$  (рис. 2), у якому множина шляхів рангу  $r$  (ранг шляху – число ребер, що утворюють шлях) відповідає групам підмножин, які описуються співвідношенням (7).

Для цього вершину  $s$  з'єднаємо спрямованими ребрами з вершинами  $1, 2, \dots, n$  і т. д.; вершину  $i$  з'єднаємо з вершинами  $i+1, \dots, n$ . В останню вершину  $n$

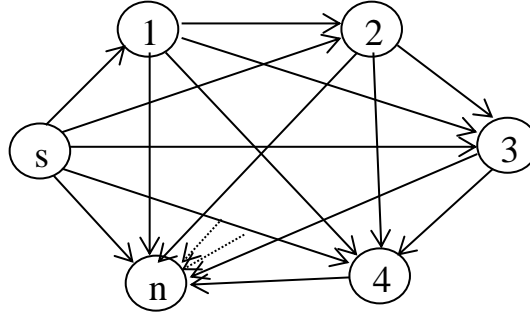


Рисунок 2. Граф  $G'$

входять ребра, спрямовані із усіх вершин, і жодне ребро із цієї вершини не виходить.

Дерево шляхів  $D\Delta$  графа  $G'$  з вершини  $s$  будується таким чином [105-109]: на нульовому ярусі ( $r = 0$ ) розташуємо вершину  $s$ . На першому ярусі розмістимо всі вершини графа  $G'$ , що мають зв'язок з вершиною  $s$  і з'єднаємо їх з  $s$  (при цьому утворилася підмножина шляхів рангу  $r = 1$ ). У другому ярусі розмістяться всі вершини, що мають зв'язок з вершинами першого ярусу, без вершини з номером 1 і з'єднаємо їх з вершинами першого ярусу (утворені всі шляхи рангу  $r = 2$ ) і так далі доти, поки в останньому не залишиться одна вершина  $n$ . На рис. 3 наведено приклад, коли  $n = 4$ .

Геометрично вершина  $k$  графа  $D\Delta$  рангу  $r$  – це множина векторів  $\vec{x}$   $(x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n)$ , у яких  $x_k = 1$ , а на позиціях від 1 до  $k$  перебуває  $r$  одиниць (рис. 4). Ребра, що входять у вершину  $k$  графа  $D\Delta$ , відповідає одиничний вектор  $\vec{e}_k$   $(0, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$   $n$ -мірного одиничного куба  $B^n$  з одиницею в  $k$ -тій позиції. Тоді, шляху  $\mu_{sj}^r$  рангу  $r$  у графі  $D\Delta$  відповідає вектор  $\vec{x}$ , який дорівнює сумі одиничних векторів ребер, через які він досяг вершину  $j$  рангу  $r$ , починаючи з вершини  $s$ .

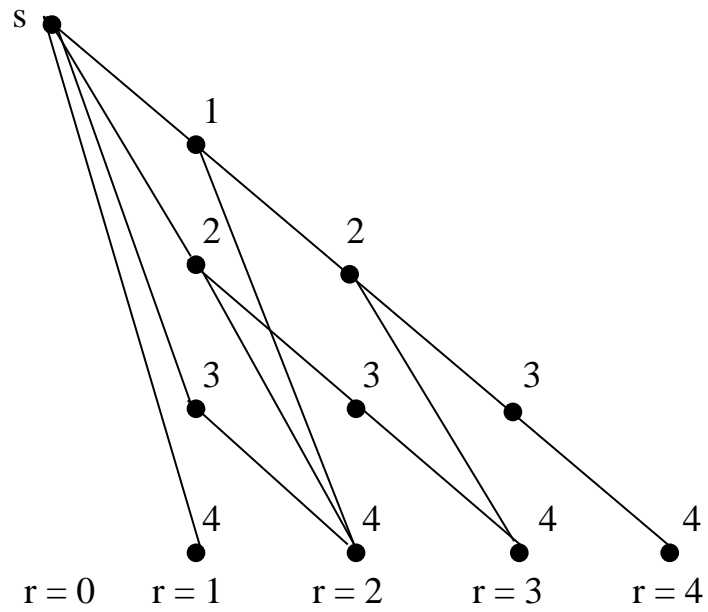


Рисунок 3. Граф  $D \Delta$

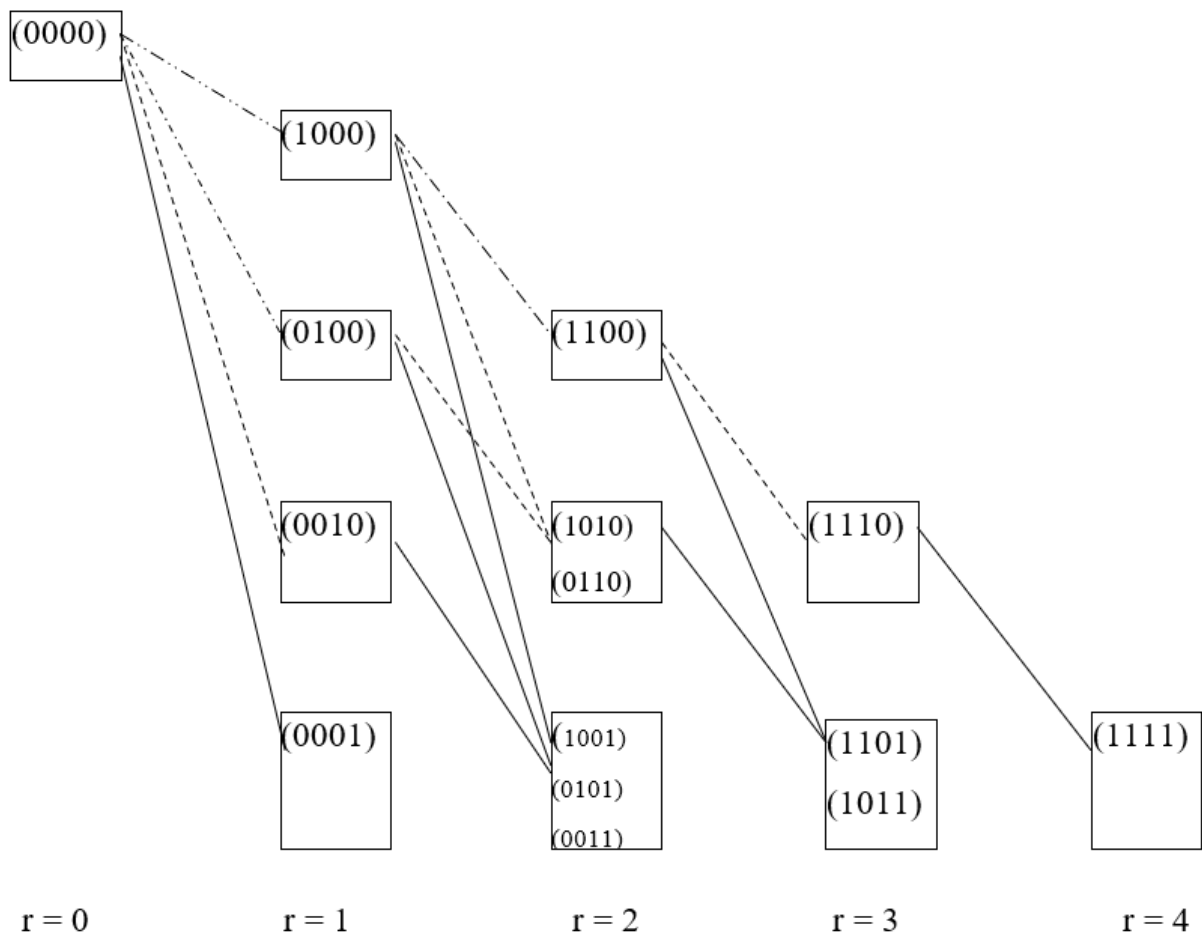


Рисунок 4. Геометрична інтерпретація графа  $D\Delta$

Наприклад, шляху  $\mu_{s24}^{r=2}$  відповідає вектор  $\overrightarrow{x_{s24}}$ , що утвориться сумою нульового вектора  $\vec{0} \{0000\}$  і одиничних векторів  $\vec{e}_2 = \{0100\}$ ,  $\vec{e}_4 = \{0001\}$ , тобто:

$$\overrightarrow{x_{s24}} = \vec{0} \{0000\} + \vec{e}_2 \{0100\} + \vec{e}_4 \{0001\} = \{0101\}$$

Нехай у графі ДД кожному ребру, що входить у вершину  $j$ ,  $j = (\overline{1, n})$  відповідає дві ваги: вага  $c_j$ , якій дорівнює коефіцієнт при  $x_j$  у функціоналі (2.4), і вага  $a_{1j}$ , якій дорівнює коефіцієнту при  $x_j$  в обмеженні (5). Тоді, шлях  $\mu_{sj}^r$  у графі ДД з вершини  $s$  у вершину  $j$  характеризується двома довжинами:  $d_c(\mu_{sj}^r)$  - довжиною за вагою функціонала й  $d_a(\mu_{sj}^r)$  - довжиною за вагою обмежень.

Множину шляхів  $m_s^r(j)$  у графі ДД до вершин  $j$ , розташовану на ярусах  $r = (\overline{1, n})$  від вершини  $s$ , можна зобразити у вигляді

$$m_s^r(j) = m_{sj}^{r=1} \cup m_{sj}^{r=2} \cup \dots \cup m_{sj}^{r=n}, \quad j = (\overline{1, n}), \quad (8)$$

де  $m_{sj}^r$  - множина шляхів у графі ДД від вершини  $s$  до вершин  $j$ , розташованим на  $r$ -х ярусах графа ДД (ранг шляху  $\mu_{sj}^r \in m_{sj}^r$  визначається числом ребер, що утворюють цей шлях). Варто мати на увазі, що множині шляхів  $m_{sj}^{r=k}$  у графі ДД відповідає множина векторів  $\{\vec{x}_1, \vec{x}_2, \dots, \vec{x}_v\}$ , що містять  $k$  одиниць. Отже,  $|m_{sj}^r| = C_n^{r=k}$ , тобто кожному шляху в множині  $m_{sj}^{r=k}$  відповідає деякий вектор  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . З множини (2.8) слідує, що:

$$|m_s^r(j)| = C_n^{r=1} + C_n^{r=2} + \dots + C_n^{r=n} = 2^n - 1. \quad (9)$$

Таким чином, граф ДД являє собою впорядкований за рангами еквівалент  $n$ -мірного одиничного куба  $V^n$ , у якому шляхи  $\mu_{sj}^r \in m_{sj}^r$  відповідають вершинам  $V^n$ . Довжина кожного шляху за вагою функціонала визначає значення функціонала (4) у вершинах одиничного куба  $V^n$ . Довжина за вагою обмежень визначає, чи відповідає дана вершина  $V^n$  обмеженням (5), тобто належить вершина  $n$ -мірного одиничного куба  $V^n$  гіперплощини (5). Якщо  $d_a(\mu_{sj}^r) \leq b$ , то вершина належить гіперплощині (5), і будемо говорити, що шлях  $\mu_{sj}^r$

задовольняє властивості  $v$ . Якщо  $d_a(\mu_{sj}^r) > b$ , то вершина  $n$ -мірного куба, що відповідає шляхам  $\mu_{sj}^r$ , не належить гіперплощині (5), а шлях  $\mu_{sj}^r$  вважаємо таким, який не задовольняє властивості  $v$ .

Оптимальному рішенню задачі (4 – 6) в ДД відповідає самий довгий шлях за вагою функціонала, що задовольняє властивості  $v$ .

У випадку  $m$ -мірної задачі (1 - 3) ребрам, що входять до вершин графа ДД, крім ваги  $c_j$  функціонала, відповідає  $m$  ваг  $a_{ij}$  обмежень, а шлях  $\mu_{sj}^r$  характеризується довжинами:  $d_c(\mu_{sj}^r)$  – довжиною за вагою функціонала й  $d_a(\mu_{sj}^r)_i$ ,  $i = \overline{(1, m)}$  – довжинами за вагою  $m$  обмежень.

На основі математичної моделі рангового підходу для побудови алгоритмів рішення завдань ЦЛП із БЗ покладений принцип оптимізації у напрямку в дискретному просторі станів, заданому графом ДД [105-111]. Подання  $n$ -мірного одиничного куба у вигляді графа ДД дозволяє розбити множину усіх шляхів графа ДД з нульової вершини  $s$  на  $\Omega$  локальних областей, де  $|\Omega|$  не перевищує величину  $\frac{n^2}{2}$ , оскільки число вершин у графі ДД визначається сумою чисел натурального ряду

$$\Omega = n + (n-1) + \dots + 1 = \frac{n \cdot (n+1)}{2} \approx \frac{n^2}{2}, \quad (10)$$

причому  $\Omega$ -області в графі ДД упорядковані за рангами і шляхи наступного рангу можуть бути отримані на основі шляхів попереднього рангу за рахунок приєднання до них ребра  $(j,p)$  у графі ДД:  $m_{sp}^{r=r+1} = \{(\forall(\mu_{sj}^r \in m_{sj}^r)) \cup (j, p)\}$ .

Нехай задані деякі правила відсікання  $\{L_w\}$  шляхів  $\mu_{sj}^r$  у множинах  $m_{sj}^r$ . Тоді, якщо в множинах утримуються шляхи, що задовольняють властивості  $v$  і правилам  $\{L_w\}$ , то під оптимізацією за напрямком у графі ДД до вершини  $p$  будемо розуміти формування множин  $m_{sp}^{r=r+1}$  наступного рангу, які виходять за рахунок виділення в  $m_{sj}^r$  шляхів, приєднання до яких ребрам  $(j, p)$  дозволить у

множині  $m_{sp}^{r=r+1}$  одержати шляхи, що задовольняють правилам  $\{L_w\}$  на основі наступного рекурентного співвідношення

$$\forall (\mu_{sj}^r \in m_{sj}^r) [\mu_{sp}^{r=r+1} = L_w \{ \mu_{sj}^r \cup (j, p) \}] \quad p = (\overline{r+1, n}); \quad j = (\overline{r, n}), \quad (11)$$

де  $\mu_{sj}^r \cup (j, p)$  – шлях з вершини  $s$  графа  $D\Delta$  у вершину  $p$ , що проходить через проміжну вершину  $j$  і який задовольняє правилам  $\{L_w\}$ , тобто який одержуємо за рахунок приєднання до шляху  $\mu_{sj}^r$  ребра  $(j, p)$ , якщо таке з'єднання не суперечить правилам  $\{L_w\}$ . Надалі для спрощення викладу, якщо шлях  $\mu_{sp}^{r=r+1} = \mu_{sj}^r \cup (j, p)$  задовольняє правилам  $\{L_w\}$ , то будемо говорити, що він задовольняє й властивості  $v$ .

Таким чином, для рішення задачі (1 – 2), використовуючи правила  $\{L_w\}$  і оптимізацію за напрямком (11), побудуємо деяку узагальнену процедуру  $A_0$ , що дозволяє формувати множини локальних екстремумів  $\Omega$  і виділяти серед них глобальний.

Уведемо узагальнену процедуру  $A_0$ , що дозволяє на основі обраного правила відсікання  $\{L_w\}$  вирішувати завдання (1 – 3).

Узагальнена процедура  $A_0$

*КРОК 1.* З вершини  $s$  будуються множини шляхів  $m_{sj}^{r=1}$ ,  $j = (\overline{1, n})$ , що задовольняють властивості  $v$ . Виділяються шляхи  $\mu_{sj}^{* r=1}$ , що визначають локальні екстремуми областей  $\Omega_j$ .

*КРОК 2.* Формуються множини шляхів  $m_{sp}^{r=r+1}$   $p = (\overline{r+1, n})$  наступного рангу, що задовольняють властивості  $v$ , на базі множини шляхів  $m_{sj}^r$  попереднього рангу відповідно до рекурентного співвідношення (11). В утворених множинах  $m_{sp}^{r=r+1}$  здійснюється відсікання шляхів відповідно до обраного правила відсікання  $\{L_w\}$  і виділяються шляхи  $\mu_{sp}^{* r=r+1}$ , що визначають локальні екстремуми областей  $\Omega_p$ .

*КРОК 3.* Перевіряємо, чи всі множини  $m_{sp}^{r=r+1}$  наступного рангу порожні. Якщо це так, то переходимо до кроку 4, якщо ні, то перевіряємо  $r = (n - 1)$ . У

випадку виконання рівності переходимо до кроку 4, інакше збільшуємо  $r$  на 1 і виконуємо крок 2.

*КРОК 4.* Виділяємо серед множин локальних екстремумів  $\Omega_j$   $j = \overline{1, n^2/2}$  глобальний і процедура  $A_0$  закінчує роботу.

Узагальнена процедура  $A_0$  дозволяє визначити локальні екстремуми в  $\Omega$ -областях графа ДД щораз на кроці 2 і потім на кроці 4 виділити глобальний екстремум з  $n^2/2$  локальних, які отримуються на основі принципу оптимізації за напрямком (11) з використанням правил відсікання, що вводять,  $\{L_w\}$  шляхів у  $m_{sj}^r$  множинах.

Таким чином, із представленої математичної моделі  $n$ -мірного одиничного куба  $V^n$  у вигляді графа ДД і сформульованого принципу оптимізації за напрямком на основі рангового підходу впливають наступні завдання:

1. Визначення стратегій відсікання  $\{L_w\}$  безперспективних шляхів у множинах  $m_{sj}^r$ , що приводять до наближених і точних рішень задачі ЦЛП із БЗ (1–3).

2. Побудови наближених і точних алгоритмів на основі обраних правил відсікань  $\{L_w\}$  для рішення одномірних і багатомірних задач ЦЛП із БЗ.

3. Створення паралельних обчислювальних структур як спеціалізованих пристроїв для рішення даного класу задач дискретної оптимізації.

В основу методу відсікання безперспективних варіантів для задачі (0,1) рюкзак покладемо множину стратегій  $\{L_w\}$ , застосування яких до узагальненої процедури  $A_0$  приведе до побудови алгоритмів рішення цієї задачі цілочисельного лінійного програмування (ЦЛП) з булевими змінними (БЗ).

Найбільш простою стратегією відсікання  $L_1$  при формуванні  $r=r+1$  шляхів наступного рангу в множинах  $m_{sp}^{r=r+1}$ , на основі процедури  $A_0$ , є виділення в  $m_{sj}^r$  шляхів максимальної довжини за вагою функціонала  $c_j$ , довжини яких за вагою обмежень не перевищують величини  $b_i$ , тобто  $d_a(\mu_{sj}^r)_i \leq b_i$ . У цьому випадку шляхами, що задовольняють властивості  $v$ , будемо називати шляхи  $\mu_{sj}^r$ , довжини



яких за вагою обмежень не перевищують величину  $b_i$ . Тоді, рекурентне співвідношення (11), що відповідає стратегії  $L_1$ , приймає вигляд:

$$\mu_{sp}^{r=r+1} = \max_{c_j} \{ \mu_{sj}^r \cup (j, p) \}, \quad p = (\overline{r+1, n}); \quad j = (\overline{r, n}), \quad (12)$$

Розглянемо приклад рішення задачі.

*Приклад 1.* Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\bar{x}) = 20x_1 + 18x_2 + 18x_3 + 15x_4 + 10x_5 + 4x_6 + 1x_7$$

при обмеженні

$$7x_1 + 2x_2 + 5x_3 + 2x_4 + 3x_5 + 1x_6 + 4x_7 \leq 12,$$

у відповідності зі стратегією  $L_1$ .

*Рішення.* Побудуємо граф ДΔ (вершину  $s$ , що відповідає тривіальному рішенню задачі, показувати не будемо). Шлях  $\mu_{sj}^r$ ,  $j = (\overline{r, n})$  задається ідентифікатором, що визначає, через які вершини попередніх рангів він проходить (рис. 5). Наприклад, ідентифікатор  $s146$  указує на шлях  $\mu_{s146}^{r=3}$ , що проходить через вершини  $s \rightarrow 1 \rightarrow 4 \rightarrow 6$  у графі ДΔ.

У дужках на першому місці стоїть довжина шляху за вагою функціонала, а далі  $m$  ваг по першому, другому, і т. д.  $m$ -му обмеженням. Так, запис " $s146(39,10)$ " відповідає шляху  $\mu_{s146}^{r=3}$ , що має  $d_c(\mu_{s146}^{r=3}) = 39$ , а  $d_a(\mu_{sj}^r)_1 = 10$ . Шлях  $\mu_{sj}^r$ , що належить оптимальному рішенню, позначений "\*".

s1(20,7) 1							
s2(18,2)* 2	s12(38,9) 2						
s3(18,5) 3	s13(38,12) s23(36,7)* 3						
s4(15,2) 4	s14(35,9) s24(33,4) s34(33,7) 4	s124(53,11) s234(51,9)* 4					
s5(10,3) 5	s15(30,10) s25(28,5) s35(28,8) s45(25,5) 5	s125(48,12) s235(46,10) s145(45,12) 5	s2345(61,12)* 5				
s6(4,1) 6	s16(24,8) s26(22,3) s36(22,6) s46(19,3) s56(14,4) 6	s126(42,10) s236(40,8) s146(39,10) s156(34,11) 6	s1246(57,12) s2356(50,11) 6				
s7(1,4) 7	s17(21,11) s27(19,6) s37(19,9) s47(16,6) s57(11,7) s67(5,5) 7	s237(37,11) s247(34,8) s257(29,9) s167(25,12) 7	s2367(41,12) 7				
r=1	r=2	r=3	r=4	r=5	r=6	r=7	

\* r=4  
 $\mu_{s_{2345}} \rightarrow \bar{x}^{OPT} = (0111100)$ .  
 $f(\bar{x}^{OPT}) = 61$ .

Рисунок 5. Ілюстрація роботи стратегії L<sub>1</sub>

*Ітерація 1.* Будуємо шляхи рангу  $r = 1$ , що задовольняють обмеженням задачі. Таких шляхів у графі ДД – сім:  $\mu_{s_1}^{r=1} - \mu_{s_7}^{r=1}$ . Серед них вибираємо шлях з найбільшою довжиною за вагою функціонала:  $\mu_{s_1}^{r=1}$ . Позначимо його  $\mu_{s_1}^{* r=1}$ .

*Ітерація 2.* Будуємо шляхи рангу  $r = 2$  відповідно до принципу оптимізації за напрямком (11) і стратегією L<sub>1</sub> (12). Наприклад, сформуємо шлях  $\mu_{s_{13}}^{r=2}$  на основі шляху  $\mu_{s_1}^{r=1}$ , додаючи ребро (1,3). При цьому довжина шляху буде: за

вагою функціонала  $d_c(\mu_{s_{13}}^{r=2}) = 38$ , а за вагою обмеження  $d_a(\mu_{s_{13}}^{r=2})_1 = 12$ , тобто шлях  $\mu_{s_{13}}^{r=2}$  задовольняє обмеженню завдання й властивості  $v$ .

Аналогічно будуються інші шляхи рангу  $r = 2$ . Потім серед усіх шляхів рангу 2 вибираємо шлях з найбільшою довжиною  $d_c(\mu_{s_j}^{r=2})$ . Це шляхи  $\mu_{s_{12}}^{r=2}$  і  $\mu_{s_{13}}^{r=2}$ .

*Ітерація 3.* Будуємо шляхи рангу  $r = 3$  на основі шляхів рангу  $r = 2$  і оптимізацією за напрямком. При додаванні до шляху  $\mu_{s_{12}}^{r=2}$  ребра (2,3) утвориться шлях  $\mu_{s_{123}}^{r=3}$ , довжина якого за вагою обмежень  $d_a(\mu_{s_{123}}^{r=3})_1 = 14$ , що не задовольняє умові завдання. Тому такий шлях не показаний. Якщо в множині  $m_{s_j}^{r=2}$  кілька шляхів, більший з яких при приєднанні якого-небудь ребра не задовольняє властивості  $v$ , то згідно з правила (11) вибираємо наступний шлях, що належить цій множині, але менший за вагою функціонала. На  $r = 2$  рис. 5 це можна спостерігати при побудові шляху з множини  $m_{s_3}^{r=2}$  в  $m_{s_3}^{r=3}$ . Серед усіх шляхів рангу 3 вибираємо шлях з найбільшою довжиною  $d_c(\mu_{s_j}^{r=3})$ . Це шлях:  $\mu_{s_{124}}^{r=3}$ .

*Ітерація 4.* Будуємо шляхи рангу  $r = 4$ , аналогічно описаним в ітерації 3. Серед усіх шляхів рангу 4 також вибираємо шлях з найбільшою довжиною  $d_c(\mu_{s_j}^{r=4})$ . Це шлях  $\mu_{s_{2345}}^{r=4}$ .

*Ітерація 5.* Будуємо шляхи рангу  $r = 5$ . Як видно з рис. 2.5, шляхів, що задовольняють умові завдання рангу  $r = 5$  немає. Тоді із усіх шляхів  $\mu_{s_j}^r$ ,  $r = (\overline{1,4})$ ,  $j = (\overline{r, n})$  – вибираємо найбільший:  $\mu_{s_{2345}}^{r=4}$ , а вектор  $\vec{x}^{opt} = (0111100)$ , йому відповідний, є оптимальним рішенням задачі.

