

**ISSN 2078-4481**

Міністерство освіти і науки України  
Херсонський національний технічний університет

# **ВІСНИК**

**Херсонського національного  
технічного університету**

**1(72)**

**Частина 1**

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Херсонського національного технічного університету  
(протокол № 6 від 3 березня 2020 року)

---

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України  
(наказ Міністерства освіти і науки України від 11.07.2016 №820), у яких можуть  
публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів  
доктора та кандидата технічних наук

Журнал включено до наукометричних баз, електронних бібліотек та репозитаріїв:  
Google Scholar, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky)

**Херсон 2020**

## Редакційна рада

### Головний редактор

Литвиненко В.І.

д.т.н., професор,

завідувач кафедри інформатики і комп'ютерних наук

### Заступники головного редактора

Савіна Г.Г.

д.е.н., професор,

заслужений діяч науки і техніки України

Сарібєкова Ю.Г.

д.т.н., професор,

головний науковий співробітник науково-дослідного сектору

### Відповідальний секретар

Вольвач І.Ю.

к.е.н., доцент,

завідувач навчально-наукового відділу

## Редакційна колегія

Баганов Є.О.

к.т.н., доцент

Гончар О.І.

д.е.н., професор

Дімітрова В.Я. (Болгарія)

д.н., доцент

Жарікова М.В.

д.т.н., доцент

Зайцева О.І.

к.е.н., доцент

Куник О.М.

к.т.н.

Наумов О.Б.

д.е.н., професор

Повстяной В.М.

к.х.н., доцент

Розов Ю.Г.

д.т.н., професор

Рудакова Г.В.

д.т.н., професор

Сарібєкова Д.Г.

д.т.н., професор

Семешко О.Я.

к.т.н.

Сідельникова Л.П.

д.е.н., професор

Smolarz A. (Польща)

dr.hab.inz.

Тюхтенко Н.А.

д.е.н., професор

Хрущ Н.А.

д.е.н., професор

Чурсіна Л.А.

д.т.н., професор

Шандова Н.В.

д.е.н., професор

Шарко А.В.

д.т.н., професор

Шарко М.В.

д.е.н., професор

Шерстюк В.Г.

д.т.н., професор

**ISSN 2078-4481**

Министерство образования и науки Украины  
Херсонский национальный технический университет

# **ВЕСТНИК**

**Херсонского национального  
технического университета**

**1(72)**

**Часть 1**

Рекомендовано к печати Ученым советом  
Херсонского национального технического университета  
(протокол № 6 от 3 марта 2020 года)

---

Журнал включен в Перечень научных специализированных изданий Украины  
(приказ Министерства образования и науки Украины от 11.07.2016 №820),  
в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание  
ученых степеней доктора и кандидата технических наук

Журнал включен в наукометрические базы, электронные библиотеки и репозитории:  
Google Scholar, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky)

**Херсон 2020**

## Редакционный совет

### Главный редактор

Литвиненко В.И.

д.т.н., профессор,

заведующий кафедрой информатики и компьютерных наук

### Заместители главного редактора

Савина Г.Г.

д.э.н., профессор,

заслуженный деятель науки и техники Украины

Сарибекова Ю.Г.

д.т.н., профессор,

главный научный сотрудник научно-исследовательского сектора

### Ответственный секретарь

Вольвач И.Ю.

к.э.н., доцент,

заведующий учебно-научным отделом

## Редакционная коллегия

Баганов Е.А.

к.т.н., доцент

Гончар О.И.

д.э.н., профессор

Димитрова В.Я. (Болгария)

д.н., доцент

Жарикова М.В.

д.т.н., доцент

Зайцева Е.И.

к.э.н., доцент

Куник А.Н.

к.т.н.

Наумов А.Б.

д.э.н., профессор

Повстяной В.М.

к.х.н., доцент

Розов Ю.Г.

д.т.н., профессор

Рудакова А.В.

д.т.н., профессор

Сарибекова Д.Г.

д.т.н., профессор

Семешко О.Я.

к.т.н.

Сидельникова Л.П.

д.э.н., профессор

Smolarz A. (Польша)

dr.hab.inz.

Тюхтенко Н.А.

д.э.н., профессор

Хрущ Н.А.

д.э.н., профессор

Чурсина Л.А.

д.т.н., профессор

Шандова Н.В.

д.э.н., профессор

Шарко А.В.

д.т.н., професор

Шарко М.В.

д.э.н., профессор

Шерстюк В.Г.

д.т.н., профессор

**ISSN 2078-4481**

Ministry of Education and Science of Ukraine  
Kherson National Technical University

**VISNYK**  
**of Kherson National**  
**Technical University**

**1(72)**  
**Part 1**

Recommended for publication by the Academic Council of  
Kherson National Technical University  
(Minutes № 6 on 3th March 2020)

---

The journal is included in the List of scientific professional publications of Ukraine  
(Order №820 of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 11 July 2016) where  
the results of the theses of Doctor and Candidate of Engineering Science can be published

The journal is included in the scientometric bases, electronic libraries and repositories:  
Google Scholar, Crossref, National Library of Ukraine (Vernadsky)

**Kherson 2020**

## Editorial Board

### Editor-in-Chief

Litvinenko V.I.

Doctor of Engineering Science, Professor

Head of the Department of Informatics and Computer Science

### Deputies Editor-in-Chief

Savina G.G.

Doctor of Economics , Professor,

Honored Worker of Science and Technology of Ukraine

Saribekova Yu.G.

Doctor of Engineering Science, Professor,

Chief research officer of the research sector

### Executive Secretary

Volvach I.Yu.

Ph.D., Associate Professor,

Head of Academic and Scientific Department

## Members of Editorial Board

**Baganov Ye.A.**

Ph.D., Associate Professor

**Gonchar O.I.**

Doctor of Economics, Professor

**Dimitrova V.Ya.** (Bulgaria)

Ph.D., Associate Professor

**Zharikova M.V.**

Doctor of Engineering Science, Associate Professor

**Zaitseva E.I.**

Ph.D., Associate Professor

**Kunik A.N.**

Ph.D.

**Naumov A.B.**

Doctor of Economics, Professor

**Povstyanoy V.M.**

Ph.D., Associate Professor

**Rozov Yu.G.**

Doctor of Engineering Science, Professor

**Rudakova H.V.**

Doctor of Engineering Science, Professor

**Saribekova D.G.**

Doctor of Engineering Science, Professor

**Semeshko O.Ya.**

Ph.D.

**Sidelnikova L.P.**

Doctor of Economics, Professor

**Smolarz A.** (Poland)

Ph.D., Associate Professor

**Tyukhtenko N.A.**

Doctor of Economics, Professor

**Khrushch N.A.**

Doctor of Economics, Professor

**Chursina L.A.**

Doctor of Engineering Science, Professor

**Shandova N.V.**

Doctor of Economics, Professor

**Sharko A.V.**

Doctor of Engineering Science, Professor

**Sharko M.V.**

Doctor of Economics, Professor

**Sherstyuk V.G.**

Doctor of Engineering Science, Professor

## ЗМІСТ

## ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

<b>Андропова О.В., Курак В.В., Сокол К.І.</b> Тепловий режим будівлі з пасивною системою опалення.....	9
<b>Владов С.І., Шмельов Ю.М., Пилипенко Л.М., Подгорних Н.В., Назаренко Н.П., Тутова Н.В., Дєрябіна І.О.</b> Математичне моделювання робочих процесів авіаційного газотурбінного двигуна ТВ3-117 для контролю і діагностики його технічного стану.....	18
<b>Грудкіна Н.С., Алієва Л.І.</b> Моделювання процесів комбінованого видавлювання із використанням трапецеїдальних криволінійних кінематичних модулів.....	35
<b>Ємел'янова Т.А., Сакара О.Ю.</b> Алгоритм дослідження стійкості тришарової кругової оболонки, яка підкріплена поздовжніми ребрами жорсткості.....	43
<b>Повод Я.О., Шерстюк В.Г.</b> Розрахунок сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі.....	54
<b>Фролов А.Н., Селиверстова С.Р.</b> Исследование способов улучшения характеристик и параметров прибора KB114.....	63

ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ І ХАРЧОВОЇ  
ПРОМИСЛОВОСТІ

<b>Березовський Ю.В., Кузьміна Т.О., Руденко І.А.</b> Перспективи переробки льону олійного через застосування передових технічних рішень.....	71
<b>Восвода Н.В., Похіл К.Є.</b> Оптимізація технології виробництва грильжних цукерок підвищеної харчової цінності.....	81
<b>Дмитрик О.М., Безмертна В.І., Галавська Л.Є.</b> Вплив типу в'язального обладнання на показники втрати міцності поліетиленових та параарамідних ниток після в'язання.....	89
<b>Євтушенко В.В., Руденко І.А., Ільонко К.С.</b> Дослідження ринку споживачів жіночого одягу різних цінових сегментів.....	97
<b>Калінський Є.О.</b> Перспективи використання волокна льону олійного для виробництва нетканих матеріалів.....	103
<b>Лялик А.Т., Покотило О.С., Кухтин М.Д., Добровольська С.Я.</b> Зміна органолептичних показників сиркової пасти з лляною олією за різних умов зберігання.....	109
<b>Новікова Н.В., Ряполова І.О.</b> Проблеми впровадження інновації у харчовій промисловості.....	117
<b>Путінцева С.В.</b> Потенційні можливості використання вітчизняної сировини в целюлозно-паперовій промисловості України.....	123
<b>Ряполова І.О., Новікова Н.В.</b> Санітарно-гігієнічні показники молока-сировини, які впливають на якість сиру.....	129
<b>Танасійчук Б.М., Мешков Ю.Е.</b> Шляхи подовження тривалості зберігання хліба.....	135

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<b>Vladov S.I., Kotliarov K.G., Hrybanova S.A., Husarova O.V., Derevyanko I.G., Gvozdik S.D.</b> Neuro-mechanical methods of control and diagnostics of the technical state of aircraft engine TV3-117 in film regions.....	141
<b>Лєпа Є.В.</b> Реалізація та дослідження алгоритму DSA для створення та перевірки електронного цифрового підпису.....	155
<b>Шерстюк В.Г., Доровська І.В., Левківський Р.М., Гусєв В.М.</b> Оцінка подібності ситуацій в сценарно-прецедентних системах управління: просторові міри.....	162

## CONTENTS

### ENGINEERING SCIENCES

<b>Andronova E.V., Kurak V.V., Sokol K.I.</b> Thermal mode of building with a passive heating system...	9
<b>Vladov S.I., Shmelov Y.M., Pylypenko L.M., Podhornykh N.V., Nazarenko N.P., Tutova N.V., Dieriabina I.O.</b> Mathematical modeling of working processes of the TV3-117 aircraft gas-turbine engine for control and diagnostics of its technical state.....	18
<b>Hrudkina N.S., Aliieva L.I.</b> Modeling of combined extrusion processes using trapezoidal curved kinematic modules.....	35
<b>Yemelyanova T.A., Sakara O.U.</b> Stability research algorithm of three-layer circular shell, is supported by longitudinal rigidity ribs.....	43
<b>Povod Y.O., Sherstiuk V.G.</b> Calculation of solar insolation outside the Earth atmosphere.....	54
<b>Frolov A.N., Seliverstova S.R.</b> Research of ways of improvement of characteristics and parameters of KB114 device.....	63

### THE TECHNOLOGY OF LIGHT AND FOOD INDUSTRY

<b>Berezovsky Y.V., Kuzmina T.O., Rudenko I.A.</b> Perspectives of oilseed flax procesing through the application of high technical solutions.....	71
<b>Voievoda N., Pokhil K.</b> Optimization of production technology of grilled candies of increased food value.....	81
<b>Dmytryk O.M., Bezsmertna V.I., Halavska L.Ye.</b> The influence of the type of knitting equipment on the strengths of losing strength of polyethylene and paramid threads after knitting.....	89
<b>Yevtushenko V.V., Rudenko I.A., Il'onok K.S.</b> Research of women's clothes consumers market of different price segments.....	97
<b>Kalinskyi I.A.</b> Prospects for the use of oil flax fiber for the production of nonwovens.....	103
<b>Lialyk A.T., Pokotylo O.S., Kukhtyn M.D., Dobrovol'ska S.Y.</b> Change organoleptic characteristics of cheese pasta with linseed oil storage under different conditions.....	109
<b>Novikova N.V., Ryapolova I.O.</b> Problems of innovation in the food industry.....	117
<b>Putintseva S.</b> The potential use of domestic raw materials for pulp and paper industry of Ukraine.....	123
<b>Ryapolova I.O., Novikova N.V.</b> Sanitary and hygiene indicators of milk as raw material that efecting on cheese quality.....	129
<b>Tanasiychuk B.M., Mieshkov Yu.Ye.</b> Ways to extend bread storage duration.....	135

### INFORMATION TECHNOLOGIES

<b>Vladov S.I., Kotliarov K.G., Hrybanova S.A., Husarova O.V., Derevyanko I.G., Gvozdik S.D.</b> Neuro-mechanical methods of control and diagnostics of the technical state of aircraft engine TV3-117 in film regions.....	141
<b>Lepa E.V.</b> Implementation and research of the DSA algorithm for creation and verification of a digital electronic signature.....	155
<b>Sherstjuk V.G., Dorovska I.V., Levkivskyi R.N., Gusev V.N.</b> Assessment of situation similarity in scenario-case control systems: spatial measures.....	162



**ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ**

УДК 697.7

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.1>**О.В. АНДРОНОВА**Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-9597-8068**В.В. КУРАК**Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-4303-5671**К.І. СОКОЛ**Приватне підприємство «СВІТОСИЛА»  
ORCID: 0000-0001-5155-7202**ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ БУДІВЛІ  
З ПАСИВНОЮ СИСТЕМОЮ ОПАЛЕННЯ**

Одним з найбільших споживачів енергії для багатьох країн світу є житлово-комунальний сектор, тому енергозбереження та використання відновлюваних джерел енергії в даному секторі дозволяють досягти суттєвої економії енергоресурсів в масштабах країни. Реалізація потенціалу енергозбереження ускладнюється великим різноманіттям існуючого житлового фонду, що вимагає індивідуального підходу при вирішенні задач енергозбереження та енергозабезпечення будівель. Корисним для України є досвід Швеції, Фінляндії, Німеччини, США у використанні пасивних систем сонячного опалення, які при правильному проектуванні мають ккд до 60% і покривають понад 50% навантаження опалення. Недостатня кількість публікацій щодо ефективності та впровадження таких систем для кліматичних умов України викликала необхідність проведення моделювання теплового режиму будівлі з пасивною системою сонячного опалення для виявлення можливостей покриття енергопотреб.

В програмному середовищі MatLab/Simulink створена модель будівлі, яка дозволяє визначити зміни температури огорожувальних конструкцій та внутрішнього повітря при змінних параметрах оточуючого середовища, а саме сонячній радіації, температур зовнішнього повітря та ґрунту. Надходження сонячної радіації на зовнішні огорожувальні конструкції будівлі обчислено для кожної години доби протягом року для кліматичних умов м. Херсона. На основі результатів моделювання визначено амплітуди коливань температури внутрішнього повітря, затримки у надходженні тепла у будівлю, енергопотреби та тривалість періодів опалення й охолодження.

Проведено порівняння теплових режимів трьох варіантів одноквартирної будівлі: без пасивної системи сонячного опалення, зі стіною Тромбе та зі стіною Тромбе й ролетами для затінення. Визначено, що застосування стіни Тромбе призводить до зменшення на 76,9% енергопотреби на опалення, однак сприяє значному перегріву приміщення у теплий період року, а, отже, і підвищенню енергопотреби на охолодження в 3,4 рази. Показано, що скоротити енергопотреби як на опалення, так і на охолодження дозволяє впровадження стіни Тромбе із затіненням в літній період ролетами.

Ключові слова: стіна Тромбе, енергопотреба, опалення, охолодження, огорожувальні конструкції будівлі.

**Е.В. АНДРОНОВА**Херсонский национальный технический университет  
ORCID: 0000-0001-9597-8068**В.В. КУРАК**Херсонский национальный технический университет  
ORCID: 0000-0002-4303-5671**К.И. СОКОЛ**Частное предприятие «СВЕТОСИЛА»  
ORCID: 0000-0001-5155-7202**ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗДАНИЯ  
С ПАССИВНОЙ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ**

Одним из наибольших потребителей тепловой энергии для многих стран мира является жилищно-коммунальный сектор, поэтому энергосбережение и использование возобновляемых источников энергии в данном секторе позволяют достичь существенной экономии энергоресурсов в

масштабах страны. Реализация потенциала энергосбережения усложняется большим разнообразием существующего жилищного фонда, что требует индивидуального подхода при решении задач энергосбережения и энергообеспечения зданий. Полезным для Украины является опыт Швеции, Финляндии, Германии, США в использовании пассивных систем солнечного отопления, которые при правильном проектировании имеют кпд до 60% и покрывают свыше 50% нагрузки отопления. Недостаточное количество публикаций, касающихся эффективности и внедрения таких систем для климатических условий Украины вызвало необходимость проведения моделирования теплового режима здания с пассивной системой солнечного отопления для выявления возможностей покрытия энергопотребностей.

В программной среде MatLab/Simulink создана модель здания, которая позволяет определять изменения температуры ограждающих конструкций и воздуха внутри здания при переменных параметрах окружающей среды, а именно солнечной радиации, температур наружного воздуха и грунта. Поступление солнечной радиации на внешние ограждающие конструкции здания рассчитаны для каждого часа суток на протяжении года для климатических условий г. Херсон. На основе результатов моделирования определены амплитуды колебаний температуры внутреннего воздуха, задержки в поступлении тепла в здание, энергопотребности та продолжительности периодов отопления и охлаждения.

Проведено сравнение тепловых режимов трех вариантов одноквартирного здания: без пассивной системы солнечного отопления, со стеной Тромбе и со стеной Тромбе и затеняющими роллетами. Выяснено, что использование стены Тромбе приводит к уменьшению на 76,9% энергопотребности отопления, однако способствует значительному перегреву помещения в теплый период года, и, таким образом, к возрастанию энергопотребности охлаждения в 3,4 раза. Показано, что сократить энергопотребности как отопления, так и охлаждения позволяет внедрение стены Тромбе с роллетами, используемыми в теплый период года.

Ключевые слова: стена Тромбе, энергопотребность, отопление, охлаждение, ограждающие конструкции здания.

E.V. ANDRONOVA

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0001-9597-8068

V.V. KURAK

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0002-4303-5671

K.I. SOKOL

Private enterprise «SVITOSILA»

ORCID: 0000-0001-5155-7202

## THERMAL MODE OF BUILDING WITH A PASSIVE HEATING SYSTEM

*One of the largest energy consumers for many countries over the world is the housing and communal sector, so energy saving and the use of renewable energy in this sector make it possible to achieve significant energy savings. The realization of the energy saving potential is complicated by the great diversity of the existing housing stock, which requires an individual approach in solving the problems of energy saving and energy supply of buildings. The experience of Sweden, Finland, Germany and the USA in the use of passive solar heating systems is useful for Ukraine. These systems, when properly designed, have an efficiency of up to 60% and cover more than 50% of the heating load. However, the insufficient number of publications on the efficiency and implementation of passive solar heating systems for the climatic conditions of Ukraine caused the need to simulate the thermal mode of the building with such system to determine the possibility of energy needs covering.*

*A building model has been created using the MatLab/Simulink software. This model allows determining temperatures of enclosure structures and indoor air in connection with variable environmental parameters, such as solar radiation, ambient air and soil temperatures. The solar irradiation to the building's exterior enclosure structures was calculated for each hour of the day during the year for Kherson's climatic conditions. Based on the simulation results, the indoor air temperature oscillations amplitudes, time displacement in heat input to the building, energy needs and duration of heating and cooling periods are determined.*

*The thermal modes of the three residential building variants are compared: without a passive solar heating system, with the Trombe wall and the Trombe wall and shading shutters. It has been determined that using of the Trombe wall reduces heating energy need of 76.9%, but leads to a significant room overheating during the warm period of the year and, consequently, to increasing of cooling energy need by 3.4 times. It is shown that using of the Trombe wall with shading shutters leads to reducing the energy demand for both heating and cooling.*

*Keywords: Trombe wall, energy need, heating, cooling, enclosure structures.*

### Постановка проблеми

Житлово-комунальне господарство на сьогодні є одним з найбільших енергоспоживачів: на забезпечення комфортних умов в приміщенні витрачається близько 40% від загальної кількості первинної енергії [1, 2]. Тому питанням зниження енергопотребності будівель та підвищення їх енергоефективності приділяється пильна увага як на стадії експлуатації існуючих будівель, так і при проектуванні нових.