Використання стратегії  $L_1$  не завжди дає оптимальне рішення задачі. Виникнення ситуації відсівання шляхів за співвідношенням (12), що відповідають оптимальному рішенням задачі обумовлене тим, що шляхи з більшим значенням щодо функціонала можуть набирати й більшу довжину за вагою обмежень. Отже, на деякому ранзі виникає ситуація, коли через обмеження шляхи наступних рангів у графі ДА побудувати неможливо, а шляхи

з меншим значенням довжини за вагою функціонала, що мають і меншу довжину за вагою обмежень, відкинуті по стратегії  $L_1$ . На їхній основі могли б бути отримані шляхи більшого рангу, а за рахунок цього – й більшої величини за вагою функціонала.

Позначимо через  $\mu_{sj=\gamma}^{**r=q}$  шлях рангу  $r = q$  з найбільшою довжиною  $d_c\left(\mu_{sj}^{**r}\right)$  серед шляхів  $\left\{\mu_{sj}^{*r<q}\right\}$  рангу  $r < q$ , що відповідають локальним екстремумам, обумовленим процедурою  $A_0$  з використанням стратегії  $L_1$ . Тоді сформулюємо правило відсівання  $L_2$  для одномірної задачі, на основі наступної теореми.

**Теорема 1.** У графі  $D\Delta$  не існує шляху, що задовольняє властивості  $v$ , рангу  $r < q$ , для якого виконується нерівність

$$d_c\left(\mu_{sj}^{*r<q}\right) < d_c\left(\mu_{sj=\gamma}^{**r=q}\right).$$

*Доказ.* На кожному етапі формування множини шляхів  $m_{sp}^{r=r+1}$   $p = (\overline{r, n})$  процедурою  $A_0$ , що використовує правило  $L_1$ , у цих множинах будуються шляхи  $\mu_{sp}^{r=r+1}$ , задовольняючі властивості  $v$ , відповідно до співвідношення (12).

Припустимо, що в  $D\Delta$  існує шлях  $\mu_{sj=k}^{-r<q}$ , довжина якого  $d_c\left(\mu_{sj=k}^{-r<q}\right) < d_c\left(\mu_{sj=\gamma}^{**r=q}\right)$ , й він задовольняє властивості  $v$ . Існування такого шляху можливо, якщо існують

шляхи  $\left\{\mu_{sj}^{-r<q}\right\}$ , що задовольняють властивості  $v$ , довжини яких  $d_c\left(\mu_{sj}^{-r<q}\right)$

перевищують довжини шляхів  $d_c\left(\mu_{sj}^{*r<q}\right)$ , відповідних локальним екстремумам,

виділеним процедурою  $A_0$  з використанням стратегії  $L_1$ . Покажемо, що дане припущення невірне. Для цього доведемо наступне твердження.

**Твердження 1.** Процедура  $A_0$  з використанням стратегії  $L_1$  дозволяє визначати в графі  $D\Delta$  шляхи рангу  $r < q$  максимальної довжини за вагою функціонала, що задовольняють властивості  $v$ , від вершини  $s$  до усіх інших вершин графа  $D\Delta$ .

Якщо вірно твердження 1, то значить не існує шляхів  $\mu_{sj}^{-r < q}$ , що задовольняють нерівності  $d_c \left( \mu_{sj}^{-r < q} \right) > d_c \left( \mu_{sj}^{* r < q} \right)$ , й, отже, припущення про існування шляху  $\mu_{sj=k}^{r < q}$ , для якого виконується нерівність  $d_c \left( \mu_{sj=k}^{r < q} \right) > d_c \left( \mu_{sj}^{** r = q} \right)$ , теж невірна й тоді теорема доведена.

Правомірність твердження 1 для множин  $m_{sj}^{r=1}$ ,  $m_{sj}^{r=2}$  очевидна, оскільки множини  $m_{sj}^{r=1}$  містять по одному шляху рангу  $r = 1$ , а в множинах  $m_{sj}^{r=2}$  утримуються всі шляхи  $\mu_{sj}^{r=2}$  рангу  $r = 2$  графа ДД. Нехай на основі множин  $m_{sj}^{r=2}$  і  $j = \overline{(r, n)}$  процедурою  $A_0$  з використанням стратегії  $L_1$  сформовані множини

$$* r=3$$

$m_{sj}^{r=3}$ . Виділимо в  $m_{sj}^{r=3}$  шляхи  $\mu_{sj}$  максимальної довжини за вагою функціонала.

$$** r=3$$

Припустимо, що в графі ДД існує шлях  $\mu_{sj}$ , який задовольняє властивості  $v$ ,

$$* r=3$$

але більш довгий, ніж  $\mu_{sj}$ . Відповідно до рекурентного співвідношення (12)

останнє можливо, якщо в множинах  $m_{sj}^{r=2}$  є шляхи  $\mu_{sj}^{* r=2}$  більш довгі, ніж шляхи

$$* r=2$$

$\mu_{sj}^{* r=2}$ . Але це суперечить раніше встановленому факту, що шляхи  $\mu_{sj}$  самі довгі

$$** r=3$$

шляхи рангу  $r = 2$  у графі ДД. Отже, припущення про існування шляху  $\mu_{sj}$  невірно, а значить твердження 1 справедливо й для множин  $m_{sj}^{r=3}$ .

Припустимо, що воно виконується й для  $m_{sj}^{r=k < q}$ , і доведемо, що воно вірно й для множин  $m_{sj}^{r=k+1}$ . Нехай на базі множини шляхів  $m_{sj}^{r=k}$  процедура  $A_0$ , яка використовує стратегію  $L_1$ , побудувала множини шляхів  $m_{sj}^{r=k+1}$ . Виділимо в

$$* r=k+1$$

множинах  $m_{sj}^{r=k+1}$  шляхи максимальної довжини  $\mu_{sj}$  й, припустимо, що в графі

$$** r=k+1$$

ДД існує шлях  $\mu_{sj}$ , який задовольняє властивості  $v$ , але довший  $\mu_{sj}^{* r=k+1}$ . Останнє

$$* r=k+1$$

можливо, якщо існує шлях  $\mu_{sj}^{** r=k}$  більш довгий, ніж  $\mu_{sj}^{* r=k}$ , але який задовольняє

$$** r=k$$

$$* r=k$$

властивості  $v$ . Однак це суперечить первісному припущенню про те, що шляхи

\*  $r=k$   
 $\mu_{sj}$  самі довгі шляхи рангу  $r = k$  у графі  $D\Delta$ , і, отже, допущення про існування шляху  $\mu_{sj}$  в  $D\Delta$   $r = k + 1$  невірне, тобто твердження 1 справедливо й для множин  $m_{sj}^{r=k+1}$ .

Отже, ми показали, що твердження 1 вірно для множин  $m_{sj}^{r=1}$ ,  $m_{sj}^{r=2}$  і довели, що воно виконується для  $m_{sj}^{r=3}$ . Далі було припущено, що воно поширюється й на множину  $m_{sj}^{r=k}$  й доведено, що у випадку правильності припущення, твердження 1 справедливо й для множин рангу  $r = k + 1$ .

Таким чином, на основі принципу повної математичної індукції твердження 1 справедливо й для довільних множин  $m_{sj}^{r<q}$ , тому що при  $r > q$  множина шляхів  $m_{sj}^{r<q}$  порожня й, виходить, теорема 1 вірна.

З доведеної теореми 1 слідує стратегія відсікання  $L_2$ , що дозволяє значення функціонала шляху  $\mu_{sj}$  використовувати як верхню оцінку для відсікання шляхів у множинах  $m_{sj}^{r<q}$  графа  $D\Delta$ . Стратегія  $L_2$  використовується при побудові багатоетапних алгоритмів, тому приклад, що пояснює роботу стратегії  $L_2$ , буде розглянутий пізніше.

Не порушуючи стратегій  $L_1$  і  $L_2$ , можна ввести додаткове відсікання в множинах шляхів  $m_{sj}^r$ , що зображує стратегію  $L_3$ , яка заснована на властивості графа  $D\Delta$  і полягає в наступному. Зі структури графа  $D\Delta$  видно, що для кожної його вершини  $j$ , яка відповідає області  $\Omega_j$ , вага  $\gamma_j$  дорівнює сумі коефіцієнтів  $c_j$  у функціоналі (2.4), обумовлена за правилом:

$$\gamma_j = c_{j+1} + c_{j+2} + \dots + c_n, \quad \gamma_n = 0; \quad j = \overline{(1, n-1)}, \quad (13)$$

представляє верхню оцінку збільшення величини значення локального екстремума в області  $\Omega_j$  на усіх наступних рангах. Скорочення числа

формованих шляхів  $\mu_{sj}^r$  у множинах  $m_{sj}^r$  може бути досягнуто, якщо виконуються умови, обумовлені наступним досить очевидним твердженням 2.

**Твердження 2.** Якщо сума довжини шляху  $d_c(\mu_{sj}^r)$  з підмножини  $r$   $m_{sj}^r$  у вершину  $w$  і вага  $\gamma_w$  цієї вершини менша за вже отриману максимальну довжину  $d_c(\mu_{sj=p}^r)$ , то шляхи наступного рангу, побудовані на основі  $\mu_{sj}^r$ , не можуть визначати оптимальне рішення задачі.

Справедливість твердження 2 слідує з того, що процедура  $A_0$  зі стратегією  $L_1$  вибирає глобальний екстремум із усіх локальних, а найбільша довжина за рахунок продовження шляху  $\mu_{sj}^r$  вже менша одного з локальних екстремумів.

Таким чином, перевірка умови:

$$d_c(\mu_{sp}^r) + \gamma_p < \max_{\{c_j\}} \left\{ d_c \left( \mu_{sp}^{*r} \right) \right\}, \quad (14)$$

де  $d_c(\mu_{sp}^r)$  – довжина шляху  $\mu_{sp}^r$  до вершини  $p$  рангу  $r$  за вагою  $c_j$ ; дозволяє виключити цей шлях з подальшого аналізу, як безперспективний, якщо умова виконана. На цій перевірці заснована стратегія  $L_3$ .

**Приклад 2.** Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\bar{x}) = 20x_1 + 18x_2 + 18x_3 + 15x_4 + 10x_5 + 4x_6 + 1x_7$$

при обмеженні

$$7x_1 + 2x_2 + 5x_3 + 2x_4 + 3x_5 + 1x_6 + 4x_7 \leq 12$$

у відповідності зі стратегією  $L_1$  і  $L_3$ .

**Рішення.** Ілюстрація рішення приводиться на рис. 6. Тут і далі підкреслення шляху означає те, що тільки на основі цього шляху відбувається побудова множин наступного рангу, інакше шлях виключається з подальшого аналізу. Ліворуч у вигляді стовпця проставлене значення  $\gamma_j$ ,  $j = (\overline{1,7})$  (13), обумовлене для кожної вершини графа ДД. Так, наприклад  $\gamma_3 = c_4 + c_5 + c_6 + c_7 = 15 + 10 + 4 + 1 = 30$ .

$\gamma_j$							
66	<u>s1(20,7)</u> 1						
48	<u>s2(18,2)*</u> 2	<u>s12(38,9)</u> 2					
30	<u>s3(18,5)</u> 3	<u>s13(38,12)</u> <u>s23(36,7)*</u> 3					
15	<u>S4(15,2)</u> 4	<u>s14(35,9)</u> <u>s24(33,4)</u> <u>s34(33,7)</u> 4	<u>s124(53,11)</u> <u>s234(51,9)*</u> 4				
5			<u>s125(48,12)</u> 5	<u>s2345(61,12)*</u> 5			
1							
0							
	r = 1	r = 2	r = 3	r = 4	r = 5	r = 6	r = 7

\*  $r=4$   
 $\mu_{s_{2345}} \rightarrow \bar{x}^{onm} = (0111100).$   
 $f(\bar{x}^{onm}) = 61$

Рисунок 6. Ілюстрація роботи стратегії  $L_1$  і  $L_3$

Відмінною рисою від прикладу 2 є наявність порожніх множин  $m_{s_j}^r$ . Це обумовлено застосуванням відсікання за умови (14). Наприклад, побудуємо шлях  $\mu_{s_{15}}^{r=2}$ . До цього часу  $\max \left\{ d_c \left( \mu_{s_{12}}^{* r=2} \right) \right\} = 38$ , а  $d_c(\mu_{s_{12}}^{r=2}) = 30$ . Тоді  $d_c(\mu_{s_{15}}^{r=2}) + \gamma_5 = 35$ . Отже, на основі шляху  $\mu_{s_{15}}^{r=2}$ , згідно з твердженням 2, неможливо побудувати шляхи, що перевищують за вагою функціонала значення вже існуючого локального екстремуму: шляхи  $\mu_{s_{12}}^{* r=2}$ . В іншому порядку рішення не змінився в порівнянні із прикладом 1.

Як видно із прикладу 2, спільне застосування стратегій  $L_1$  і  $L_3$  дозволяє в 3 рази зменшити число векторів, що будуються в множинах  $m_{s_j}^r$ , у порівнянні із застосуванням однієї стратегії  $L_1$ .



У результаті роботи процедури  $A_0$  зі стратегіями  $L_1, L_3$  залишаються множини  $m_{sj}^r$ , для яких  $r > q$  (у прикладах 1 і 2 вони є порожніми), а для ефективної фільтрації безперспективних шляхів необхідно мати оцінки значення функціонала в областях  $\Omega_j$ ,  $j = (\overline{1, n^2/2})$  при  $r > q$ . Для цього введемо стратегію вибору шляхів з множини  $L_4$ , що ґрунтується на процедурі, яка дозволяє одержати шляхи максимально можливого рангу  $r$  у графі ДД. Її можна реалізувати, якщо в ДД визначити найкоротші шляхи за вагою обмежень на основі процедури  $A_0$  між вершиною  $s$  і всіма іншими вершинами графа ДД, при цьому рекурентне співвідношення (11) для одомірної задачі (4 – 6) прийме наступний вигляд.

$$\mu_{sp}^{r=r+1} = \min_{a_{ij}} \{ \mu_{sj}^r \cup (j, p) \}; \quad p = (\overline{r+1, n}); \quad j = (\overline{r, n}), \quad i = 1. \quad (15)$$

Неважко побачити, що при цій стратегії формування шляхів у множинах  $m_{sj}^r$  залишається справедливим твердження 2 і для відсівання шляхів у множинах  $m_{sj}^r$  можна використовувати умову (14).

*Приклад 3.* Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\vec{x}) = 47x_1 + 45x_2 + 38x_3 + 32x_4 + 22x_5 + 22x_6 + 20x_7 + 18x_8$$

при обмеженні

$$10x_1 + 4x_2 + 10x_3 + 8x_4 + 9x_5 + 5x_6 + 1x_7 + 1x_8 \leq 30,$$

у відповідності зі стратегією  $L_3$  і  $L_4$  (рис. 7).

*Рішення.* З кожної множини  $m_{sj}^r$  для подальшого аналізу вибираються шляхи  $\mu_{sj}^r \in m_{sj}^r$ , що мають мінімальне значення за вагою  $d_a(\mu_{sj}^r)$ . Такі шляхи на рис. 2.7 підкреслені. Інші – виключаються з подальшого аналізу за умовою (15).

На ранзі  $r = 4$  у множині  $m_{s6}^{r=4}$  шлях  $\mu_{s1246}^{r=4}$ , що лежить в основі оптимального, губиться через те, що існує шлях  $\mu_{s2456}^{r=4}$  менший за вагою функціонала й менший за вагою обмеження. Слід зазначити також, що для даного прикладу

застосування стратегій  $L_3$  і  $L_4$  не дає оптимального рішення задачі. Так,

$$*r=6$$

отриманий шлях  $\mu_{s_{245678}}$  не є оптимальним, тому що останній був відкинтий

на ранзі  $r = 4$  у множині  $m_{s_6}^{r=4}$  із зазначеної вище причини.

$\gamma_j$							
197	<u>s1(47,10)*</u>						
	1						
152	<u>s2(45,4)</u>	<u>s12(92,14)*</u>					
	2	2					
114	<u>s3(38,10)</u>	<u>s13(85,20)</u>	<u>s123(130,24)</u>				
		<u>s23(83,14)</u>					
	3	3	3				
82	<u>s4(32,8)</u>	<u>s14(79,18)</u>	<u>s124(124,22)*</u>				
		<u>s24(77,12)</u>	<u>s234(115,22)</u>				
		<u>s34(70,18)</u>					
	4	4	4	4			
60	<u>s5(22,9)</u>	<u>s15(69,19)</u>	<u>s125(114,23)</u>				
		<u>s25(67,12)</u>	<u>s235(105,23)</u>				
		<u>s35(60,19)</u>	<u>s245(99,21)</u>				
		<u>s45(54,17)</u>					
	5	5	5	5	5		
38	<u>s6(22,5)</u>	<u>s16(69,15)</u>	<u>s126(114,19)</u>	<u>s1236(152,29)</u>			
		<u>s26(67,9)</u>	<u>s236(105,19)</u>	<u>s1246(146,27)*</u>			
		<u>s36(60,15)</u>	<u>s246(99,17)</u>	<u>s2456(121,26)</u>			
		<u>s46(54,13)</u>					
	6	6	6	6	6	6	6
18			<u>s127(112,15)</u>		<u>s24567(141,27)</u>		
	7	7	7	7	7	7	7
0						<u>s245678(159,28)</u>	
	8	8	8	8	8	8	8
	$r = 1$	$r = 2$	$r = 3$	$r = 4$	$r = 5$	$r = 6$	

$$*r=6$$

$$\mu_{s_{124678}} \rightarrow \bar{x}^{\text{опт}} = (11010111).$$

$$f(\bar{x}^{\text{опт}}) = 184, \quad k = 3.$$

Рисунок 7. Ілюстрація роботи стратегій  $L_3$  і  $L_4$

Реалізація процедури  $A_0$  з урахуванням стратегій  $L_3$ ,  $L_4$  дозволяє сформулювати додаткову стратегію  $L_5$  відсікання безперспективних шляхів у множинах  $m_{s_j}^r$ , обумовлену наступною теоремою 2.

**Теорема 2.** Якщо з множини  $m_{sj}^r, j = (\overline{r_{\max}, n})$ , максимального рангу  $r_{\max}$ , побудованого процедурою  $A_0$  зі стратегіями  $L_3, L_4$ , вибрати шлях  $\mu_{sw}^r$  с найбільшим значенням за вагою функціонала  $c_j$ , то у випадку повторного рішення вихідного завдання досить формувати шляхи першого рангу  $r = 1$  у множині  $m_{sp}^r, p = (\overline{1, k})$ , де:

$$k = w - r_{\max} + 1, \quad (16)$$

а  $w$ -номер множини  $m_{sw}^r$  зі шляхом максимальної довжини за вагою функціонала, обумовлений при першому рішенні завдання.

*Доказ.* Припустимо, що існує шлях  $\mu_{sp}^{*r}$  ( $p > k$ ), який досягає значення максимального рангу  $r_{\max}$ . Оскільки  $p > k$ , то шлях  $\mu_{sp}^{*r}$  у графі ДД буде проходити по нижніх вершинах (рис. 3). Але ваги  $c_j$ , згідно з обмеженням (6), відсортовані в порядку убутання й, вершинам, що перебувають на більш низьких горизонтальних лінійках, в ДД відповідають і менші ваги за функціоналом.

Тому на кожному ранзі шлях  $\mu_{sp}^{*r}$  зможе набрати не більш, ніж шлях  $\mu_{sw}^r$ , а, отже, він і в сумі набере за вагою  $\{c_j\}$  довжину не більшу, ніж  $\mu_{sw}^r$ . Що було потрібно довести.

Відповідно до стратегії відсікання  $L_5$ , у випадку повторного рішення задачі (приклад 3) яким-небудь алгоритмом, будувати вектори множин з  $m_{s4}^{r=1}$  по  $m_{s8}^{r=1}$  не потрібно, тому що кінцевою вершиною шляху максимального рангу  $\mu_{s256788}^{r=6}$  є вершина  $w = 8$ . Ранг цього шляху дорівнює  $r_{\max} = 6$ , згідно за формулою (16)  $k = 3$ , а виходить, що будувати шляхи першого рангу необхідно тільки в  $m_{s1}^{r=1}, m_{s2}^{r=1}, m_{s3}^{r=1}$ .

Найбільш важливою стратегією  $L_6$  є стратегія, заснована на понятті виділення коридору в множинах  $m_{sj}^r$ , що дозволить будувати точні алгоритми рішення завдання (4 – 6). Оскільки нумерація змінних і вершин у графі ДД відповідає порядку убутання коефіцієнтів  $c_j$  у функціоналі, а процедура  $A_0$  на

кожному етапі формує множини  $m_{sj}^r$ , починаючи з індексів  $j = (\overline{r, n})$ , то шляхи  $\mu_{sj}^r \in m_{sj}^r$  виявляться завжди відсортованими в порядку убуття довжин за вагою функціонала.

У вигляді теореми 3 сформулюємо правило, що дозволяє в множині  $m_{sj}^r$  виділити шлях  $\bar{\mu}_{sj}^r$  з довжиною  $d_c(\bar{\mu}_{sj}^r)$ , стосовно якої всі шляхи з меншим значенням довжини за вагою функціонала можуть бути виключені з аналізу як неперспективні.

**Теорема 3.** Якщо відсортувати в множині  $m_{sj}^r, j = (\overline{r, n})$  рангу  $r$  вектора в порядку убуття за вагою функціонала  $c_j$ , то шляхи, в яких довжина  $d_c(\mu_{sj}^r)$  менше довжини  $d_c\left(\begin{matrix} \min \mu_{sj}^r \\ a_{ij} \end{matrix}\right)$ , не можуть визначати оптимальне рішення задачі.

*Доказ.* Припустимо, що на основі шляху  $\mu_{sj}^{*r}$  з множини  $m_{sj}^r$ , в якого довжина  $d_c\left(\begin{matrix} *r \\ \mu_{sj} \end{matrix}\right)$  менше, ніж довжина  $d_c\left(\begin{matrix} \min \mu_{sj}^r \\ a_{ij} \end{matrix}\right)$ , вдалося побудувати оптимальне рішення завдання (8 – 11). Тоді в множині  $m_{sp}^{r=r+1}, p = (\overline{r, n})$  наступного рангу повинен потрапити шлях і мінімальний за вагою обмежень, адже він тим більше буде задовольняти властивості  $v$ . Однак, довжина за вагою функціонала в такого шляху буде більша, ніж в  $\mu_{sj}^{*r}$  і, отже, припущення про існування  $\mu_{sj}^{*r}$  невірне, а цей шлях виключити з подальшого аналізу, що й було потрібно довести.

**Приклад 4.** Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\vec{x}) = 47x_1 + 45x_2 + 38x_3 + 32x_4 + 22x_5 + 22x_6 + 20x_7 + 18x_8$$

при обмеженні

$$10x_1 + 4x_2 + 10x_3 + 8x_4 + 9x_5 + 5x_6 + 1x_7 + 1x_8 \leq 30$$

у відповідності зі стратегією  $L_3$  і  $L_6$ .

*Рішення.* Побудова шляхів наступного рангу буде здійснюватися на основі шляхів попереднього рангу. Усі шляхи, на основі яких і відбувається така побудова, виділені підкресленням (рис. 8).

$\gamma_j$							
197	<u>s1(47,10)*</u>						
	1						
152	<u>s2(45,4)</u>	<u>s12(92,14)*</u>					
	2	2					
114	<u>s3(38,10)</u>	<u>s13(85,20)</u>	<u>s123(130,24)</u>				
		<u>s23(83,14)</u>					
	3	3	3				
82	<u>s4(32,8)</u>	<u>s14(79,18)</u>	<u>s124(124,22)*</u>				
		<u>s24(77,12)</u>	<u>s134(117,28)</u>				
		<u>s34(70,18)</u>	<u>s234(115,22)</u>				
	4	4	4	4			
60	<u>s5(22,9)</u>	<u>s15(69,19)</u>	<u>s125(114,23)</u>				
		<u>s25(67,12)</u>	<u>s135(107,29)</u>				
		<u>s35(60,19)</u>	<u>s235(105,23)</u>				
		<u>s45(54,17)</u>	<u>s145(101,27)</u>				
		<u>s245(99,21)</u>					
	5	5	5	5	5		
38	<u>s6(22,5)</u>	<u>s16(69,15)</u>	<u>s126(114,19)</u>	<u>s1236(152,29)</u>			
		<u>s26(67,9)</u>	<u>s136(107,25)</u>	<u>s1246(146,27)*</u>			
		<u>s36(60,15)</u>	<u>s236(105,19)</u>	<u>s1256(136,28)</u>			
		<u>s46(54,13)</u>	<u>s146(101,23)</u>	<u>s2356(127,28)</u>			
			<u>s246(99,17)</u>	<u>s2456(121,26)</u>			
	6	6	6	6	6	6	
18			<u>s127(112,15)</u>	<u>s1237(150,25)</u>	<u>s12367(172,30)</u>		
				<u>s1247(144,23)</u>	<u>s12467(166,28)*</u>		
				<u>s1257(134,24)</u>	<u>s12567(156,29)</u>		
				<u>s1267(134,20)</u>			
	7	7	7	7	7	7	7
0						<u>s124678(184,29)</u>	
	8	8	8	8	8	8	8
	r = 1	r = 2	r = 3	r = 4	r = 5	r = 6	

\*  $r=6$   
 $\mu_{s124678} \rightarrow \bar{x}^{onm} = (11010111).$   
 $f(\bar{x}^{onm}) = 184.$

Рисунок 8. Ілюстрація роботи стратегії  $L_3$  і  $L_6$

Так, наприклад, у множині  $m_{s5}^{r=2}$  шляху  $\mu_{s35}^{r=2}$ ,  $\mu_{s45}^{r=2}$  виключаються з подальшого розгляду, тому що згідно з теоремою 3 існує шлях  $\mu_{s25}^{r=2}$  у вершину 5 більший за вагою функціонала й менший за вагою обмежень.