Одним з напрямків підвищення енергетичної ефективності, поширеним у європейських країнах та США, є впровадження пасивних систем опалення. Як показують вимірювання та моделювання, пасивні системи дозволяють економити від 30 до 70% теплової енергії [3-5]. На величину економії суттєво впливають вид пасивної системи опалення, кліматичні дані місця розташування будівлі, її об'ємно-планувальні рішення, рівень теплозахисту та ін. Така багатофакторність потребує попереднього визначення конструктивних параметрів та енергетичних характеристик пасивних систем для конкретних будівель, що розташовані в певних кліматичних умовах.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У роботах [5, 6] представлено методи оцінки річної ефективності пасивних систем опалення, що побудовані на залежностях, отриманих на основі результатів численних моделювань для кліматичних умов США. Для розрахунку помісячного вироблення енергії пасивною системою опалення використовуються такі вхідні параметри, як середньомісячні значення надходження сонячної радіації, коефіцієнт теплопередачі та теплоємність огорожувальних конструкцій будівлі. Представлені методи дають оцінку річного вироблення тепла пасивною системою, але не надають інформації щодо динаміки процесу.

Динамічне моделювання теплового режиму будівлі дозволяє досліджувати температурні процеси всередині приміщення залежно від змін у режимах експлуатації та зовнішніх кліматичних факторів [7, 8]. В роботі [9] на основі моделі будівлі із пасивною системою опалення досліджувався вплив прозорої теплоізоляції на енергетичну ефективність стіни Тромбе для кліматичних умов Чехії, однак при моделюванні не враховувались внутрішні теплонадходження та наявність вікон у будівлі. Моделі [2, 10] побудовано для визначення оптимальних конструктивних параметрів пасивних систем опалення при роботі в кліматичних умовах Сербії та Кіпру. В той же час, в літературі не приділено належної уваги моделюванню роботи, проектуванню та використанню таких систем для кліматичних умов України.

### Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є моделювання теплового режиму будівлі з пасивною системою опалення для кліматичних умов півдня України.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Модель будівлі, побудованої в MatLab/Simulink, складається з підсистем, що описують огорожувальні конструкції, які орієнтовані за відповідними сторонами горизонту (рис. 1). Зміна параметрів оточуючого середовища задається блоками температури зовнішнього повітря, температури ґрунту [11] та блоками розподілу сонячної радіації. Для проведення симуляції теплового режиму будівлі надходження сонячної радіації визначалось для кожної години кожного дня року за методикою [5] з використанням кліматичних даних [12] для всіх орієнтацій огорожувальних конструкцій:

$$I_t = I_b \cdot R_b + \frac{1 + \cos(\beta)}{2} (I_b + I_d) \cdot \rho, \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (1)$$

де  $I_b$  і  $I_d$  – погодинні значення прямої й розсіяної складових сонячної радіації на горизонтальній поверхні, МДж/(м<sup>2</sup>·год);

$\rho$  – альbedo;

$\beta$  – кут нахилу приймаючої поверхні до горизонту, град;

$R_b$  – коефіцієнт перерахунку прямої сонячної радіації з горизонтальної поверхні на нахилу.

У підсистемах огорожувальних конструкцій враховано сумарну теплопередачу трансмісією та теплообмін випромінюванням між конструкціями та оточуючим середовищем, а саме нагрівання за рахунок надходження сонячної радіації та радіаційні тепловтрати в оточуюче середовище. Стіна Тромбе (рис. 2) складається з світлопрозорої ізоляції (однокамерний склопакет з ПВХ профілем) та пофарбованої у чорний колір бетонної стіни з розташованим між ними повітряним прошарком. Як склопакет, так і бетонну конструкцію представлено блоками теплопровідності з розташованою посередині термальною масою. Враховано теплообмін між склопакетом та стіною у повітряному прошарку трьома паралельними шляхами, що представлено блоками теплопередачі кондуктивністю, конвекцією та випромінюванням. З урахуванням коефіцієнту пропускання світлопрозорого покриття перерозподілено потік сонячного

випромінювання між поверхнями бетонної стіни та застклення. З внутрішньої поверхні стіни тепло передається до термальної маси внутрішніх огорожувальних конструкцій та повітря конвекцією та випромінюванням.

З урахуванням впливу зовнішніх змінних факторів, таких як сонячна радіація, температура зовнішнього повітря та температура ґрунту, модель дозволяє отримати температури огорожувальних конструкцій та повітря всередині приміщення, на основі яких визначались затримка у часі між моментом досягнення максимальної температури поверхнею стіни Тромбе та моментом досягнення максимальної температури повітря всередині приміщення; амплітуда добових коливань температури всередині будівлі та енергопотреби на опалення та охолодження будівлі.

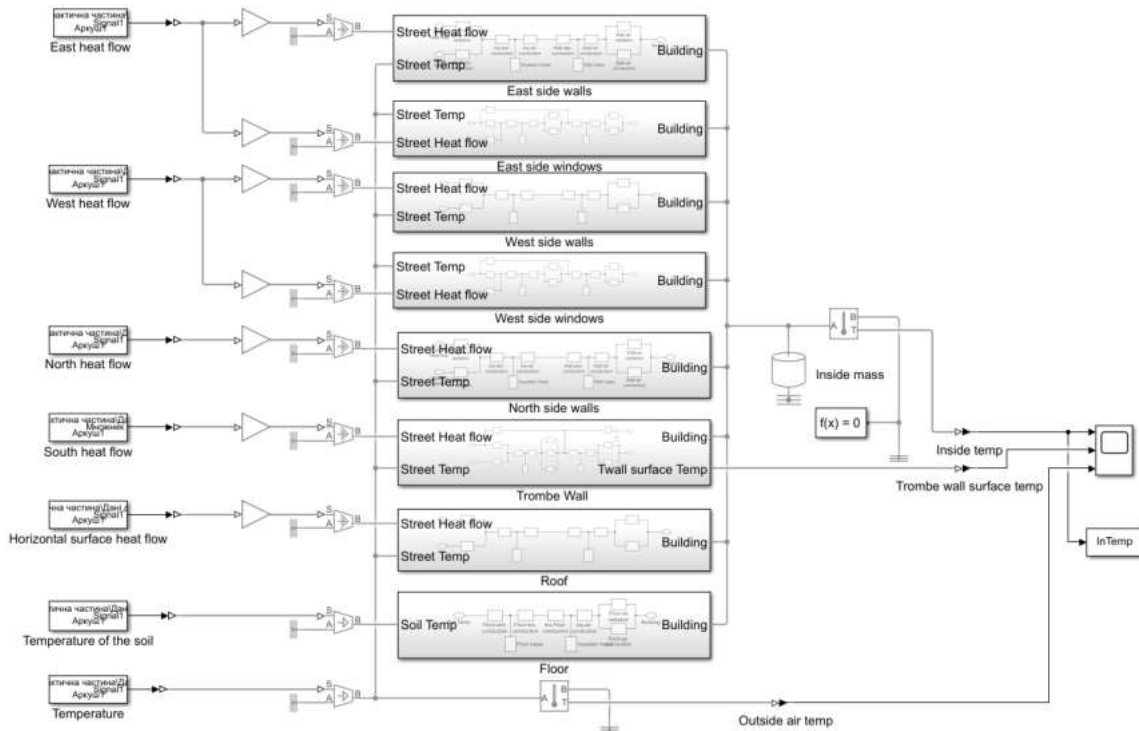


Рис. 1. Модель будівлі в MatLab/Simulink

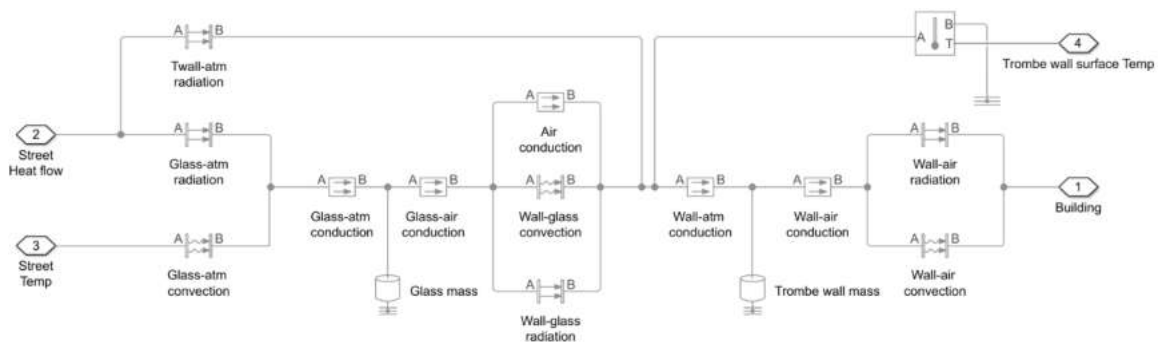


Рис. 2. Модель стіни Тромбе

Енергопотреба на опалення будівлі:

$$E_h = \frac{H_{tr}}{3600} \sum (T_h - T_{in}) \cdot (t_i - t_{i-1}), \text{Вт} \cdot \text{год}, \quad (2)$$

де  $T_h$  – задана температура зони будівлі для опалення, К;  
 $T_{in}$  – температура всередині будівлі, К;  
 $t_i$  – час, у який температура всередині будівлі має значення  $T_{in}$ , с;  
 $H_{tr}$  – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією, Вт/К;

$$H_{tr} = H_D + H_g, \text{ Вт/К}, \quad (3)$$

де  $H_D$  – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

$H_g$  – стаціонарний коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту.

$$H_D = \sum A_i \cdot U_i, \text{ Вт/К}, \quad (4)$$

де  $A_i$  – площа і-го елемента будівлі, м<sup>2</sup>;

$U_i$  – приведений коефіцієнт теплопередачі і-го елемента оболонки будівлі, Вт/(м<sup>2</sup>·К) [11].

Енергопотреба на охолодження будівлі:

$$E_c = \frac{H_{tr}}{3600} \sum (T_{in} - T_c) \cdot (t_i - t_{i-1}), \text{ Вт} \cdot \text{ год}, \quad (5)$$

де  $T_c$  – задана температура зони будівлі для охолодження, К.

Визначення теплових режимів спочатку проводилось для будівлі без пасивної системи опалення. Для моделювання обрано двоповерхову будівлю розміром 10×6×6 м, що розташована у м. Херсоні. Площа південного фасаду становить 60 м<sup>2</sup>; на південному, східному та західному фасадах розташовано вісімнадцять вікон (4М<sub>1</sub>-16-4К) загальною площею 34,44 м<sup>2</sup>. Опори теплопередачі огорожувальних конструкцій відповідають нормативним вимогам. Згідно результатів моделювання енергопотреба на опалення становить 6696,48 кВт·год, на охолодження 2074,92 кВт·год, а питома енергопотреба будівлі складає 88,1 кВт·год/м<sup>2</sup>, що відповідає класу енергоефективності В. Тривалість опалювального періоду становить  $n_h = 185$  діб, а періоду охолодження  $n_c = 122$  доби. Без додаткових систем опалення та охолодження влітку температура в будівлі сягає значень 306 К, а взимку знижується до 276 К.

Промодельовано тепловий режим цієї будівлі з пасивною системою опалення – стіною Тромбе на південному фасаді. Конструктивні параметри стіни Тромбе обиралися наступними: товщина повітряного прошарку 5 см, бетонної стіни 15 см, світлопрозора ізоляція 4М<sub>1</sub>-8-4М<sub>1</sub>, площа 60 м<sup>2</sup>. Результати моделювання представлено в табл.1 та на рис. 3.

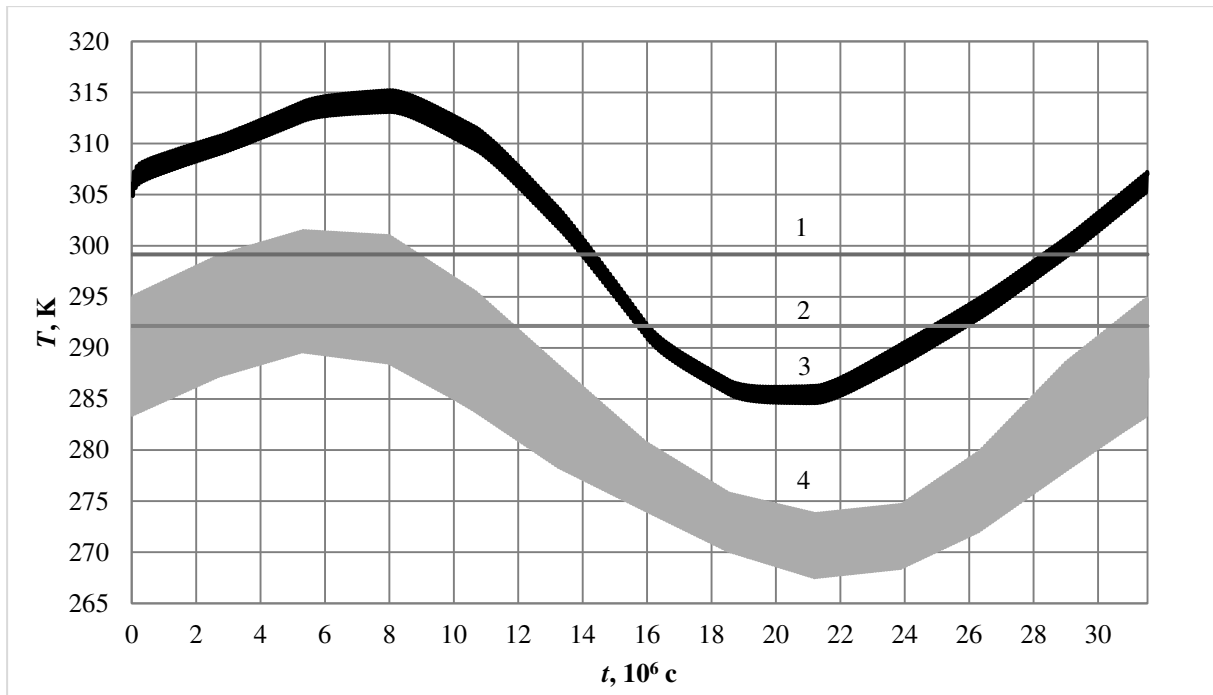
Таблиця 1

Тепловий режим будівлі

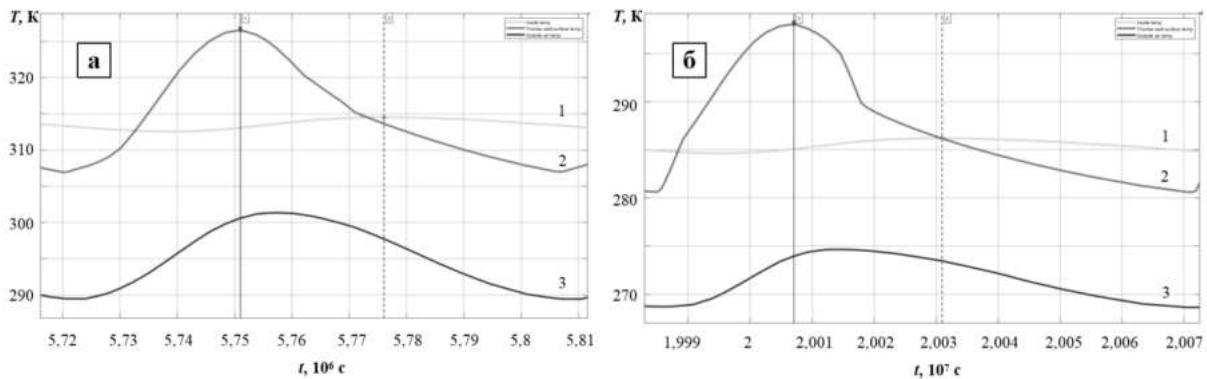
Параметри	Без стіни Тромбе	Зі стіною Тромбе	Зі стіною Тромбе та ролетами
$E_h$ , кВт·год	6696,48	1543,74	1552,11
$E_c$ , кВт·год	2074,92	6963,58	320,36
$E_h + E_c$ , кВт·год	8771,40	8507,32	1872,47
$n_h$ , діб	185	110	110
$n_c$ , діб	122	203	64

Аналіз даних табл. 1 дозволяє зробити висновок, що використання пасивної системи дає можливість зменшити витрати енергоресурсів на опалення на 5152,74 кВт·год, але одночасно збільшує витрати на охолодження на 4888,66 кВт·год, що майже нівелює позитивний ефект: загальні енергопотреби будівлі знижуються лише на 3%.

Моделювання теплового режиму будівлі зі стіною Тромбе дозволило також визначити такі параметри пасивної системи опалення, як затримка у часі надходження тепла у будівлю та амплітуда добових коливань температури внутрішнього повітря. Результати для характерних діб різних періодів року представлені на рис. 4 та в табл. 2.



**Рис. 3. Річний розподіл температур всередині будівлі зі стіною Тромбе:**  
**1 – межа увімкнення кондиціонування; 2 – межа увімкнення опалення; 3 – температура внутрішнього повітря; 4 – температура зовнішнього повітря**



**Рис. 4. Затримка у часі надходження тепла в будівлю зі стіною Тромбе в літній (а) та зимовий (б) період:**  
**1 – температура внутрішнього повітря; 2 – температура стіни Тромбе; 3 – температура зовнішнього повітря**

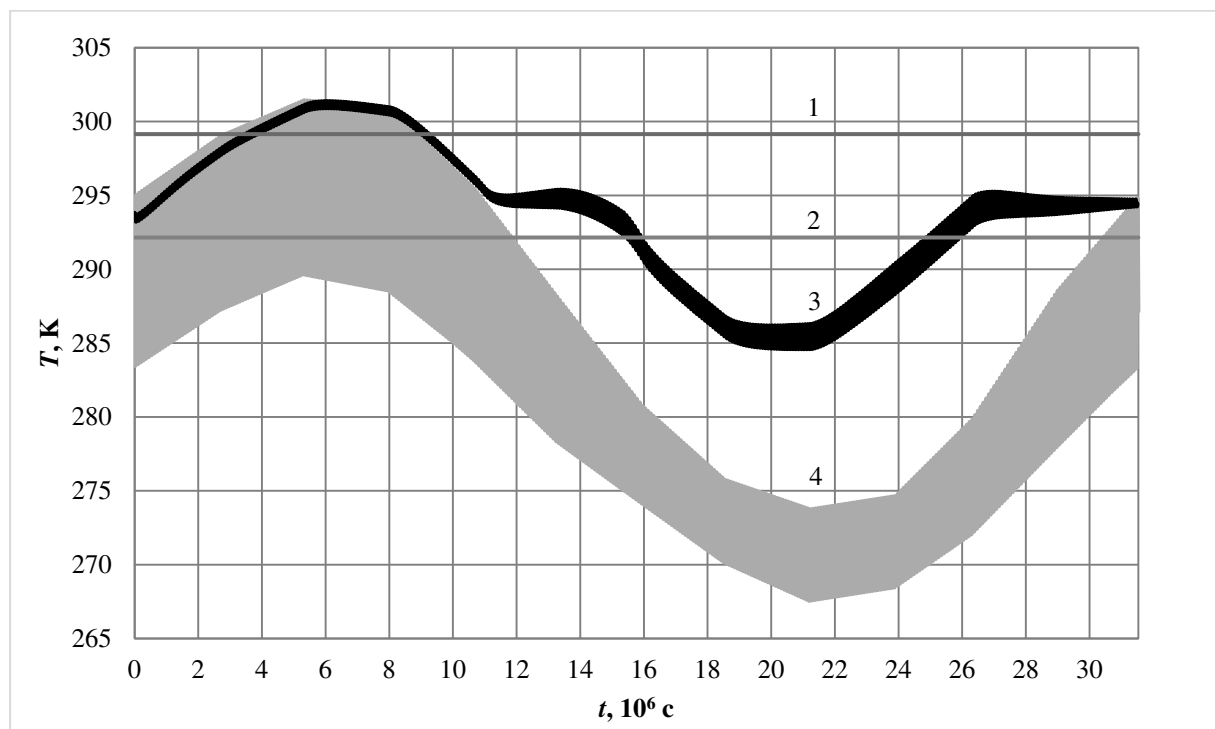
Таблиця 2

Температурний режим в приміщенні			
Сезон	Затримка, год:хв	Амплітуда, К	Середня температура, К
Зі стіною Тромбе			
Літній	6:58	1,98	313,53
Осінній	6:28	1,94	303,47
Зимовий	6:39	1,58	285,42
Весняний	7:14	2,05	297,47
Зі стіною Тромбе та ролетами			
Літній	9:29	0,49	301,12
Осінній	7:16	1,15	294,72
Зимовий	6:39	1,58	285,42
Весняний	7:10	1,39	294,06

У будівлі, яку обладнано стіною Тромбе, затримка надходження тепла у приміщення в середньому становить 6 год 50 хв, а амплітуда коливань 1,9 К, що є вищим за нормоване значення 1,5 К, влітку спостерігається значний перегрів приміщення на 20,5 К, а взимку недогрів на 7,6 К. Для запобігання перегріву будівлі використовується затінення стіни Тромбе ролетами у теплий період року. Річний розподіл температур усередині будівлі з пасивною системою опалення при використанні ролет, показано на рис. 5.

Додаткове використання затінення ролетами призвело до зменшення на 6643,22 кВт·год енергопотреб будівлі на охолодження в порівнянні з варіантом стіни Тромбе без ролет, а період охолодження скоротився на 139 діб (табл. 1). При цьому енергопотреби на опалення зросли всього на 8,37 кВт·год, що пов'язано з меншою кількістю теплової енергії, акумульованої стіною Тромбе. Як наслідок, загальні енергопотреби на опалення та охолодження знизилися в понад 4,5 рази. Крім того, зменшення в літній період надходження сонячної радіації на стіну Тромбе завдяки затіненню ролетами призвело до значного зниження перегріву (на 8 К) та амплітуди коливань температури всередині приміщення, при цьому також збільшилася часова затримка в надходженні тепла, що пов'язано з меншим температурним напором (табл. 2).

Отже, застосування пасивної системи на основі стіни Тромбе з затіненням ролетами в кліматичних умовах м. Херсона дозволяє зменшити енергопотребу будівлі на опалення на 76,8%, на охолодження – на 84,6%, а загальну енергопотребу – на 78,7%, період опалення скорочується на 40%, а період охолодження майже вдвічі. Будівля із пасивною системою опалення потребує менших потужностей традиційних джерел тепла та холоду для забезпечення комфортних умов в приміщенні. Питома енергопотреба скорочується до 30,6 кВт·год/м<sup>2</sup>, а клас енергетичної ефективності будівлі підвищується з В до А.



**Рис. 5. Річний розподіл температур всередині будівлі зі стіною Тромбе й затіненням ролетами:**

**1 – межа умовкнення кондиціонування; 2 – межа умовкнення опалення;  
3 – температура внутрішнього повітря; 4 – температура зовнішнього повітря**

#### Висновки

Моделювання теплового режиму будівлі в програмному середовищі MatLab/Simulink дозволило визначити температурний режим експлуатації будівлі, енергопотреби для опалення, охолодження та клас енергоефективності.

Порівняння результатів моделювання теплового режиму будівлі без пасивної системи опалення та зі стіною Тромбе, проведеного для кліматичних умов м. Херсона, показало, що впровадження пасивної системи дозволяє скоротити енергопотребу на опалення на 76,9%, але при цьому спостерігається погіршення температурного режиму у літній період: температура внутрішнього повітря зростає з 306 К до 315 К, що викликає необхідність збільшення потужності системи охолодження та

періоду її роботи на 81 добу. Сумарна енергопотреба будівлі при цьому зменшується на 3 %. Для зменшення перегріву будівлі у теплий період року необхідно застосовувати затінення південного фасаду ролетами. Це дозволяє знизити температуру внутрішнього повітря влітку до 301 К, зменшити амплітуду її коливань та навантаження охолодження.

Впровадження стіни Тромбе з затіненням ролетами дає енергетичний вигащ 78,7%, скорочує періоди опалення та охолодження, підвищує клас енергоефективності будівлі. Отже, використання таких систем при реалізації проектів енергоефективних будівель в кліматичних умовах півдня України є доцільним.

#### Список використаної літератури

1. Saleh Nasser Al-Saadi. Modeling and simulation of PCM-enhanced façade systems. PhD thesis. Boulder, Colorado, 2014. 472 p.
2. Djordjević A.V., Radosavljević J.M., Vukadinović A.V., Malenović Nikolić J.R., Bogdanović Protić I.S. Estimation of indoor temperature for a passive solar building with a combined passive solar system. *Journal of Energy Engineering*, 2017, no.143(4), pp. 04017008-1-10. DOI: 10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000437.
3. Zhongting Hu, Wei He, Jie Ji, Shengyao Zhang. A review on the application of Trombe wall system in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 70(C), pp. 976-987. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.003.
4. Gupta N., Tiwari G.N. Review of passive heating/cooling systems of buildings. *Energy Science and Engineering*, 2016, no. 4(5), pp. 305–333. DOI: 10.1002/ese3.129.
5. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc., 2013. 910 p.
6. Balcomb J. D., McFarland R.D. A simple empirical method for estimating the performance of a passive solar heated building of the thermal storage wall type. *Proc. of 2<sup>nd</sup> National Passive Solar Conference*. Philadelphia, PA, 1978, 13 p. (Preprint copy).
7. Стрижак П.А. Математическое моделирование теплового режима здания с учетом инсоляционных теплопоступлений / П.А. Стрижак, М.Н. Морозов // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2015. – Т. 326, № 8. – С. 36-46.
8. Иссам А. Моделирование тепловых режимов эксплуатации зданий с использованием систем MatLab/Simulink / А. Иссам // *Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. – 2009. – № 1. – С. 95-99.
9. Matuska T. A simple Trombe wall: Comparison of different glazings. *Proc. of 3rd ISES Congress Eurosan, Copenhagen*, 2000, 6 p. (Preprint copy).
10. Özdenefe M., Atikol U., Rezaei M. Trombe wall size-determination based on economic and thermal comfort viability. *Solar Energy*, 2018, Vol.174, pp. 359-372. DOI: 10.1016/j.solener.2018.09.033
11. ДСТУ Б А.2.2-12 2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2015. 140 с.
12. Power data access viewer [Electronic resource]. - Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (last access: 04.03.20) – Title from the screen.

#### References

1. Saleh Nasser Al-Saadi. Modeling and simulation of PCM-enhanced façade systems. PhD thesis. Boulder, Colorado, 2014. 472 p.
2. Djordjević A.V., Radosavljević J.M., Vukadinović A.V., Malenović Nikolić J.R., Bogdanović Protić I.S. Estimation of indoor temperature for a passive solar building with a combined passive solar system. *Journal of Energy Engineering*, 2017, no.143(4), pp. 04017008-1-10. DOI: 10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000437.
3. Zhongting Hu, Wei He, Jie Ji, Shengyao Zhang. A review on the application of Trombe wall system in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 70(C), pp. 976-987. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.003.
4. Gupta N., Tiwari G.N. Review of passive heating/cooling systems of buildings. *Energy Science and Engineering*, 2016, no. 4(5), pp. 305–333. DOI: 10.1002/ese3.129.
5. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc., 2013. 910 p.
6. Balcomb J. D., McFarland R.D. A simple empirical method for estimating the performance of a passive solar heated building of the thermal storage wall type. *Proc. of 2<sup>nd</sup> National Passive Solar Conference*. Philadelphia, PA, 1978, 13 p. (Preprint copy).



7. Strizhak P.A., Morozov M.N. Mathematical simulation of building thermal regime including solar gains. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 2015, Vol.326, no.8, pp. 36-46.
8. Issam A. Modeling of thermal modes of buildings operation using MatLab / Simulink systems. University news. North-Caucasian region. Technical sciences series, 2009, no.1, pp. 95-99.
9. Matuska T. A simple Trombe wall: Comparison of different glazings. Proc. of 3rd ISES Congress Eurosan, Copenhagen, 2000, 6 p. (Preprint copy).
10. Özdenefe M., Atikol U., Rezaei M. Trombe wall size-determination based on economic and thermal comfort viability. Solar Energy, 2018, Vol.174, pp. 359-372. DOI: 10.1016/j.solener.2018.09.033
11. DSTU B A.2.2-12 2015. Enerhetychna efektyvnist' budivel'. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannya pry opalenni, okholodzhenni, ventylyatsiyi, osviltleni ta haryachomu vodopostachanni. [State standard of Ukraine B A.2.2-12 2015. Energy efficiency of buildings. Method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water]. Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 2015. 140 p.
12. Power data access viewer. Available at: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed 04 March 2020).

УДК 629.765

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.2>

С.І. ВЛАДОВ

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0001-8009-5254

Ю.М. ШМЕЛЬОВ

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0002-3942-2003

Л.М. ПИЛИПЕНКО

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0001-5221-0921

Н.В. ПОДГОРНИХ

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0002-1503-6896

Н.П. НАЗАРЕНКО

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0001-9745-2430

Н.В. ТУТОВА

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0001-5609-5502

І.О. ДЕРЯБІНА

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0001-5164-2976

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ АВІАЦІЙНОГО ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ТВ3-117 ДЛЯ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ ЙОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

*Предметом дослідження в статті є авіаційний двигун ТВ3-117 та методи контролю і діагностики його технічного стану. Мета роботи – математичне моделювання робочих процесів авіаційного двигуна ТВ3-117 для контролю і діагностики його технічного стану в польотних режимах. В статті вирішуються наступні завдання: отримання системи рівнянь, що описують робочі процеси авіаційного двигуна ТВ3-117; різницева апроксимація рівнянь, що описують робочі процеси авіаційного двигуна ТВ3-117; розробка алгоритму реалізації різницевої апроксимації рівнянь робочих процесів, що протікають в авіаційному двигуні ТВ3-117. Використовуються такі методи: методи математичного моделювання, метод різницевої апроксимації (перехід до безрозмірного вигляду рівнянь, різницева апроксимація, перехід до лінійної моделі в просторі і математичний опис відстані між двома сусідніми точками). Отримано наступні результати: Розроблений алгоритм реалізації різницевої апроксимації рівнянь робочих процесів, що протікають в авіаційному двигуні ТВ3-117, що дозволяє моделювати ситуації, які могли б статися під час експлуатації авіаційного двигуна ТВ3-117, що надає можливості проаналізувати вже минулі або передбачити розвиток майбутніх подій в тій чи іншій ситуації. Висновки: Розроблений алгоритм реалізації різницевої апроксимації рівнянь робочих процесів, що протікають в авіаційному двигуні ТВ3-117, можливо використовувати для динамічного відображення стану авіаційного двигуна в режимі реального часу, тобто застосувати його для створення програмного комплексу, який здійснює моніторинг динамічних (перехідних) процесів в авіаційному двигуні ТВ3-117. Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: вперше розроблено метод контролю і діагностики інформаційних показників технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, який базується на різницевої апроксимації рівнянь, що описують робочі процеси, що протікають в авіаційному двигуні ТВ3-117, що дозволить здійснювати контроль і діагностику термогазодинамічних показників в режимі реального часу.*

*Ключові слова: авіаційний двигун, контроль, діагностика, рівняння Нав'є-Стокса, апроксимація.*

- С.И. ВЛАДОВ  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0001-8009-5254
- Ю.Н. ШМЕЛЕВ  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0002-3942-2003
- Л.Н. ПИЛИПЕНКО  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0001-5221-0921
- Н.В. ПОДГОРНИХ  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0002-1503-6896
- Н.П. НАЗАРЕНКО  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0001-9745-2430
- Н.В. ТУТОВА  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0001-5609-5502
- И.А. ДЕРЯБИНА  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0001-5164-2976

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ АВИАЦИОННОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВ3-117 ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

*Предметом исследования в статье является авиационный двигатель ТВ3-117 и методы контроля и диагностики его технического состояния. Цель работы – математическое моделирование рабочих процессов авиационного двигателя ТВ3-117 для контроля и диагностики его технического состояния в полетных режимах. В статье решаются следующие задачи: получение системы уравнений, описывающих рабочие процессы авиационного двигателя ТВ3-117; разностная аппроксимация уравнений, описывающих рабочие процессы авиационного двигателя ТВ3-117; разработка алгоритма реализации разностной аппроксимации уравнений рабочих процессов, протекающих в авиационном двигателе ТВ3-117. Используются следующие методы: методы математического моделирования, метод разностной аппроксимации (переход к безразмерному виду уравнений, разностная аппроксимация, переход к линейной модели в пространстве и математическое описание расстояния между двумя соседними точками). Получены следующие результаты: Разработан алгоритм реализации разностной аппроксимации уравнений рабочих процессов, протекающих в авиационном двигателе ТВ3-117, который позволяет моделировать ситуации, которые могли бы произойти при эксплуатации авиационного двигателя ТВ3-117, что дает возможность проанализировать уже прошедшие или предсказать развитие будущих событий в той или иной ситуации. Выводы: Разработанный алгоритм реализации разностной аппроксимации уравнений рабочих процессов, протекающих в авиационном двигателе ТВ3-117, возможно использовать для динамического отображения состояния авиационного двигателя в режиме реального времени, то есть применить его для создания программного комплекса, который осуществляет мониторинг динамических (переходных) процессов в авиационном двигателе ТВ3-117. Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: впервые разработан метод контроля и диагностики информационных показателей технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117, основанный на разностной аппроксимации уравнений, описывающих рабочие процессы, протекающие в авиационном двигателе ТВ3-117, что позволит осуществлять контроль и диагностику термодинамических показателей в режиме реального времени.*

*Ключевые слова: авиационный двигатель, контроль, диагностика, уравнения Навье-Стокса, аппроксимация.*

S.I. VLADOV

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs  
ORCID: 0000-0001-8009-5254

Y.M. SHMELOV

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs  
ORCID: 0000-0002-3942-2003

L.M. PYLYPENKO

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs  
ORCID: 0000-0001-5221-0921

N.V. PODHORNYKH

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs  
ORCID: 0000-0002-1503-6896

N.P. NAZARENKO

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs  
ORCID: 0000-0001-9745-2430

N.V. TUTOVA

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs  
ORCID: 0000-0001-5609-5502

I.O. DIERIABINA

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs  
ORCID: 0000-0001-5164-2976

## MATHEMATICAL MODELING OF WORKING PROCESSES OF THE TV3-117 AIRCRAFT GAS-TURBINE ENGINE FOR CONTROL AND DIAGNOSTICS OF ITS TECHNICAL STATE

*The subject matter of the article is TV3-117 aircraft engine and methods for monitoring and diagnosing its technical condition. The goal of the work is mathematical modeling of the working processes of the TV3-117 aircraft engine for control and diagnostics of its technical state in flight modes. The following tasks were solved in the article: getting the system of equations describing the workflows of the aircraft engine TV3-117; differential approximation of equations describing the workflows of the aircraft engine TV3-117; development of algorithm for implementation of differential approximation of the equations of work processes occurring in the aircraft engine TV3-117. The following methods used are – mathematical modeling methods, difference approximation method (transition to dimensionless form of equations, difference approximation, transition to linear model in space and mathematical description of the distance between two adjacent points). The following results were obtained – An algorithm for the implementation of the difference approximation of the equations of workflows occurring in TV3-117 aircraft engine has been developed, which allows to simulate situations that could occur during the operation of TV3-117 aircraft engine, which provides an opportunity to analyze the past or predict the development of future events in that or other situation. Conclusions: The algorithm for implementing the differential approximation of the equations of workflows flowing in TV3-117 aircraft engine, can be used to dynamically display the state of the aircraft engine in real time, that is, to apply it to create a software complex that monitors the dynamic (transient) processes in TV3-117 aircraft engine. The scientific novelty of the obtained results is the following: for the first time the method of control and diagnostics of information indicators of TB3-117 aircraft engine technical state was developed, based on the differential approximation of equations describing the workflows occurring in TB3-117 aircraft engine, which will allow to control and real-time diagnostics of thermodynamic parameters.*

*Keywords: aircraft engine, control, diagnostics, Navier-Stokes equation, approximation.*

### Постановка проблеми

Авіаційний газотурбінний двигун ТВ3-117 являє собою складну динамічну систему із взаємопов'язаним впливом газодинамічних і теплофізичних процесів, що протікають в його вузлах [1–3]. Функціонування двигуна відбувається під впливом внутрішніх і зовнішніх збурень. Розробка методу контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі математичного моделювання термогазодинамічних процесів і реалізація його в бортовій системі є одним із завдань загальної проблеми комп'ютерної підтримки і автоматизації етапів проектування і доведення, забезпечення надійної і стійкої роботи двигунів в експлуатації. Математична модель, даючи можливість більш обґрунтовано аналізувати умови роботи двигуна в системі силової установки літального апарату,

підвищує інформативність теоретичних і експериментальних досліджень, науково-методичного супроводу натурних випробувань і налагодження [1–3]. Ускладнення завдань управління, використання досконаліших і складних алгоритмів управління, розвиток електронних технологій [4–6] створили передумови широкого впровадження методів математичного моделювання для задач оптимального управління двигуном [7].

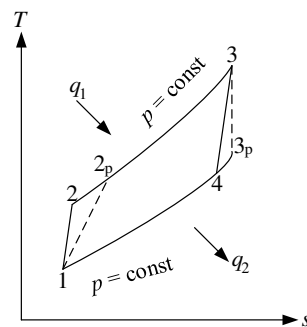
#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Задача контролю і діагностики технічного стану авіаційних двигунів – у наш час є дуже поширеною, в якій варто виділити розробку інтелектуальних методів, зокрема застосування FDI-методу, експертних систем, нейронних мереж тощо [1–3, 5, 6]. У роботах професора Жернакова С.В., які присвячені інтелектуальним методам контролю і діагностики технічного стану авіаційних двигунів відзначено, що діагностика проточної частини авіаційного двигуна ТВ3-117 проводиться по відхиленням контрольованих термогазодинамічних параметрів на різних режимах роботи [5, 6]. Але в зазначених вище роботи в області контролю і діагностики технічного стану авіаційних двигунів питання математичного моделювання робочих процесів, що протікають в авіаційних двигунах, або взагалі не проводилось, або проводилось у незначній мірі.

Для розробки бортового обладнання сучасних повітряних суден (у тому числі та вертольоти) необхідні принципові нові технічні рішення. Такі розробки неможливі без проведення широкомасштабних експериментаторів на базі виробничої техніки, технологій та технологій математичних моделей фізичних процесів авіаційного обладнання, в тому числі, й авіаційних двигунів. Таким чином, поставлена у роботі задача математичного моделювання робочих процесів авіаційного двигуна ТВ3-117 для контролю і діагностики його технічного стану в польотних режимах є актуальною.

#### Формулювання мети дослідження

Відомо, що газодинамічні процеси авіаційного двигуна ТВ3-117 описуються за допомогою циклу Брайтона, який складається з чотирьох процесів (рис. 1): ізоентропічне стиснення (процес 1-2), ізобаричне підведення теплоти (процес 2-3), ізоентропічне розширення (процес 3-4), ізобаричне відведення теплоти (процес 4-1).



**Рис. 1. Узагальнена схема реального циклу Брайтона на  $T$ - $s$  діаграмі: точки 2 і 4 – для ідеального циклу; точки  $2_p$  і  $4_p$  – для реального циклу; точки 1 і 3 – для ідеального і реального циклів**

Робоче тіло (повітря) надходить в двигун з атмосфери через вхідний пристрій. Ізоентропічне стиснення повітря 1-2 відбувається у вхідному пристрої і в компресорі. В авіаційному двигуні ТВ3-117 зі зростанням швидкості польоту підвищення тиску у вхідному пристрої практично не відбувається, а головне стиснення повітря відбувається у компресорі. У камері згорання при постійному тиску відбувається згорання палива (процес 2-3) і до повітря підводиться теплота  $q_1$ . Відпрацьовані гази (газ) надходять до газової турбіни, яка служить для приводу компресора. При ізоентропічному розширенні газу (процес 3-4) відбувається процес зниження тиску продуктів згорання в турбіні практично до атмосферного, і через вихідний пристрій вони відводяться до атмосфери. При розширенні в турбіні значна частина енергії газу перетворюється в роботу на валу турбіни, яка передається через редуктор на повітряний гвинт. Ізобаричне відведення теплоти 4-1 відповідає охолодженню в навколишній атмосфері гарячих продуктів згорання, що випливають із вихідного пристрою двигуна, з відведенням теплоти  $q_2$  [8].

Таким чином, інформативними каналами буде стан термодинамічної системи в точках 1,  $2_p$ , 3 і  $4_p$ . Отже, поставлена задача зводиться до отримання аналітичних виразів, що описують стан термодинамічної системи в даних точках.

Метою роботи є математичне моделювання робочих процесів авіаційного двигуна ТВ3-117 для контролю і діагностики його технічного стану в польотних режимах.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Передбачається, що в процесі роботи авіаційного двигуна ТВЗ-117, виконуються фундаментальні закони збереження енергії, маси, імпульсу тощо. Тоді рівняння Нав'є-Стокса, що описує рух стиснутого теплопровідного газу, буде мати вигляд [9–11]:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} = \frac{\partial \mathbf{F}_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \mathbf{F}_2}{\partial x_2} + \frac{\partial \mathbf{F}_3}{\partial x_3} = 0; \quad (1)$$

де  $\mathbf{F}_j = \mathbf{F}_j(\mathbf{U}, U_{x_1}, U_{x_2}, U_{x_3})$ ;

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u_{x_1} \\ \rho u_{x_2} \\ \rho u_{x_3} \\ E \end{pmatrix}; \mathbf{F}_1 = \begin{pmatrix} \rho u_{x_1} \\ \rho u_{x_1}^2 + p - \Pi_{x_1 x_1} \\ \rho u_{x_1} u_{x_2} - \Pi_{x_1 x_2} \\ \rho u_{x_1} u_{x_3} - \Pi_{x_1 x_3} \\ (E + p)u_{x_1} - q_{x_1} \end{pmatrix}; \mathbf{F}_2 = \begin{pmatrix} \rho u_{x_2} \\ \rho u_{x_1} u_{x_2} - \Pi_{x_1 x_2} \\ \rho u_{x_2}^2 + p - \Pi_{x_2 x_2} \\ \rho u_{x_2} u_{x_3} - \Pi_{x_2 x_3} \\ (E + p)u_{x_2} - q_{x_2} \end{pmatrix}; \mathbf{F}_3 = \begin{pmatrix} \rho u_{x_3} \\ \rho u_{x_1} u_{x_3} - \Pi_{x_1 x_3} \\ \rho u_{x_2} u_{x_3} - \Pi_{x_2 x_3} \\ \rho u_{x_3}^2 + p - \Pi_{x_3 x_3} \\ (E + p)u_{x_3} - q_{x_3} \end{pmatrix};$$

де  $\rho$  – густина;  $\mathbf{u} = (u_{x_1}, u_{x_2}, u_{x_3})$  – вектор швидкості;  $p$  – тиск;  $E = \rho \varepsilon + \rho \frac{\mathbf{u}^T \mathbf{u}}{2}$  – повна енергія одиниці об'єму;  $\varepsilon$  – внутрішня енергія одиниці маси.