На відміну від прикладу 3, застосування стратегій  $L_3$  і  $L_6$  дозволяє точно рішити дану (і будь-яку іншу) задачу.

Теорема 3 визначає поняття коридору.

**Визначення.** Під *одномірним коридором* з множини  $m_{sj}^r$  в множину  $m_{sp}^{r=r+1}$  будемо розуміти сукупність шляхів  $\mu_{sj}^r$ , які перебувають між верхньою границею множини  $m_{sj}^r$  і його нижньою границею, що задовольняють властивості  $v$  у множині  $m_{sp}^{r=r+1}$ . Верхня границя визначається шляхом з максимальною  $d_c(\mu_{sj}^r)$ , а нижня – теоремою 3.

Виходячи з поняття коридору, можна запропонувати наступну стратегію  $L_7$ , яка являє собою ще одну стратегію вибору шляхів, що  $r$  полягає в тому, щоб з множини  $m_{sj}^r$  рангу  $r$  у множині  $m_{sp}^{r=r+1}$ ,  $p = (\overline{r, n})$ , наступного рангу вибирати шляхи, що задовольняють властивості  $v$  і є максимальними за вагою функціонала  $c_j$  і мінімальним за вагою обмежень  $a_{lj}$ , що відповідає рекурентним співвідношенням (12), (15).

*Приклад 5.* Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\vec{x}) = 50x_1 + 50x_2 + 45x_3 + 41x_4 + 37x_5 + 36x_6 + 31x_7 + 27x_8$$

при обмеженні

$$9x_1 + 7x_2 + 6x_3 + 9x_4 + 6x_5 + 6x_6 + 5x_7 + 1x_8 \leq 27$$

у відповідності зі стратегією  $L_3$  і  $L_7$  (рис. 9).

*Рішення.* Даний приклад розкриває поняття одномірного коридору, тобто під коридором у множині  $m_{s5}^{r=3}$  мається на увазі підмножина векторів, що складається зі шляхів  $\mu_{s125}^{r=3}$ ,  $\mu_{s135}^{r=3}$ ,  $\mu_{s235}^{r=3}$ , а відповідно до стратегії  $L_7$  для подальшого аналізу беруться тільки два шляхи  $\mu_{s125}^{r=3}$  та  $\mu_{s235}^{r=3}$ , які підкреслені. Інші виключаються з множини  $m_{s5}^{r=3}$ . Аналогічно будуються множини шляхів усіх рангів.

Розглянемо тепер правила фільтрації безперспективних шляхів усередині виділеного коридору, починаючи зі стратегії  $L_8$ , заснованої на твердженні 3.

$\gamma_j$								
267	<u>s1(50,9)</u>							
	1							
217	<u>s2(50,7)*</u>	<u>s12(100,16)</u>						
	2	2						
172	<u>s3(45,6)</u>	<u>s13(95,15)</u>	<u>s123(145,22)</u>					
	3	<u>s23(95,13)*3</u>						
131	<u>s4(41,9)</u>	<u>s14(91,18)</u>	<u>s124(141,25)</u>					
		<u>s24(91,16)</u>	<u>s134(136,24)</u>					
	4	<u>s34(86,15)</u>	<u>s234(136,22)</u>					
94	<u>s5(37,6)</u>	<u>s15(87,15)</u>	<u>s125(137,22)</u>					
		<u>s25(87,13)</u>	<u>s135(132,21)</u>					
		<u>s35(82,12)</u>	<u>s235(132,19)*</u>					
	5	<u>s45(78,15)</u>	<u>s145(128,24)</u>					
			<u>s345(123,21)</u>					
58	<u>s6(36,6)</u>	<u>s16(86,15)</u>	<u>s126(136,22)</u>	<u>s2356(168,25)*</u>				
		<u>s26(86,13)</u>	<u>s136(131,21)</u>					
		<u>s36(81,12)</u>	<u>s236(131,19)</u>					
		<u>s46(77,15)</u>	<u>s146(127,24)</u>					
		<u>s56(73,12)</u>	<u>s156(123,21)</u>					
			<u>s346(122,21)</u>					
			<u>s356(118,18)</u>					
	6	6	6	6	6	6	6	6
27	<u>s7(31,5)</u>	<u>s17(81,14)</u>	<u>s127(131,21)</u>	<u>s1237(176,27)</u>				
		<u>s27(81,12)</u>	<u>s137(126,20)</u>	<u>s1257(168,27)</u>				
		<u>s37(76,11)</u>	<u>s237(126,18)</u>	<u>s2347(167,27)</u>				
			<u>s147(122,23)</u>	<u>s1267(167,27)</u>				
			<u>s157(118,20)</u>	<u>s2357(163,24)</u>				
				<u>s3567(149,23)</u>				
	7	7	7	7	7	7	7	7
0					<u>s23568(195,26)*</u>			
	8	8	8	8	8	8	8	8
	r = 1	r = 2	r = 3	r = 4	r = 5			

$$* r=5 \rightarrow \bar{x}^{om} = (01101101).$$

$$f(\bar{x}^{om}) = 195.$$

Рисунок 9. Ілюстрація роботи стратегії  $L_3$  і  $L_7$

**Твердження 3.** Якщо в коридорі існують два шляхи –  $\mu_{sj} \in m_{sj}^{*r}$  й  $\mu_{sj} \in m_{sj}^{**r}$

– для яких  $d_c(\mu_{sj}^{*r}) > d_c(\mu_{sj}^{**r})$  т  $d_a(\mu_{sj}^{*r}) \leq d_a(\mu_{sj}^{**r})$ , то вектор  $\bar{x}$ , що відповідає

шляху  $\mu_{sj}^{*r}$  не може належати оптимальному рішенню задачі (4 – 6). Покажемо справедливість твердження 3. Для цього припустимо, що на основі шляху  $\mu_{sj}^{**r}$  можна побудувати оптимальне рішення. Останнє означає, що на наступних рангах шлях  $\mu_{sj}^{**r}$  набере більше значення за вагою функціонала, ніж шлях  $\mu_{sj}^{*r}$ , тобто  $d_c\left(\mu_{sj}^{*r}\right) < d_c\left(\mu_{sj}^{**r}\right)$ . Але шлях  $\mu_{sj}^{*r}$  може бути побудований у ту ж множину  $m_{sj}^r$ , що й шлях  $\mu_{sj}^{**r}$ , який задовольняє властивості  $v$ , але має довжину  $d_a\left(\mu_{sj}^{*r}\right) \leq d_a\left(\mu_{sj}^{**r}\right)$ . При цьому за вагою функціонала до цього моменту шлях  $\mu_{sj}^{*r}$  має довжину більшу, ніж шлях  $\mu_{sj}^{**r}$ . Отже, кожний з них набере ту саму величину за вагою  $c_j$ , але на початку  $d_c\left(\mu_{sj}^{*r}\right) > d_c\left(\mu_{sj}^{**r}\right)$ . Виходить, що припущення про те, що на основі шляху  $\mu_{sj}^{**r}$  можна побудувати оптимальне рішення – не вірно, а твердження 3 – справедливо.

*Приклад 6.* Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\vec{x}) = 47x_1 + 45x_2 + 38x_3 + 32x_4 + 22x_5 + 22x_6 + 20x_7 + 18x_8$$

при обмеженні

$$10x_1 + 4x_2 + 10x_3 + 8x_4 + 9x_5 + 5x_6 + 1x_7 + 1x_8 \leq 30$$

у відповідності зі стратегією  $L_3$  і  $L_8$  (рис. 10).

*Рішення.* Розглянемо застосування стратегії  $L_8$  до однієї з множин графа  $D\Delta$  – множини  $m_{s5}^{r=3}$ . У результаті в ньому залишаються лише два шляхи –  $\mu_{s125}^{r=3}$ ,  $\mu_{s245}^{r=3}$  – що відповідають двом векторам: (11001000) і (01011000), а без цього правила їх було 5 (див. приклад 4). Аналогічний виграш і для інших множин.



$\gamma_j$							
197	<u>s1(47,10)*</u>						
	1						
152	<u>s2(45,4)</u>	<u>s12(92,14)*</u>					
	2	2					
114	<u>s3(38,10)</u>	<u>s13(85,20)</u> <u>s23(83,14)</u>	<u>s123(130,24)</u>				
	3	3	3				
82	<u>s4(32,8)</u>	<u>s14(79,18)</u> <u>s24(77,12)</u> <u>s34(70,18)</u>	<u>s124(124,22)*</u> <u>s134(117,28)</u> <u>s234(115,22)</u>				
	4	4	4	4			
60	<u>s5(22,9)</u>	<u>s15(69,19)</u> <u>s25(67,12)</u> <u>s35(60,19)</u> <u>s45(54,17)</u>	<u>s125(114,23)</u> <u>s135(107,29)</u> <u>s235(105,23)</u> <u>s145(101,27)</u> <u>s245(99,21)</u>				
	5	5	5	5	5		
38	<u>s6(22,5)</u>	<u>s16(69,15)</u> <u>s26(67,9)</u> <u>s36(60,15)</u> <u>s46(54,13)</u>	<u>s126(114,19)</u> <u>s136(107,25)</u> <u>s236(105,19)</u> <u>s146(101,23)</u> <u>s246(99,17)</u>	<u>s1236(152,29)</u> <u>s1246(146,27)*</u> <u>s1256(136,28)</u> <u>s2456(121,26)</u>			
	6	6	6	6	6	6	6
18			<u>s127(112,15)</u>	<u>s1237(150,25)</u> <u>s1247(144,23)</u> <u>s1257(134,24)</u> <u>s1267(134,20)</u>	<u>s12367(172,30)</u> <u>s12467(166,28)*</u>		
	7	7	7	7	7	7	77
0						<u>s124678(184,29)</u>	
	8	8	8	8	8	8	88
	r = 1	r = 2	r = 3	r = 4	r = 5	r = 6	

\*  $r=6$   
 $\mu_{s124678} \rightarrow \vec{x}^{onm} = (11010111).$   
 $f(\vec{x}^{onm}) = 184.$

Рисунок 10. Ілюстрація роботи стратегії  $L_3$  і  $L_8$

Далі розглянемо стратегію  $L_9$  фільтрації рішень у коридорі на основі *каліброваних векторів*. Для цього введемо поняття каліброваного вектора  $\bar{y}_j, j = (\bar{1}, \bar{n})$  для кожної вершини  $j$  графа  $D\Delta$ .

Множина  $\{\bar{y}_j\}$  утворить калібровану шкалу, яка дає верхню оцінку  $r_s$ , для будь-якого вектора  $\bar{x}$ , котрий відповідає шляху  $\mu_{sj}^r$ , і що дозволяє визначити, на скільки рангів можна ще продовжити шлях  $\mu_{sj}^r$ , що задовольняє властивості  $v$ .

Побудова каліброваних векторів  $\vec{y}_j$  почнемо з першої вершини графа  $D\Delta$ , спочатку відсортувавши коефіцієнти  $\{a_{1j}\}$  у порядку зростання. Утвориться вектор  $\vec{a}'_{1q}$ ,  $q = (\overline{1, n})$ , в якого  $a'_{11} \leq a'_{12} \leq \dots \leq a'_{1n}$ . У цьому векторі  $\vec{a}'_{1q}$  викреслюємо  $a'_{1q} = a_{11}$ , після чого формуємо компоненти каліброваного вектора  $\vec{y}_1$  за правилом:

$$y_{1k} = a_{1k} + y_{1(k-1)}; \quad k = (\overline{1, n-1}); \quad y_{10} = 0. \quad (17)$$

Далі у  $\vec{a}'_{1q}$  викреслюємо  $a'_{1q} = a_{12}$ , після чого аналогічно правилу (17) продовжуємо формувати компоненти вектора  $\vec{y}_2$ ,  $\vec{y}_3$  і т. д. На  $j$ -му кроці викреслюємо в  $\vec{a}'_{1q}$  елемент  $a'_{1q} = a_{1j}$ , тоді:

$$y_{jk} = a_{jk} + y_{j(k-1)}; \quad k = (\overline{1, n-j}); \quad y_{j0} = 0; \quad y_{n0} = b_1; \quad j = (\overline{1, n-1}). \quad (18)$$

*Приклад 7.* Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\vec{x}) = 20x_1 + 15x_2 + 12x_3 + 8x_4 + 2x_5 \quad (19)$$

при обмеженні

$$10x_1 + 3x_2 + 7x_3 + 4x_4 + 2x_5 \leq 10. \quad (20)$$

Для задачі (19–20) є вектор  $\vec{a}'_{1q} = \{2,3,4,7,10\}$ . З нього видаляємо  $a'_{15} = a_{11} = 10$ , тоді  $\vec{a}'_{1q} = \{2,3,4,7\}$ , а  $\vec{y}_1 = \{0,2,5,9,16\}$ . Далі викреслюємо  $a'_{1q} = a_{12} = 3$ . Вектор  $\vec{a}'_{1q} = \{2,4,7\}$ , а калібрований вектор  $\vec{y}_2 = \{0,2,6,13\}$ . Аналогічним чином за допомогою (18) будуються калібровані вектори для вершин 3, 4, 5:  $\vec{y}_3 = \{0,2,6\}$ ;  $\vec{y}_4 = \{0,2\}$ ;  $\vec{y}_5 = \{0\}$ . Сформулюємо правила, за яких за допомогою каліброваного вектора  $\vec{y}_j$  для вершин  $j = (\overline{1, n})$  можна визначити шляхи  $\mu_{sj}^r$  в графі  $D\Delta$  та верхню оцінку  $\hat{r}_s$  максимального значення рангу, що

продовжує  $r$  шлях  $\mu_{sj}^r$  у графі  $D\Delta$  (тобто яке число одиниць може додатися у вектор  $\vec{x}$ ).

*Правило  $K_1$*

а) обчислюємо для шляху  $\mu_{sj}^r$  величину  $\Delta d = b_1 - d_a(\mu_{sj}^r)$ ;

б) у каліброваному векторі  $\vec{y}_j$  для вершини  $j$  знаходимо номер  $k$ ,  $k = \overline{(0, n-j)}$  елемента  $y_{jk}$ , починаючи з якого  $y_{jk} > \Delta d$  (якщо  $\forall y_{jk} < \Delta d$ , то  $k = n-j+1$ );

в) визначаємо значення  $r_B$  для шляху  $\mu_{sj}^r$  в графі  $D\Delta$ :  $r_B = k-1$ .

У прикладі (19–20) шлях  $\mu_{s2}^{r=1}$  має  $d_a(\mu_{s2}^{r=1}) = 3$ . Шляху  $\mu_{s2}^{r=1}$  відповідає вектор  $\vec{x}=(01000)$ . Визначимо  $r_B(\mu_{s2}^{r=1})$  за правилом  $K_1$ .

а)  $\Delta d = b_1 - d_a(\mu_{s2}^{r=1}) = 10 - 3 = 7$ ;

б) в  $\vec{y}_2$  елемент  $y_{23} > \Delta d$  ( $13 > 7$ ), значить  $k = 3$ ;

в) значення  $\hat{r}_6(\mu_{s2}^{r=1}) = k - 1 = 3 - 1 = 2$ .

Отже, шлях в  $\mu_{s2}^{r=1}$  у графі  $D\Delta$  можна продовжити, задовольняючи обмеженням, не більш, ніж на два ранги. Справедливість застосування правила  $K_1$  для визначення  $r_B$  підтверджується теоремою 4.

**Теорема 4.** *Якщо шлях  $\mu_{sj}^r$  у вершину  $j$  рангу  $r$  у графі  $D\Delta$  має довжину за вагою обмежень  $d_a(\mu_{sj}^r) = d$ , то верхня оцінка  $\hat{r}_6$ , побудована за правилом  $K_1$ , визначає максимальне число рангів  $r$ , на яке може бути продовжений шлях  $\mu_{sj}^r$  у графі  $D\Delta$ .*

*Доказ.* Припустимо, що для шляху  $\mu_{sj}^r$  з вершини  $j$  нашлося таке його продовження  $\mu_{sj}^{r'}$ , ранг якого  $r' > r_B + 1$ . Але, відповідно до пункту а) правила  $K_1$   $\Delta d'$  для  $\mu_{sj}^{r'}$  буде більше  $\Delta d$  для шляху  $\mu_{sj}^{r+\hat{r}_6}$ , що не можливо, тому що  $b_1$  фіксовано й обидва шляхи є продовженням шляху  $\mu_{sj}^r$  з довжиною  $d_a(\mu_{sj}^r) = d$ .

Отже,  $d' = \Delta d$  і припущення про існування  $\mu_{sj}^{r'}$  не вірно. Теорема доведена.

До цього ми не враховували величину коефіцієнтів  $c_j$  при функціоналі, а прогноз здійснювали тільки на основі коефіцієнтів  $a_{ij}$ . Поставимо у відповідність кожному вектору  $\bar{y}_j$  вектор  $\bar{z}_j$ , елементи якого є верхніми оцінками  $\hat{z}_e$  довжини шляху  $\mu_{ij}^r$  за вагою функціонала  $c_j$ . Компоненти вектора  $\bar{z}_j$  для вершини  $j$  формуються відповідно до правила  $K_2$ .

*Правило  $K_2$ .*

Нехай перший компонент вектора  $\bar{z}_j$  вершини  $j$  дорівнює  $\hat{z}_{j1}^e = c_{j+1}$ , другий –  $\hat{z}_{j2}^e = c_{j+2} + \hat{z}_{j1}^e$ ; третій  $\hat{z}_{j3}^e = c_{j+3} + \hat{z}_{j2}^e$ ; й т. д.  $k$ -й компонент –

$$\hat{z}_{jk}^B = c_{j+k} + \hat{z}_{j(k-1)}^B; \quad k = (\overline{1, n-j}); \quad \hat{z}_{j0}^B = 0; \quad \hat{z}_{n0}^B = 0; \quad j = (\overline{1, n-1}). \quad (21)$$

Тоді, за співвідношенням (21) побудуємо  $\bar{z}_j$  для задачі (19–20). У вершині  $j=1$  елементи вектора  $\bar{z}_1$  відповідно до правила  $K_2$  будуть:

$$\hat{z}_{10}^e = 0;$$

$$\hat{z}_{11}^e = c_{j+1} = c_2 = 15;$$

$$\hat{z}_{12}^e = c_3 + \hat{z}_{11}^e = 12 + 15 = 27;$$

$$\hat{z}_{13}^e = c_4 + \hat{z}_{12}^e = 8 + 27 = 35;$$

$$\hat{z}_{14}^e = c_5 + \hat{z}_{13}^e = 2 + 35 = 37.$$

Для вершини  $j = 2$  згідно співвідношенням (21) маємо:

$$\hat{z}_{20}^e = 0;$$

$$\bar{z}_1 = \{0, 17, 33, 46, 56, 65, 74, 83\}$$

$$\hat{z}_{22}^e = c_4 + \hat{z}_{21}^e = 8 + 12 = 20;$$

$$\hat{z}_{23}^e = c_5 + \hat{z}_{22}^e = 2 + 20 = 22.$$

Аналогічно будуються вектори для інших вершин графа ДД. Таким чином, для приклада (19–20) калібровані оцінні вектори для вершин  $j = (\overline{1, n})$  мають вигляд:

$$j = 1; \quad \bar{y}_1 = \{0, 2, 5, 9, 16\}; \quad \bar{z}_1 = \{0, 15, 27, 35, 37\}; \quad \gamma_1 = 37;$$

$$j = 2; \quad \bar{y}_2 = \{0, 2, 6, 13\}; \quad \bar{z}_2 = \{0, 12, 20, 22\}; \quad \gamma_2 = 22;$$

$$\begin{array}{llll}
 j = 3; & \bar{y}_3 = \{0,2,6\}; & \bar{z}_3 = \{0,8,10\}; & \gamma_3 = 10; \\
 j = 4; & \bar{y}_4 = \{0,2\}; & \bar{z}_4 = \{0,2\}; & \gamma_4 = 2; \\
 j = 5; & \bar{y}_5 = \{0\}; & \bar{z}_5 = \{0\}; & \gamma_5 = 0.
 \end{array}$$

Неважко бачити, що у векторах  $\bar{z}_j$  останні елементи збігаються з  $\gamma_j$ -вагою (13), що може набрати шлях  $\mu_{sj}^r$  з вершини  $j$  на усіх наступних рангах при задоволенні їм властивості  $v$ . Як треба з (14), на основі рангового підходу можна більш точно визначати верхню оцінку  $\hat{z}_e = f(\hat{r}_e)$  за рахунок того, що шлях  $\mu_{sj}^r$  не завжди може бути продовжений на всі ранги, що не задовольняє властивості  $v$ . Інакше кажучи, на підставі рівності

$$\gamma_j = \hat{z}_{j\bar{r}_e}^e(\mu_{sj}^r) \quad (22)$$

можна збільшити ефективність фільтрації безперспективних шляхів, замінюючи в умові (14)  $\gamma_p$  на  $\gamma_j$  згідно з формулою (2.22), що дає стратегія  $L_9$  на основі наступної нерівності:

$$d_c(\mu_{sp}^r) + \hat{z}_{p\bar{r}_e}^e(\mu_{sp}^r) < \max_{c_j} \left\{ d_c \left( \mu_{sp}^{*r} \right) \right\}. \quad (23)$$

Перевірка нерівності (23) дозволить відсікати шлях  $\mu_{sp}^r$  з подальшого аналізу як не перспективний, тому що ми заздалегідь знаємо, що більш ніж на  $r_B$  рангів шлях  $\mu_{sp}^r$  не може бути продовжений.

*Приклад 8.* Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\vec{x}) = 47x_1 + 45x_2 + 38x_3 + 32x_4 + 22x_5 + 22x_6 + 20x_7 + 18x_8$$

при обмеженні

$$10x_1 + 4x_2 + 10x_3 + 8x_4 + 9x_5 + 5x_6 + 1x_7 + 1x_8 \leq 30$$

у відповідності зі стратегіями  $L_3, L_8, L_9$  (рис. 11).



формування шляхів у множинах ідентичній стратегії  $L_1$ , за винятком необхідності виконувати  $m$  раз перевірку (2).

*Приклад 9.* Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\bar{x}) = 16x_1 + 15x_2 + 12x_3 + 10x_4 + 8x_5 + 5x_6 + 2x_7$$

при обмеженні

$$4x_1 + 3x_2 + 1x_3 + 2x_4 + 3x_5 + 2x_6 + 1x_7 \leq 9,$$

$$3x_1 + 1x_2 + 2x_3 + 1x_4 + 1x_5 + 3x_6 + 1x_7 \leq 9$$

у відповідності зі стратегіями  $L_3$  і  $L_{10}$  (рис. 12).

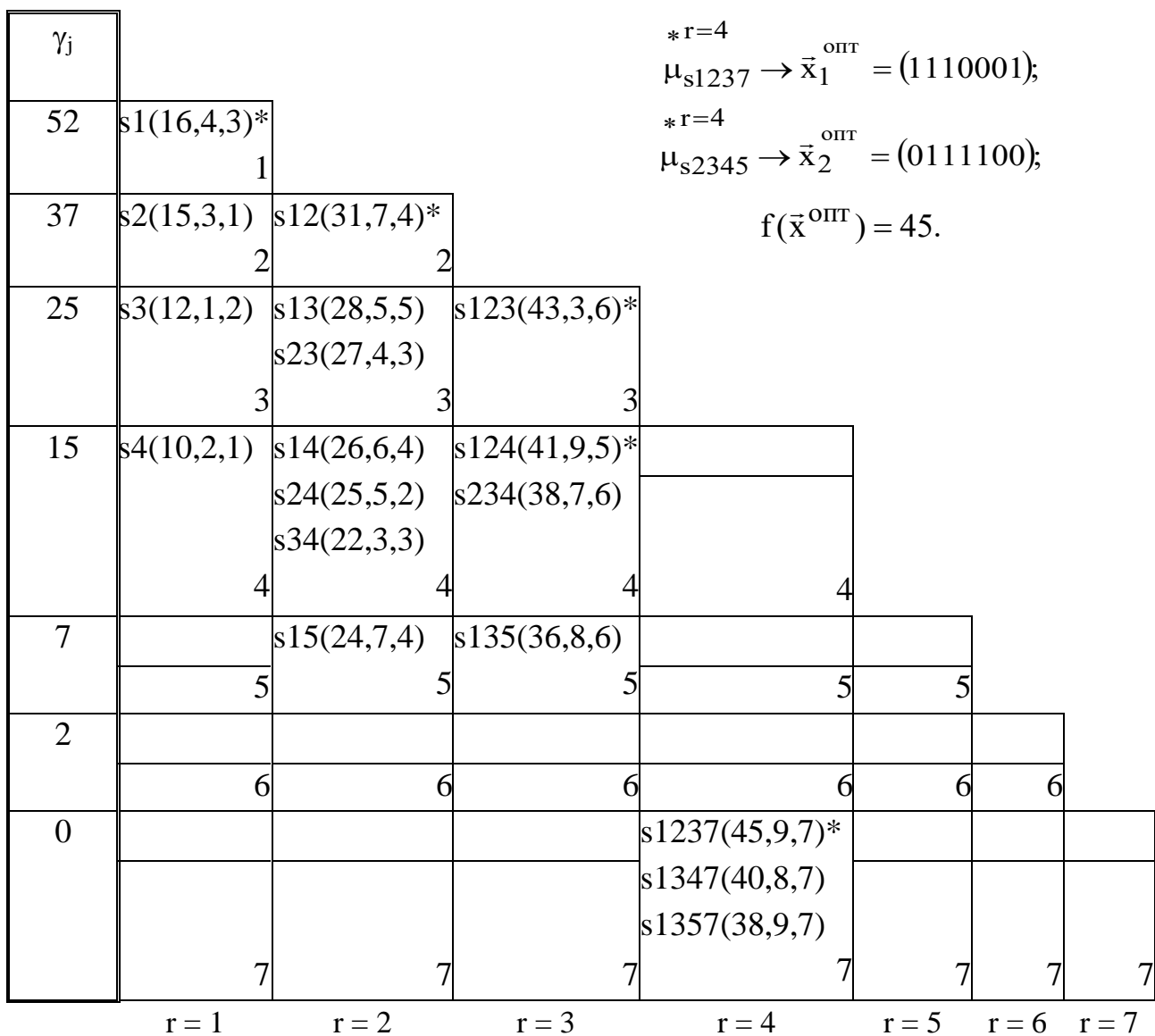


Рисунок 12. Ілюстрація роботи стратегії  $L_3$  і  $L_{10}$

*Рішення.* Побудова множини  $m_{sj}^r$  здійснюється точно так, як і в одновірному завданні. У цьому прикладі два оптимальних рішення: шляхи  $\mu_{s1237}^{r=4}$  й  $\mu_{s2345}^{r=4}$ .