Компоненти тензора в'язких напружень виражаються у вигляді лінійної комбінації похідних від компонент вектору швидкості:

$$\Pi_{ij} = \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \lambda \delta_{ij} \operatorname{div} \mathbf{u}; \quad (2)$$

де  $\lambda = \mu' - \frac{2}{3}\mu$ ;  $\mu$  и  $\mu'$  – коефіцієнти першої й другій в'язкості відповідно.

У рівнянні збереження енергії члени  $q_i$  мають вигляд:

$$q_i = \sum_{i=1}^3 \Pi_{ij} u_j + k \frac{\partial T}{\partial x_i}; \quad (3)$$

де  $T$  – температура;  $k$  – коефіцієнт теплопровідності.

У загальному випадку  $\mu = \mu(\rho, T)$ ;  $k = k(T)$ .

Система (1) виражає закон збереження маси (перше рівняння системи), імпульсу (2–4 рівняння) і енергії (останнє рівняння системи).

Однак, в узагальненому вигляді рівняння Нав'є-Стокса не має кінцевого розв'язку. У даний час розв'язки рівняння Нав'є-Стокса можливо лише отримати за певними початковими і граничними умовами, які конкретизують його застосування при описі того чи іншого динамічного процесу.

Запишемо систему рівнянь (1) в декартових координатах для тривимірного випадку, зручного для чисельної реалізації, у вигляді:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (j_{mx_1})}{\partial x_1} + \frac{\partial (j_{mx_2})}{\partial x_2} + \frac{\partial (j_{mx_3})}{\partial x_3} = 0; \quad (4)$$

$$\frac{\partial (\rho u_{x_1})}{\partial t} + \frac{\partial (j_{mx_1} u_{x_1})}{\partial x_1} + \frac{\partial (j_{mx_2} u_{x_1})}{\partial x_2} + \frac{\partial (j_{mx_3} u_{x_1})}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_1} = \frac{\partial \Pi_{x_1 x_1}}{\partial x_1} + \frac{\partial \Pi_{x_2 x_1}}{\partial x_2} + \frac{\partial \Pi_{x_3 x_1}}{\partial x_3}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial (\rho u_{x_2})}{\partial t} + \frac{\partial (j_{mx_1} u_{x_2})}{\partial x_1} + \frac{\partial (j_{mx_2} u_{x_2})}{\partial x_2} + \frac{\partial (j_{mx_3} u_{x_2})}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_2} = \frac{\partial \Pi_{x_1 x_2}}{\partial x_1} + \frac{\partial \Pi_{x_2 x_2}}{\partial x_2} + \frac{\partial \Pi_{x_3 x_2}}{\partial x_3}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial (\rho u_{x_3})}{\partial t} + \frac{\partial (j_{mx_1} u_{x_3})}{\partial x_1} + \frac{\partial (j_{mx_2} u_{x_3})}{\partial x_2} + \frac{\partial (j_{mx_3} u_{x_3})}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_3} = \frac{\partial \Pi_{x_1 x_3}}{\partial x_1} + \frac{\partial \Pi_{x_2 x_3}}{\partial x_2} + \frac{\partial \Pi_{x_3 x_3}}{\partial x_3}; \quad (7)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{\partial (j_{mx_1} H)}{\partial x_1} + \frac{\partial (j_{mx_2} H)}{\partial x_2} + \frac{\partial (j_{mx_3} H)}{\partial x_3} + \frac{\partial q_{x_1}}{\partial x_1} + \frac{\partial q_{x_2}}{\partial x_2} + \frac{\partial q_{x_3}}{\partial x_3} = \frac{\partial}{\partial x_1} (\Pi_{x_1 x_1} u_{x_1} + \Pi_{x_1 x_2} u_{x_2} + \Pi_{x_1 x_3} u_{x_3}) + \frac{\partial}{\partial x_2} (\Pi_{x_2 x_1} u_{x_1} + \Pi_{x_2 x_2} u_{x_2} + \Pi_{x_2 x_3} u_{x_3}) + \frac{\partial}{\partial x_3} (\Pi_{x_3 x_1} u_{x_1} + \Pi_{x_3 x_2} u_{x_2} + \Pi_{x_3 x_3} u_{x_3}); \quad (8)$$

де  $E$  – повна енергія одиниці об'єму;  $H$  – повна питома ентальпія, які описуються виразами:

$$E = \rho \frac{u_{x_1}^2 + u_{x_2}^2 + u_{x_3}^2}{2} + \frac{p}{\gamma - 1}; H = \frac{E + p}{\rho}; p = \rho RT.$$

Компоненти вектору густини потоку маси  $\mathbf{j}_m$  можна описати наступними виразами:

$$j_{mx_1} = \rho(u_{x_1} - \omega_{x_1}); j_{mx_2} = \rho(u_{x_2} - \omega_{x_2}); j_{mx_3} = \rho(u_{x_3} - \omega_{x_3});$$

де

$$\omega_{x_1} = \frac{\tau}{\rho} \left( \frac{\partial(\rho u_{x_1}^2)}{\partial x_1} + \frac{\partial u_{x_1} u_{x_2}}{\partial x_2} + \frac{\partial u_{x_1} u_{x_3}}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_1} \right); \omega_{x_2} = \frac{\tau}{\rho} \left( \frac{\partial u_{x_1} u_{x_2}}{\partial x_1} + \frac{\partial(\rho u_{x_2}^2)}{\partial x_2} + \frac{\partial u_{x_2} u_{x_3}}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_2} \right);$$

$$\omega_{x_3} = \frac{\tau}{\rho} \left( \frac{\partial u_{x_1} u_{x_3}}{\partial x_1} + \frac{\partial u_{x_2} u_{x_3}}{\partial x_2} + \frac{\partial(\rho u_{x_3}^2)}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_3} \right).$$

Компоненти тензора в'язких напружень  $\Pi$  визначаються за допомогою виразів:

$$\Pi_{x_1 x_1} = \Pi_{x_1 x_1}^{NS} + u_{x_1} \omega_{x_1}^* + R^*; \Pi_{x_1 x_2} = \Pi_{x_1 x_2}^{NS} + u_{x_1} \omega_{x_2}^*; \Pi_{x_1 x_3} = \Pi_{x_1 x_3}^{NS} + u_{x_1} \omega_{x_3}^*; \Pi_{x_2 x_1} = \Pi_{x_2 x_1}^{NS} + u_{x_2} \omega_{x_1}^*; \Pi_{x_2 x_2} = \Pi_{x_2 x_2}^{NS} + u_{x_2} \omega_{x_2}^* + R^*; \Pi_{x_2 x_3} = \Pi_{x_2 x_3}^{NS} + u_{x_2} \omega_{x_3}^*; \Pi_{x_3 x_1} = \Pi_{x_3 x_1}^{NS} + u_{x_3} \omega_{x_1}^*; \Pi_{x_3 x_2} = \Pi_{x_3 x_2}^{NS} + u_{x_3} \omega_{x_2}^*; \Pi_{x_3 x_3} = \Pi_{x_3 x_3}^{NS} + u_{x_3} \omega_{x_3}^* + R^*;$$

де  $\Pi_{x_1 x_1}^{NS}, \Pi_{x_1 x_2}^{NS}, \Pi_{x_1 x_3}^{NS}, \Pi_{x_2 x_1}^{NS}, \Pi_{x_2 x_2}^{NS}, \Pi_{x_2 x_3}^{NS}, \Pi_{x_3 x_1}^{NS}, \Pi_{x_3 x_2}^{NS}, \Pi_{x_3 x_3}^{NS}$  – компоненти нав'є-стоксового тензора в'язких напружень, які визначаються із виразів:

$$\Pi_{x_1 x_1}^{NS} = 2\eta \frac{\partial u_{x_1}}{\partial x_1} - \frac{2}{3} \eta \operatorname{div} \mathbf{u}; \Pi_{x_1 x_2}^{NS} = \Pi_{x_2 x_1}^{NS} = \eta \left( \frac{\partial u_{x_2}}{\partial x_1} + \frac{\partial u_{x_1}}{\partial x_2} \right); \Pi_{x_1 x_3}^{NS} = \Pi_{x_3 x_1}^{NS} = \eta \left( \frac{\partial u_{x_3}}{\partial x_1} + \frac{\partial u_{x_1}}{\partial x_3} \right);$$

$$\Pi_{x_2 x_2}^{NS} = 2\eta \frac{\partial u_{x_2}}{\partial x_2} - \frac{2}{3} \eta \operatorname{div} \mathbf{u}; \Pi_{x_2 x_3}^{NS} = \Pi_{x_3 x_2}^{NS} = \eta \left( \frac{\partial u_{x_3}}{\partial x_2} + \frac{\partial u_{x_2}}{\partial x_3} \right); \Pi_{x_3 x_3}^{NS} = 2\eta \frac{\partial u_{x_3}}{\partial x_3} - \frac{2}{3} \eta \operatorname{div} \mathbf{u}.$$

Величини  $\omega_{x_1}^*, \omega_{x_2}^*, \omega_{x_3}^*, R^*$  визначаються за формулами:

$$\omega_{x_1}^* = \tau \left( \rho u_{x_1} \frac{\partial u_{x_1}}{\partial x_1} + \rho u_{x_2} \frac{\partial u_{x_1}}{\partial x_2} + \rho u_{x_3} \frac{\partial u_{x_1}}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_1} \right); \omega_{x_2}^* = \tau \left( \rho u_{x_1} \frac{\partial u_{x_2}}{\partial x_1} + \rho u_{x_2} \frac{\partial u_{x_2}}{\partial x_2} + \rho u_{x_3} \frac{\partial u_{x_2}}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_2} \right);$$

$$\omega_{x_3}^* = \tau \left( \rho u_{x_1} \frac{\partial u_{x_3}}{\partial x_1} + \rho u_{x_2} \frac{\partial u_{x_3}}{\partial x_2} + \rho u_{x_3} \frac{\partial u_{x_3}}{\partial x_3} + \frac{\partial p}{\partial x_3} \right); R^* = \tau \left( u_{x_1} \frac{\partial p}{\partial x_1} + u_{x_2} \frac{\partial p}{\partial x_2} + u_{x_3} \frac{\partial p}{\partial x_3} + \gamma p \operatorname{div} \mathbf{u} \right);$$

а дивергенція вектору швидкості ( $\operatorname{div} \mathbf{u}$ ) складає:  $\operatorname{div} \mathbf{u} = \frac{\partial u_{x_1}}{\partial x_1} + \frac{\partial u_{x_2}}{\partial x_2} + \frac{\partial u_{x_3}}{\partial x_3}$ .

Компоненти вектору теплового потоку  $\mathbf{q}$  визначаються за допомогою виразів:

$$q_{x_1} = q_{x_1}^{NS} - u_{x_1} R^q; q_{x_2} = q_{x_2}^{NS} - u_{x_2} R^q; q_{x_3} = q_{x_3}^{NS} - u_{x_3} R^q;$$

де  $R^q = \tau \rho \left( \frac{u_{x_1}}{\gamma - 1} \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \frac{p}{\rho} \right) + \frac{u_{x_2}}{\gamma - 1} \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \frac{p}{\rho} \right) + \frac{u_{x_3}}{\gamma - 1} \frac{\partial}{\partial x_3} \left( \frac{p}{\rho} \right) + \rho u_{x_1} \frac{\partial}{\partial x_1} \left( \frac{1}{\rho} \right) + \rho u_{x_2} \frac{\partial}{\partial x_2} \left( \frac{1}{\rho} \right) + \rho u_{x_3} \frac{\partial}{\partial x_3} \left( \frac{1}{\rho} \right) \right)$ , а нав'є-стоксові доданки  $q_{x_1}^{NS}, q_{x_2}^{NS}$  і  $q_{x_3}^{NS}$  обчислюються як:  $q_{x_1}^{NS} = -k \frac{\partial T}{\partial x_1}, q_{x_2}^{NS} = -k \frac{\partial T}{\partial x_2}, q_{x_3}^{NS} = -k \frac{\partial T}{\partial x_3}$ .

Залежність динамічного коефіцієнта в'язкості  $\eta$  від температури обирається в наступному вигляді:

$$\eta = \eta_\infty \left( \frac{T}{T_\infty} \right)^\omega;$$

де  $\eta_\infty = \eta(T_\infty)$  – відоме значення  $\eta$  при температурі  $T_\infty$ .

Коефіцієнт теплопровідності  $k$  й релаксаційний параметр  $\tau$  пов'язані з коефіцієнтом динамічної в'язкості  $\eta$  співвідношеннями:

$$k = \frac{\gamma R}{(\gamma - 1) Pr} \eta; \tau = \frac{1}{p Sc} \eta;$$

де  $Pr$  – число Прандтля;  $Sc$  – число Шмідта.

Для чисельного розв'язку рівнянь (4) – (8) зручно представити їх у безрозмірному вигляді, що дозволить, по-перше, оперувати при розрахунках з величинами порядку одиниці, по-друге, дозволяє виділити чисельні коефіцієнти, від яких залежить розв'язок задачі – виділити так звані параметри подібності.

Виберемо в якості основних розмірних параметрів характерний лінійний розмір  $R_c$  (радіус циліндричної трубки), густину набігаючого потоку  $\rho_\infty$  і швидкість звуку в набігаючому незбуреному потоці  $c_\infty$ .

Запишемо співвідношення між розмірними і безрозмірними величинами, в яких знак «тильда» над змінної ставиться до безрозмірним величинам:

$$\begin{aligned} \rho &= \tilde{\rho}\rho_\infty; u = \tilde{u}c_\infty; c = \tilde{c}c_\infty; p = \tilde{p}\rho_\infty c_\infty^2; x = \tilde{x}R_c; \\ t &= \tilde{t}\frac{R_c}{c_\infty}; T = \frac{p}{\rho R} = \frac{\tilde{p}\rho_\infty c_\infty^2}{\tilde{\rho}\rho_\infty R} = \frac{\tilde{p}\gamma}{\tilde{\rho}}\frac{1}{\gamma R} = \tilde{T}\frac{c_\infty^2}{\gamma R}. \end{aligned} \quad (9)$$

Визначимо числа Маха і Рейнольдса за формулами:

$$Ma_\infty = \frac{u_\infty}{c_\infty}; Re_\infty = \frac{\rho_\infty u_\infty R_c}{\mu_\infty}. \quad (10)$$

Рівняння повної енергії набуде вигляду:

$$E = \frac{\rho u^2}{2} + \frac{p}{\gamma-1} \Rightarrow \tilde{E} = \frac{\tilde{\rho}\tilde{u}^2}{2} + \frac{\tilde{p}}{\gamma-1}. \quad (11)$$

При переході до безрозмірних величин швидкість звуку перетвориться як:

$$c = \sqrt{\gamma RT} \Rightarrow \tilde{c} = \sqrt{\tilde{T}}; \quad (12)$$

а рівняння стану

$$p = \rho RT; \tilde{p}\rho_\infty c_\infty^2 = \tilde{\rho}\rho_\infty \tilde{T}\frac{c_\infty^2}{\gamma R} \Rightarrow \tilde{p} = \frac{\tilde{\rho}\tilde{T}}{\gamma}. \quad (13)$$

Таким чином, (12) і (13) після переходу до безрозмірних величин змінили свій вигляд. Підставляючи співвідношення (9) у рівняння стану системи (4)–(8), можна переконатися, що приведення до безрозмірного вигляду не змінює виду вихідних рівнянь, при цьому безрозмірні коефіцієнти в'язкості, теплопровідності й релаксаційний параметр обчислюються як:

$$\tilde{\mu} = \frac{Ma}{Re}\tilde{T}^\omega; \quad (14)$$

$$\tilde{k} = \frac{1}{(\gamma-1)Pr}\frac{Ma}{Re}\tilde{T}^\omega; \quad (15)$$

$$\tilde{\tau} = \frac{Ma}{ReSc}\frac{\tilde{T}^\omega}{\tilde{p}}. \quad (16)$$

Для апроксимації рівнянь (4)–(8) скористаємося методом маркерів і комірок [5]. Даний метод включають специфічну різницеву сітку і специфічну структуру комірки. Цей метод застосовується для рівнянь у найпростіших фізичних змінних, тому може бути застосований для розв'язку отриманих рівнянь. Тривимірною прямокутною різницевою сіткою з позиціонуванням сіткових функцій, яка використовується для апроксимації неперервних функцій потоку маси, тиску і компонентів швидкостей, зображена на рис. 2.



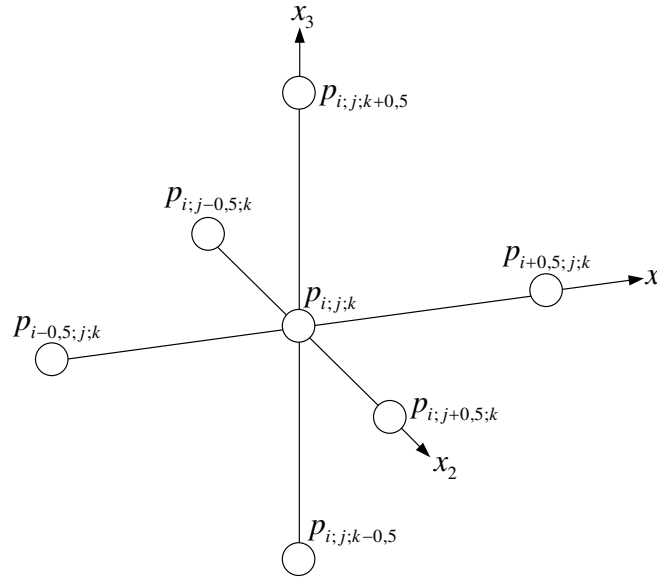


Рис. 2. Схема лінійної моделі

Сітковий аналог функції тиску позиціонується у вузлах тривимірної прямокутної сітки  $w_h$ . Сітковий аналог проекцій газодинамічних величин на вісь  $x_1$  розташовуються на ребрі, яке паралельне осі  $x_1$ , на вісь  $x_2$  – паралельне осі  $x_2$ , на вісь  $x_3$  – паралельне осі  $x_3$ .

Усі газодинамічні величини (густина  $\rho$ , компоненти швидкості  $u_{x_1}$ ,  $u_{x_2}$ ,  $u_{x_3}$ , тиск  $p$ ) будемо відносити до вузлів сітки,

$$\begin{aligned} & (x_{1_{i\pm 0,5}}, x_{2_i}, x_{3_i}); (x_{1_i}, x_{2_{i\pm 0,5}}, x_{3_i}); (x_{1_i}, x_{2_i}, x_{3_{i\pm 0,5}}); (x_{1_i}, x_{2_{i\pm 0,5}}, x_{3_{i\pm 0,5}}); (x_{1_{i\pm 0,5}}, x_{2_i}, x_{3_{i\pm 0,5}}); \\ & (x_{1_{i\pm 0,5}}, x_{2_{i\pm 0,5}}, x_{3_i}); (x_{1_{i\pm 0,5}}, x_{2_{i\pm 0,5}}, x_{3_{i\pm 0,5}}); \end{aligned} \quad (17)$$

а значення довільної функції  $\psi$  з множини  $\{\rho, u_{x_1}, u_{x_2}, u_{x_3}, p\}$  будемо обчислювати як середнє арифметичне їх значень у прилеглих вузлах:

$$\psi_{i\pm 0,5,j,k} = 0,5(\psi_{i\pm 1,j,k} + \psi_{i,j,k}); \psi_{i,j\pm 0,5,k} = 0,5(\psi_{i,j\pm 1,k} + \psi_{i,j,k}); \psi_{i,j,k\pm 0,5} = 0,5(\psi_{i,j,k\pm 1} + \psi_{i,j,k});$$

$$\begin{aligned} \psi_{i\pm 0,5,j\pm 0,5,k} &= 0,5(\psi_{i\pm 1,j\pm 1,k} + \psi_{i,j,k}); \psi_{i\pm 0,5,j,k\pm 0,5} = 0,5(\psi_{i\pm 1,j,k\pm 1} + \psi_{i,j,k}); \psi_{i,j\pm 0,5,k\pm 0,5} = \\ &= 0,5(\psi_{i,j\pm 1,k\pm 1} + \psi_{i,j,k}); \end{aligned}$$

$$\psi_{i\pm 0,5,j\pm 0,5,k\pm 0,5} = 0,125(\psi_{i\pm 1,j\pm 1,k\pm 1} + \psi_{i\pm 1,j,k} + \psi_{i,j\pm 1,k} + \psi_{i,j,k\pm 1} + \psi_{i\pm 1,j\pm 1,k} + \psi_{i\pm 1,j,k\pm 1} + \psi_{i,j\pm 1,k\pm 1}).$$

Для інших функцій  $f = f(\rho, u_{x_1}, u_{x_2}, u_{x_3}, p)$  покладемо:

$$f_{i,j,k} = f(\rho_{i,j,k}, (u_{x_1})_{i,j,k}, (u_{x_2})_{i,j,k}, (u_{x_3})_{i,j,k}, p_{i,j,k}). \quad (18)$$

Таким чином, кінцево-різницеві аналоги диференційних операторів визначаються за наступними виразами, виходячи з введеної сітки:

$$\frac{du}{dx_1} \Big|_{i,j,k}^n = \frac{u_{i+0,5;j,k} - u_{i-0,5;j,k}}{h_{x_1}}; \frac{du}{dx_2} \Big|_{i,j,k}^n = \frac{u_{i,j+0,5;k} - u_{i,j-0,5;k}}{h_{x_2}}; \frac{du}{dx_3} \Big|_{i,j,k}^n = \frac{u_{i,j,k+0,5} - u_{i,j,k-0,5}}{h_{x_3}};$$

де  $h_{x_1}$ ,  $h_{x_2}$  і  $h_{x_3}$  – кроки по простору.

Апроксимуємо диференційне рівняння (4) різницеvim:

$$\frac{\hat{\rho}_{i,j,k} - \rho_{i,j,k}}{\Delta t} + \frac{1}{h_{x_1}} ((j_{mx_1})_{i+0,5;j,k} - (j_{mx_1})_{i-0,5;j,k}) + \frac{1}{h_{x_2}} ((j_{mx_2})_{i,j+0,5;k} - (j_{mx_2})_{i,j-0,5;k}) +$$

$$+ \frac{1}{h_{x_3}} \left( (j_{mx_3})_{i,j;k+0,5} - (j_{mx_3})_{i,j;k-0,5} \right) = 0; \quad (19)$$

де  $\Delta t$  – крок у часі. Величина, відмічена  $\hat{\rho}_{i,j,k}$ , обчислюється на наступному часовому шарі.

Інші рівняння системи (4)–(8) апроксимуються аналогічно:

$$\begin{aligned} \frac{(\hat{\rho}_{\hat{u}_{x_1}})_{i,j,k} - (\rho_{u_{x_1}})_{i,j,k}}{\Delta t} &= \frac{1}{h_{x_1}} \left( (j_{mx_1})_{i+0,5;j;k} (u_{x_1})_{i+0,5;j;k} - (j_{mx_1})_{i-0,5;j;k} (u_{x_1})_{i-0,5;j;k} \right) + \\ &+ \frac{1}{h_{x_2}} \left( (j_{mx_2})_{i,j+0,5;k} (u_{x_1})_{i,j+0,5;k} - (j_{mx_2})_{i,j-0,5;k} (u_{x_1})_{i,j-0,5;k} \right) + \frac{1}{h_{x_3}} \left( (j_{mx_3})_{i,j;k+0,5} (u_{x_1})_{i,j;k+0,5} - \right. \\ &- (j_{mx_3})_{i,j;k-0,5} (u_{x_1})_{i,j;k-0,5} \left. \right) + \frac{1}{h_{x_1}} (p_{i+0,5;j;k} - p_{i-0,5;j;k}) = \frac{1}{h_{x_1}} \left( (\Pi_{x_1 x_1})_{i+0,5;j;k} - (\Pi_{x_1 x_1})_{i-0,5;j;k} \right) + \\ &+ \frac{1}{h_{x_2}} \left( (\Pi_{x_2 x_1})_{i,j+0,5;k} - (\Pi_{x_2 x_1})_{i,j-0,5;k} \right) + \frac{1}{h_{x_3}} \left( (\Pi_{x_3 x_1})_{i,j;k+0,5} - (\Pi_{x_3 x_1})_{i,j;k-0,5} \right); \quad (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{(\hat{\rho}_{\hat{u}_{x_2}})_{i,j,k} - (\rho_{u_{x_2}})_{i,j,k}}{\Delta t} &= \frac{1}{h_{x_1}} \left( (j_{mx_1})_{i+0,5;j;k} (u_{x_2})_{i+0,5;j;k} - (j_{mx_1})_{i-0,5;j;k} (u_{x_2})_{i-0,5;j;k} \right) + \\ &+ \frac{1}{h_{x_2}} \left( (j_{mx_2})_{i,j+0,5;k} (u_{x_2})_{i,j+0,5;k} - (j_{mx_2})_{i,j-0,5;k} (u_{x_2})_{i,j-0,5;k} \right) + \frac{1}{h_{x_3}} \left( (j_{mx_3})_{i,j;k+0,5} (u_{x_2})_{i,j;k+0,5} - \right. \\ &- (j_{mx_3})_{i,j;k-0,5} (u_{x_2})_{i,j;k-0,5} \left. \right) + \frac{1}{h_{x_2}} (p_{i,j+0,5;k} - p_{i,j-0,5;k}) = \frac{1}{h_{x_1}} \times \\ &\times \left( (\Pi_{x_1 x_2})_{i+0,5;j;k} - (\Pi_{x_1 x_2})_{i-0,5;j;k} \right) + \frac{1}{h_{x_2}} \left( (\Pi_{x_2 x_2})_{i,j+0,5;k} - (\Pi_{x_2 x_2})_{i,j-0,5;k} \right) + \frac{1}{h_{x_3}} \times \\ &\times \left( (\Pi_{x_3 x_2})_{i,j;k+0,5} - (\Pi_{x_3 x_2})_{i,j;k-0,5} \right); \quad (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{(\hat{\rho}_{\hat{u}_{x_3}})_{i,j,k} - (\rho_{u_{x_3}})_{i,j,k}}{\Delta t} &= \frac{1}{h_{x_1}} \left( (j_{mx_1})_{i+0,5;j;k} (u_{x_3})_{i+0,5;j;k} - (j_{mx_1})_{i-0,5;j;k} (u_{x_3})_{i-0,5;j;k} \right) + \frac{1}{h_{x_2}} \times \\ &\times \left( (j_{mx_2})_{i,j+0,5;k} (u_{x_3})_{i,j+0,5;k} - (j_{mx_2})_{i,j-0,5;k} (u_{x_3})_{i,j-0,5;k} \right) + \frac{1}{h_{x_3}} \times \\ &\times \left( (j_{mx_3})_{i,j;k+0,5} (u_{x_3})_{i,j;k+0,5} - (j_{mx_3})_{i,j;k-0,5} (u_{x_3})_{i,j;k-0,5} \right) + \frac{1}{h_{x_3}} \times \\ &\times (p_{i,j;k+0,5} - p_{i,j;k-0,5}) = \frac{1}{h_{x_1}} \left( (\Pi_{x_1 x_3})_{i+0,5;j;k} - (\Pi_{x_1 x_3})_{i-0,5;j;k} \right) + \frac{1}{h_{x_2}} \left( (\Pi_{x_2 x_3})_{i,j+0,5;k} - (\Pi_{x_2 x_3})_{i,j-0,5;k} \right) + \\ &+ \frac{1}{h_{x_3}} \times \left( (\Pi_{x_3 x_3})_{i,j;k+0,5} - (\Pi_{x_3 x_3})_{i,j;k-0,5} \right); \quad (22) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\hat{E}_{i,j,k} - E_{i,j,k}}{\Delta t} &= \frac{1}{h_{x_1}} \left( (j_{mx_1})_{i+0,5;j;k} H_{i+0,5;j;k} - (j_{mx_1})_{i-0,5;j;k} H_{i-0,5;j;k} \right) + \frac{1}{h_{x_2}} \left( (j_{mx_2})_{i,j+0,5;k} H_{i,j+0,5;k} - \right. \\ &- (j_{mx_2})_{i,j-0,5;k} H_{i,j-0,5;k} \left. \right) + \frac{1}{h_{x_3}} \left( (j_{mx_3})_{i,j;k+0,5} H_{i,j;k+0,5} - (j_{mx_3})_{i,j;k-0,5} H_{i,j;k-0,5} \right) + \frac{1}{h_{x_1}} \times \\ &\times (q_{i+0,5;j;k} - q_{i-0,5;j;k}) + \frac{1}{h_{x_2}} (q_{i,j+0,5;k} - q_{i,j-0,5;k}) + \frac{1}{h_{x_3}} (q_{i,j;k+0,5} - q_{i,j;k-0,5}) = \\ &= \frac{1}{h_{x_1}} \left[ \left( (\Pi_{x_1 x_1})_{i+0,5;j;k} (u_{x_1})_{i+0,5;j;k} - (\Pi_{x_1 x_1})_{i-0,5;j;k} (u_{x_1})_{i-0,5;j;k} \right) + \left( (\Pi_{x_1 x_2})_{i+0,5;j;k} (u_{x_2})_{i+0,5;j;k} - \right. \right. \\ &- (\Pi_{x_1 x_2})_{i-0,5;j;k} (u_{x_2})_{i-0,5;j;k} \left. \right) + \left( (\Pi_{x_1 x_3})_{i+0,5;j;k} (u_{x_3})_{i+0,5;j;k} - (\Pi_{x_1 x_3})_{i-0,5;j;k} (u_{x_3})_{i-0,5;j;k} \right) \left. \right] + \\ &+ \frac{1}{h_{x_2}} \left[ \left( (\Pi_{x_2 x_1})_{i,j+0,5;k} (u_{x_1})_{i,j+0,5;k} - (\Pi_{x_2 x_1})_{i,j-0,5;k} (u_{x_1})_{i,j-0,5;k} \right) + \right. \\ &+ \left( (\Pi_{x_2 x_2})_{i,j+0,5;k} (u_{x_2})_{i,j+0,5;k} - (\Pi_{x_2 x_2})_{i,j-0,5;k} (u_{x_2})_{i,j-0,5;k} \right) \left. \right] + \\ &\times \left( (\Pi_{x_2 x_3})_{i,j+0,5;k} (u_{x_3})_{i,j+0,5;k} - (\Pi_{x_2 x_3})_{i,j-0,5;k} (u_{x_3})_{i,j-0,5;k} \right) + \frac{1}{h_{x_3}} \left[ \left( (\Pi_{x_3 x_1})_{i,j;k+0,5} (u_{x_1})_{i,j;k+0,5} - \right. \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -(\Pi_{x_3x_1})_{i,j;k-0,5}(u_{x_1})_{i,j;k-0,5} + \left( (\Pi_{x_3x_2})_{i,j;k+0,5}(u_{x_2})_{i,j;k+0,5} - (\Pi_{x_3x_2})_{i,j;k-0,5}(u_{x_2})_{i,j;k-0,5} \right) + \\
 & + \left( (\Pi_{x_3x_3})_{i,j;k+0,5}(u_{x_3})_{i,j;k+0,5} - (\Pi_{x_3x_3})_{i,j;k-0,5}(u_{x_3})_{i,j;k-0,5} \right). \tag{23}
 \end{aligned}$$

Апроксимуємо рівняння, що описують компоненти векторів  $\mathbf{j}_m$ , теплового потоку  $\mathbf{q}$  й компоненти тензора в'язких напружень  $\Pi$ , різницевиими у напівцілих точках, тобто:

$$\begin{aligned}
 (j_{mx_1})_{i\pm 0,5;j;k} &= \rho_{i\pm 0,5;j;k} \left( (u_{x_1})_{i\pm 0,5;j;k} - (\omega_{x_1})_{i\pm 0,5;j;k} \right); (j_{mx_2})_{i,j\pm 0,5;k} = \rho_{i,j\pm 0,5;k} \left( (u_{x_2})_{i,j\pm 0,5;k} - \right. \\
 & \left. - (\omega_{x_2})_{i,j\pm 0,5;k} \right); \\
 (j_{mx_3})_{i,j;k\pm 0,5} &= \rho_{i,j;k\pm 0,5} \left( (u_{x_3})_{i,j;k\pm 0,5} - (\omega_{x_3})_{i,j;k\pm 0,5} \right); \\
 (\Pi_{x_1x_3})_{i\pm 0,5;j;k} &= (\Pi_{x_1x_3}^{NS})_{i\pm 0,5;j;k} + (u_{x_1})_{i\pm 0,5;j;k} (\omega_{x_3}^*)_{i\pm 0,5;j;k}; \\
 (\Pi_{x_2x_1})_{i,j\pm 0,5;k} &= (\Pi_{x_2x_1}^{NS})_{i,j\pm 0,5;k} + (u_{x_2})_{i,j\pm 0,5;k} (\omega_{x_1}^*)_{i,j\pm 0,5;k}; \\
 (\Pi_{x_2x_2})_{i,j\pm 0,5;k} &= (\Pi_{x_2x_2}^{NS})_{i,j\pm 0,5;k} + (u_{x_2})_{i,j\pm 0,5;k} (\omega_{x_2}^*)_{i,j\pm 0,5;k} + (R^*)_{i,j\pm 0,5;k}; \\
 (\Pi_{x_2x_3})_{i,j\pm 0,5;k} &= (\Pi_{x_2x_3}^{NS})_{i,j\pm 0,5;k} + (u_{x_2})_{i,j\pm 0,5;k} (\omega_{x_3}^*)_{i,j\pm 0,5;k}; (\Pi_{x_3x_1})_{i,j;k\pm 0,5} = (\Pi_{x_3x_1}^{NS})_{i,j;k\pm 0,5} + \\
 & + (u_{x_3})_{i,j;k\pm 0,5} (\omega_{x_1}^*)_{i,j;k\pm 0,5}; \\
 (\Pi_{x_3x_2})_{i,j;k\pm 0,5} &= (\Pi_{x_3x_2}^{NS})_{i,j;k\pm 0,5} + (u_{x_3})_{i,j;k\pm 0,5} (\omega_{x_2}^*)_{i,j;k\pm 0,5}; \\
 (\Pi_{x_3x_3})_{i,j;k\pm 0,5} &= (\Pi_{x_3x_3}^{NS})_{i,j;k\pm 0,5} + (u_{x_3})_{i,j;k\pm 0,5} (\omega_{x_3}^*)_{i,j;k\pm 0,5} + (R^*)_{i,j;k\pm 0,5}; \\
 \text{div} \mathbf{u} &= \frac{1}{h_{x_1}} \left( (u_{x_1})_{i+0,5;j;k} - (u_{x_1})_{i-0,5;j;k} \right) + \frac{1}{h_{x_2}} \left( (u_{x_2})_{i,j+0,5;k} - (u_{x_2})_{i,j-0,5;k} \right) \\
 & + \frac{1}{h_{x_3}} \left( (u_{x_3})_{i,j;k+0,5} - (u_{x_3})_{i,j;k-0,5} \right); \\
 (q_{x_1})_{i\pm 0,5;j;k} &= (q_{x_1}^{NS})_{i\pm 0,5;j;k} - (u_{x_1})_{i\pm 0,5;j;k} (R^q)_{i\pm 0,5;j;k}; \\
 (q_{x_2})_{i,j\pm 0,5;k} &= (q_{x_2}^{NS})_{i,j\pm 0,5;k} - (u_{x_2})_{i,j\pm 0,5;k} (R^q)_{i,j\pm 0,5;k}; \\
 (q_{x_3})_{i,j;k\pm 0,5} &= (q_{x_3}^{NS})_{i,j;k\pm 0,5} - (u_{x_3})_{i,j;k\pm 0,5} (R^q)_{i,j;k\pm 0,5}; (q_{x_1}^{NS})_{i\pm 0,5;j;k} = -k_{i\pm 0,5;j;k} \frac{1}{h_{x_1}} (T_{i+0,5;j;k} - \\
 & - T_{i-0,5;j;k}); \\
 (q_{x_2}^{NS})_{i,j\pm 0,5;k} &= -k_{i,j\pm 0,5;k} \frac{1}{h_{x_2}} (T_{i,j+0,5;k} - T_{i,j-0,5;k}); (q_{x_3}^{NS})_{i,j;k\pm 0,5} = -k_{i,j;k\pm 0,5} \frac{1}{h_{x_3}} (T_{i,j;k+0,5} - T_{i,j;k-0,5}).
 \end{aligned}$$

За допомогою виразів (19)–(23) можна знаходити значення простих фізичних змінних у вузлах використовуваної сіткової області. Отримані дані можна використовувати при моделюванні циркуляції газодинамічного потоку у системі авіаційного двигуна ТВ3-117.

До отриманих різницевих рівнянь необхідно додати наступні початкові і граничні умови, що відображають основні чотири процесу реального циклу Брайтона (табл. 1).

Таблиця 1

**Початкові і граничні умови**

Ізоентропічне стиснення (процес 1-2)	Ізобаричне підведення теплоти (процес 2-3)	Ізоентропічне розширення (процес 3-4)	Ізобаричне відведення теплоти (процес 4-1)
$q = 0; k = 0;$ $\Delta T = 0; dT = 0$	$p = \text{const}; dp = 0$	$q = 0; k = 0;$ $\Delta T = 0; dT = 0$	$p = \text{const}; dp = 0$

Для однакового обчислення газодинамічних величин у всіх внутрішніх точках розрахункової області, включаючи прикордонні точки, вводиться система фіктивних комірок, що примикають до кожної з меж. Значення густини, компонент швидкості і тиску у фіктивних комірках задаються таким чином, щоб апроксимувати потрібне значення відповідної величини, або її похідної, на кордоні, яка знаходиться у напівцілій точці.

Нехай на межі, розташованій в точці  $i = \frac{1}{2}$ , задано значення температури  $T_w$ . Точка  $i = 0$  є фіктивною, а точка  $i = 1$  є найближчою прилеглою до кордону внутрішньою точкою. Тоді значення  $T_0$

вибирається з умови:  $T_w = \frac{T_0+T_1}{2}$ . Якщо на кордоні задана умова на похідну виду  $\frac{\partial f}{\partial n} = 0$ , то величина  $f_0$  у фіктивній точці вибирається у вигляді  $f_0 = f_1$ .

Таким чином, алгоритм знаходження густини, компонент швидкості і тиску на наступному часовому шарі складається з двох етапів, на першому з яких заповнюються фіктивні комірки, а на другому – обчислюються значення  $\hat{\rho}_{i,j,k}$ ,  $(\hat{u}_{x_1})_{i,j,k}$ ,  $(\hat{u}_{x_2})_{i,j,k}$ ,  $(\hat{u}_{x_3})_{i,j,k}$  й  $\hat{E}_{i,j,k}$  на наступному часовому шарі.

Стационарний розв’язок знаходиться методом устанавлення і вважається досягнутим при виконанні одного і наступних критеріїв:

$$\frac{1}{N_{x_1}N_{x_2}N_{x_3}} \sum_{(x_{1i}, x_{2j}, x_{3k}) \in w_h} \left| \frac{\hat{\rho}_{i,j,k} - \rho_{i,j,k}}{\rho_{i,j,k} \Delta t} \right| \leq \varepsilon; \tag{24}$$

в якому нев’язка  $\varepsilon$  може варіюватися у залежності з розрахунком, а  $N_{x_1}$ ,  $N_{x_2}$ ,  $N_{x_3}$  – число вузлів сітки по  $x_1$ ,  $x_2$  і  $x_3$ , або

$$\max_{(x_{1i}, x_{2j}, x_{3k}) \in w_h} \left| \frac{\hat{\rho}_{i,j,k} - \rho_{i,j,k}}{\rho_{i,j,k} \Delta t} \right| \leq \varepsilon. \tag{25}$$

де  $w_h$  – вузли сітки.

Для знаходження розв’язку системи алгебраїчних рівнянь (19)–(23) у роботі застосовано багатосітковий метод із зовнішніми ітераціями за нелінійністю. Припущено, що для визначеності на межах задані умови Дирихле (граничні умови звичайного диференційного рівняння або диференційного рівняння у частинних похідних, в яких на кордоні визначається значення невідомої функції), тобто значення при  $j = 1, j = J, k = 1, k + K$  відомі. Тоді

$$\begin{cases} u_{1,k}^{n+1} = \varphi_1(x_3^{n+1}, (x_2)_k), k = 1, \dots, K; \\ u_{J,k}^{n+1} = \varphi_2(x_3^{n+1}, (x_2)_k), k = 1, \dots, K; \\ u_{j,1}^{n+1} = \psi_1(x_3^{n+1}, (x_1)_j), j = 1, \dots, J; \\ u_{j,K}^{n+1} = \psi_2(x_3^{n+1}, (x_1)_j), j = 1, \dots, J. \end{cases} \tag{26}$$

Система (19)–(23) має шаблон, наведений на рис. 2, з якого видно, що на шарі  $n + 1$  зав’язані значення у 5 вузлах сітки. Тоді поставлена задача зводиться до знаходження рішення  $u_{n+1}$  в системі (19)–(23) з граничними умовами (26).