Однак, другий губиться через наявність у множині  $m_{s3}^{r=2}$  шляху  $\mu_{s13}^{r=2}$ , що домінує над  $\mu_{s23}^{r=2}$ .

Сполучення стратегії  $L_7$  зі стратегією  $L_3$  для випадку  $m$ -вірної задачі утворять правило вибору  $L_{11}$ , яке полягає в тому, щоб з множини  $m_{sj}^r$  в множину  $m_{sp}^{r=r+1}$ ,  $p = (\overline{r, n})$ , наступного рангу вибрати шляхи, які задовольняють властивості  $v_i \in$  максимальними за вагою функціонала  $c_j$  і мінімальні за кожною  $i$ -ою вагою обмежень  $a_{ij}$ ,  $i = (\overline{1, m})$ .

Перше відповідає рекурентному співвідношенню (12), а друге описується наступним співвідношенням, заснованому на співвідношенні (15).

$$\mu_{sp}^{r=r+1} = \min_{a_{ij}} \{ \mu_{sj}^r \cup (j, p) \}; \quad j = (\overline{r, n}); \quad p = (\overline{j+1, n}); \quad i = (\overline{1, m}). \quad (24)$$

*Приклад 10.* Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\vec{x}) = 29x_1 + 28x_2 + 26x_3 + 25x_4 + 20x_5 + 17x_6 + 15x_7 + 10x_8$$

при обмеженні

$$1x_1 + 4x_2 + 2x_3 + 3x_4 + 4x_5 + 1x_6 + 2x_7 + 2x_8 \leq 9,$$

$$2x_1 + 2x_2 + 1x_3 + 2x_4 + 4x_5 + 2x_6 + 1x_7 + 4x_8 \leq 9$$

у відповідності зі стратегіями  $L_3$  і  $L_{11}$  (рис. 13).

*Рішення.* Побудова множини шляхів здійснюється відповідно до принципу оптимізації за напрямком (11). У множинах  $m_{sj}^r$  виділені підкресленням шляху  $\mu_{sj}^r$ , що є мінімальними за кожним з обмежень (при рівності  $i$ -го обмеження вибирається шлях з найбільшою вагою за функціоналом) і максимальним за вагою функціонала.

Збільшення числа обмежень приводить до невизначеності в оцінці верхньої границі за вагою функціонала  $\hat{z}_{j_0}^g$ , яку може набрати шлях  $\mu_{sj}^r$  і верхній





б) при поточному значенні і обчислюємо для шляху  $\mu_{sj}^r$  величину  $\Delta d = b_i - d_a(\mu_{sj}^r)_i$ ;

в) у каліброваному векторі  $\bar{y}_j^i$  вершини  $j$  знаходимо номер  $k$ -го  $k = (\overline{0, n-j})$  елемента  $y_{jk}^i$  вектора  $\bar{y}_j^i$ , починаючи з якого  $y_{jk}^i > \Delta d$  (якщо  $\forall y_{jk}^i < \Delta d$ , то  $k = n - j + 1$ );

г) для шляху  $\mu_{sj}^r$  по  $i$ -му обмеженню в графі  $D\Delta$ :  $\hat{r}_e^i = k - 1$ ;

д) збільшуємо значення  $i$  на 1 і переходимо до пункту б) цього правила у випадку  $i \leq m$  або до наступного пункту у випадку  $i > m$ ;

е) серед усіх  $\hat{r}_e^i$ ,  $j = (\overline{1, m})$  вибираємо найменший.

Таким чином, відповідно до правила  $K_3$  верхня оцінка  $r_B$  для шляху  $\mu_{sj}^r$  в  $j$ -й вершині графа  $D\Delta$  при  $m$  обмеженнях буде:

$$\hat{r}_e = \min_i \{ \hat{r}_e^i \}, \quad i = (\overline{1, m}). \quad (26)$$

Неважко показати, що при реалізації правила  $K_3$  справедливість теореми 4 не порушується. Так, якщо по одному з обмежень ми зможемо пройти на  $r_1$  рангів, а по іншому – на  $r_2$  ранги й при цьому  $r_1 > r_2$ , то на ранг більший, ніж  $r_2$  неможливо побудувати шлях, який задовольняє властивості  $v$ , оскільки  $r_2$  – верхня оцінка по даному обмеженню.

Правило  $K_2$  для визначення верхньої оцінки за вагою функціонала в  $m$ -мірних завданнях не змінюється.

Уведемо за аналогією з поняттям одномірного коридору поняття  $m$ -мірного коридору в множині  $c \quad g(n) \leq f(n) \leq c' \times g(n)$ .

Позначимо підмножину векторів, що повинна залишитися в множині  $m_{sp}^r$  після фільтрації через  $m_{sp}^{rk}$ . Нагадаємо, що формування множини шляхів у  $m_{sp}^r$  здійснюється завжди таким чином, що довжина за вагою функціонала

першого з них більше довжини за вагою функціонала другого й т. д., тобто  $d_c(\mu_k) \geq d_c(\mu_k) \geq \dots \geq d_c(\mu_k)$ .

**Визначення.** Під виділенням  $m$ -мірного коридору будемо розуміти процес відсівання  $k$ -го шляху  $\mu_k$  у множині  $m_{sp}^r$ , якому відповідає  $m$ -мірний вектор  $(d_a(\mu_k)_1, d_a(\mu_k)_2, \dots, d_a(\mu_k)_m)$  за правилом  $K_4$ .

**Правило  $K_4$ .**

Якщо  $(\forall i \in (\overline{1, m})) d_a(\mu_v)_i \leq d_a(\mu_k)_i$  при цьому  $v = (\overline{1, k-1})$ , то вектор  $(d_a(\mu_k)_1, d_a(\mu_k)_2, \dots, d_a(\mu_k)_m)$  і відповідний йому шлях  $\mu_k$  можна видалити з подальшого аналізу, інакше  $\mu_k \in m_{sp}^{r=r+1}$ .

Справедливість відсівання за правилом  $K_4$  слідує з наступного досить очевидного твердження 4.

**Твердження 4.** Шляхи  $\mu_{sp}^r \in m_{sp}^r$ , що не потрапили в  $m_{sp}^{rk}$  не можуть визначати оптимальне рішення задачі (1 – 3).

**Доказ.** Нехай деякий шлях  $\mu_{sp}^{*r} \notin m_{sp}^r$ , є оптимальним рішенням задачі. Тоді відповідно до правила  $K_4$  в  $m_{sp}^{rk}$  існує шлях  $\mu_{sp}^{**r}$  більший за вагою функціонала й менший за всіма вагами обмежень. Отже, шлях  $\mu_{sp}^{**r}$  набере на наступних рангах і більше значення за вагою функціонала, при задоволенні властивості  $v$ , тобто  $d_c(\mu_k^{**r}) > d_c(\mu_k^{*r})$ . Ми прийшли до протиріччя, а значить наше припущення не вірно, і твердження 4 справедливо.

Позначимо потужність множини  $|m_{sj}^r|$  через  $\Xi$ . До початку відсівання  $|m_{sj}^{rk}| = \emptyset$ . Тоді процедуру формування  $m$ -мірного коридору можна зобразити у вигляді послідовної перевірки векторів  $(1, \Xi)$  з множини  $m_{sj}^r$  на можливість відсівання за правилом  $K_4$ . Вектори, які залишились, утворять підмножину  $m_{sj}^{rk}$ . Цю процедуру будемо називати стратегією  $L_{12}$ , що полягає у виділенні  $m$ -мірного коридору усередині кожної множини  $m_{sj}^r$  рангу  $r$ , коли в нього побудовані всі шляхи з вищестоящих вершин графа ДД.

**Приклад 11.** Потрібно максимізувати функціонал

$$f(\vec{x}) = 17x_1 + 15x_2 + 13x_3 + 8x_4 + 7x_5 + 4x_6 + 4x_7$$

при обмеженні

$$2x_1 + 4x_2 + 6x_3 + 9x_4 + 9x_5 + 2x_6 + 1x_7 \leq 23,$$

$$4x_1 + 6x_2 + 9x_3 + 1x_4 + 8x_5 + 10x_6 + 6x_7 \leq 33$$

у відповідності зі стратегіями  $L_9$  і  $L_{12}$  (рис. 14).

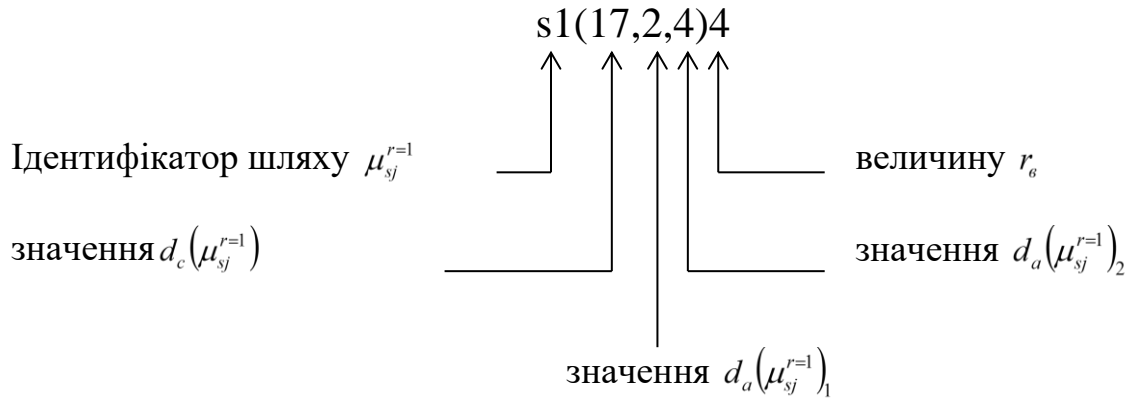
$\bar{y}_1^1 = \{0,1,3,7,13,22,31\}$ $\bar{y}_1^2 = \{0,1,7,13,21,30,40\}$ $\bar{z}_1 = \{0,15,28,36,43,47,51\}$	s1(17,2,4)4*				$\bar{x}_1^{opt} = (1111010)$ $\bar{x}_2^{opt} = (1111001)$ $f(\bar{x}^{opt}) = 57.$
	1				
$\bar{y}_2^1 = \{0,1,3,9,18,27\}$ $\bar{y}_2^2 = \{0,1,7,15,24,34\}$ $\bar{z}_2 = \{0,13,21,28,32,36\}$	s2(15,4,6)4	s12(32,6,10)3*			
	2	2			
$\bar{y}_3^1 = \{0,1,3,12,21\}$ $\bar{y}_3^2 = \{0,1,7,15,25\}$ $\bar{z}_3 = \{0,8,15,19,23\}$	s3(13,6,9)3	s13(30,8,13)3	s123(45,12,19)2*		
	3	3	3		
$\bar{y}_4^1 = \{0,1,3,12\}$ $\bar{y}_4^2 = \{0,6,14,24\}$ $\bar{z}_4 = \{0,7,11,15\}$	s4(8,9,1)3	s14(25,11,5)3	s124(40,15,11)2	s1234(53,21,20)1*	
	4	4	4	4	4

Рисунок 14. Ілюстрація роботи стратегії  $L_9$  і  $L_{12}$

$\bar{y}_5^1 = \{0,1,3\}$ $\bar{y}_5^2 = \{0,6,16\}$ $\bar{z}_5 = \{0,4,8\}$		s15(24,11,12)2		s1235(52,21,27)1		
	5	5	5	5	5	
$\bar{y}_6^1 = \{0,1\}$ $\bar{y}_6^2 = \{0,6\}$ $\bar{z}_6 = \{0,4\}$				s1236(49,14,29)0	s12346(57,23,30)0*	
	6	6	6	6	6	6
					s12367(57,22,23)0*	
	7	7	7	7	7	7
	r = 1	r = 2	r = 3	r = 4	r = 5	r = 6

Рисунок 14. Закінчення

*Рішення.* Побудову шляхів здійснюємо на основі принципу оптимізації за напрямком й за узагальненою процедурою  $A_0$ . Кожний шлях  $\mu_{sj}^r$  записується вираженням, що містить:



Пояснимо порядок роботи правил  $K_1$  і  $K_3$  на прикладі шляху  $\mu_{s_1}^{r=1}$ . Визначимо  $r_g$ . Для цього:

1. Припускаємо  $i = 1$ .
2. При поточному значенні  $i$  обчислюємо  $\Delta d$  для шляху  $\mu_{s_1}^{r=1}$ :

$$\Delta d = b_i - d_a(\mu_{s_1}^{r=1})_1 = 23 - 2 = 21.$$

3. У каліброваному векторі  $\vec{y}_1^1$  вершини 1 знаходимо номер  $k$ -го елемента  $y_{1k}^1$  вектора  $\vec{y}_j^i$ , починаючи з якого  $y_{1k}^1 > \Delta d \rightarrow k = 5$ .

4. Для шляху  $\mu_{s_1}^{r=1}$  щодо 1-го обмеження:  $r_g^i = k - 1 = 5 - 1 = 4$ .
5. Збільшуємо  $i$  на 1, тобто  $i = 2$ .
6. При поточному значенні  $i$  обчислюємо величину для шляху  $\mu_{s_1}^{r=1}$ :

$$\Delta d = b_i - d_a(\mu_{s_1}^{r=1})_2 = 33 - 4 = 29.$$

7. У каліброваному векторі  $\vec{y}_1^2$  вершини 1 знаходимо номер  $k$ -го елемента  $y_{1k}^2$  вектора  $\vec{y}_j^i$ , починаючи з якого  $y_{1k}^2 > \Delta d \rightarrow k = 5$ .

8. Для шляху  $\mu_{s_1}^{r=1}$  щодо 2-го обмеження:  $\hat{r}_g^i = k - 1 = 5 - 1 = 4$ .
9. Серед усіх  $\hat{r}_g^i, j = (\overline{1,2})$  вибираємо найменший, тобто  $\hat{r}_g = 4$ .

Маючи значення  $\hat{r}_g$  відносно співвідношення (23), перевіряємо на можливість відсікання за стратегією  $L_9$ .

Після формування множин усього рангу здійснюється виділення  $m$ -мірного коридору. Наприклад, на ранзі  $r = 2$  у множині  $m_{s_3}^{r=2}$  шлях  $\mu_{s_{23}}^{r=2}$  не попадає в коридор, тому що шлях  $\mu_{s_{13}}^{r=2} \in m_{s_3}^{r=2}$  має більшу довжину за вагою функціонала й меншу довжину за вагами усіх обмежень.

Однак, більш ефективною є стратегія відсікання  $L_{13}$ , при якій виділення  $m$ -мірного коридору здійснюється на всьому ярусі  $r$ , після того, як на ньому сформується всі шляхи, які задовольняють у кожній вершині властивості  $v$ . Тоді здійснюється перевірка: чи є для довільного шляху  $\mu_{sp}^r \in m_{sp}^r$  рангу  $r$  шлях  $\mu_{sj}^r$ , що належить одному з вищестоящих множин графа  $D\Delta$  над  $m_{sp}^r$ , який має більшу довжину за вагою функціонала й не меншу довжину за вагою усіх  $m$  обмежень. Якщо такий шлях  $\mu_{sj}^r$  є, то відповідно до твердження 4, шлях  $\mu_{sp}^r$  можна видалити з розгляду як безперспективний.

Таким чином, процедуру  $A_0$  зі стратегіями  $\{L_w\}$  і правилами  $K_w$  можна покласти в основу побудови наближених і точних алгоритмів рішення задачі про рюкзак, тобто одержати різні модифікації процедури  $A_0$  залежно від комбінацій використовуваних правил відсікання  $\{L_w\}$  безперспективних шляхів у множинах  $\mu_{sj}^r$  на основі застосування принципу оптимізації за напрямком.

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.7.2

## **7.2 Застосування процесів нечіткої логіки при моделюванні систем управління**

Розглянемо двигуни постійного струму, вони мають дуже широке застосування завдяки своїй основній характеристиці, яка полягає у здатності перетворювати електричну енергію постійного струму у механічну, що послужило створенню промислового обладнання з даним типом двигунів, застосуванню їх у якості приводів промислового устаткування, приводів електротранспорту, проводу виконуючих механізмів. Для того щоб забезпечити високу продуктивність двигуна постійного струму та спростити керування ним доцільно регулювати його швидкість. Для регулювання швидкості двигуна постійного струму та для вирішення багатьох задач з його використанням застосовується декілька контролерів: ПІД-регулятор, Fuzzy Logic Controller або їх поєднання. Задача полягає у проектуванні та побудові контролера двигуна постійного струму з застосуванням методів нечіткої логіки, тобто враховуючи нечіткі процеси, та оптимізації його роботи.

Поговоримо про розробку методів, які розглядаються. Виходячи з того, що дуже складно змодельовати систему управління та підібрати параметри оптимізації, для створення контролера нечіткої логіки застосовують методи оптимізації. Розробки в області досягнення оптимальності при управлінні системами надані у роботах [112, 113]. Одним з підходів до оптимізації управління при налаштуваннях систем з контролером є застосування побудови конструкції контролера за допомогою метода чисельної оптимізації з використанням потоку частинок. Але потрібно застосувати цей метод для функції приналежності при використанні нечіткої системи та знайти кращі параметри для запису функції приналежності та визначення приналежності до множин. Оптимізація за допомогою потоку частинок являє собою еволюційний алгоритм на основі стохастичного методу оптимізації, розроблений Еберхартом і Кеннеді в 1995 році. В цьому методі система представляється як множина випадкових рішень, а шукані потенційні рішення - частинками, які при набуті

певних значень, що вказані в умові задачі відносно оптимальності, надають оптимуму рішенню.

Концепція методу оптимізації полягає в наступному. Якщо всі рішення певної даної задачі розглядати як простір усіх можливих рішень, то кожне рішення має відповідні координати у цьому просторі, які можуть змінюватися. Тоді усі наближені рішення представлені як частинки при використанні методу потоку частинок. Кожна частинка відстежує координати оптимуму, оптимального рішення, в просторі проблеми, це пов'язано зі знаходженням кращого рішення, та змінює свої координати для пристосованості та для більшого наближення. Це значення позначимо  $p_b$ . А «найкраще» значення, яке буде отримано за допомогою оптимізації потоком частинок, буде представлено найкращим значенням, отриманим на даний момент будь-якою частинкою відносно інших частинок, позначимо це значення  $l_b$ . Коли розглядається увесь потік частинок як сусіди даної частинки, то найкраще значення буде глобальним найкращим значенням та позначається  $g_b$ .

Концепція методу оптимізації за допомогою потоку частинок полягає у тому, що у кожний проміжок часу змінюється швидкість або прискорення руху кожної частинки і це наближує значення її положення до значень  $p_b$  та  $l_b$ . Прискорення є зваженим, так як змінюється за допомогою випадкових чисел, що генеруються та обираються для прискорення руху частинок до положення з координатами або локацією  $p_b$  та  $l_b$ . В останні роки було показано, що метод оптимізації потоком частинок отримує кращі результати в більш швидкий спосіб по знаходженню оптимального рішення, а саме при управлінні за допомогою контролерів та при оптимізації їх роботи, порівняно з іншими методами [114]. Наведемо в узагальненому вигляді алгоритм методу, який розглядається, [115]:

Для кожної частинки, визначити частинку

Кінець циклу

Виконати у циклі до виконання умови

Для кожної частинки



обчислити значення придатності

Якщо пристосованість даної частинки має краще значення, ніж краще значення придатності  $pb$  при конкретних умовах досліду або

експерименту

прийняти поточне значення за нове  $pb$

Кінець циклу

Обрати частинку з кращим значенням пристосованості серед всіх частинок, як  $gb$

Для кожної частинки

обчислити швидкість частинок, оновити координати положення частинок

Кінець циклу

Умова: виконувати попередні кроки у циклі до тих пір, поки не буде досягнуто максимальної ітерації або мінімального критерію помилок.

Далі розглянемо застосування процесів нечіткої логіки для поставленої задачі. Fuzzy Logic є однією з форм логічного мислення, які можуть використовуватися для проектування систем автоматизації зі схемами міркування людини. Fuzzy теорія була вперше запропонована і досліджена Zadeh в 1965 р. Fuzzy Control є застосуванням автоматизації нечітких процесів логічного виводу, при цьому типовий контролер нечіткої логіки видає висновки з більш-менш простих правил бази знань. Налаштування та проектування контролера через характеристики нечіткої логіки, як правило, набагато простіше, бо відносно легко дізнатися, які правила впливають на поведінку регулятора в даній ситуації, а також набагато безпечніше, щоб мати можливість працювати з високим ступенем надлишковості, так як можна визначити конфліктуючі правила для подібних ситуацій, враховуючи що без цього система перестане працювати, надлишковість підвищує імунітет системи від помилок, які вже є у базі знань. Нечітку логіку та її методи, як інструмент, дуже доречно використовувати для моделювання та розробки контролерів, особливо з багатьма функціями, що дозволяє використовувати різні структури управління.

Нечітким логічним регулятором (НЛР) називається контролер, як елемент управління, що містить у своїй структурі блок нечіткого логічного виведення. Основна задача використання НЛР полягає у необхідності формалізації закону управління у вигляді нечітких правил, що задані для лінгвістичних змінних, для опису входів і виходів контролеру. Цей метод також базується на побудові функцій приналежності нечітким множинам, що формуються для лінгвістичних змінних відповідно до нечітких правил. Але в загальному випадку завдання налаштування НЛР є завданням оптимізації, для вирішення якої необхідна достатньо точна комп'ютерна модель об'єкта і потужний алгоритм глобального пошуку. При вирішенні поставленої задачі у якості алгоритму оптимізації обрано метод оптимізації за допомогою потоку частинок.

Далі розглянемо застосування системи комп'ютерної математики Matlab для побудови та моделювання керуючої системи з контролером, а саме використання сервісу Matlab – Toolbox Fuzzy Logic. У структурі системи, що використовує нечітку логіку для реалізації методу оптимізації потоком частинок будуть взаємодіяти вхідний чіткий вектор, вектор нечітких множин, що відповідає вхідному вектору, результат логічного виведення у вигляді вектора нечітких множин, вихідний чіткий вектор. Система має можливість інтегрування до Simulink – середовища моделювання систем.

Додаток Fuzzy Logic Toolbox дозволяє будувати нечіткі системи двох типів – mamdani, sugeno. Основна відмінність між системами mamdani та sugeno полягає в різних способах завдання значень вихідної змінної в правилах, що утворюють базу знань. Або значення вихідної змінної задаються нечіткими термінами, або лінійною комбінацією вхідних змінних. Для моделювання обираються дві вхідні змінні, значення яких отримуються при визначенні помилки та зміни похибки, результат моделювання виводиться у одну вихідну змінну з іменем Voltage, значення якої є значеннями напруги у електричному ланцюгу у певний момент часу за певних умов, та лінгвістичні змінні нечіткого процесу, що відображає оптимізацію методом потоку частинок. Нечіткому контролеру, що управляє електричним струмом у даній моделі, оптимізуючи

процеси методом потоку частинок, згідно цього методу надано атрибути: type – mamdani, AndMethod - min, OrMethod – max, ImpMethod – min, AggMethod – max, DefuzzMethod – centroid, Range – (0 120). Нечітка система виведення, яка згенерована, виходячи з методу оптимізації за допомогою потоку частинок, показана на наступних рисунках, при відповідних нечітких процесах кілька разів змінюються функції приналежності, тобто метод оптимізації за допомогою потоку частинок знаходить функції приналежності.

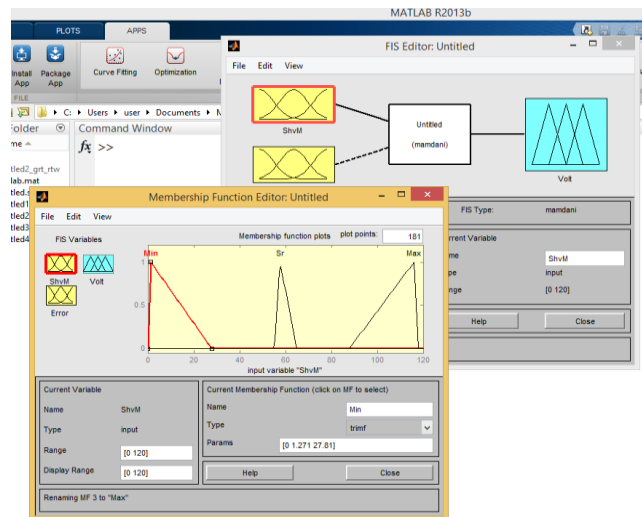


Рисунок 1. Функції приналежності відповідно до першої вхідної змінної.