Видно, що сукупність усіх рівнянь (19)–(23) і (26) являє собою систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Щоб конкретизувати вид системи, необхідно ввести який-небудь спосіб нумерації (лінійного упорядкування) всіх невідомих на шарі  $n + 1$ . У роботі пропонується нумерація невідомих згідно рис. 3, яка відповідає заміні  $v_{j+J(k-1)} = u_{j,k}^{n+1}$ .

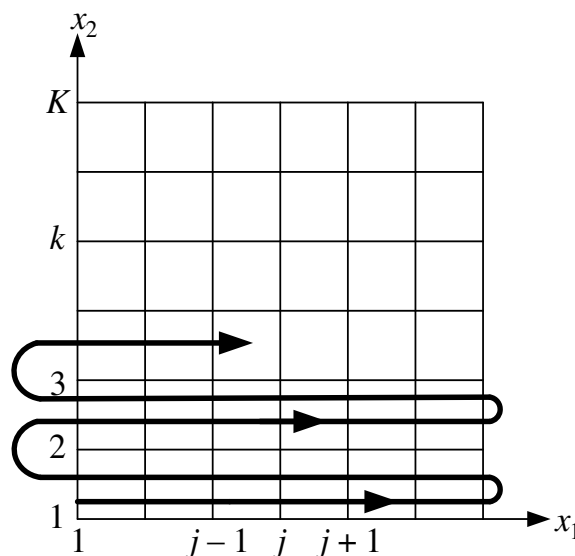


Рис. 3. Порядок нумерації всіх невідомих значень на шарі  $n + 1$

Для сіткового аналога кожне рівняння системи (19)–(23) має узагальнений вигляд:

$$a_m v_{m-j} + b_m v_{m-1} + c_m v_m + d_m v_{m+1} + e_m v_{m+j} + \dots = f_m; \quad (27)$$

де  $a_m, b_m, c_m, d_m, e_m$  – коефіцієнти перед невідомими.

Таким чином, система лінійних алгебраїчних рівнянь матиме вигляд:

$$Av = f; \quad (28)$$

де  $v = (v_1, \dots, v_M)^T$ ;  $M = JK$ , матриця  $A$  є 5-діагональною матрицею, структура якої наведена на рис. 4.

Особливістю системи (28) є необхідність одночасного використання п'яти матричних рівнянь у всіх видах ітерацій (ітерацій Якобі для лінеаризованих систем й ітерацій за нелінійністю).

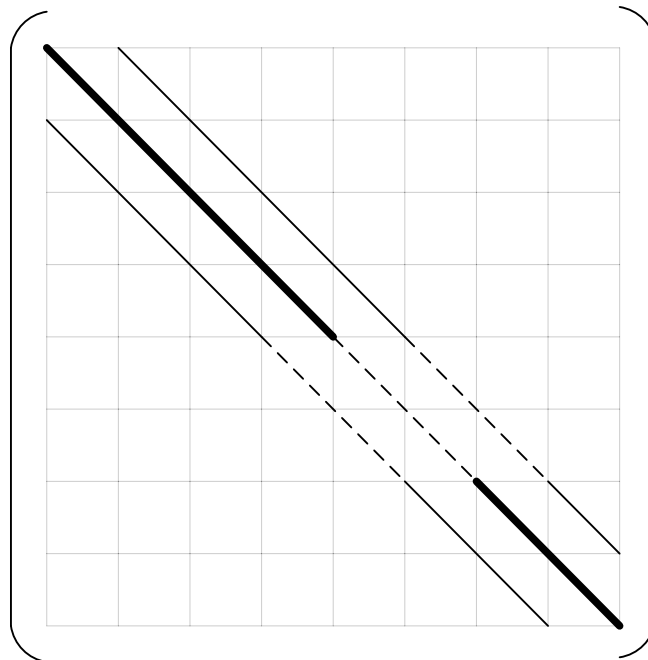


Рис. 4. Структура матриці  $A$  у просторі

Таким чином, отримана варіаційно-різницева схема першого порядку апроксимації за часом і простором. Для розв'язку систем алгебраїчних рівнянь на кожному часовому шарі застосовується точковий метод Якобі [12]. Збіжність цього методу й ітерацій за нелінійністю значно прискорюється при використанні в якості початкового наближення квадратичної екстраполяції значень за часом з двох часових шарів замість просто перенесення значень з попереднього шару. Зважаючи на істотне діагонального переважання середня кількість ітерацій, необхідна для збіжності методу Якобі на сітці  $1001 \times 101$  вузлів, складає не більше 10.

Алгоритм реалізації різницевої апроксимації системи рівнянь Нав'є-Стокса представлено на рис. 5, у якому використані наступні методи, які дозволили збільшити швидкість розрахунків:

1. При розрахунках у пам'яті зберігається інформація тільки про  $n$ -й і  $(n + 1)$ -й часові шари. При переході на наступний крок у часі, дані комірок з  $(n + 1)$ -го шару переписуються в  $n$ -й шар й ітерація повторюється. Даний спосіб дозволяє значно скоротити об'єм займаної оперативної пам'яті, тобто в пам'яті зберігається тільки  $2nX$  комірок, що дозволяє істотно збільшити швидкість розрахунків.

2. Результати, отримані при одній ітерації, в той же момент відображаються на графіках, які будуються у динаміці, що робить даний алгоритм максимально динамічним й зручним при використанні, наочно і зрозуміло користувачеві.

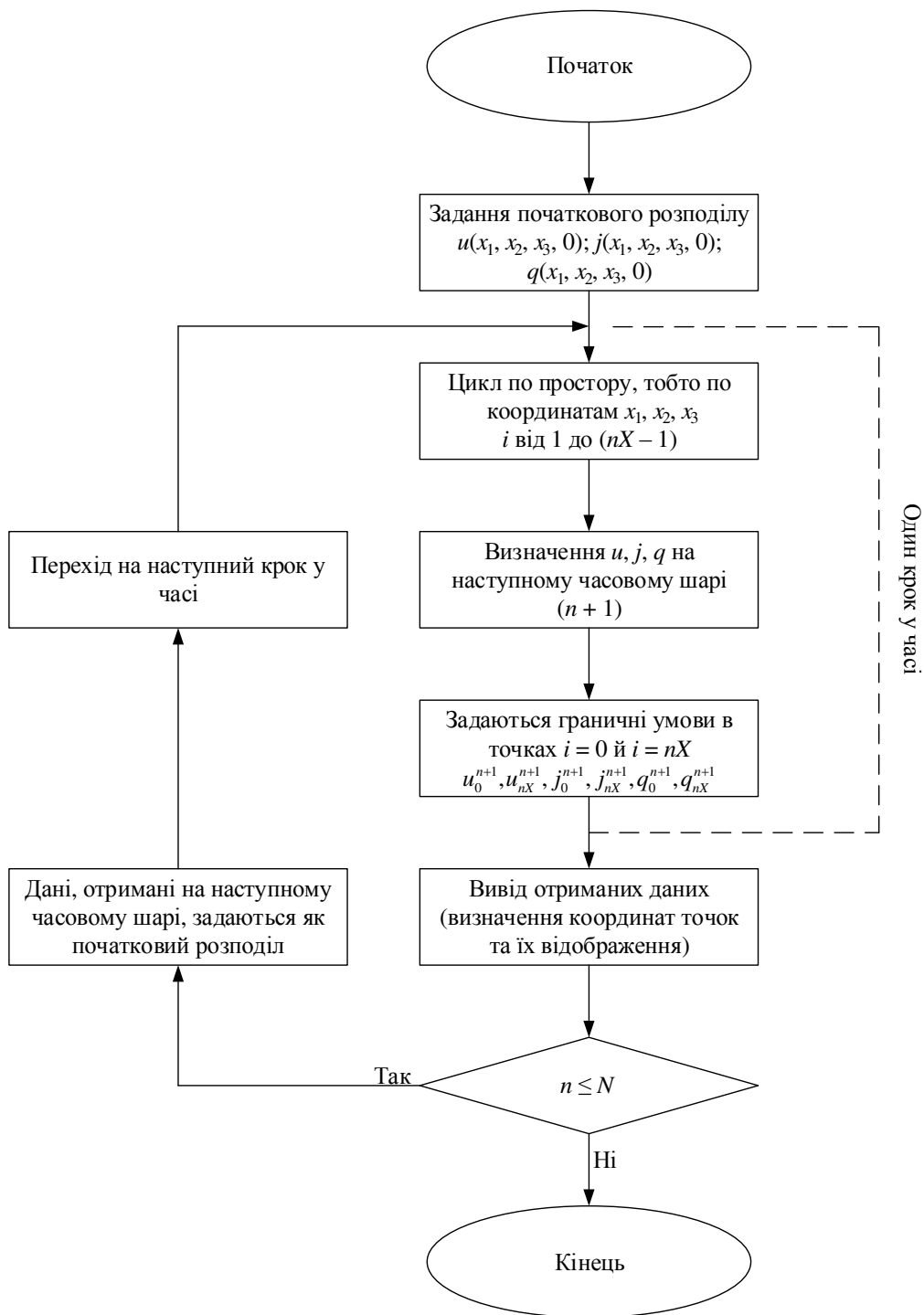


Рис. 5. Алгоритм реалізації різницевої апроксимації рівнянь Нав'є-Стокса

У табл. 2 показано робочі програми, побудовані за послідовним алгоритмом з «червоно-чорним» упорядкуванням [13], використовуючи, в залежності від розміщення, окремі сітки. Розрахунки проводилися на одному обчислювальному вузлі кластеру із використанням компілятора C++.

Таблиця 2

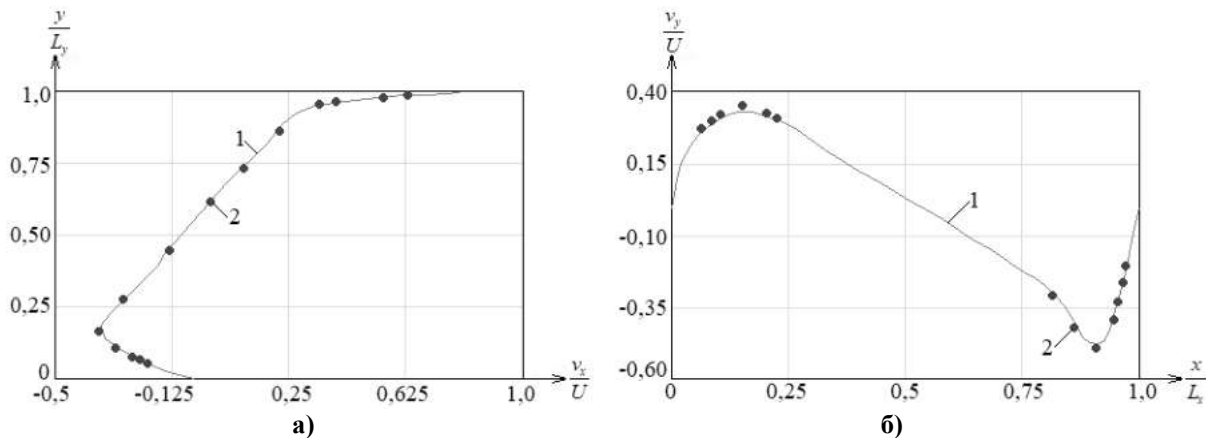
Час роботи послідовної програми при використанні різних сіток (точність  $\epsilon = 0,001$ )

Сітка	Кількість ітерацій	Час обчислень, с
128 × 128	1004	21
256 × 256	3176	294
512 × 512	12160	5037
1024 × 1024	53713	107655

З табл. 2 видно, що при зменшенні кожного кроку рівномірної сітки в 2 рази число ітерацій збільшується нелінійно, зростає обсяг обчислень і час роботи програми при кожній зміні розмірів сітки збільшується більш ніж на порядок. Тим самим стає актуальним скорочення часу роботи програми за рахунок використання ЕОМ з паралельною архітектурою.

Для перевірки правильності роботи побудованого алгоритму і програми були проведені порівняння розрахункових даних з результатами, представленими в [14]. На рис. 6, а для квадратної каверни показаний профіль поздовжньої швидкості  $v_x$  в середньому поперечному перерізі компресора авіаційного двигуна ТВ3-117  $x = L_x$ , отриманий в результаті обчислень, на рис. 6, б побудований графік поперечної швидкості  $v_y$  в середньому поздовжньому перерізі компресора авіаційного двигуна ТВ3-117.

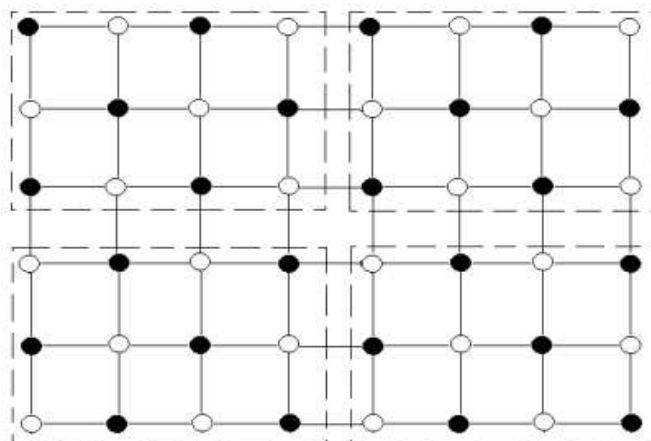
Видно, що навіть при використанні для конвективних членів протипотікової апроксимації першого порядку на докладній сітці має місце «досить гарне» узгодження з розрахунками, отриманими на основі використання різницевої схеми більш високого порядку на відносно більш грубій сітці [14].



**Рис. 6. Графік поздовжньої швидкості (при  $x = L_x / 2$ ) та поперечної (при  $y = L_y / 2$ ):  
1 – отриманий на сітці  $256 \times 256$ ; 2 – розрахунки [14]**

Побудова паралельної версії алгоритму SIMPLE здійснювалося на основі принципу геометричної декомпозиції [15] гратчастої області, коли вся область дослідження ділиться на рівні по площі частини (або за кількістю сіткових вузлів), обчислення в яких слід проводити одночасно і незалежно. Основна обчислювальна складність алгоритму SIMPLE – це розв’язок на кожній глобальній ітерації систем сіткових рівнянь для компонент швидкості і поправки тиску. Для вирішення таких систем в даній роботі пропонується використовувати метод релаксації, оскільки інші методи більш швидко сходяться при послідовних обчисленнях (GMRES, BiCGStab, CG тощо). При паралельній реалізації на основі методу геометричної декомпозиції показують збільшення загального обсягу обчислювальної роботи (числа ітерацій для забезпечення збіжності із заданою точністю) при зростанні кількості застосовуваних в обчисленнях процесорів в порівнянні з послідовною версією [13].

У даній роботі використовувався більш ефективна у порівнянні з одновимірної двовимірною декомпозиція гратчастої області, коли вся розрахункова область ділиться на двовимірні блоки однакових розмірів (рис. 7), в кожному з яких значення сіткових функцій обчислюються одночасно і незалежно.

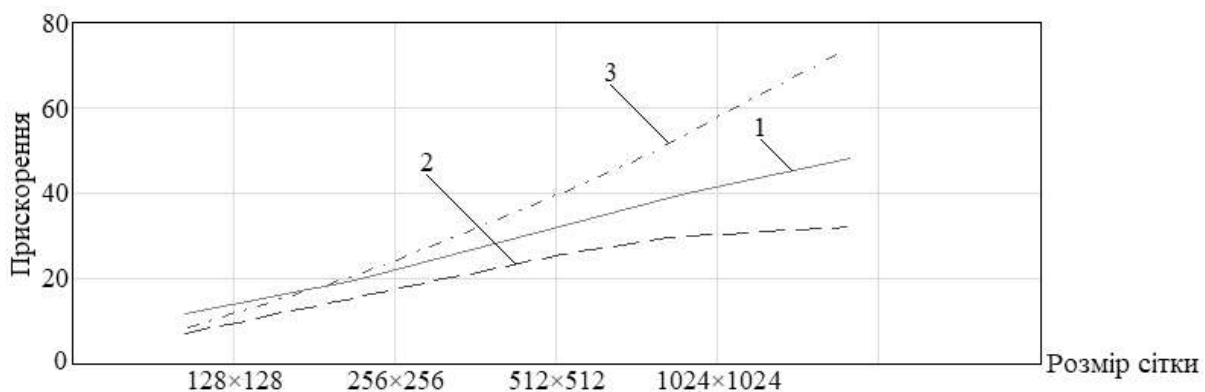


**Рис. 7. Геометрична декомпозиція даних**

Однак для забезпечення таких ідеально паралельних обчислень необхідно забезпечити кожну підобласть додатковими значеннями сіткових функцій, які належать вузлів з сусідніх по декомпозиції підобластей, але проте ж необхідні для обчислень відповідно до обраного шаблону «хрест». Така декомпозиція називається декомпозицією з перекриттям і її реалізація вимагає обмінів «примежових» значень сіткової функції на кожній ітерації методу релаксації. Для отримання ефективного паралельного алгоритму необхідно, щоб витрати часу на передачу даних між сусідніми підобластями були істотно менші часу обчислень на кожній ітерації.

Розроблений паралельний алгоритм був реалізований на паралельних ЕОМ з різною архітектурою: обчислювальний кластер і сервер з відеокартою NVIDIA GTS250. При створенні паралельної програми для кластера використовувався стандарт Message Passing Interface, а для сервера з графічними процесорами – технологія Compute Unified Device Architecture. Паралельна версія програми для кожного випадку виходить на основі послідовної, при цьому застосування бібліотеки MPI змінює код послідовної програми лише частково, в той час як для технології CUDA потрібно повне перестроювання послідовної програми.

На рис. 8 показано прискорення (відношення часу роботи послідовної програми до часу роботи паралельної) паралельних програм, написаних з використанням CUDA або MPI-інтерфейсу, на різних сітках. MPI-програма була запущена на 32 і 64 обчислювальних ядрах кластера. З рис. 8 видно, що прискорення паралельних програм зростає зі збільшенням розмірів сітки, що пов'язано зі збільшенням обсягу обчислювальної роботи у порівнянні з комунікаційними витратами. Для вирішення даної задачі на сітках з різною щільністю вузлів продуктивність сервера з відеокартою виявилася кращою 32 обчислювальних ядер кластера, але гірше ніж 64, проте з економічної точки зору розрахунки на відеокарті NVIDIA GTS250 краще використання 64 обчислювальних ядер кластера в силу меншого енергоспоживання і вартості.



**Рис. 8. Прискорення паралельних програм на різних сітках:  
1 – CUDA 2 – MPI-32 PROC; 3 – MPI-64 PROC**

На сітці 1024×1024 час розрахунку послідовної програми становить близько 30 годин, відповідно до рис. 6, час роботи програми з використанням сервера з відеокартою NVIDIA GTX250 скоротилося до 30 хв, і до 20 хв з використанням 64 обчислювальних ядер обчислювального кластера.

### Висновки

1. Розроблений алгоритм дозволяє моделювати ситуації, які могли б статися під час експлуатації авіаційного двигуна ТВ3-117, що надає можливості проаналізувати вже минулі або передбачити розвиток майбутніх подій в тій чи іншій ситуації.

2. Даний алгоритм можливо використовувати для динамічного відображення стану авіаційного двигуна в режимі реального часу, тобто застосувати його для створення програмного комплексу, який здійснює моніторинг динамічних (перехідних) процесів в авіаційному двигуні ТВ3-117. Дана розробка дозволить:

- скоротити кількість аварійних ситуацій;
- збільшити швидкість реагування на будь-яку несправність;
- зменшити експлуатаційне навантаження на двигун.

3. Розроблено версії алгоритму SIMPLE, що орієнтовані на використання високопродуктивної обчислювальної техніки з паралельною архітектурою, а саме багатопроцесорного Linux-кластера з розподіленою пам'яттю або сервера з графічними прискорювачами. В основі розроблених паралельних алгоритмів лежить застосування принципу неодномірності геометричної декомпозиції, «червоно-чорного» упорядкування при обході вузлів сітки і методу релаксації для вирішення сіткових рівнянь. У



результаті отримані паралельні алгоритми чисельного розв'язку рівнянь Нав'є-Стокса володіють чудовою властивістю прямопропорційного зменшення числа арифметичних операцій, які виконуються одним процесором/ядром, при збільшенні загальної кількості використовуваних обчислювальних процесорів/ядер.

4. При розв'язку задачі руху газодинамічного потоку в компресорі авіаційного двигуна ТВ3-117 отримана властивість паралельних алгоритмів дозволила забезпечити прискорення в обчисленнях на сітках з більш ніж 106 вузлів в кілька десятків разів. Крім того, аналіз результатів обчислень показав високу ефективність побудованого паралельного алгоритму на графічних процесорах, що істотно розширює можливості при чисельному дослідженні інших задач механіки рідини і газу.

5. Отримані результати можуть бути застосовані й для інших видів авіаційних двигунів. Перспективами дослідження є проведення обчислень часу роботи послідовної програми при використанні різних сіток на більш високошвидкісних процесорах та відео картах та його зменшення з метою подальшого використання отриманих результатів в бортовій системі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117.

#### Список використаної літератури

1. Ntantis E. L., Botsaris P. N. Diagnostic methods for an aircraft engine performance. *Journal of engineering science and technology*. 2015. Review 8 (4). Pp. 64–72.
2. Kiakojoori S., Khorasani K. Dynamic neural networks for gas turbine engine degradation prediction, health monitoring and prognosis. *Neural Computing & Applications*. 2016. Vol. 27. No. 8. Pp. 2151–2192.
3. Pashayev A. M., Askerov D. D., Ardil C., Sadiqov R. A., Abdullayev P. S. Complex condition monitoring system of aircraft gas turbine engine. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. 2007. Vol. 1. No. 11. Pp. 689–695.
4. Shmelov Yu., Vladov S., Derevyanko I., Dieriabina I., Chyzhova L. Identification of rear model of TV3-117 aircraft engine based on the basis of neuro-multi-functional technologies. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. 2019. No. 1 (7). Pp. 43–49.
5. Васильев В. И., Жернаков С. В. Контроль и диагностика технического состояния авиационных двигателей на основе экспертных систем. *Вестник УГАТУ*. 2007. Т. 9. № 4 (22). С. 11–23.
6. Жернаков С. В. Методология системного анализа для решения проблемы информационного мониторинга состояния авиационного двигателя. *Вестник УГАТУ*. 2010. Т. 14. № 3 (38). С. 71–81.
7. Li R, Shi Y. J. The fuel optimal control problem of a hypersonic aircraft with periodic cruising mode. *Mathematical and Computer Modelling*. 2012. Vol. 55, Issues 11–12. Pp. 2141–2150.
8. Котовский В. Н. Техническая термодинамика. М. : Московский государственный технический университет гражданской авиации. 2015. С. 72–83.
9. Алгазин С. Д. Численное исследование уравнений Навье-Стокса. *Прикладная механика и техническая физика*. 2007. Том 48. № 5. С. 43–52.
10. Елизарова Т. Г. Математические модели и численные методы в динамике газа и жидкости. М. : МГУ им. М.В. Ломоносова. 2005. С. 73–87.
11. Kamyshin V. E., Mazhorova O. S. Algorithm for solving the Navier-Stokes equations for the modeling of creeping flows. *Differential Equations*. 2017. Vol. 53, Issue 7. Pp. 949–963.
12. Wang F., Zheng Y. Alternative method of progressive eigenvalue of the unbounded Jacobi matrix. *Applied mechanics and materials*. 2014. Vol. 543–547. Pp. 846–849.
13. Деги Д. В., Старченко А. В. Численное решение уравнений Навье-Стокса на компьютерах с параллельной архитектурой. *Вестник Томского государственного университета*. 2012. № 2 (18). С. 88–98.
14. Ghia U., Ghia K. N., Shin C. T. High-Resolutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a multigrid method. *Journal of computational physics*. 1982. Vol. 48. Pp. 387–411.
15. Богословский Н. Н., Есаулов А. О., Старченко А. В. Параллельная реализация алгоритма вычислительной гидродинамики SIMPLE. *Сибирская школа семинар по параллельным вычислениям*. 2002. С. 118–124.

#### References

1. Ntantis, E. L., Botsaris, P. N. (2015), “Diagnostic methods for an aircraft engine performance”, *Journal of engineering science and technology*. Review 8 (4). P. 64–72.
2. Kiakojoori, S., Khorasani, K. (2016), “Dynamic neural networks for gas turbine engine degradation prediction, health monitoring and prognosis”, *Neural Computing & Applications*. Vol. 27. No. 8. P. 2151–2192.

3. Pashayev, A. M., Askerov, D. D., Ardil, C., Sadiqov, R. A., Abdullayev, P. S. (2007), “Complex condition monitoring system of aircraft gas turbine engine”, *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*. Vol. 1. No. 11. P. 689–695.
4. Shmelov, Yu., Vladov, S., Derevyanko, I., Dieriabina, I., Chyzhova, L. (2019), “Identification of rear model of TV3-117 aircraft engine based on the basis of neuro-multi-functional technologies”, *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. No. 1 (7). P. 43–49.
5. Vasilev, V. I., Zhernakov, S. V., (2007), “Control and diagnostics of aircraft engines technical condition based on expert systems” [“Kontrol i diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya aviacionnykh dvigatelej na osnove ekspertnykh sistem”], *Bulletin of USATU*, Vol. 9, No. 4 (22), P. 11–23..
6. Zhernakov, S. V., (2010), “System analysis methodology for solving the problem of information monitoring of aircraft engines condition” [“Metodologiya sistemnogo analiza dlya resheniya problemy informacionnogo monitoringa sostoyaniya aviacionnogo dvigatelya”], *Bulletin of USATU*, Vol. 14, No. 3 (38), P. 71–81.
7. Li, R, Shi, Y. J. (2012), “The fuel optimal control problem of a hypersonic aircraft with periodic cruising mode”, *Mathematical and Computer Modelling*. Vol. 55, Issues 11–12. P. 2141–2150.
8. Kotovskii, V. N., (2015), *Technical Thermodynamics* [“Tekhnicheskaya termodinamika”], Moscow : Moscow State Technical University of Civil Aviation, P. 72–83.
9. Algazin, S. D., (2007), “Numerical research of the Navier-Stokes equations” [“Chislennoe issledovanie uravnenij Nav`e-Stoksa”], *Applied Mechanics and Technical Physics*, Vol. 48, No. 5, P. 71–81.
10. Elizarova, T. G., (2005) *Mathematical models and numerical methods in the dynamics of gas and liquid* [Matematicheskie modeli i chislennye metody v dinamike gaza i zhidkosti]. Moscow : Lomonosov Moscow State University, P. 73–87.
11. Kamyshin, V. E., Mazhorova, O. S. (2017), “Algorithm for solving the Navier-Stokes equations for the modeling of creeping flows”, *Differential Equations*. Vol. 53, Issue 7. P. 949–963.
12. Wang, F., Zheng, Y. (2014), “Alg Alternative method of progressive eigenvalue of the unbounded Jacobi matrix”, *Applied mechanics and materials*. Vol. 543–547. P. 846–849.
13. Degi D. V., Starchenko A. V. (2012), “Numerical solution of Navier-Stokes equations on computers with parallel architecture”, *Tomsk state university journal*. No. 2 (18). P. 88–98.
14. Ghia U., Ghia K. N., Shin C. T. (1982), “High-Resolutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a multigrid method”, *Journal of computational physics*. Vol. 48. P. 387–411.
15. Bogoslovskij N. N., Esaulov A. O., Starchenko A. V. (2002), “Parallel implementation of the SIMPLE computational fluid dynamics algorithm”, *Siberian School Seminar on Parallel Computing*. P. 118–124.

УДК 621.777.4

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.3>

Н.С. ГРУДКІНА

Донбаська державна машинобудівна академія

ORCID: 0000-0002-0914-8875

Л.І. АЛІЄВА

Донбаська державна машинобудівна академія

ORCID: 0000-0002-5283-925X

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТРАПЕЦЕЇДАЛЬНИХ КРИВОЛІНІЙНИХ КІНЕМАТИЧНИХ МОДУЛІВ

*В роботі представлено розрахунки складових приведеного тиску деформування трапецеїдального кінематичного модуля із криволінійною похилою межею в рамках використання енергетичного методу балансу потужностей при моделюванні процесів комбінованого видавлювання з декількома степенями свободи течії металу. Розроблений кінематичний модуль дозволяє описати складний характер течії металу у процесі комбінованого радіально-зворотного видавлювання порожнистих деталей з фланцем. Отримано потужності сил деформування, зрізу із суміжними кінематичними модулями та тертя на поверхні контакту заготовки та інструменту. Проведено порівняльний аналіз силових параметрів процесу деформування розрахункових схем, що містять трапецеїдальний модуль з похилою прямолінійною та криволінійною межами відповідно. Встановлено, що оптимізація за кінематичним параметром – швидкістю заповнення стінки стакану, що формується, є можливою за різних співвідношень параметрів процесу комбінованого видавлювання. Рациональність застосування криволінійної межі у вигляді  $z = z_2(r)$  підтверджена виконанням умови  $\bar{p}_2 < \bar{p}_1$  для оптимальних значень за різних співвідношень та умов тертя. Отримані вирази потужностей сил деформування, зрізу із суміжними кінематичними модулями та тертя на поверхні контакту заготовки та інструменту можуть бути використані як складові у інших розрахункових схемах комбіновано видавлювання з декількома степенями течії металу. Згідно з отриманими даними застосування трапецеїдального кінематичного модуля із похилою криволінійною межею дозволить зменшити прогнозовані розрахунки за силовими параметрами процесу деформування на 5–7%. Це сприятиме отриманню більш адекватної оцінки характеру течії металу всередині напівфабрикату і силового режиму, а в широкому розумінні розширенню можливостей комбінованого радіально-зворотного видавлювання.*

*Ключові слова:* комбіноване видавлювання, енергетичний метод верхньої оцінки, кінематичний модуль, приведений тиск деформування.

Н.С. ГРУДКИНА

Донбасская государственная машиностроительная академия

ORCID: 0000-0002-0914-8875

Л.И. АЛИЕВА

Донбасская государственная машиностроительная академия

ORCID: 0000-0002-5283-925X

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОМБИНИРОВАННОГО ВИДАВЛИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

*В работе представлены расчеты составляющих приведенного давления деформирования трапецеидального кинематического модуля с криволинейной наклонной границей в рамках использования энергетического метода баланса мощностей при моделировании процессов комбинированного выдавливания с несколькими степенями свободы течения металла. Разработанный кинематический модуль позволяет описать сложный характер течения металла в процессе комбинированного радиально-обратного выдавливания полых деталей с фланцем. Получены мощности сил деформирования, среза со смежными кинематическими модулями и трения на поверхности контакта заготовки и инструмента. Проведен сравнительный анализ силовых параметров процесса деформирования расчетных схем, содержащих трапецеидальный модуль с наклонной прямолинейной и криволинейной границами соответственно. Установлено, что оптимизация по кинематическому параметру - скорости заполнения формирующейся стенки стакана возможна при различных соотношениях параметров процесса комбинированного выдавливания. Рациональность применения*

криволинейной границы в виде  $z = z_2(r)$  подтверждена выполнением условия  $\bar{p}_2 < \bar{p}_1$  для оптимальных значений при различных соотношениях и условиях трения. Полученные выражения мощностей сил деформирования, среза со смежными кинематическими модулями и трения на поверхности контакта заготовки и инструмента могут быть использованы как составляющие в других расчетных схемах комбинированно выдавливание с несколькими степенями свободы течения металла. Согласно полученным данным применение трапециoidalного кинематического модуля с наклонной криволинейной границей позволит уменьшить прогнозируемые расчеты силовых параметров процесса деформирования на 5–7%. Это будет способствовать получению более адекватной оценки характера течения металла внутри полуфабриката и силового режима, а в широком смысле расширению возможностей комбинированного радиально-обратного выдавливания.

*Ключевые слова:* комбинированное выдавливание, энергетический метод верхней оценки, кинематический модуль, приведенное давление деформирования.

N.S. HRUDKINA

Donbass State Engineering Academy

ORCID: 0000-0002-0914-8875

L.I. ALIEVA

Donbass State Engineering Academy

ORCID: 0000-0002-5283-925X

### MODELING OF COMBINED EXTRUSION PROCESSES USING TRAPEZOIDAL CURVED KINEMATIC MODULES

*The paper presents the calculations of the components of the deformation pressure of the trapezoidal kinematic module with a curved inclined boundary in the framework of using the energy method of power balance in modeling the processes of combined extrusion with several degrees of freedom of metal flow. The developed kinematic module allows us to describe the complex nature of the metal flow in the process of combined radial-backward extrusion of hollow parts with a flange. The power of the forces of deformation, shear with adjacent kinematic modules and friction on the contact surface of the workpieces and tool are obtained. We conducted a comparative analysis of the power parameters of the process of deformation of design schemes containing a trapezoidal module with an inclined rectilinear and curvilinear boundaries, respectively. It has been established that optimization with respect to the kinematic parameter – the filling rate of the forming glass wall - is possible with various ratios of the parameters of the combined extrusion process. The rationality of the use of a curved border in the form  $z = z_2(r)$  is confirmed by the fulfillment of the conditions  $\bar{p}_2 < \bar{p}_1$  for optimal values under various ratios and conditions of friction. The obtained expressions of the power of the forces of deformation, shear with adjacent kinematic modules and friction on the contact surface of the workpieces and tool can be used as components in other calculation schemes combined extrusion with several degrees of freedom of metal flow. According to the data obtained, the use of a trapezoidal kinematic module with an inclined curved border will reduce the predicted calculations of the force parameters of the deformation process by 5-7%. This will contribute to obtaining a more adequate assessment of the nature of the metal flow inside the semi-finished product and the power regime, and in the broad sense, expanding the capabilities of combined radial-backward extrusion.*

*Keywords:* combined extrusion, energy upper bound method, kinematic module, deformation pressure.

#### Постановка проблеми

На даний час технологічні способи холодного об'ємного деформування (ХОД) завдяки різноманіттю можливостей і високій ефективності в порівнянні з іншими процесами формоутворення деталей демонструють стійку тенденцію до збільшення обсягів виробництва точних заготовок та розширенню номенклатури штампованих деталей [1, 2]. Розвиток процесів ХОД пов'язаний із розробкою і освоєнням саме процесів комбінованого поперечно-поздовжнього видавлювання (суміщеного та послідовного) [3]. А поєднання радіального і поздовжнього видавлювання відкриває великі перспективи в забезпеченні високої складності одержуваних деталей із фланцями та відростками різної форми та зниження силових параметрів процесу деформування [4]. Однак слід враховувати, що процеси комбінованого видавлювання з декількома степенями свободи течії металу проходять в саморегульованого режимі, тому вимагають наявності попередньої оцінки силового режиму деформування та, що не найголовніше, із поетапної формозміни напівфабрикату. Зазначимо, що на даний час є об'єктивні труднощі, пов'язані з визначенням оптимальних кінематичних параметрів процесу (швидкості витікання металу у різних напрямках) і отримання приведенного тиску в аналітичному вигляді. Це призводить до труднощів в отриманні інженерних формул розрахунку силового режиму та збільшень напівфабрикату, що відповідають дійсності (експериментальним даним) і, як наслідок,

ускладнюють попередню оцінку раціональності використання процесів комбінованого суміщеного видавлювання.

Перспективним в рамках використання енергетичного методу балансу потужностей, як ефективного теоретичного методу моделювання процесів комбінованого видавлювання, є розробка нових кінематичних модулів. Потреба у розробці модулів трапецеїдальної та трикутної форми ґрунтується на необхідності опису складної течії металу всередині заготовки та особливостей конфігурації інструменту. Саме розширення бази уніфікованих кінематичних модулів із криволінійними границями дозволить повною мірою використовувати всі можливості енергетичного методу та отримати оптимальні кінематичні та геометричні параметри, що забезпечать визначення силового режиму і приростів напівфабрикату. Це в свою чергу, заповнить нестачу рекомендацій щодо використання процесів комбінованого видавлювання з декількома степенями свободи течії металу на виробництві.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

На даний час дослідження процесів комбінованого видавлювання проведено скінченно-елементним моделюванням та експериментально, а отримані результати мають обмежений характер [7-13]. Основна частина рішень отримані для визначення енергосилових параметрів процесу та вимагає чисельних розрахунків. В роботі [5] представлений аналіз впливу геометричних параметрів (радіус заокруглення матриці, висоти зазору та умов тертя) в процесі прямого-радіально-зворотного видавлювання. При цьому використовували метод скінчених елементів (МСЕ) в програмному забезпеченні ABAQUS та аналітичних залежностей силових параметрів і збільшень напівфабрикату не отримано. В роботі [6] досліджено процес комбінованого зворотно-прямого видавлювання методом верхньої оцінки із застосуванням довільно орієнтованих трикутних елементів, об'єднаний з методом скінчених елементів (UBET). Аналіз напружено-деформованого стану та силового режиму у процесі комбінованого видавлювання порожнистих конічних деталей у роботі [7] проведено МСЕ та не ставив за мету отримання аналітичних залежностей тиску деформування.

У роботах [8, 9] МСЕ досліджено процес двостороннього радіально-зворотного видавлювання порожнистих деталей з фланцем при різних змінних факторах (величина зазорів, радіуси закруглення матриці і умови тертя). Автори стверджують, що умови тертя мають незначний вплив на силові параметри процесу деформування і деформацію зразка.

Ряд робіт присвячений питанням оцінки деформованого стану та умов появи дефектів деталей у процесах холодного комбінованого видавлювання. Робота [10] присвячена оцінці граничної формозміни заготовок з різних матеріалів в процесах холодного об'ємного деформування, а саме проведено розрахунки ресурсу пластичності за різними критеріями для процесу комбінованого радіально-прямого видавлювання. Ряд робіт присвячений проблемам дефектоутворення у процесах комбінованого видавлювання [11, 12]. Запропоновано діаграму областей, критичних з точки зору утворення дефекту у вигляді утягнення у донній частині при комбінованому видавлюванні деталей з фланцем [11]. Для осесиметричного процесу радіально-прямого видавлювання запропонований аналітичний підхід, заснований на визначенні компонентів простих полів швидкостей із паралельним перебігом в рамках використання енергетичного методу верхньої оцінки [13].

Однак останні дослідження в рамках використання кінематичних модулів складної конфігурації із криволінійними межами в порівнянні із кінематичними модулями простішої форми вказують на можливості зниження прогнозованих силових режимів та уточнення даних щодо формозміни напівфабрикату. Тому розробка нових кінематичних модулів та аналіз їх раціональності та ефективної вбудовуваності в загальні розрахункові схеми процесів комбінованого видавлювання є актуальною.

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою роботи є розширення можливостей енергетичного методу моделювання процесів комбінованого радіально-зворотного видавлювання завдяки розробці трапецеїдального кінематичного модуля з криволінійною похилою межею та аналіз перспективності його використання.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Ключовими етапами використання енергетичного методу балансу потужностей можна вважати підбір функцій, що описують кінематично можливе поле швидкості (КМПШ) та інструментів спрощення складових енергетичного рівняння, що дозволяють отримувати приведенний тиск у аналітичному вигляді [14]. Це стосується перш за все розрахункових схем, що містять трапецеїдальні модулі з криволінійними границями. Перші спроби вирішити проблеми спрощення розрахунків потужності сил деформування шляхом використання лінеаризації інтенсивності швидкостей деформації виявилися неефективними. Раціональним є визначення функції, що описує криволінійну межу, та подальше застосування верхньої оцінки потужності сил деформування за формулами Коші-Буняковського або кубатурними формулами [15]. За таких умов стає можливою подальше отримання розрахункових формул приведенного тиску деформування та аналіз впливу на оптимального значення кінематичних параметрів геометричних співвідношень та умов тертя.

Розглянемо розрахункову схему процесу комбінованого радіально-зворотного видавлювання

деталей з фланцем (табл. 1). Трапецеїдальний кінематичний модуль 2 в загальному вигляді може мати похилу межу у вигляді лінійної функції  $z = z_1(r)$  або деякої кривої  $z = z_2(r)$ . За загальних позначень маємо  $M = V_0 R_1 / (2h_1)$ , де  $V_0$  - швидкість руху пуансону.