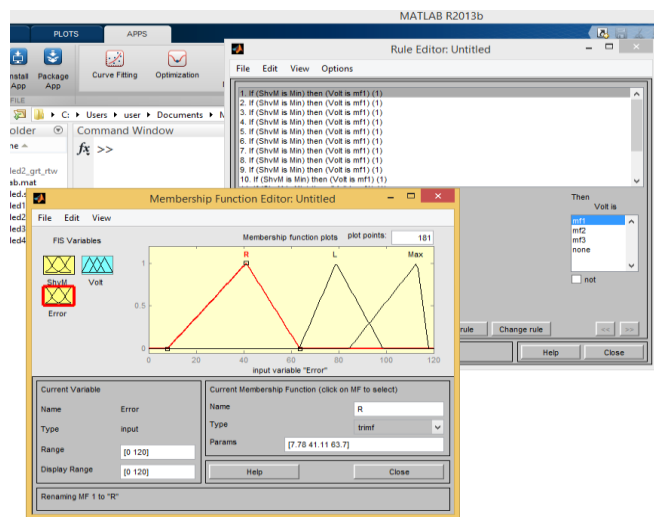


Рисунок 2. Функції приналежності відповідно до другої вхідної змінної.

Розглядаючи цю нечітку систему управління, після побудови та моделювання при певних значеннях атрибутів та за визначеними функціями приналежності і правилами функціонування нечітких процесів отримуємо

значення вихідної змінної напруги у електричному ланцюгу, графічна візуалізація вихідної змінної представлена на наступному рисунку.

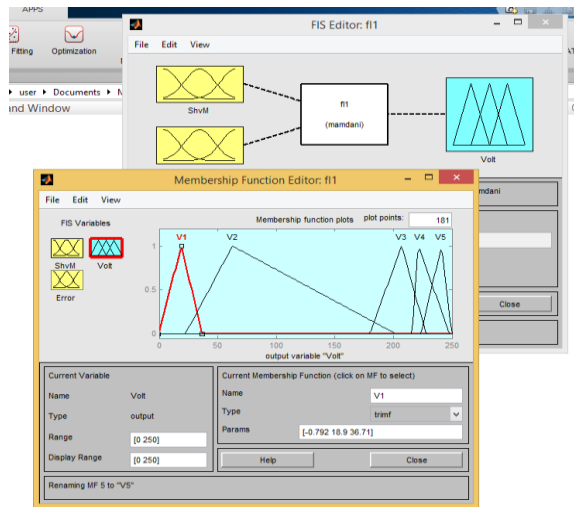


Рисунок 3. Представлення нечітких значень вихідної змінної – напруги.

Ми можемо бачити, що одна з функцій приналежності охоплює більше значень із множини значень вихідної змінної ніж чотири інші. Цей рисунок показує найкращі, тобто наближені до оптимальних, функції приналежності, отримані за допомогою методу оптимізації з використанням потоку частинок в проведених експериментах. Застосовані функції приналежності, що відповідають оптимізації за допомогою потоку частинок, та правила побудови нечіткої системи для цих функцій створюють інструменти, що дають можливість моделювати поверхню управління та властивості управління. Поверхню управління показано на рис. 4.

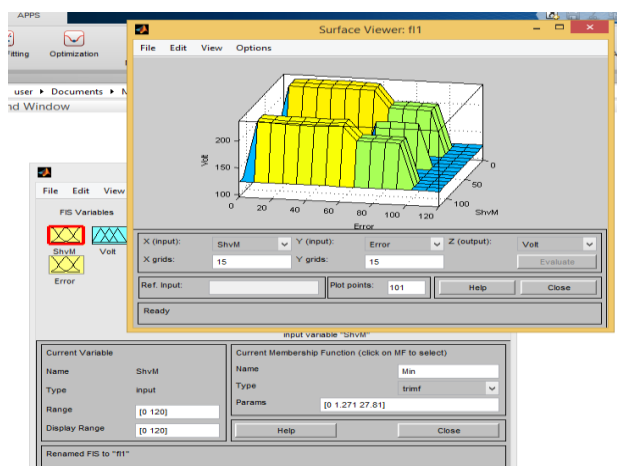


Рисунок 4. Поверхня управління нечіткої системи.

Загальний привід у системах управління є двигуном постійного струму. Він безпосередньо забезпечує обертальний рух і, в поєднанні з колесами або барабанами і кабелями, може забезпечити перехідний рух. Двигун постійного струму є механізм, який перетворює електричну енергію в механічну, утворюючи обертальний рух. Механізм постійного струму (генератор або двигун) складається в основному з двох частин, перша з яких - статор, який дає механічну підтримку блоку і має отвір в центрі, як правило, циліндричної форми. На додаток до статору, полюси розташовані так, що можуть бути постійними магнітами або обмотками з мідного дроту на залізний сердечник. Друга частина – ротор, що зазвичай має циліндричну форму та складається з намотки і ядра, також додані дві щітки. На наступному рисунку показана модель Simulink, реалізована в Matlab, де основний блок схеми моделювання є моделлю нечіткого логічного контролера, який отримано методом оптимізації з використанням потоку частинок.

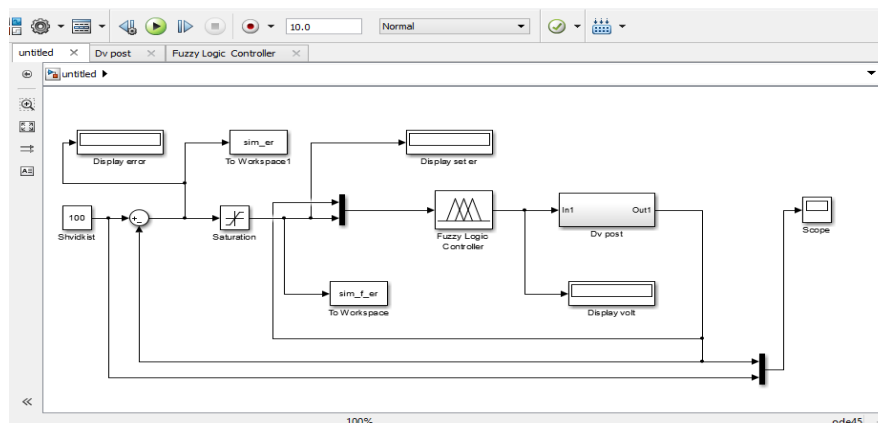


Рисунок 5. Моделювання системи з нечітким логічним контролером.

Далі надані математична постановка даної задачі та методи її вирішення. Введемо позначення та надамо значень наступним фізичним параметрам. Ротор і вал передбачаються жорсткими. Момент крутіння двигуна -  $M$  пов'язан зі струмом якоря –  $i$  відповідно константі  $const_m$ . Константа електрорухоючої сили  $const_e$  пов'язана зі швидкістю обертання за допомогою наступних рівнянь:

$$\begin{aligned} M &= const_m \cdot i \\ E &= const_e \cdot \psi, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $R$  - електричний опір,  $L$  – електрична індуктивність,  $const$  – константа електрорушуючої сили,  $\zeta$  – коефіцієнт демпфування механічної системи,  $J$  – момент інерції. Також ми будемо розглядати як вхідну змінну  $V$  – напругу джерела струму, а як вихідну змінну  $\psi$  – координати положення валу. Для цієї моделі згідно поставленої задачі ми також можемо написати наступні рівняння, що спираються на закон Ньютона і закон Кірхгофа:

$$\begin{aligned} J\ddot{\psi} + \zeta\dot{\psi} &= const \cdot i \\ L\frac{di}{dt} + Ri &= V - const \cdot \dot{\psi} \end{aligned} \quad (2)$$

За допомогою перетворення Лапласа, вищенаведені рівняння моделювання можуть бути виражені відносно незалежної змінної  $x$ :

$$\begin{aligned} x(Jx + \zeta)\psi(x) &= const \cdot i \\ (Lx + R)I(x) &= V - const \cdot x\psi(x) \end{aligned} \quad (3)$$

У поняттях станів системи моделювання вищенаведені рівняння можуть бути виражені наступним чином: швидкість обертання та електричний струм обираються в якості змінних стану, напруга задає вхідний сигнал, у результаті отримується швидкість обертання як вихідні дані.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \dot{\psi} \\ i \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -\frac{\zeta}{J} & \frac{const}{J} \\ -\frac{const}{L} & -\frac{R}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\psi} \\ i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{pmatrix} V \\ \dot{\psi} &= (1 \quad 0) \begin{pmatrix} \dot{\psi} \\ i \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Запишемо алгоритм виконання оптимізації методом використання потоку частинок, який застосовується при вирішенні задачі:

1. Початок.
2. Завдання визначення частинок, які беруть участь у потоці для виконання оптимізації, а саме задається їх положення та швидкість.
3. Оцінка придатності кожної визначеної частинки до використання у цьому методі.
4. Завдання та оновлення параметрів контролера нечіткої системи.
5. Знаходження значень  $pb$ ,  $gb$ .

6. Оновлення значень координат частинок та швидкості її руху.

7. Перевірка виконання умови: якщо максимальна кількість ітерацій процесу оптимізації ще не досягнута, то переходимо до пункту 2, інакше – наступний пункт.

8. Кінець виконання методу.

Важливо відзначити, що нечітка система використовувалася з 2 входами і 2 виходами для отримання під час виконання кращих значень когнітивного прискорення  $l_1$  і соціального прискорення  $l_2$ . Ця нечітка система може бути описана наступним чином: основна функція нечіткої системи призначена для налаштування параметрів методу оптимізації за допомогою потоку частинок та їх корегування, у якості параметрів розглядаються

$l_1$  - когнітивне прискорення,  $l_2$  - соціальне прискорення.

Ми змінюємо ці параметри для перевірки запропонованого методу. У цьому випадку можна регулювати в режимі реального часу 2 параметри. Рівняння швидкості частинок при виконання запропонованого методу можна описати наступним чином:

$$\omega_{ij}(t + 1) = \omega_{ij}(t) + l_1 p_{1j}(t) (y_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + l_2 p_{2j}(t) (y_{ij}(t) - x_{ij}(t))$$

Вище, у рівностях (2), описується спосіб, яким чином основне рівняння методу оптимізації модифікується для досягнення мети, і потім, перетворивши його частину в нечіткі параметри, ми можемо побачити відмінності між двома рівняннями, що істотна частина пропонованого методу лежить в цих двох змінних  $l_1$ ,  $l_2$ . Традиційно ці дві змінні є постійними, в даному випадку важливість цих двох прискорень полягає в тому, що ми вирішили отримати ці дві величини відповідно до наступних визначень.

Де  $\omega_{ij}(t)$  - швидкість частинки  $i$  у вимірі  $j = 1, \dots, n$  у момент часу  $t$ ,  $x_{ij}(t)$  - положення частинки  $i$  у вимірі  $j$  на кроці  $t$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  представляють пізнавальне і соціальне прискорення. У цьому випадку ці значення є нечіткими, оскільки вони змінюються динамічно при виконанні методу оптимізації і визначаються виразами (3),  $p_{l_1}$  і  $p_{l_2}$  є випадковими значеннями в діапазоні [111, 112].

$$l_1 = \frac{\sum_{i=1}^{p_{l_1}} \mu_i^{l_1}(l_{1i})}{\sum_{i=1}^{p_{l_1}} \mu_i^{l_1}}$$

де  $l_1$  - відсоток когнітивного прискорення частинки,  $p_{l_1}$  - кількість правил нечіткої системи, що відповідають  $l_1$ ,  $l_1$  - вихідний результат для правила, відповідний  $l_1$ ,  $\mu_i^{l_1}$  – функція приналежності правила і відповідно до  $l_1$ .

$$l_2 = \frac{\sum_{i=1}^{p_{l_2}} \mu_i^{l_2}(l_{2i})}{\sum_{i=1}^{p_{l_2}} \mu_i^{l_2}},$$

де  $l_2$  - відсоток соціального прискорення частинки,  $p_{l_2}$  - кількість правил нечіткої системи, що відповідають  $l_2$ ,  $l_2$  - вихідний результат для правила, відповідний  $l_2$ ,  $\mu_i^{l_2}$  – функція приналежності правила і відповідно до  $l_2$ .

Таким чином, налаштування управління системою керується за допомогою регулятора, параметри якого відповідають нечітким логічним процесам, при цьому знаходження оптимальних значень параметрів відбувається за алгоритмом оптимізації за допомогою потоку частинок. При вирішенні поставленої задачі система розглядається як нечітка, що описується двома параметрами, які змінюються динамічно при виконанні методу оптимізації за допомогою потоку частинок та досягають значень, при яких система має оптимальне значення вихідної змінної.



**SECTION 8. INNOVATIVE TECHNOLOGIES**

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.8.1

**8.1 Ресурсне забезпечення безпеки праці на сучасних підприємствах**

Пошук нових підходів до управління безпекою праці та її реформування обумовлений змінами в економіці та соціальній сфері. Державна політика в галузі умов та охорони праці ще не повною мірою забезпечує системний, комплексний підхід до всього спектру розв'язуваних завдань у цій галузі та впровадження інноваційних елементів економічної ефективності управління. У той же час використання принципу системності в управлінні безпекою на підприємствах передбачає всебічний аналіз функціонування системи управління охороною праці, розгляд можливих альтернатив прийнятих рішень, координацію зусиль на пріоритетних напрямках, оцінку можливих запобіжних дій у кожному елементі та компоненті системи. Огляд численних досліджень з розвитку підприємств показує, що в даний час ролі людського фактора надається велике значення на всіх рівнях виробничого процесу, незалежно від сфери діяльності та галузі. Сформовано наукові школи та напрямки з поглибленого дослідження ролі людського фактора, розробляються та вдосконалюються методики культури безпеки на підприємстві, впроваджуються програми щодо зміни поведінки.

Сучасні умови характеризуються високою динамікою змін, організації постійно впроваджують дедалі нові форми управління з підвищення конкурентоспроможності підприємств, зокрема в галузі управління безпекою. Насамперед, значно зріс не тільки інтерес до місця людини у трудовій діяльності, а й у великому різноманітті форм прояви її соціальної та психологічної активності, у якій людина одночасно реалізує себе як суб'єкт управління, так і об'єкт під управлінням. Праця окремого індивіда також стає джерелом реалізації власних ідей, самосвідомості та професійної поведінки в особистих та колективних питаннях безпеки. На сучасному етапі розвитку людства у сфері безпеки прагнення розуміння рухається від феномена людської помилки до проблеми удосконалення систем управління безпекою. Роль людини

розвивається та становиться більш інтегрованою в системі управління виробництвом. А корінням ця проблема йде в область взаємодій між людьми за допомогою культури соціуму, в якому вони живуть і працюють, до універсального процесу регуляції поведінки і діяльності людини.

Технологічний прогрес та інтенсивний вплив конкуренції стрімко змінюють умови праці, планування та організацію трудового процесу. Першорядне значення належить законодавству, але саме собою воно недостатньо у тому, щоб керувати цими змінами і попереджати нові виробничі небезпеки та ризики. Підприємства також повинні постійно реагувати на зміни, що відбуваються у сфері безпеки праці, та розробляти ефективні засоби у вигляді динамічних стратегій управління. Позитивний вплив впровадження систем охорони здоров'я та професійної безпеки персоналу на рівні підприємства як на зниження небезпек та ризиків, так і на продуктивність, нині визнається урядами, роботодавцями та працівниками усього світу. Багато підприємств виявляють зацікавленість у ефективності та демонстрації можливостей управління охороною праці та професійною безпекою працівників [116].

Аналізуючи правову основу ЄС у питаннях гігієни та охорони праці, можна стверджувати, що вона вимагає насамперед охоплювати аналізом та оцінкою максимальну кількість ризиків на робочих місцях з наявністю мінімальної кількості законодавчих та нормативних актів. Однією з серйозних проблем у системах управління охороною праці промислових підприємств України є те, що вона здебільшого побудована на засадах коригувальних дій, тобто, реагування на вже небезпечні випадки, а чи не на принципах «попереджувальних дій», тобто, їх профілактики, що не дозволяє визначити найважливіші та першорядні профілактичні роботи з охорони праці та спрямовувати на них у першочерговому порядку матеріальні та фінансові ресурси. В результаті це призводить до розробки великої кількості заходів та нераціонального розподілу та витрачання тимчасових, матеріальних та фінансових ресурсів, що виділяються на охорону праці. В результаті продовжують виникати нещасні випадки та небезпечні ситуації, що призводять до людських, матеріальних та фінансових втрат [116].

Таким чином, в даному ракурсі ми актуалізуємо питання удосконалення менеджменту підприємств з точки зору безпеки та охорони праці. Стаття присвячена питанням раціонального використання людського ресурсу в питанні безпеки, сформованості та підвищенню культури безпеки, синергійному поєднанню людського ресурсу та організаційної (корпоративної) системи культури безпеки праці на підприємстві. Культура безпеки праці є досить новою концепцією. Це поняття пов'язане з поняттям «культура охорони праці», яке, своєю чергою, безпосередньо з ставленням до охорони праці з боку керівництва та самих працівників. Чи покращує систему охорони праці культура безпеки, чи вона є важливою частиною системи управління охороною праці та чи впливає вона на розвиток підприємства? Цим питанням і присвячено цю статтю.

Під ресурсним забезпеченням ми розуміємо забезпечення безпеки працівниками, які безпосередньо працюють на робочих місцях, і співробітниками органів управління безпекою. І насамперед сучасним та перспективним напрямком підвищення безпеки виробничої діяльності та охорони праці на підприємстві є формування культури безпеки праці, де головним діючим чинником виступає саме людина-працівник.

Загалом до ресурсного забезпечення в системі охорони праці відносять наступні напрямки:

Навчання безпеки працюючих.

Обов'язки роботодавця щодо забезпечення навчання працівників. Одним із найважливіших елементів попередження виробничого травматизму та професійної захворюваності є безперервне багаторівневе цілеспрямоване підвищення рівня професійних знань та компетентності персоналу з охорони праці.

Організація навчання з охорони праці та перевірки знань вимог охорони праці керівників та спеціалістів. Керівники та спеціалісти проходять спеціальне навчання з охорони праці в обсязі посадових обов'язків. Відповідальність за організацію своєчасного та якісного навчання та перевірку знань з охорони праці покладено на роботодавців.

Проведення перевірки знань з охорони праці керівників та спеціалістів. Організація комісій. Перевірка знань з охорони праці повинна проводитися з урахуванням посадових обов'язків та характеру виробничої діяльності керівника, спеціаліста, інженерно-технічного працівника та ін., а також за нормативними документами з охорони праці, забезпечення та дотримання вимог яких входять до їх службових обов'язків.

Оформлення результатів перевірки знань з охорони праці керівників та спеціалістів.

Позачергова перевірка знань з охорони праці керівників та спеціалістів. Позачергова перевірка знань з охорони праці проводиться незалежно від строку проведення попередньої перевірки.

Навчання безпеки праці при підготовці робітників, перепідготовці та навчанні другорядним професіям.

Спеціальне навчання та перевірка знань робітників. В окремих галузях, пов'язаних із роботами, до яких висуваються додаткові (підвищені) вимоги безпеки праці, проходять додаткове спеціальне навчання безпеки праці з урахуванням цих вимог.

Проведення інструктажів з охорони праці.

Підготовка спеціалістів органів управління промисловою безпекою. Підготовка спеціалістів органів управління безпекою (заступників головного інженера з охорони праці та промислової безпеки, начальника служби охорони праці, інженерів з охорони праці) на підприємствах [117].

Однак існує ще друга сторона цього питання - висококваліфіковані фахівці з охорони праці. Від ефективності роботи фахівця з охорони праці в значній мірі залежить досягнення рівня охорони праці на виробництві, що відповідає мінімальним вимогам до забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці працівників, які встановлені законодавчими та іншими нормативно-правовими актами з охорони праці. Тому сучасний фахівець з охорони праці повинен володіти вичерпними знаннями та навичками з питань організації і управління

процесами, забезпечення охорони і безпеки праці, а також створення умов їх підтримки й динамічного розвитку.

Сучасний фахівець з охорони праці та промислової безпеки - фахівець з вищою освітою, що володіє інженерними та управлінськими компетенціями, здатний організувати і оптимізувати безпеку трудових процесів у виробничій діяльності.

Найважливіший напрям оптимізації охорони праці на підприємстві - висококваліфіковані фахівці з охорони праці, які мають успішно працювати в умовах ринкових відносин, постійних інновацій, безперервного вдосконалювання та ускладнення професійної діяльності з додаванням управлінських функцій. Засвоєння сучасних тенденцій управління охороною праці фахівцями і керівниками сприяє формуванню свідомості охорони праці, без якої неможливо провести державну політику із забезпеченням ефективної промислової безпеки.

Професійна компетенція і професійна відповідність майбутніх фахівців належать до ключових складових і передумов забезпечення безпеки праці та зниження виробничого травматизму [118].

Технічне бачення майбутнього фахівця з охорони праці та промислової безпеки на сучасному етапі повинне базуватися не лише на глибоких знаннях професійних і фундаментальних природничо-наукових дисциплін, але і на володінні сучасними технологіями менеджменту, компетенціях в області гуманітарній, соціальній і економічній діяльності. Управлінська і організаторська діяльність сучасного фахівця в області охорони праці і промислової безпеки невід'ємна від його інженерно-технічних обов'язків. Управління сучасним високотехнологічним наукомістким виробництвом, його економікою і розвитком, забезпечення його конкурентоспроможності і безпеки виробництва вимагає синергетичного складання інженерних і управлінських компетенцій у фахівцеві нового типу [118].

Поняття «культура безпеки» вперше з'явилося в процесі аналізу причин і наслідків Чорнобильської аварії, здійсненого Міжнародним агентством з атомної

енергії (МАГАТЕ). Було визнано, що саме відсутність культури безпеки стала однією з причин трагедії. Після МАГАТЕ концепцію культури безпеки підтримали Міжнародна організація праці, Міжнародна організація цивільної авіації, Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ), Всесвітня організація трубопровідного транспорту, Міжнародна асоціація з радіаційного захисту та інші авторитетні міжнародні інституції. Так, поступово цей термін почали розповсюджувати на всі сфери людської діяльності та застосовувати як окремої людини, так і до суспільства в цілому [119].

Проте більш широке її розповсюдження зіткнулося з наступними проблемами:

в Україні несформована цілісна державна політика щодо формування та реалізації стратегії впровадження культури безпеки, яка б охоплювала усі сфери діяльності людей, включаючи економічну діяльність, побут, відпочинок;

відсутність де-факто надвідомчого координаційного і методологічного центру, що сприяв би впровадженню загально організаційних підходів до покращення ситуації з безпекою;

на рівні центральних та місцевих органів виконавчої влади недостатню увагу приділяють питанням впровадження у практику основних засад культури безпеки як ефективного інструмента створення і безперервного підтримання безпечних умов праці і життя громадян;

діючі нормативні і методичні документи з упровадження основних засад культури безпеки у практику на підприємствах, організаціях та установах, що використовують техногенно-небезпечні технології є недосконалими, контроль за їх дотриманням є недостатнім;

недостатні дії органів виконавчої влади у розробці та реалізації державної політики у сфері охорони життя людей на виробництві та профілактики побутового травматизму;

недостатня увага питанням культури безпеки приділяється у сфері виховання, освіти та просвіти [120].

Таким чином, з огляду на критичний стан в Україні у сфері формування культури безпеки праці з одного боку, та недосконалість організаційно-управлінської системи з іншого, та враховуючи сучасні гуманістичні підходи до професійної діяльності вважається за необхідне удосконалення досліджень у цій сфері.

Культура безпеки - система норм та вимог, дотримання яких гарантує якість професійної діяльності. Рівень безпеки на підприємстві, його процесів та видів діяльності, пов'язаних з безпекою, може бути домінуючим показником сформованості культури безпеки.

Серед досліджень сучасних науковців виокремлюються питання: чи культура безпеки праці є новою концепцією, яка включає старі поняття та новий вектор розвитку, чи до її змісту включені й нові поняття, здатні покращити розуміння того, наскільки добре відбувається процес формування культури безпеки праці в організації. Також часто виникає під час дослідження культури безпеки праці інше питання – це її взаємозв'язок із культурою безпеки загалом та ефективністю її функціонування. Чи може культура безпеки праці бути тим фактором, який забезпечить більш ефективну роботу щодо профілактики нещасних випадків та виникнення надзвичайних ситуацій.

Загалом культуру безпеки розглядають як нову концепцію, що включає у собі різні теорії, які поєднують взаємозв'язок корпоративної культури та охорони праці на підприємстві. Вони дають змогу зрозуміти, як сформована корпоративна культура впливає безпеку та охорону праці. Культуру безпеки не можна прирівнювати ні до конкретних структур забезпечення охорони праці, ні до існуючих програм безпеки. Культура безпеки повинна бути поєднанням лідерства та підтримки з боку керівництва, участі у справі менеджерів нижчої ланки та залучення персоналу у дотримання заходів безпеки для збереження життя та здоров'я співробітників. Фактично таку культуру безпеки можна високо оцінити за двома головними параметрами охорони праці: «залучення до охорони праці» та «місія охорони праці».

Культура безпеки є частиною організаційної культури підприємства, оскільки більшість дослідників як загальний компонент організаційної культури вказують поділювані членами організації цінності та норми.

Аналізуючи сучасні дослідження з цього питання, можна виділити наступне.

Сучасна наукова література накопила значну кількість різноманітних підходів до визначення культури безпеки [121-125]. Що важливо, напрацювання в цієї області, тим чи іншим чином, торкаються і культурного середовища підприємства [123, с.10, с.11]. Також існує ціла низка досліджень, які доводять існування синергії між професіоналізмом (професійною культурою) і організаційною культурою, часто спостерігається неготовність працівників до відповідних змін [125], оскільки останні потребують певних додаткових зусиль з боку кожного учасника.

Під культурою безпеки в даній роботі мається на увазі сукупність норм, переконань, цінностей, поглядів і припущень, які є невід'ємною частиною повсякденної діяльності і знаходять своє відображення в діях всіх підрозділів і персоналу щодо безпеки праці.

На сьогоднішній день в обороті сучасного фахівця з охорони праці використовуються такі поняття, як «усвідомлена безпека», «поведінковий аудит», «організаційний клімат», «культура спілкування», «культура охорони праці» та «культура безпеки праці». При цьому під «культурою охорони праці» розуміється високий рівень розвитку системи збереження життя та здоров'я працівників у процесі праці [128].

Поняття «культура безпеки» є набором правил та особливостей діяльності, організації і поведінки персоналу, який встановлює вищим пріоритетом особисту відповідальність і увагу проблемам безпеки. Безпечне мислення стає культурою, коли група, або спільнота в цілому діє так, що загроза її безпеці стає соціально неприпустимим явищем [129].

Під культурою безпеки праці з одного боку розуміються цінності, уявлення та принципи, які є основою в управлінні системою безпеки праці, а з іншого -



система впровадження та поведінкових реакцій щодо реалізації цих принципів. Ось чому, говорячи про культуру безпеки сьогодні, слід зазначити, перш за все, сьогоднішній світовий тренд у цій галузі – це так звані інструменти лідерства.

Поняття «культура охорони праці» та «культура безпеки виробництва» практично тотожні та мають бути комбінацією: лідерства, участі керівників усіх рівнів та залучення працівників у дотримання заходів безпеки [128].

Таким чином, культура безпеки праці – це дві основні складові: місія (концепція, політика) охорони праці та процес залучення до охорони праці. При цьому місію пропонує, розробляє та затверджує керівник підприємства, а ось процес залучення працівників – це складний механізм, що вимагає постійної уваги та коригування. Наприклад, навіть один і той же інструмент на різних людей може різний вплив, який залежить від рівня розвитку людини, соціуму, виховання в сім'ї та безлічі інших факторів

Оцінюючи сформованість культури безпеки праці, необхідно виділити її основні елементи.

Сучасні науковці виділяють такі складові культури безпеки [122-124;128]:

культура управління (сильний менеджмент формує систему цінностей і створює позитивний колективний досвід на підприємстві: будь-яка загроза виявляється та контролюється, а продуманий менеджмент забезпечує ресурси для її запобігання на робочому місці);

культура обізнаності (збирання та обробка інформації, яка використовується для запобігання аваріям);

культура передачі повідомлень (готовність працівників повідомляти про свої помилки та потенційно небезпечні ситуації);

ставлення до покарань (заохочення інформування про будь-які збої, погрози, помилки колег та своїх власних);

культура навчання (оцінка ефективності та вдосконалення програм навчання).

У роботах інших авторів [123, с .10, с .11] визначено такі ключові елементи культури безпеки:

інформаційна культура (збір та аналіз інформації щодо контрольних показників охорони праці);

культура, в якій не бояться повідомляти про події;

культура викладання уроків (вміння робити висновки з допущених помилок та виправляти умови, що загрожують безпеці праці);

гнучка культура (вміння підлаштовуватися під зміни довкілля);

справедлива культура (здатність бачити кордон між допустимою та неприпустимою поведінкою, при неприпустимій поведінці застосовуються справедливі та обґрунтовані заходи).

Європейські фахівці виділяють наступні складові культури безпеки [130,131]:

лідерство;

двостороння комунікація;

участь (залучення) співробітників;

вивчення та аналіз попереднього досвіду;

відношення до провини.

Наведені вище елементи культури безпеки праці перебувають у тісному взаємозв'язку і впливають друг на друга.

Також важливо приділити увагу основним інструментам культури безпеки праці:

виховання безпечної поведінки працівника, тобто працівник повинен зрозуміти, що ніхто не охороняє краще за його здоров'я, ніж він сам. А для цього у нього має бути розвинена природна безпечна поведінка. Все, що він робить, він повинен робити максимально безпечно;

створення роботодавцем безпечних умов праці для своїх співробітників виходячи з нормативних вимог та свого внутрішнього розуміння (захист від будь-яких зовнішніх факторів, наявність засобів індивідуального захисту, наявність підготовлених місць релаксації, санітарно-побутових приміщень, місць відпочинку тощо);

відповідальне лідерство керівника.

Потрібно розглянути ці інструменти докладніше.

Найпростіша з цих трьох груп інструментів культури безпеки праці - створення безпечних умов праці. Це прості фізичні зміни: захист від шуму (екранування), захисту від пилу (фільтри). Безумовно, ці заходи вимагають тимчасового і фінансового ресурсу, але це завдання можна здійснити і відчувати.

А ось виховання природної безпечної поведінки – завдання набагато складніше. У разі є безліч чинників: рівень освіти, виховання; думки, свідомість; рівень розвитку та підготовленості працівника як фахівця. При цьому слід зазначити, що рівень розвитку та ступінь сприйняття ризику роботи людей дуже різний, і це не повинно бути підставою для того, щоб не брати людину на роботу. Існує безліч професій, де люди ризикують через свою професійну діяльність, і при цьому є вкрай відповідальними при прийнятті рішень, тому що вміють аналізувати ризик, оскільки ризик є частиною їхньої професії. Керівники багатьох компаній глибоко переконані в тому, що подій та травматизму можна уникнути, якщо забезпечити участь кожного співробітника у запобіганні негативним подіям. Це неможливо без повного контролю всіх процесів як у власній зоні відповідальності, і навколо. При цьому працівник повинен мати особисту відповідальність за забезпечення спільної безпеки як на робочому місці, так і поза роботою.

Організація і управління безпекою діяльності в системі «людина-виробниче середовище» спрямовані на практичну реалізацію комплексу різноманітних заходів з утворення і дотримання безпечних умов праці, і є за своєю сутністю однією з підсистем управління такою великою і складною соціально-технічною системою як підприємство. Управління безпекою діяльності являє собою комплексне завдання, і його успішне вирішення потребує від фахівця глибоких міждисциплінарних знань, а отже і міждисциплінарних форм організації навчально-виховного процесу його професійної підготовки. Ефективність розв'язання означеної проблеми залежить від наявності своєрідної системи підтримки прийняття рішень, якій властиві основні взаємозв'язані функції діяльності фахівця [132].

У багатьох великих компаніях існує два основних інструменти культури безпеки праці з виховання співробітників та формування культури охорони праці:

первинна оцінка ступеня прийнятності ризику. Це механічний інструмент початкового зрізу характеру людини або її потенційних можливостей, здібностей;

навчання, без якого буде складно виховати безпечну поведінку, якщо до працівника не доведено навіть елементарних правил, яких він повинен дотримуватися. Ефект навчання залежить від бажання учня та від правильності викладання предмета (вирішення практичних кейсів, застосування інноваційних підходів у навчанні; застосування різних тренажерів).

Практичне, самостійне відпрацювання - саме той замкнений ланцюжок в освіті, який є максимально ефективним. Також загальновідомий принцип навчання – 70/20/10, згідно з яким при підготовці хорошого фахівця необхідно витратити 10% часу на його теоретичну підготовку, 20% – на навчання з наставником, а 70% – на виконання власних творчих завдань, бажано на робочому місці. А це означає, що професійним та висококласним фахівцем він стане лише тоді, коли буде самостійно, застосовуючи навички, здобуті під час навчання та на практиці, здійснювати свою професійну діяльність [127].

В даний час численна кількість великих підприємств та компаній застосовують організаційні (корпоративні) програми навчання, що дозволяють, наприклад, виявляти та оцінювати ризики, правильно реагувати на позаштатні ситуації, оцінювати безпеку виконання робіт на висоті або кранами, тобто - широкий спектр інструментів залежно від того, на якій ділянці підприємства співробітник працює. Це не є обов'язковим з погляду державних вимог щодо охорони праці, але з погляду багатьох компаній – це необхідне навчання.

Також існує додаткове корпоративне навчання суміжним технологічним операціям, яке, розвиваючи навички співробітника, допомагає стати йому полівалентним, тобто, коли працівники можуть замінювати один одного без втрати кваліфікації. Це важливий ресурс для керівників. Якщо ж співробітник

має бажання розвиватися далі, то в багатьох навчальних закладах є освітні курси, пов'язані з комунікаціями, з поведінковими компетенціями. Таким чином, навчання та підтримання необхідного рівня компетенцій у комплекті зі створенням умов праці - це базис для гарного рівня охорони праці та безпеки виробництва.

Третій «інструмент» культури безпеки праці – лідерство керівника. Особистий приклад керівника є одним із ключів до формування культури безпеки, оскільки без демонстрації на особистому прикладі прихильності першої особи декларованим цінностям у сфері пріоритету безпеки жодна програма безпеки не працюватиме, адже працівники просто не повірять у щирість зроблених заяв.

Для реалізації цілей культури безпеки виробництва вищим керівництвом підприємства може бути прийнята Політика, яка демонструє прихильність вищого керівництва до забезпечення безпеки. Вона може встановити вектор розвитку, і в ній можуть бути сформульовані основні вимоги, наприклад: «охорона праці, промислова безпека та охорона навколишнього середовища є абсолютним пріоритетом і невід'ємною частиною процесів на всіх етапах виробничої діяльності».

Багато досліджень показують, що керівництво компанії – приклад для працівників, зразок для копіювання їхньої поведінки та вчинків. Але слід розуміти, що на великому підприємстві із великою кількістю співробітників ця роль (і, відповідно, відповідальність) переходить до керівників інших рівнів управління - директорам підприємств, лінійним керівникам. Відповідно, має бути проведено правильну підготовку безпосередніх керівників.

Їх правильний підхід до організації виробничої та повсякденної діяльності - перший крок до так званого усвідомленого лідерства та серйозної бази для виховання співробітників. Увага до дрібниць у поведінці лідера, наприклад, розмова з працівником під час огляду виробничого майданчика, може кардинально змінити підхід працівника до охорони праці та своєї власної безпеки.

Лідерство у питаннях забезпечення безпеки та охорони праці є одним із ключових показників при оцінці як окремих керівників, так і управлінських команд. Керівництво самотужки не може (і не повинно) розвивати культуру безпеки на підприємстві чи в організації. Культура безпеки пронизує всі управлінські рівні і має виходити не лише від керівників підприємства, а й від пересічних співробітників та підрядників на всіх рівнях комунікації. «Ідеї ведуть до результату, а ідеали – до лідера» [127].

Змагання, визнання досягнень працівників керівництвом підприємства, що оточують, можливість продемонструвати свої досягнення та досягнення свого структурного підрозділу є найпростішими та зрозумілішими методами залучення уваги та забезпечення участі працівників у покращенні виробничого процесу. Більшість передових компаній як заходи щодо залучення працівників до управління та підвищення своєї культури безпеки виробництва вказують на проведення різних фестивалів, оглядів-конкурсів.

Тобто, важливим необхідно вважати оцінку сформованості та підвищення культури безпеки. У цьому ключі - професійна діяльність та компетентність працівника у питаннях безпеки праці, психологічні засади навчання безпеці трудової діяльності. Елементи та моделі культури безпеки. Методи оцінювання. Стратегії впровадження культури безпеки. Перспективним напрямом реалізації соціально-психологічної політики у сфері підвищення культури безпеки праці є формування свідомої культури безпеки праці.

Будь-якою ситуацією чи процесом необхідно керувати. І культура безпеки праці не є винятком. Її керованість досягається за рахунок профілактичних дій, таких як [124-126]:

програми зі зниження травматизму, створені задля працівників як підприємства, а й підрядних організацій;

процедура оцінки ризиків під час повсякденних робіт та робіт підвищеної небезпеки;

індивідуальна та колективна мотивація;

проведення внутрішніх розслідувань подій та потенційно небезпечних ситуацій;

виявлення корінних причин та розробка коригувальних заходів з метою запобігання повторенню подій та мінімізації ризиків;

проведення поведінкових аудитів безпеки (ПАБ);

практика уповноважених з охорони праці;

застосування дрон-сервісу для здійснення виробничого контролю віддалених, важкодоступних ділянок та габаритного обладнання;

практика роботи з вхідного контролю підрядних організацій - проведення виїзних аудитів підрядних організацій до укладення договору,

складання оціночних листів, перевірки знань працівників підрядних організацій;

організація комфортних санітарно-побутових умов - кімнати психологічного розвантаження, кімнати прийому їжі, ЛФК та ін.

Багато великих підприємств для розвитку та впровадження культури безпеки праці розробляють різні Кодекси та Правила в рамках системи управління охороною праці, промислової безпеки та охорони навколишнього середовища. Вони містять у собі:

базові елементи, що включають політику в галузі охорони праці; оцінку небезпек та управління ризиками; порядок розробки, затвердження та впровадження правил, стандартів та інструкцій;

функціональні елементи, такі як визначення порядку проектування, будівництва та реконструкції об'єктів, справності обладнання; транспортна безпека та ін;

організаційні елементи, тісно пов'язані з культурою безпеки праці та процесами їх впровадження: залучення та мотивація співробітників; навчання та розвиток компетенцій; взаємодія із підрядниками; оповіщення про події та алгоритм їх розслідування; організація ефективного обміну; управління змінами; управління документацією;

контрольні елементи, до яких відносять процеси аудиту, аналізу та моніторингу поточної виробничої діяльності та роботи структурних підрозділів.

Ефективна робота всіх елементів забезпечує функціонування та безперервне покращення рівня безпеки всього підприємства і, по суті, дозволяє співробітникам, які працюють у різних структурних підрозділах або філіях, якщо підприємство велике, мати такі ж уявлення про безпеку, які має вище керівництво компанії і так само однозначно розуміти цілі та завдання підприємства в галузі охорони та безпеки праці. Ефективна робота усіх елементів системи управління безпекою праці дозволяє кожному співробітнику вірити в те, що події, нещасні випадки, травми та аварії можна запобігти. Ця віра заснована насамперед на прийнятті кожним співробітником (від керівника до простого виконавця) відповідальності за забезпечення власної та колективної безпеки як на робочому місці, так і поза ним.

Лідери створюють і впливають безпосередньо на культуру безпеки через визначення цілей та постановку завдань, створення умов, навчання та передачу знань та досвіду. Ось чому перший елемент системи управління безпекою праці – «Політика та лідерство».

Ідеали безпеки в процесі розвитку культури безпеки праці як компас постійно вказують на серце (емоції), а не на мозок (логіку). Культура безпеки праці покликана насамперед «наповнити душу» та забезпечити якість трудової діяльності на фізичному, психологічному та емоційному рівнях.

Проблема безпеки професійної діяльності на сьогодні стає однією з центральних у комплексному дослідженні складових безпеки діяльності. Її розв'язання відображає прагнення людини до безпечної праці в динамічних умовах соціуму, до уникнення ризиків та небезпек у соціальних та професійних системах, до розвитку ефективної системи безпеки праці та безперервного удосконалення навичок управління нею [133].

Таким чином, на сьогодні культура безпеки праці дуже тісно пов'язана з таким поняттям, як «комплексна безпека на виробництві», основними складовими якої є:



безпечні умови праці;  
природна безпечна поведінка працівників;  
відповідальне лідерство керівника.

Процес впровадження культури безпеки має три цілі:  
забезпечення здорової, системної роботи співробітників;  
забезпечення безперервності виробничих процесів;  
організація безперервних інформаційних потоків.

Але для нашого дослідження, дуже важливими є інформація про той людський ресурс, який цей план повинен буде виконувати, про кількість фахівців і їх кваліфікацію, психо-фізіологічні та соціально-психологічні властивості [134].

Формування високої культури безпеки - це насамперед турбота про людей та формування здорового колективу, який упевнений, що керівництво піклується про нього, починаючи з умов проживання та закінчуючи безпечними умовами праці. Безпека має перший пріоритет - пріоритет бізнесу не може бути вищим за пріоритети безпеки.

Індивідуальний підхід роботодавців до ідентифікації властивих саме його підприємству небезпек, а також участь у цьому процесі самих працівників, їх проінформованість про ризики, що існують на їхніх робочих місцях, також є найважливішими інструментами підвищення безпеки роботи підприємств, оскільки краще за самого працівника його робоче місце не знає ніхто.

Таким чином, резюмуючи наше дослідження, ми дійшли до висновку, що основними напрямками підвищення культури безпеки, впроваджені в систему підвищення безпеки праці на підприємстві, можуть бути:

моніторинг культури безпеки, який допоможе виявити сильні та слабкі сторони та закласти основу для розробки ефективної програми підвищення культури безпеки;

орієнтація керівників на лідерство у розвитку культури безпеки (керівники є взірцем для наслідування, слідують єдиним всім правилам, заохочують безпечне поведінка співробітників компанії);

вдосконалення форматів та способів навчання виробничої безпеки.

Сформованість та ефективність культури безпеки передбачає:

визнання важливої ролі ефективних заходів безпеки в успіху діяльності;

вироблення правильного сприйняття співробітниками позитивної практики забезпечення безпеки;

усвідомлення взаємозв'язку безпеки з основними цілями діяльності;

чітке визначення безпеки як однієї з основних цінностей, а не зобов'язання або статті обтяжливих витрат.

Все це - запорука прогресивної позиції підприємства з погляду як культури безпеки праці, так і з позиції успішності та ефективності здійснення виробничої діяльності та збереження найважливішого нематеріального ресурсу - «людського капіталу».

## SECTION 9. MECHANICAL ENGINEERING

10.46299/ISG.2022.MONO.TECH.3.9.1

**9.1 Напружено - деформований стан тришарових оболонок. Вплив форми і розмірів**

В сучасній практиці будівництва і машинобудування значна роль відводиться використанню конструкцій композитних оболонок. Найбільш розповсюджені серед них є тришарові оболонки циліндричної, конічної і сферичної форм та їх комбіновані з'єднання.

Стінки цих структур включають внутрішню і зовнішню металеві обшивки і внутрішній полімерний заповнювач з можливим його армуванням (рис. 1).

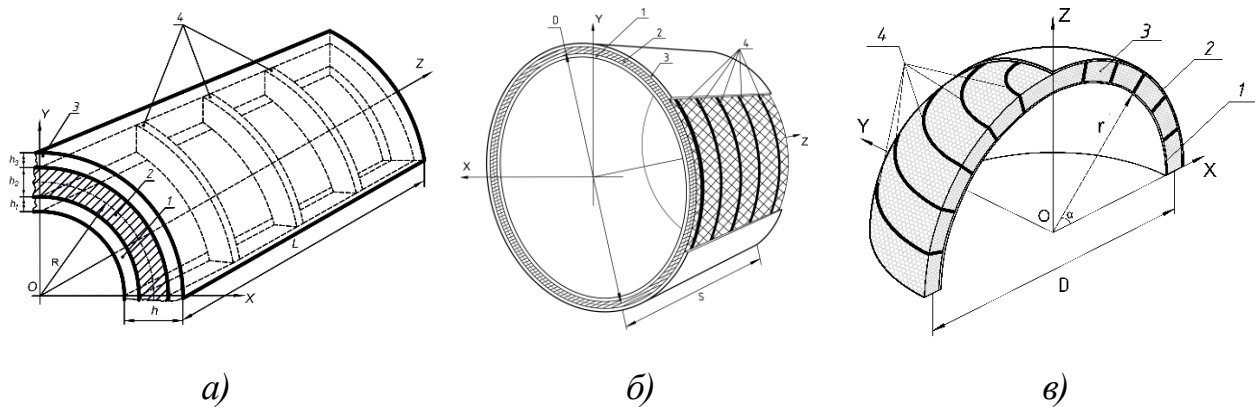


Рисунок 1. Конструкції оболонкових структур:

а) циліндричної; б) конічної; в) сферичної

1 – внутрішній шар; 2 – полімерний заповнювач; 3 – зовнішній шар;

4 – армуючі ребра

Така конструкція оболонки дозволяє зменшувати металоємність і вагу структури і, завдяки оптимальному поєднанню геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей її матеріалів, забезпечити високу надійність конструкції. Особливе значення при цьому може мати вплив форми і розмірів структури на її напружено - деформований стан. Значимість такого впливу досліджувалась на трьох тришарових циліндричних оболонках без армування полімерного заповнювача при внутрішньому осесиметричному імпульсному навантаженні цих структур. Всі циліндричні тришарові оболонки були однакової довжини  $L$ , мали однакою товщину обшивки (рис. 2) і відрізнялися формою і

розмірами поперечного перерізу (табл. 1) та мали наступні абсолютні значення:  $R = 100$  мм,  $h_1 = h_3 = 5$  мм,  $h_T = 10$  мм,  $L = 400$  мм.

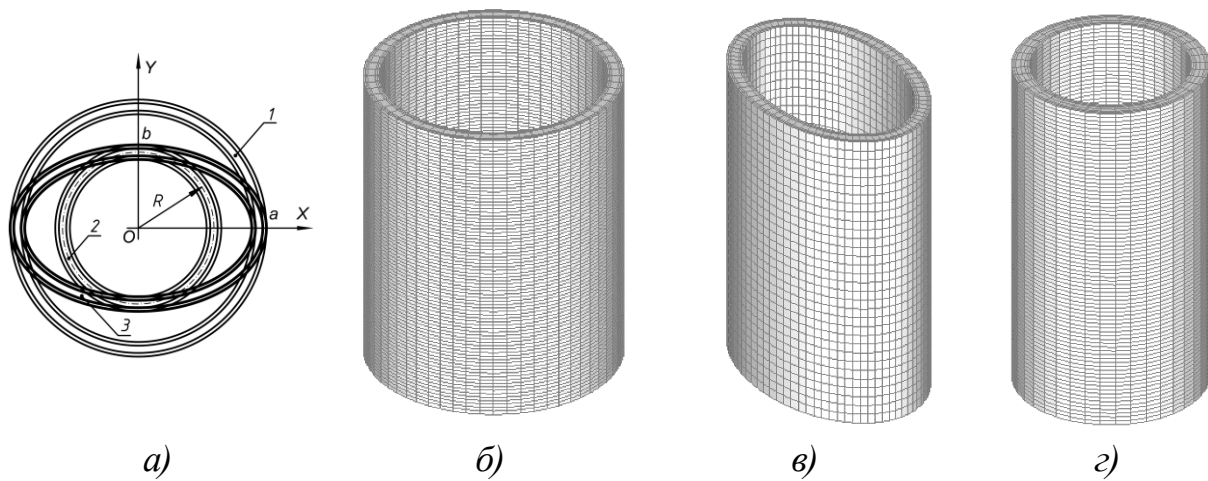


Рисунок 2. Тришарові циліндричні оболонки з різною формою поперечного перерізу: а) типи форм перерізу; б) переріз круговий типу 1; в) переріз еліптичний; г) переріз круговий типу 2

Таблиця 1.

Співвідношення розмірів досліджуваних структур

Типи форми перерізу	$\frac{R}{h_1}$	$\frac{a}{h_1}$	$\frac{b}{h_1}$
Круговий 1	31		
Еліптичний		31	20
Круговий 2	20		

Позначення:  $a$  - піввісь еліпсу велика ;  $b$  - теж саме мала

Розподіл імпульсного навантаження  $Q(t)$  здійснювався, згідно приведеному на рис. 3 і мав часовий інтервал  $0 \leq t \leq 10T$ :

$$Q(t) = A * \sin \frac{\pi t}{T} [\eta(t) - \eta(t - T)], \quad (1)$$

де:  $\eta(t)$  – функція Хевісайда;

$A$  – амплітуда імпульсного навантаження;

$T$  – тривалість часу навантаження;  $t$  – часовий інтервал.

Параметри навантаження приймалися відповідно:  $A = 10^6$  Па;  $T = 50 \cdot 10^{-6}$  с, а фізико -

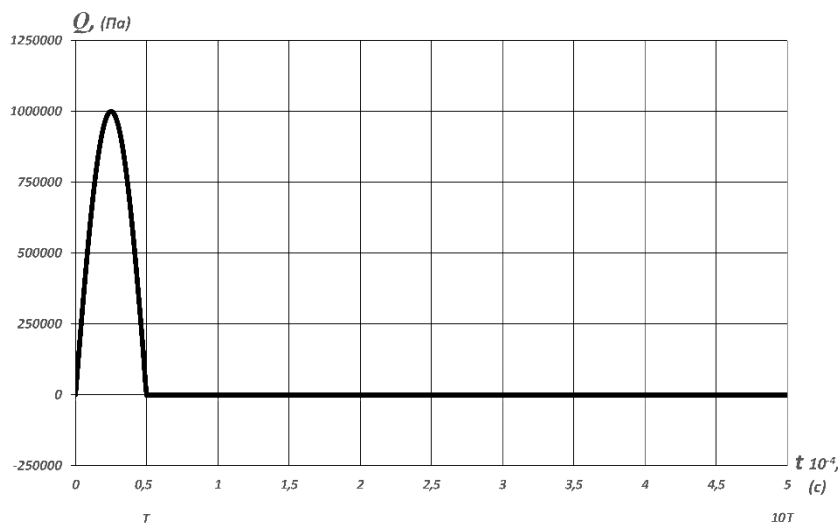


Рисунок 3. Розподіл імпульсного навантаження  $Q(t)$

механічні характеристики мали наступні значення:  $E_1 = E_3 = 70$  ГПа,  $E_T = 0,14$  ГПа,  $\mu_1 = \mu_3 = 0,3$ ,  $\rho_1 = \rho_3 = 2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Напружено - деформований стан оболонкових структур оцінювався величинами нормальних прогинів несучих шарів ( $u_3^1$  - внутрішнього шару;  $u_3^2$  - зовнішнього шару) і нормальних напружень ( $\sigma_{22}^1$  та  $\sigma_{22}^2$ ) при досягненні ними максимального значення у розглядаєній інтервал часу  $0 \leq t \leq 10T$ .

Вплив конструкційних факторів на напружено - деформований стан оболонкових структур дозволяє визначати аналітичний метод включаючий створення і розрахунки диференціальних рівнянь руху таких структур в рамках лінійного варіанту теорії тонкостінних оболонок типу Тимошенко [135]. Прикладом може бути використання диференціальних рівнянь коливань оболонок некругового перерізу наведених в роботі [136]. Але, як показує практика, такий підхід являється недостатньо ефективним, а в ряді випадків навіть неможливим. Це стосується його неоперативності і необхідності створення та розрахунків рівнянь високих порядків. А використання скінченно - різницевого методу розрахунків хоч і спрощує розрахунки, але робить процес досить затяжним. Більш ефективним в цьому відношенні представляється використання скінченно - елементного моделювання структур і проведення розрахунків досліджуваних характеристик програмно

- розрахунковими комплексами. Базуючись на використанні потенційної енергії, скінченно - елементний метод розповсюджується практично на необмежений клас задач і являється досить ефективним і оперативним. В загальній постановці цей метод передбачає визначення області і вектора переміщень пружної системи характеризуючогося мінімізацією її потенційна енергії, а після її визначення – розраховуються тензори переміщень і напружень даної системи [137]. І якщо повна потенційна енергія системи має вид:

$$\Pi = E - W, \quad (2.1)$$

де:

$E$  – потенційна енергія деформацій, а  $W$  – потенційна енергія зовнішніх навантажень, то після розбивки цільної області на окремі елементи потенційна енергія системи змінюється відповідно:

$$\Pi = \sum_{e=1}^E (E^{(e)} - W^{(e)}) = \sum_{e=1}^E \pi^{(e)} \quad (2.2)$$

і її мінімізація, в результаті впливу силових, теплових або інших факторів забезпечує вирішення задачі.

Грунтуючись на такому підході, були створені скінченно - елементні моделі представлених вище тришарових циліндричних структур і виконані розрахунки нормальних прогинів і нормальних напружень у серединних поверхнях несучих шарів. Покладалось, що краї оболонок жорстко затиснені.

При створенні скінченно - елементних моделей використовувався тривимірний об'ємний скінченний елемент типу *Solid*, який по ступеню увігнутості, звуженню і закривленню, та іншим показникам [138] відповідав вимогам забезпечення якості скінченно - елементної сітки. Створенні скінченно - елементні моделі налічували відповідно: в моделі кругового перерізу типу 1: елементів – 19200, вузлів – 22680, в моделі кругового перерізу типу 2: елементів – 19200, вузлів – 22680, а при еліптичному перерізі: 12800 елементів і 15840 вузлів. Розрахунки величин нормальних прогинів і нормальних напружень здійснювались у програмно - розрахунковому комплексі *Nastran* алгоритмом

прямого перехідного динамічного процесу, виконані для області  $D = \{0 \leq S_1 \leq L, 0 \leq S_2 \leq A_2 \pi/2\}$ . Отримані результати приведені на рис. 4 та рис. 5 і представлені в формі залежностей нормальних прогинів для несучих шарів  $u_3^1$  і  $u_3^2$  від поздовжньої координати та нормальних напружень  $\sigma_{22}^1$  та  $\sigma_{22}^2$  в момент часу коли їхні величини досягали максимальних значень. Також указані моменти часу коли ці показники досягали максимальних величин. Тут, і в подальших графіках, крива з індексом 1 відповідає відповідно величинам нормальних прогинів і нормальних напружень внутрішнього шару структур, а крива 2 - цих показників зовнішнього шару. Нормальні прогини обшивних шарів у всіх досліджуваних структурах виявились однонаправленими, але значно відрізнялися за величиною. В структурах кругового перерізу типу 2 величина прогину  $u_3^1$  перевищила на 64,8% прогин  $u_3^2$ , а в оболонці типу 1 - навпаки. Максимальна величина прогину  $u_3^2$  перевищила прогин  $u_3^1$  на 54,7%.

При еліптичній формі перерізу максимальна величина прогину зафіксована у внутрішньому шарі оболонки в напрямку осі  $Y$ . Вона на 35,7% перевищила прогин цього шару в напрямку осі  $X$ . А прогини зовнішнього шару в обох напрямках виявились практично однаковими.

Нормальні напруження в робочих шарах оболонок (рис. 5) також мають ряд відмінностей. В структурі кругового перерізу типу 2 більш напруженим виявився внутрішній шар оболонки. Максимальна величина  $\sigma_{22}^1$  на 67,3% перевищила величину напруження зовнішнього шару  $\sigma_{22}^2$ , а в оболонці типу 1 більш напруженим виявився зовнішній шар оболонки.

Максимальна величина нормальних прогинів внутрішнього шару кругового перерізу типу 2 виявилась на 69,4% меншою ніж величина прогинів аналогічного шару в структурі еліптичного перерізу в напрямку осі  $Y$ . А максимальна величина прогинів внутрішнього шару в структурі кругового перерізу типу 1 виявилась на 78,3% меншою

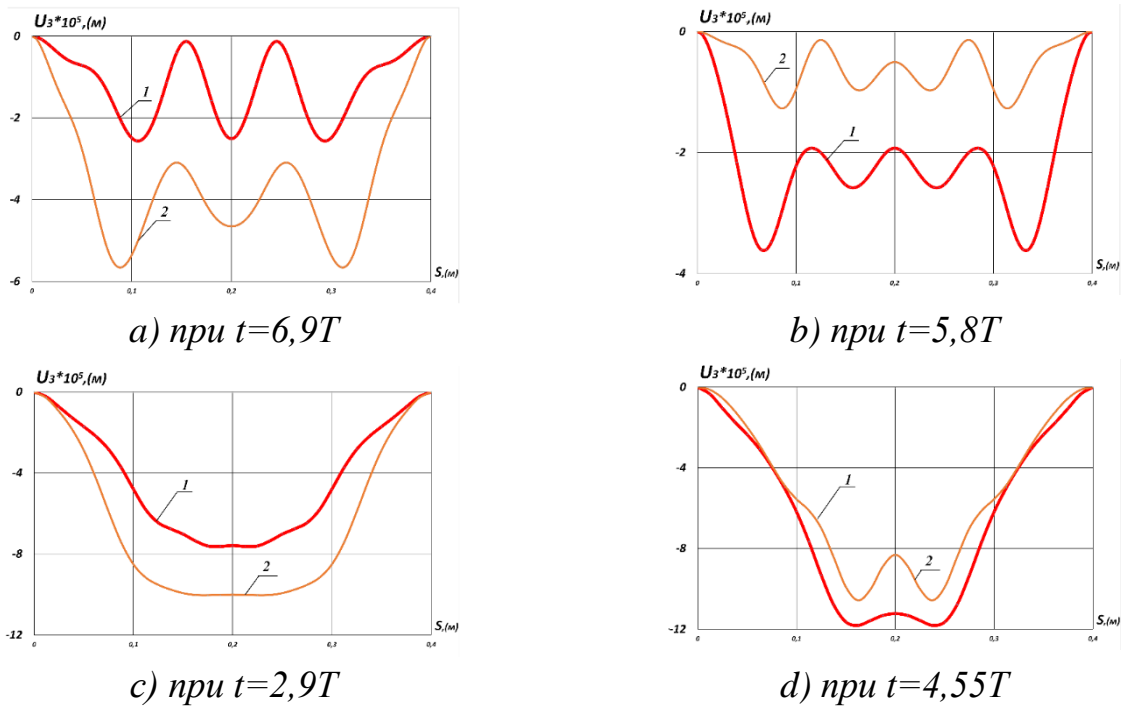


Рисунок 4. Нормальні прогини несучих шарів циліндричних структур кругового перерізу :  
 а) – типу 1; б) – типу 2;  
 еліптичного перерізу : с) вздовж осі  $X$  ; д) вздовж осі  $Y$

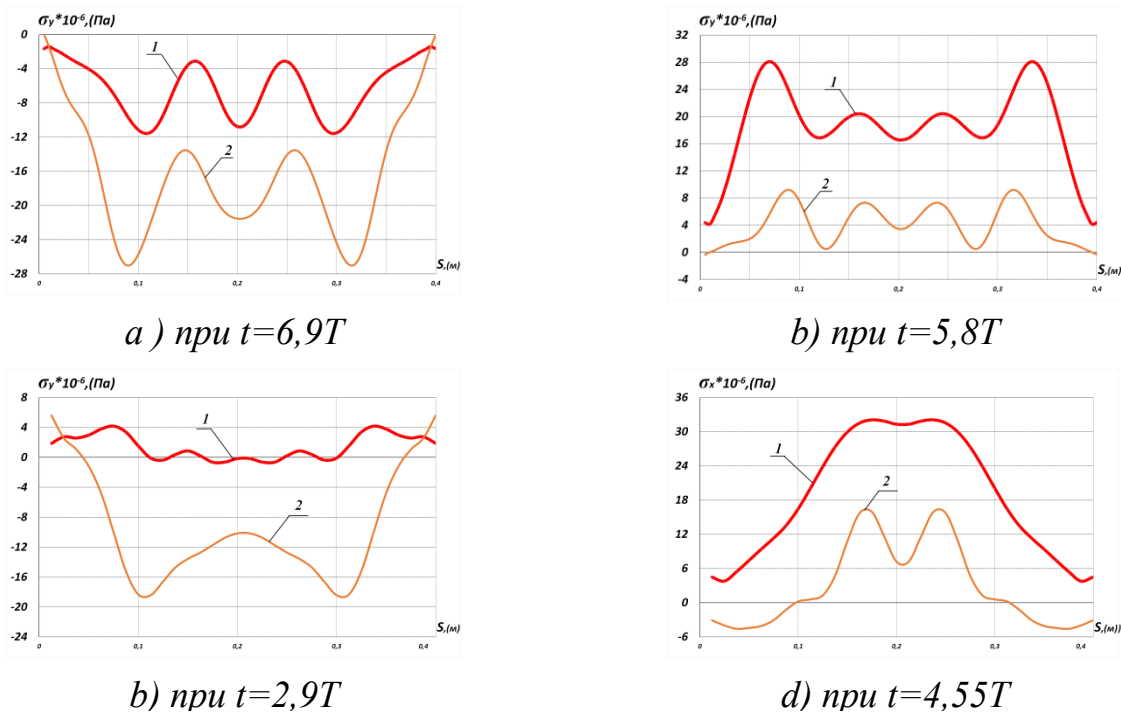


Рисунок 5. Нормальні напруження несучих шарів циліндричних структур :  
 а) – оболонка кругового перерізу типу 1; б) – теж саме типу 2;  
 с) – оболонка еліптичного перерізу  $\sigma_y$ ; д) – теж саме  $\sigma_x$

від прогину аналогічного шару структури еліптичного перерізу в напрямку осі  $X$ .



Менш контрастний характер величин і розподіл нормальних прогинів та нормальних напружень виявився і в інших формах тришарових оболонкових структурах при аналогічних параметрах їх імпульсних осесиметричних навантажень. Дослідження величин цих показників в кінчній тришаровій структурі (рис. 6) з кутами конусності  $\alpha$  [139], які дорівнювали  $10^\circ$  і  $20^\circ$ , а довжина утворюваної становила  $S = 295$  мм,

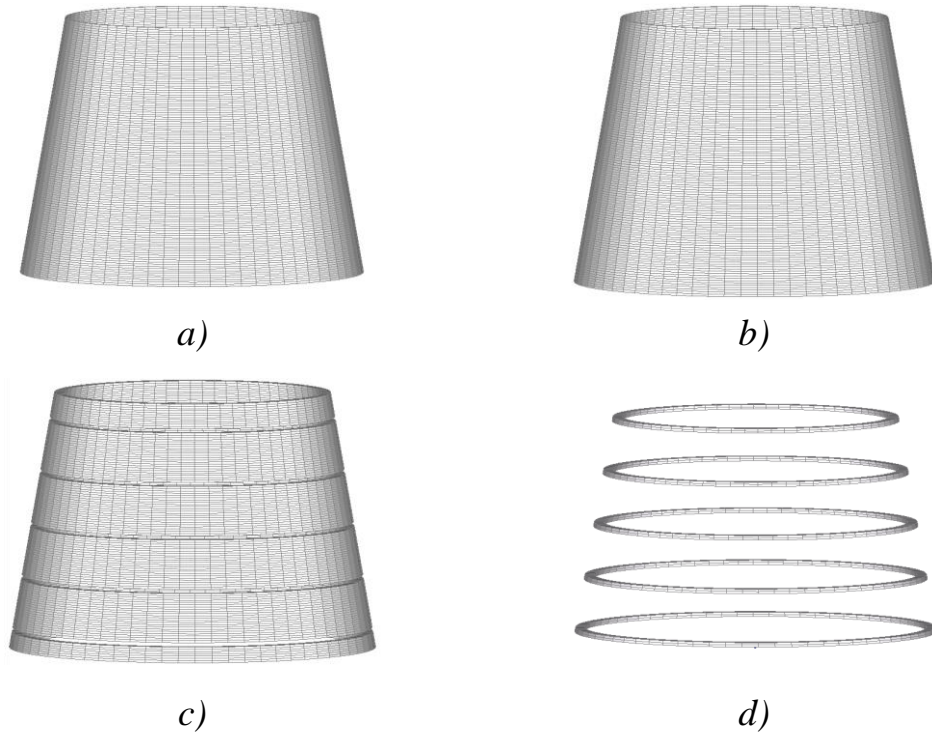
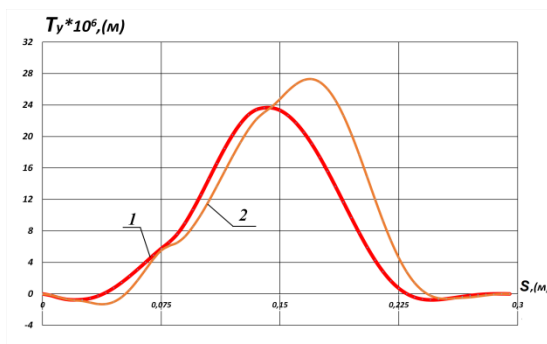


Рис. 6. Скінченно - елементна модель тришарової кінчної оболонки:

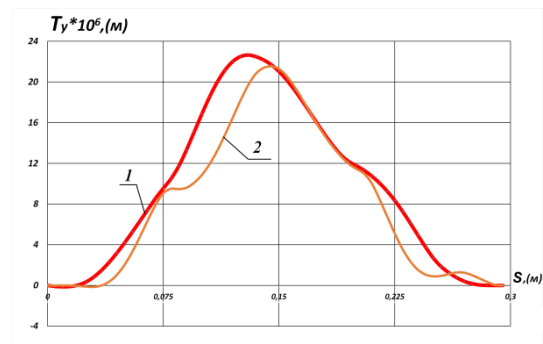
*a* – обшивка несуча внутрішня; *b* – теж саме зовнішня; *c* – полімерний заповнювач;

*d* – армуючі ребра

показали, що нормальні прогини робочих шарів (рис. 7) при  $t = 5,7T$  являються



*a)* при  $t = 5,7T$

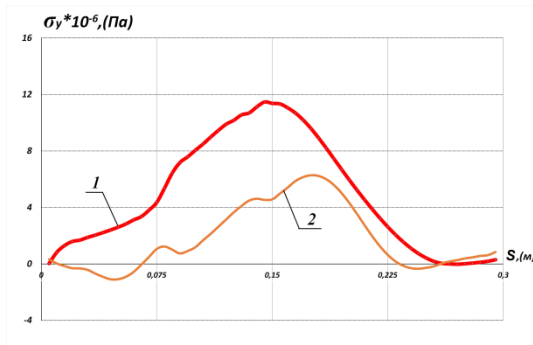


*b)* при  $t = 5,7T$

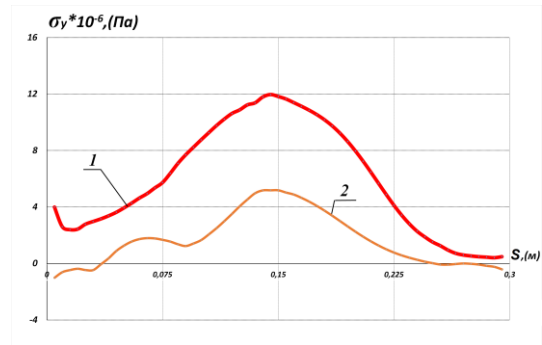
Рисунок 7. Нормальні прогини кінчної структури з кутами конусності:

*a)*  $\alpha = 10^\circ$ ; *b)*  $\alpha = 20^\circ$

досить близькими за величиною і формою розподілу вздовж утворювальних, а більш напруженим в них виявився зовнішній шар (рис. 8).



a) при  $t=5,7T$

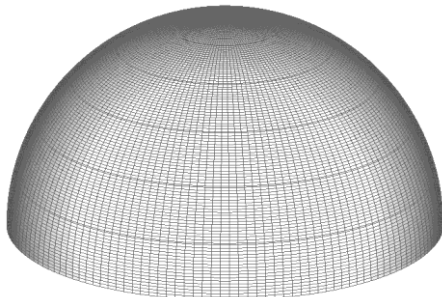


b) при  $t=5,7T$

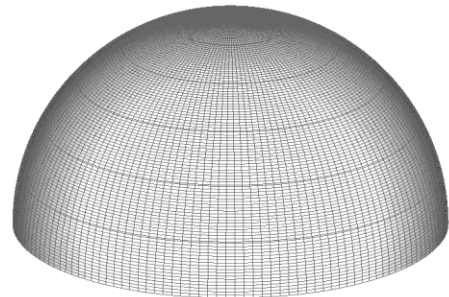
Рисунок 8. Нормальні напруження  $\sigma_y$  несучих шарів оболонки з кутами конусності:

a)  $\alpha = 10^\circ$ ; b)  $\alpha = 20^\circ$

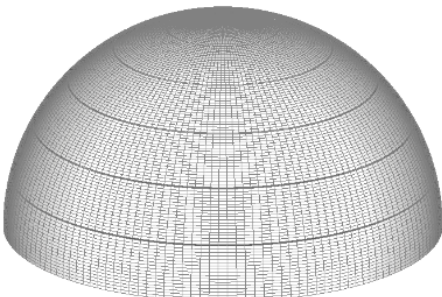
Подібне співвідношення цих параметрів було виявлено і в тришарових півсферичних оболонках з армованим заповнювачем (рис. 9) при аналогічному навантаженні [140].



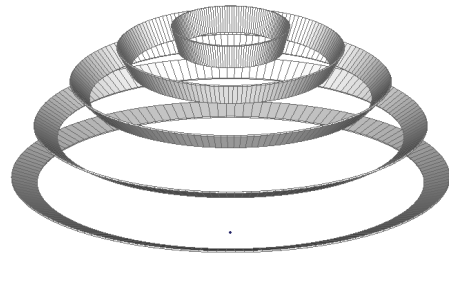
a)



b)



c)



d)

Рисунок 9. Скінченно - елементна модель тришарової півсферичної оболонки:

a) – обшивка несуча внутрішня; b) – теж саме зовнішня; c) – полімерний заповнювач;

d) – армуючі ребра

Результати максимальних нормальних прогинів несучих шарів півсферичних тришарових структур діаметром  $D=300$  мм та  $D=600$  мм приведені на рис. 10. Як видно, переміщення обох шарів структур досягають максимумів близько полюсів структур при

$$\alpha = \frac{\pi}{2}.$$

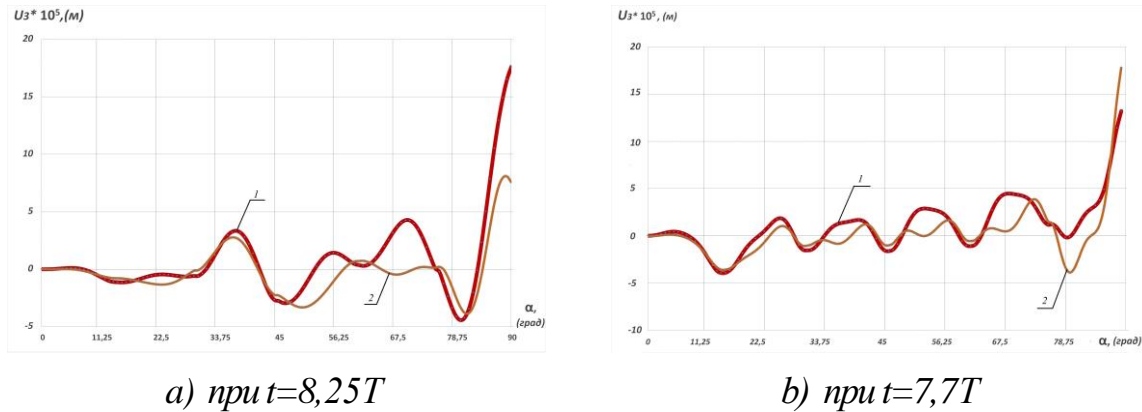


Рисунок 10. Нормальні прогини несучих шарів півсферичних тришарових структур діаметром:

a)  $D=300$  мм; b)  $D=600$  мм

Близькі за величиною контролюванні показники несучих шарів двох останніх структур очевидно являються результатом впливу на напружено - деформований стан структур армування полімерного заповнювача дискретними ребрами, які жорстко з'єднують несучі шари структур.

Отримані результати дозволяють констатувати, що форми і розміри тришарових оболонкових структур, можуть значно впливати на їх напружено - деформований стан. Врахування і мінімізація їх негативного впливу і завчасне його попередження представляється одним із орієнтирів забезпечення надійності цих структур. До таких заходів можна віднести використання полімерного заповнювача з більш високими фізико - механічними властивостями, армування його дискретними ребрами, забезпечення жорсткого зв'язку між ребрами і робочими шарами структур, збільшення товщин несучих шарів та інші рішення.

## REFERENCES

1. Парадокс Д'Аламбера. – Материал из Википедии, URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Парадокс\\_Д'Аламбера](https://ru.wikipedia.org/wiki/Парадокс_Д'Аламбера).
2. Парадокс Д'Аламбера. – Материал из большой советской энциклопедии, URL: <http://bse.sci-lib.com/article018571.html>.
3. Парадокс Даламбера. – Материал из Циклопедии, URL: [https://cyclowiki.org/wiki/Парадокс\\_Даламбера#:~:text=Парадокс%20Даламбера](https://cyclowiki.org/wiki/Парадокс_Даламбера#:~:text=Парадокс%20Даламбера).
4. Август А. Остановим теоретическую бессмыслицу или парадокс Д'Аламбера – 260 лет спустя // Современный научный вестник. Научно-технический и практический журнал, Руснаучкнига № 6 (62) 2009. С. 5-22.
5. Август А. Остановим теоретическую бессмыслицу или парадокс Д'Аламбера – 260 лет спустя, URL: <http://dalamberparadox.narod.ru/>
6. Седов Л. И. Механика сплошной среды. – М.: Наука, 1970. – Т. 2. – 568 с.
7. Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В. Теоретическая гидромеханика.–М.: Физматгиз, 1963.– Т. 1.– 584 с.
8. Август А.А. Абсурдность модели циркуляции в постулате Жуковского-Чаплыгина-Кута // Materialy IX Mezinarodni vedecko-prakticka conference «Moderni vymozenosti vedy 2013».– Dil 69, Fizika: Praga. 2013. – s. 26 – 33.
9. Обсуждение постулата Жуковского-Чаплыгина из Википедии, URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Обсуждение:Постулат\\_Жуковского\\_—\\_Чаплыгина](https://ru.wikipedia.org/wiki/Обсуждение:Постулат_Жуковского_—_Чаплыгина)
10. Ахромейко А.И. Физиологический анализ причин усыхания сосновых культур. Бузулукский бор. В 4-х т. М.-Л., Наука, 1950. Т. 3. С. 12–17.
11. Вакулюк П.Г. Технология создания высокопродуктивных лесных культур в условиях Украины. Пушкино: ВИПКлесхоз, 1980. 64 с.
12. Вакулюк П.Г., Самоплавський В.І. Лісовідновлення та лісорозведення в рівнинних районах України. Фастів : Поліфаст, 1998. 508 с.
13. Василяускас А.А. Крневая губка и устойчивость экосистем хвойных лесов. Вильнюс : Мокслас, 1989. 175 с.
14. Ведмідь М.М., Шкудор В.Д., Бузун В.О. Відновлення природних лісостанів Західного Полісся. Житомир : Полісся, 2008. 304 с.
15. Вигоров Л.И. О влиянии корневых выделений травянистых растений на сеянцы древесных пород. Сборник по лесоразведению. М., Гослесбуиздат, 1950. 14 с.

16. Высоцкий Г.Н. О бровых типах Чугуево-Бабчанского лесничества вблизи Харькова на Донце. Очерки по фитоценологии и фитогеографии. М., Наука. 1929. С. 7–15.
17. Высоцкий Г.Н. О гидрологическом и метеорологическом влиянии лесов. М. Л., Гослесбумиздат, 1952. 42 с.
18. Гавриленко А.П., Гаврусевич А.М., Бродович Р.І. і ін. Настанова з відновлення лісів і лісорозведення / за ред. А.П. Гавриленко. К., 2006. 275 с.
19. Гордей Н.В. Лесоразведение на землях сельхозпользования в Польше. Лес в жизни восточных славян от Киевской Руси до наших дней. Сборник научн. Труд. Вып. 57. Гомель, 2003. С. 177–179.
20. Гордієнко М.І., Гузь М.М., Дебринюк Ю.М., Маурер В.М. Лісові культури. Львів : Камула, 2005. 608 с.
21. Гордієнко М.І., Корецький Г.С., Маурер В.М. Лісові культури. К., Сільгоспосвіта, 1995. 328 с.
22. Гордієнко М.І., Шлапак В.П., Гойчук А.Ф. та ін. Культури сосни звичайної в Україні. К., 2002. 872 с.
23. Державна програма «Ліси України» на 2002–2015 рр. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 29.04.2002, № 581.
24. Кальной П.Г., Гордієнко М.І. До питання про технологія створення культур у свіжих борах і суборах Українського Полісся. Ліс. госп-во, паперова і деревооброб. пром.-сть. К., 1977. № 4. С. 9–11.
25. Кімейчук І.В. Вплив трав'яної рослинності на ґрунт в умовах змін клімату. Глобальні та національні тенденції у галузі наук про життя: збірник наукових праць. Ніжин: НДУ Гоголя, 2022. С. 221–224.
26. Лавриненко Д.Д. Наукові основи підвищення продуктивності лісів Полісся УРСР. Київ: УАСГН, 1960. 196 с.
27. Лавриненко Д.Д., Антонов О. Я. Лісові культури. Лавриненко Д.Д., Антонов О. Я. К., Держсільгоспвидав УРСР, 1962. 195 с.
28. Лавров В.В. Системний підхід як методологічна основа для оцінки і зменшення загроз біорізноманіттю (лісові екосистеми). Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України. Київ : Хімджест, 2003. С. 156–267.
29. Лебедев В.Е. Лесоводственно-таксационная оценка дубово-сосновых и сосново-дубовых древостоев свежей грабовой судубравы в Западном Полесье УССР : Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Киев : УСХА, 1968. 24 с.
30. Лісовий кодекс України: Кодекс в редакції Закону N 3404-IV (3404-15) від 08.02.2006. К., Право, 2006. 56 с.

31. Маурер В.М., Гордієнко М.І., Бровко Ф.М. та ін. Теоретичні та технологічні основи відтворення лісів на засадах екологічно орієнтованого лісівництва (Науково-методичні рекомендації) / за заг. ред. В.М. Маурера. К., НАУ, 2008. 63 с.
32. Молчанов А.А. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. М., Гослесбумиздат, 1952. 488 с.
33. Морозов Г.Ф. Очерки по возобновлению сосны. М., Ленинград: ГСИ, 1930. 56 с.
34. Пилипенко О.І., Юхновський В.Ю., Ведмідь М.М. Системи захисту ґрунтів від ерозії. К., Культурно-освітній, видавничо-поліграфічний центр «Здатояр», 2004. 435 с.
35. Попков М.Ю., Кожушко Е., Савуцик Н.К. Лесоразведение в Украине: факты и иллюзии. URL: [www.lesovod.org.ua](http://www.lesovod.org.ua).
36. Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М., Изд-во МГУ, 1959. 244 с.
37. Стопкань В.В. Культуры сосны на старопахотях Полесья УССР: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. К., 1962. 19 с.
38. Тольский А.П. Сорная травяная растительность в лесном хозяйстве и борьба с ней. М., Новая деревня, 1992. 56 с.
39. Якушев Б.И. Влияние травянистого покрова на рост культур сосны. Физиолого-биохимические основы взаимовлияния растений в фитоценозах. М., 1966. 83 с.
40. Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry Paper 147. Rome, 2006. 100 p.
41. Лаврик Г.И. Проблемы системных исследований архитектурной композиции // Архитектурная композиция. Современные проблемы. – М.: Стройиздат, 1970. – С. 159 – 162.
42. Лаврик Г.И. Методологические основы районной планировки. Введение в демоэкологию: Учебник для вузов / Г.И. Лаврик. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. – 118 с.: ил.
43. Оболенский Н.В. Архитектура и Солнце. – М.: Стройиздат. – 1988. – 207 с.: ил.
44. Arino J. A model for influenza with vaccination and antiviral treatment / J. Arino, F. Brauer, P. van den Driessche, J. Watmough & J. Wu // J. Theor. Biol., in press, available online, doi: 10.1016/j.jtbi. –2008.02.026. – P.118–130.

45. Bedr'Eddine Ainseba. Optimal Control of Structured Epidemics/ Bedr'Eddine Ainseba // Bordeaux University and INRIA Bordeaux Sud Ouest Ecole CIMPA- 2009, Pointe-à-Pitre, Guadeloupe. – P.1–52.
46. Diekmann O. Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases: Model Building Analysis and Interpretation /O. Diekmann , J. A. P. Heesterbeek // Wiley Series in Mathematical & Computational Biology , 1 edition. – 2000 . – P.320.
47. Jung, E.O. Optimal control of treatments in a two-strain tuberculosis model / E.O. Jung, S Lenhart, Z Feng // Discret and Continuous Dynamical Systems-Series . – 2002. – B 2–4, P. 473–382.
48. Lawless J. F. Statistical Models and Methods for Lifetime Data / J. F. Lawless // 2nd Edition. - Wiley and Sons. –2002. –P.476.
49. Oldstone M. B. A, Viruses, Plagues, and History, Oxford University Press / M. B. A Oldstone // Oxford, New York.- 2010.- P.400.
50. Regoes R. R. Emergence of drug-resistant influenza virus: population dynamical considerations / R.R. Regoes & S. Bonhoeffer // Science 312. – 2006. – P. 389–391.
51. Sethi S.P. Optimal Control Theory: Applications to Management Science and Economics / Sethi, S.P., and Thompson, G.L // Kluwer, Boston, 2nd edition. – 2000. – P.504.
52. Vynnycky E. An Introduction to Infectious Disease Modelling / Emilia Vynnycky Richard White // Oxford University Press, USA; 1 edition. – 2010. – P.400
53. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Aloshko S., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Mankus I., Nedbaievskia L. Establishment of regularities of influence on the specific heat capacity and temperature conductivity of polymer nanocomposites of a complex of defining parameters. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. 6 №12 (114). P.34-39. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245274>
54. Fialko N., Dinzhos R., Sherenkovskii Ju., Meranova N., Navrodska R., Izvorska D., Korzhyk V., Lazarenko M., Koseva N. Study of the temperature regime effect of obtaining nanocomposites on their heat-conducting properties. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 4 №5 (112), P. 21–26. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236915>.
55. Fialko N.M., Dinzhos R.V., Prokopov V.G., Sherenkovskiy Yu.V., Meranova N.O., Navrodska R.O. Thermophysical power and structure creation of polymer micro- and nanocomposite materials. Mykolaiv: SPD Rumyantseva G.V., 2020. 142 p.
56. Fialko N.M., Navrodska R.O., Dinzhos R.V., Shevchuk S.I., Meranova N.O., Gnedash G.O. Efficiency of using polymer micro- and nanocomposite materials in heat recovery technologies. Mykolaiv: SPD Rumyantseva G.V., 2020. - 128 p

57. Fialko N., Dinzhos R., Navrodska R. Influence of the type of a polymer matrix on the thermophysical properties and structure formation of polymer nanocomposites. *Technological systems*, 2016. №3(76). P.49-60.
58. Dolinskiy A.A., Fialko N., Dinzhos R., Navrodska R. Temperature dependences of the thermal conductivity coefficients of polymer micro-and nanocomposite for heat-exchange apparatus. *Industrial Heat Engineering*. 2016. №1. P.5-14.
59. Dinzhos R., Lysenkov E., Fialko N. Influence of fabrication method and type of the filler on the thermal properties of nanocomposites based on polypropylene. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2015. 5. P.56-61.
60. Fialko N., Navrodska R, Dinzhos R., Meranova N., Shevchuk S. The efficiency of using polymer micro-and nanocomposites for heat exchangers of gas-gas type. *Industrial Heat Engineering*. 2017. №5. P. 12-18. <https://doi.org/10.31472/ihe.5.2017.02>
61. Sathyanarayana S., Hübner C. Thermoplastic Nanocomposites with Carbon Nanotubes Structural Nanocomposites. 2013. P. 19-60.
62. Huang Y. Y. Terentjev E. M. Dispersion of Carbon Nanotubes: Mixing, Sonication, Stabilization, and Composite Properties. *Polymers*. 2012. V. 4. P. 275-295.
63. Peng-Cheng Ma, Naveed A. Siddiqui, Gad Marom, Jang-Kyo Kim. . Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: A review. *Composites: Part A*. 2010. V. 41. P. 1345-1367.
64. Dinzhos R. V. Lisenkov E. A., Fialko N. M., Klepko V. V. Influence input filler method on thermal properties of systems based on thermoplastic polymers and carbon nanotubes. *Physical Surface Engineering*. 2014. V.12, №4. P. 446-453.
65. Kouichi Tanaka, Shuji Ogata, Ryo Kobayashi, Tomoyuki Tamura, Takahisa Kouno. A molecular dynamics study on thermal conductivity of thin epoxy polymer sandwiched between alumina fillers in heat-dissipation composite material. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. V. 89. P. 714-723.
66. Sathyanarayana S. Hübner C. Influence of peroxide addition on the morphology and properties of polypropylene-multiwalled carbon nanotube composites. *Composites: Part A Compos. Sci. Technol*. 2013. V. 84. P. 78-85.
67. Lebovka N. I., Lysenkov E. A., Goncharuk A. I., Gomza Yu. P., Klepko V. V., Boiko Yu. P. Phase behavior, microstructure and percolation of poly (ethylene glycol) filled by multiwalled carbon nanotubes and organophilic montmorillonite. *Journal of Composite Materials*. 2011. Vol. 45, No. 24. P. 2555-2566.
68. Dolinskiy A. A., Fialko N. M., Dinzhos R. V., Navrodska R. A. Thermal properties of polymer micro- and nanocomposites based on polycarbonate. *Industrial Engineering*. 2015. №2. P.12-19.
69. Bernstein V. A. Egorov V. M. Differential Scanning Calorimetry in physical chemistry of polymers. Leningrad: Chemistry, 1990. – 256 p.



70. Kolupaev B.S. Relaxation and thermal properties of filled polymer systems / Ed. S.Y. Frenkel. Lviv: LSU, 1980. 203 p.
71. Shcheglyayev, A. Steam turbines: a textbook for universities. 6th ed., revised, supplemented by prof. Troyanovsky, B. Energoatomizdat. 1993. 384p.
72. Rusanov, A. V., Shubenko, A. L., Senetskyi, O. V., Babenko, O. A., Rusanov, R. A. Heating modes and design optimization of cogeneration steam turbines of powerful units of combined heat and power plant. *Energetika*. 2019. Vol. 65(1), p. 39–50.
73. Kirillov, I. I. Theory of turbomachines. Mechanical engineering. 1972. 536 p.
74. Samoilovich, G., Troyanovskiy, B. Variables and transitional modes in steam turbines. Moscow. 1982. 496 p.
75. Trukhniy, A. D., Lomakin, B. V. Cogeneration steam turbines and turbine plants. MPEI Publishing House. 2002. 540 p.
76. Arakelyan, E., Pikina, G., Andryushin, A., Mezin, S., Andryushin, K., Kosoy, A., Pashchenko, F. (2020). Features of steam turbine stages operation in low-flow modes when modeling hydrodynamic processes in the turbine in steamless and motor modes. (10th International Symposium on Frontiers in Ambient and Mobile Systems (FAMS 2020) (April 6—9, 2020, Warsaw, Poland). *Procedia Computer Science* 170 (2020), 935—940. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.105>
77. Dongliang Chu, Qing He, Li Li. Research on unsteady aerodynamic performance of last stage for low pressure cylinder of steam turbine. *Journal of Vibroengineering*. 2018. Vol. 20(4), p. 1867–1877. <https://doi.org/10.21595/jve.2017.17882>
78. Tatarinova, N. V., Sushchikh, V. M. Study of Flow and Power Characteristics of the Last Compartments of Cogeneration Steam Turbines. *Problemele energeticii regionale*. 2019. Vol. 3(44), p. 79–90.
79. Khaimov, V. A. Low-flow rate modes of LPC of turbines T-250/300-240. St. Petersburg. 2007. 240 p.
80. Shubenko, A., Goloshchapov, V., Bystritsky, L., Agafonov, B., Alekhina, S., Kasilov, V. Steam turbines: low-flow rate modes of low-pressure stages. St. Petersburg. 2018. 344 p.
81. Shubenko, A. L., Goloshchapov, V. N., Neuimin, V. M., Kotulskaya, O. V. Operation of the turbine stage in the area of low-flow regimes. *Energetik*. 2021. Vol. 6, p. 8–11.
82. Shubenko, O., Goloshchapov, V., Senetskyi, O., Senetska, D. The Structure of the Flow Behind the Last Stage of Steam Turbine at the Low-Flow Rate Operating Conditions. *Science and Innovation*. 2022. Vol. 18(3), p. 3–9. <https://doi.org/10.15407/scine18.03.003>

83. Shubenko, A., Goloshchapov, V., Senetska, D., Senetskyi, O. Determination of the Idle Mode of the Stage of Axial Turbine during Operation at Partial Loads. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2021. Vol. 65(1), p. 103–109. <https://doi.org/10.3311/PPme.17359>
84. Kotulska, O., Paramonova, T., Senetska, D., Litvinova, Ju. Energy losses in the rotor blades at transient and low-flow rate modes. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. 2020. Vol. 1, p. 63–69.
85. Karjalainen R., Anttonen M., Saviranta N. A review on bioactive compounds in black currants (*Ribes nigrum* L.) and their potential health-promoting properties. *Acta Horticulturae*. 2009. Vol. 839. P. 301-307.
86. Alavi F., Momen S. Aspartic proteases from thistle flowers: Traditional coagulants used in the modern cheese industry. *International Dairy Journal*. 2020. Vol. 107. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104709>.
87. Bélanger V. Vanasse A., Parent D., et al. Development of agri-environmental indicators to assess dairy farm sustainability in Quebec. Eastern Canada. *Ecological Indicators*. 2012. Vol. 23. P. 421-430.
88. Bittante G., Penasa M., Cecchinato A. Genetic and modeling of milk coagulation properties. *Journal of Dairy Science*. 2012. Vol. 12. P. 6843-6870.
89. Bittante G. Modelling rennet coagulation time and curd firmness of milk. *Journal of Dairy Science*. 2011. Vol. 12. P. 5821-5832.
90. Chand P., Sirohi S. Development and application of an integrated sustainability index for small-holder dairy farms in Rajasthan, India. *Ecological Indicators*. 2015. Vol. 56. P. 23-30.
91. Chinprahast N., Subhimaros S., Pattorn S. Heat-acid coagulation of market-returned UHT milk using various coagulants and calcium chloride. *International Food Research Journal*. 2015. № 3. P. 943-952.
92. Dabiga A., Sion I. Aspects concerning coagulation enzymes and different inducing parameters for milk curdling process. *Food and Environment Safety*. 2012. № 4. P. 87-92.
93. Dale A. Potential for *Ribes* Cultivation in North America. *Hort Technology*. 2000. Vol. 3. P. 548-554.
94. Grek O. Krasulya O., Pshenychna T., Pachomova Y., Ivashchenko K. The influence of berry puree on microbiological indicators of cheese product during the storage. *Food and Environment Safety*, Volume XV, Issue 4. 2016, P. 334-340.
95. Häring A.M. Organic dairy farms in the EU: Production systems, economics and future development. *Livestock Production Science*. 2003. Vol. 80 (1-2). P. 89-97.

96. Chrzanowski G., Sempruch C., Sprawka I. Investigation of phenolic acids in leaves of blackcurrant and sour cherry. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 2007. Vol. 4. P. 6.
97. Metz J., Dijkstra T., Franken P., Frankena K. Development and application of a protocol to evaluate herd welfare in Dutch dairy farms. *Livestock Science*. 2015. Vol. 180. P. 183-193.
98. Milner J.A. Functional foods and health: a US perspective. *British J. Nutrition*. 2002. Vol. 88(2). P. 151-158.
99. O'Connell J. E., Fox P.F. The Two-Stage Coagulation of Milk Proteins in the Minimum of the Heat Coagulation Time-pH Profile of Milk: Effect of Casein Micelle Size. *Journal of Dairy Science*. 2000. Vol. 83. P. 378-386.
100. Puglisi I. Petrone G., LoPiero A. Akiwi juice aqueous solution as a coagulant of bovine milk and its potential in Mozzarella cheese manufacture. *Food and Bioprocess Processing*. 2014. Vol. 92. Is. 1. P. 67-72.
101. Chavan R.S., Shraddha R.C., Kumar A., et al. Whey Based Beverage: Its Functionality, Formulations, Health Benefits and Applications. *J Food Process Technol*. 2015. V. 6. T. 10.
102. Полянский К. К., Подпоринова Г. К., Богомолов Д.М. Стевия в продуктах целебно-профилактического назначения. *Пищ. пром-сть*. 2005. К5. С. 58.
103. Доронин, А. Ф. Шендеров Б. А. Функциональное питание. М.: Грантъ, 2002. 296 с.
104. Берегова, И.А. Применение пектина при производстве молочно-соковых напитков. *Молочная промышленность*. 2009. № 9. С. 56–57/
105. Osiievskiy, S., Kolomiitsev, O., Tretiak, V., Petrenko, O., Petrenko, O., Vlasov, A., Oliinyk, R., Zhivets, Y., Shumigay, O., & Baturin, P. (2022). Procedure for debugging replica class errors in rule-oriented knowledge bases. *ГРААЛЬ НАУКИ*, (11), 233-244
106. Коломійцев, О., Голубничий, Д., Коц, Г., Третяк, В., Євстрат, Д., & Лисиця, А. (2020). Задачі дискретної оптимізації та їх постановка для розміщення засобів захисту в розподіленій системі. *Збірник наукових праць ЛОГОС*, 36-41
107. Третяк, В., Голубничий, Д., Коломійцев, О., Мегельбей, Г., Возний, О., & Філіпенков, О. (2020). Математична модель рангового підходу. *Збірник наукових праць ЛОГОС*, 116-122
108. Третяк, В., Коломійцев, О., Євстрат, Д., Ворошилов, С., Чмир, В., Логвиненко, Є., Лисиця, А., & Місюра, В. (2021). Аналіз сучасних систем управління базами даних. *InterConf*, (78), 453-465

109. Третяк В.Ф., Пашнєва А.А. Оптимізація структури сховища даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – №. 4 (44). – С. 122-128.
110. Третяк В.Ф., Кужель І.Є, Приходько В.М., Використання технології реплікації у системі управління розподіленими базами даних // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2010. – № 2(24). – С. 109-114.
111. Третяк В.Ф., Місюра О.М., Більчук В.М. Метод оптимізації структури розподіленої бази даних у вузлах інфокомунікаційної мережі хмарного середовища // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 1. – С. 92-96.
112. Kennedy, J.; Eberhart, R. (1995). "Particle Swarm Optimization". Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. Vol. IV. pp. 1942–1948.
113. Boyd, Stephen P., Vandenberghe, Lieven (2004). Convex Optimization. Cambridge: Cambridge University Press.
114. Coello Coello, C., Salazar Lechuga, M. (2002). "MOPSO: A Proposal for Multiple Objective Particle Swarm Optimization". Congress on Evolutionary Computation (CEC'2002). pp. 1051–1056.
115. Clerc, M. (2012). "Standard Particle Swarm Optimisation" (PDF). HAL Open Access Archive.
116. Управління охороною праці та ризиками у відповідності с міжнародними стандартами. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://pmguinfo.dp.ua/ohrana\\_truda\\_>upravl\\_ot](http://pmguinfo.dp.ua/ohrana_truda_>upravl_ot)].
117. Павленко Т.С., Демідова Ю.Є. Організаційні аспекти розслідування небезпечних ситуацій на виробництві в системі: навч. посібник – Харків: НТУ «ХП», 2015. – 260 с.
118. Мовмига Н.Є., Мезенцева І.О. Сучасні тенденції працезахоронного менеджменту: формування фахівця нового типу з охорони праці та промислової безпеки. Молодий вчений. 2019. № 2 (66) лютий. С. 497–502.
119. Бутиріна М. В., Бабенко В. О. Формування культури безпеки життєдіяльності як соціально-педагогічна проблема сучасної системи освіти України. Збірник наукових праць. С.33-40.
120. Скалецький Ю. М. Національний Інститут Стратегічних Досліджень. Аналітична доповідь: Проблеми впровадження культури безпеки в Україні. - К.: НІСД, 2012. - 17 с.
121. Захаров П., Пересипкін С. Культура безпеки праці. Людський фактор у ракурсі міжнародних практик. Вид-во Альпіна Паблішер. 128 с.

122. Громцева Д. К. Професійна культура і безпека: інноваційний підхід до впровадження в медичному закладі / Д. К. Громцева, О. П. Крупський // Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Менеджмент інновацій. – 2016. – Т. 23. – № 5. – С. 15–23.
123. Зеркалов Д. В. Безпека праці [Електронний ресурс]: Монографія / Д. В. Зеркалов. – Електрон. дані. – К.: Основа, 2012.
124. Людський чинник і культура безпеки у виробничій діяльності: монографія / В. С. Гершгорін, Л. П. Петухова; КДУ. Новокузнецьк: Вид-во КДУ, 2016. 447 с.
125. Трефілов В.А. Управління безпекою на виробництві (охорона праці): навчань. посібник / В. А. Трефілов, Н.Л. Вишнівська, О. В. Лонський, А.Д. Овсянкін. Вид-во ПДТУ, 2009. 94 с.
126. Тихомірова О.Г. Організаційна культура: формування, розвиток, оцінка / О. Г. Тихомірова. – Вид-во ДУ ІТМО, 2008. – 160 с.
127. Харчишина О.В. Організаційна культура: теоретичні засади та взаємозв'язок із конкурентоспроможністю підприємства / О.В. Харчишина // Забезпечення соціально-економічного розвитку господарюючих систем в умовах транзитивної економіки: колект. моногр.; за заг. ред. д. е. н., проф. В. К. Данилка, д. е. н., проф. Г. М. Тарасюка. – Житомир: Вид-во ЖДТУ, 2010. – С. 182–202.
128. Хайруліна Л.І. Культура охорони праці як елемент управління підприємством / Л.І. Хайруліна, В.С. Гасилов // Фундаментальні дослідження. 2012. № 11. Ч. 3. С. 665-669.
129. Романів Л.В., Пішак О.В., Бойчук Р.Р. Культура безпеки як складова базової культури особистості. «Молодий вчений» № 3.1 (43.1) 2017 р. С. 238-241.
130. Beck C. Professional Nursing Practice Models and Culture Change. Nurses Involvement in Culture Change. Presentation: October 27 – 28, 2008. – P. 1-5.
131. Halligan M., Zecevic A. Safety culture in healthcare: a review of concepts, dimensions, measures and progress. *BMJ Quality & Safety*, 20 (4). – 2011. – P. 338–343.
132. Демідова Ю.Є. Організаційні аспекти розслідування небезпечних ситуацій на виробництві в системі управління та освіти: навч. посіб. / Ю.Є. Демідова, Т.С. Павленко. – Х.: НТУ «ХП», 2015. – 278 с.
133. Демідова Ю.Є. Формування компетенцій з безпеки професійної діяльності як важлива складова підготовки магістрів у вищих навчальних закладах / Ю.Є. Демідова, Г.А. Шахова. – Вісник Дніпропетровського університету імені Альфреда Нобеля. Серія «Педагогіка і психологія». Педагогічні науки. – Днепр, 2017. – №1 (13), с.182-188.
134. Мовмига Н.Є., Мезенцева І.О., Панчева Г.М. Попередження суб'єктивних причин виробничого травматизму в системі працезохоронного менеджменту. «Young Scientist» January, 2022. № 1 (101). С.111-119.

135. Timoshenko S.P., Woinowsky-Krieger S. Theory of Plates and Shells. Second Edition. New York etc.: McGraw-Hill Book Company INC, 1959. - 636 p.
136. Мейш В. Ф., Мейш Ю. А. Динамічна поведінка циліндричних оболонок некругового перерізу при нестационарних навантаженнях. Допов. Нац. академії наук Укр. 2021. №5. С.33-38.
137. Huebner K. H. The finite - element method for engineers. / Kenneth H. Huebner // - John Wiley & Sons, New York, 1975. - 500 p.
138. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with Nastran. / С. П. Рычков //- М. ДМК Пресс, 2016.-784 с.
139. V.V. Gaidaichuk, K.E. Kotenko, N. A. Snizhko «Impact of engineering/technology factors and nonstationary loads on the stress - strain state of a three-layer cylindrical shell». Strength of Materials and Theory of Structures. – 2021. – Issue. 107. – P. –282-288.
140. V.V. Gaidaichuk, K.E. Kotenko, O. G. Ruvyn «Impact of pulse dynamic loading direction and surface curvature on the stress-strain state of a three-layered spherical shell». Strength of Materials and Theory of Structures. – 2022. – Issue. 108. – P. –171-177.