Таблиця 1

Схема процесу комбінованого радіально-зворотного видавлювання	КМПШ процесу комбінованого радіально-зворотного видавлювання
	<p>КМПШ:</p> $\begin{cases} v_{z2} = \frac{W + z'(r)v_{r2}}{z(r)} z, \\ v_{r2} = \frac{M + W(R_1^2 - r^2)}{2r z(r)}. \end{cases}$ <p>Складові інтенсивності швидкостей деформації:</p> $\begin{cases} \dot{\epsilon}_{z2} = \frac{W + z'(r)v_{r2}}{z(r)}, \\ \dot{\epsilon}_{r2} = \left[ \frac{\frac{W}{z(r)} - \frac{M + W(R_1^2 - r^2)}{2r^2 z(r)}}{z'(r) \left( \frac{M + W(R_1^2 - r^2)}{2r^2 z(r)} \right)} \right], \\ \dot{\epsilon}_{\theta 2} = \frac{M + W(R_1^2 - r^2)}{2r^2 z(r)}, \\ \dot{\gamma}_{rz2} = \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{W + z'(r)v_{r2}}{z(r)} \right) \cdot z. \end{cases}$

Покладаючи в загальному вигляді КМПШ модуля 2 межу у вигляді лінійної функції  $z = z_1(r)$ , були отримані результати приведеного тиску деформування процесу радіально-зворотного видавлювання порожнистих деталей з фланцем [11]. Обмеження використання розрахункової схеми даного процесу стосувалися співвідношень  $2R_2 h_1 / (R_2^2 - R_1^2) < 1$ , характерних для переважно зворотного видавлювання. Також отримані результати з урахуванням особливостей протікання процесу деформування дозволили використовувати трапецеїдальний кінематичний модуль 2 із прямолінійною похилою межею для аналізу дефектування у вигляді утягнення в донній частині заготовки. Деталі, отримані комбінованим радіально-зворотним видавлюванням: із С1 із утягненням (рис. 1, а) та із сплавів АД1, АД31, Лб2 та М1 без дефектування (рис. 1, б). Використання прямолінійної границі  $z = z_1(r)$  дозволило отримати дані щодо енергосилових параметрів процесу та формозміння, що відповідають дійсності з прийнятним відхиленням, як для процесу із дефектуванням, так і для процесу без появи утягнення в донній частині заготовки. Однак результати, отримані в роботах останніх років із застосуванням кінематичних модулів з криволінійними межами, доводять ефективність їх застосування у порівнянні із прямолінійними похилими межами. Моделювання зміни вертикальної складової течії металу в Qform 2/3D для  $R_1 = 12$  мм,  $R_2 = 22.5$  мм,  $h_1 = 2$  мм для ходу, що відповідає  $H = 15$  мм (ліва половина) та  $H = 12.6$  мм (права половина) дозволяє зробити висновок про перспективність використання криволінійної межі кінематичного модуля 2 (рис. 2, а). Тому у якості альтернативи прямолінійної межі, використовуємо криву  $z = z_2(r)$  у вигляді (рис. 2, б):

$$z_2(r) = \frac{a}{r-b}, \tag{1}$$

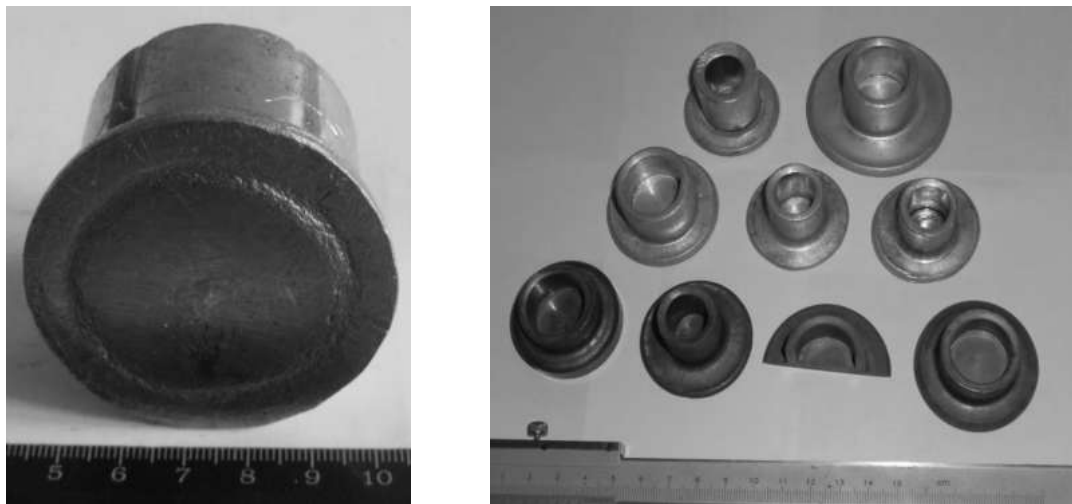
де  $b = \frac{R_1(H+h_1) - h_1 R_2}{H}$ ,  $a = h_1(R_2 - b)$ .

Потужності сил зрізу на поверхнях із суміжними модулями для кінематичного модуля 2 із криволінійною межею (1) приймають вигляд:

$$Nc2-3 = \frac{\pi\sigma_s}{a\sqrt{3}} \left[ \frac{M((R_2-b)^2 - (R_1-b)^2)}{2} + \frac{W}{4} (2R_1^2(R_2^2 - R_1^2) - R_2^4 + R_1^4) - \right. \\ \left. - Wb \left( R_1^2(R_2 - R_1) - \frac{R_2^3 - R_1^3}{3} \right) + \frac{a^2((R_2-b)^2 - (R_1-b)^2)}{2(R_2-b)^2(R_1-b)^2} \right], \quad (2)$$

$$Nc2-4 = \frac{\pi\sigma_s R_2}{\sqrt{3}} \left| \frac{a(M + W(R_1^2 - R_2^2))}{2R_2(R_2-b)^2} - \frac{W(R_2-b)h^2}{a} \right|, \quad (3)$$

$$Nc1-2 = \frac{\pi\sigma_s R_1}{\sqrt{3}} \left| \frac{aM}{2R_1(R_1-b)^2} - (V_0 + W)(H + h_1) \right|. \quad (4)$$



а б  
Рис. 1. Деталі, отримані комбінованим радіально-зворотним видавлюванням:  
а) з утягненням; б) без дефектоутворення

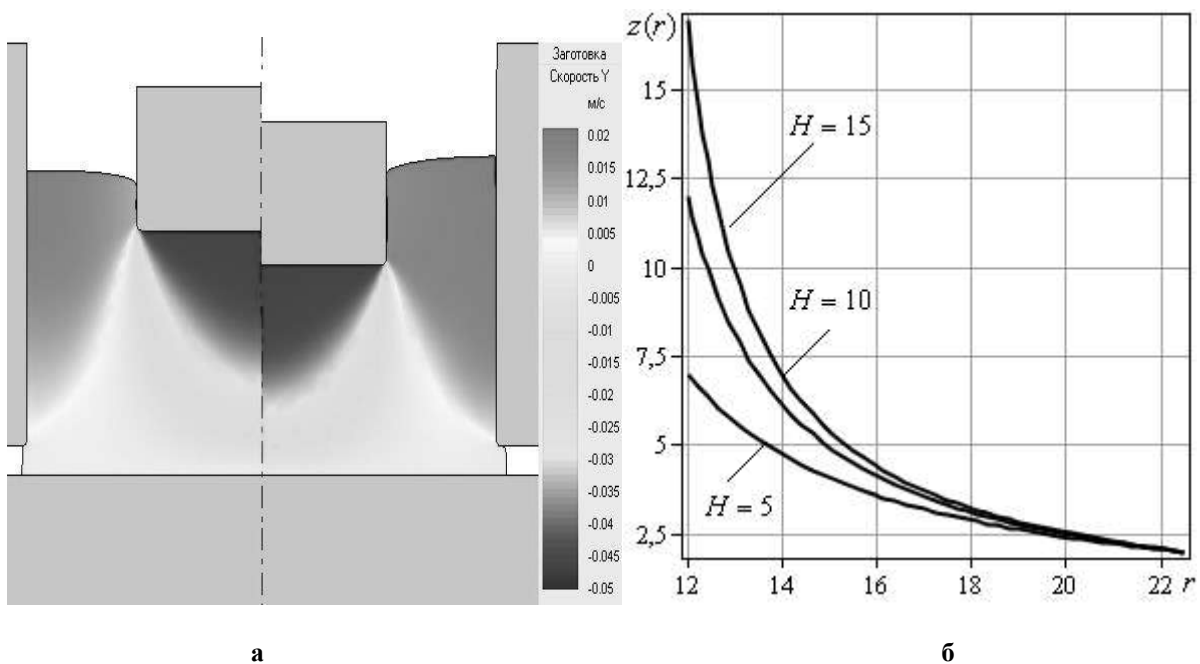


Рис. 2. Моделювання границі розділу течії металу від радіального до зворотного напрямків:  
а) у Qform2/3D; б) теоретично у вигляді  $z = z_2(r)$

Потужності сил тертя на поверхнях заготовки із інструментом для кінематичного модуля 2 із криволінійною межею (1) приймають вигляд:

$$Nt_{2-0} = \frac{2\pi\mu_s\sigma_s}{a\sqrt{3}} \left[ \frac{Wb(R_2^3 - R_1^3)}{3} + \frac{(M + WR_1^2)(R_2 - b)^2 - (R_1 - b)^2}{2} - \frac{W}{4}(R_2^4 - R_1^4) \right]. \quad (5)$$

Використання верхньої оцінки за формулою Коші – Буняковського дозволило отримати вираз складових потужності сил деформування у вигляді:

$$Nd_2 \leq \sqrt{V_2} \iiint_{V_2} \dot{\epsilon}_i^2 dV_2, \quad (6)$$

$$\text{де } V_2 = 2\pi \int_{R_1}^{R_2} r dr \int_0^{z_2(r)} dz = 2\pi a \left( R_2 - R_1 + b \ln \left| \frac{R_2 - b}{R_1 - b} \right| \right) - \text{об'єм області кінематичного модуля 2 із}$$

криволінійною межею.

Використовуючи складові розрахункової схеми із кінематичним модулем 2 з прямолінійною похилою межею  $\bar{p}_1$ , висвітлені у роботі [11], отримати вираз приведенного тиску  $\bar{p}_2$  деформування із удосконаленим модулем 2 з криволінійною межею у вигляді  $z = z_2(r)$  можна із урахуванням складових (2)-(6). Таким чином, дослідження раціональності обраної заміни кривої зводиться до порівняльного аналізу величин приведенного тиску деформування  $\bar{p}_1$  та  $\bar{p}_2$  за схемами із прямолінійною та криволінійною межею відповідно.

Оптимальне значення величини приведенного тиску деформування для обраних розрахункових схем знаходимо, оптимізуючи за кінематичним параметром  $\bar{W} = W/V_0$  - відносною швидкістю витікання металу у вертикальному напрямку, що формує стінку стакану. При цьому дослідження ведемо для відносних геометричних параметрів  $\bar{h}_1 = h_1/R_2$ ,  $\bar{H} = H/R_2$ ,  $\bar{R}_1 = R_1/R_2$ . Порівняльний аналіз залежностей приведенного тиску деформування при  $\bar{R}_1 = 0.62$ ,  $\bar{h}_1 = \bar{H} = 0.2$  для різних умов тертя вказує на подібність отриманих кривих як для розрахункової схеми із прямолінійною межею, так і для використання криволінійної межі кінематичного модуля 2 (рис. 3, а). Оптимальне значення кінематичного параметра  $\bar{W}$  (точка мінімуму) дещо зменшується для схеми із криволінійним кінематичним модулем 2.

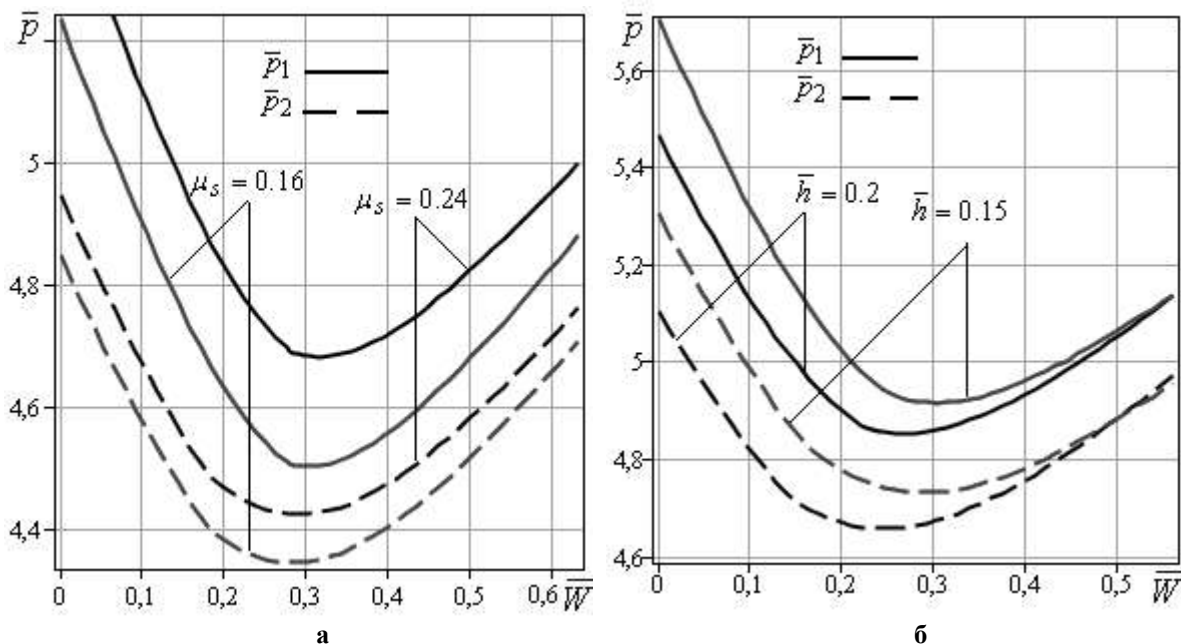


Рис. 3. Залежності приведенного тиску деформування  $\bar{p}_1$  та  $\bar{p}_2$  від відносної швидкості течії металу в вертикальному напрямку: а) за різних умов тертя; б) товщини фланця



При цьому за всіх умов тертя оптимальне значення  $\bar{p}_2$  є меншим за оптимальне значення  $\bar{p}_1$ , тому раціональним є використання удосконаленого модуля 2 із границею у формі  $z = z_2(r)$ . Проаналізовано також вплив відносної товщини фланця на характер кривих приведенного тиску деформування при  $\bar{R}_1 = 0.6$ ,  $\bar{H} = 0.2$ ,  $\mu_S = 0.16$  (рис. 3, б). Збільшення товщини фланця призводить до зменшення величини приведенного тиску деформування для обох розрахункових схем процесу. Характер отриманих кривих є аналогічним із наявністю точки мінімуму, що відповідає оптимальному значенню кінематичного параметра  $\bar{W}$ , за різних геометричних співвідношень. Умова  $\bar{p}_2 < \bar{p}_1$  для оптимального значення підтверджує раціональність вибору криволінійної межі кінематичного модуля 2 по відношенню до прямої лінійної межі. Відмінність оптимального значення відносної швидкості витікання у вертикальному напрямку можна вважати неістотною. Зменшення розрахунків оптимального значення приведенного тиску деформування може досягати 5–7% і збільшується із погіршенням умов тертя.

#### Висновки

Проведений порівняльний аналіз підтвердив можливість оптимізації величини приведенного тиску деформування  $\bar{p}_2$  за кінематичним параметром  $\bar{W}$ , що визначає відносну швидкість заповнення стінки стакану, що формується. Раціональність застосування криволінійної межі у вигляді  $z = z_2(r)$  підтверджена виконанням умови  $\bar{p}_2 < \bar{p}_1$  для оптимальних значень за різних співвідношень та різних умов тертя. Зменшення розрахунків оптимального значення приведенного тиску деформування  $\bar{p}_2$  в порівнянні із величиною  $\bar{p}_1$  може досягати 5–7% і збільшується із погіршенням умов тертя.

Отримані вирази потужностей сил деформування, зрізу із суміжними кінематичними модулями та тертя на поверхні контакту заготовки та інструменту можуть бути використані як складові у інших розрахункових схемах комбіновано видавлювання. Згідно з отриманими даними застосування трапецеїдального кінематичного модуля із похилою криволінійною межею дозволить зменшити прогнозовані розрахунки за силовими параметрами процесу деформування на 5–7%. Це сприятиме отриманню більш адекватної оцінки характеру течії металу і силового режиму, а в широкому розумінні розширенню можливостей комбінованого радіально-зворотного видавлювання.

#### Список використаної літератури

1. Zhang S. H. Some new features in the development of metal forming technology / S. H. Zhang, Z. R. Wang // J. Mater. Process. Technol, 2004. № 1. P. 39–47.
2. Розов Ю. Г. Технологии изготовления прецизионных трубчатых изделий холодным пластическим деформированием : монографія / Ю. Г. Розов. – Херсон: Изд-во ХНТУ, 2013. – 336 с.
3. Saffar S. On the effects of eccentricity in precision forging process / S. Saffar, M. Malaki, B. Mollaei-Dariani // UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering. 2014. Vol. 76. Iss. 1. P. 123–138. ISSN 1454-2358.
4. Алиева Л. И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания: монографія / Л. И. Алиева. – Краматорск: ООО «Тираж - 51». 2018. – 352 с. ISBN 978-966-379-846-2.
5. Farhoumand A. Analysis of forward-backward-radial extrusion process / A. Farhoumand, R. Ebrahimi // Materials and Design 30, 2009. p. 2152–2157.
6. Choi H. J. The forming characteristics of radial-backward extrusion / Choi H. J., Choi J. H., Hwang B. V. // J Mater Process Technol, 2001. № 113. P. 141–147.
7. Алиев И. С., Корденко М. Ю., Самоглядюв А. Д. Комбинированное выдавливание полых конических деталей // Обработка материалов давлением. – 2018. – № 2 (47).
8. Lee H. Y. Forming load and deformation energy in combined radial backward extrusion process / H. Y. Lee, B. V. Hwang, S. H. Lee // Proceedings of the Int. Conf. “Metal Forming 2012” 16-19.09.2012, AGH, Krakow. – pp. 487–490.
9. Yang D. Y. Design of processes and products through simulation of three-dimensional extrusion / D. Y. Yang, K. J. Kim // J. Mater Process Technol. – 2007. – Nr 191. – pp. 2–6.
10. Ogorodnikov V. A. On the Influence of Curvature of the Trajectories of Deformation of a Volume of the Material by Pressing on Its Plasticity Under the Conditions of Complex Loading / V. A. Ogorodnikov, I. A. Derevenko, R. I. Sivak // Materials Science, 2018. Volume 54, Issue 3, pp. 326–332. DOI: 10.1007/s11003-018-0188-x.
11. Hrudkina, N., Aliieva, L. Abhari, P., Markov, O., Sukhovirska, L.: Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5, No. 1 (101), pp. 49-57, 2019, doi:10.15587/1729-4061.2019.179232.

12. Aliiev, I., Aliieva, L., Grudkina, N. and Zhbakov, I.: Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion, Metallurgical and Mining Industry, Vol. 3, No. 7, pp. 17-22, 2011.
13. Ebrahimi R. An analytical approach for radial-forward extrusion process / R. Ebrahimi, M. Reihanian, M.M. Moshksar // Materials and Design. – 2008. – № 29. – pp. 1694–1700.
14. Чудаков П. Д. О вычислении мощности пластической деформации / П. Д. Чудаков // Известия вузов. Машиностроение. – 1979. – № 7. – С. 146–148.
15. Hrudkina, N., Aliieva, L., Abhari, P., Kuznetsov, M., Shevtsov, S.: Derivation of engineering formulas in order to calculate energy-power parameters and a shape change in a semi-finished product in the process of combined extrusion, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 2, No. 7 (98), pp. 49-57, 2019, doi:10.15587/1729-4061.2019.160585.

#### References

1. Zhang S. H., Wang Z. R. Some new features in the development of metal forming technology. J. Mater. Process. Technol. 2004. No 1. pp. 39–47.
2. Rozov Ju. G. Tekhnologii izgotovlenija precizionnih trubchatih izdelij holodnim plasticheskim deformirovanjem : monografiya / Ju. G. Rozov. – Kherson: Izd-vo KhNTU, 2013. – 336 s.
3. Saffar S., Malaki M., Mollaei-Dariani B. On the effects of eccentricity in precision forging process. UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering. 2014. Vol. 76. Iss. 1. P. 123–138. ISSN 1454-2358.
4. Aliieva L. I. Sovershenstvovanie processov kombinirovannogo vydavlivaniya: monografiya / L. I. Aliieva. – Kramatorsk: OOO «Tirazh - 51». 2018. – 352 s. ISBN 978-966-379-846-2.
5. Farhoumand A., Ebrahimi R. Analysis of forward–backward-radial extrusion process. Materials and Design 30. 2009. pp. 2152–2157.
6. Choi H. J., Choi J. H., Hwang B. B. The forming characteristics of radial-backward extrusion. J Mater Process Technol. 2001. No 113. pp. 141–147.
7. Aliiev I. S., Kordenko M. Yu., Samoglyadov A. D. Kombinirovannoe vydavlivanie polyh konicheskikh detalej // Obrabotka materialov davleniem. – 2018. – № 2 (47).
8. Lee H. Y., Hwang B. B., Lee S. H. Forming load and deformation energy in combined radial backward extrusion process. Proceedings of the Int. Conf. “Metal Forming 2012” 16-19.09.2012, AGH, Krakow. pp. 487–490.
9. Yang D. Y., Kim K. J. Design of processes and products through simulation of three–dimensional extrusion. J. Mater Process Technol. 2007. No 191. pp. 2–6.
10. Ogorodnikov V. A., Derevenko I. A., Sivak R. I. On the Influence of Curvature of the Trajectories of Deformation of a Volume of the Material by Pressing on Its Plasticity Under the Conditions of Complex Loading. Materials Science, 2018. Volume 54, Issue 3, pp. 326–332. DOI: 10.1007/s11003-018-0188-x.
11. Hrudkina, N., Aliieva, L., Abhari, P., Markov, O., Sukhovirska, L.: Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5, No.1 (101), pp. 49-57, 2019, doi:10.15587/1729-4061.2019.179232.
12. Aliiev, I., Aliieva, L., Grudkina, N. and Zhbakov, I.: Prediction of the variation of the form in the processes of extrusion, Metallurgical and Mining Industry, Vol. 3, No. 7, pp. 17-22, 2011.
13. Ebrahimi R., Reihanian M., Moshksar M.M. An analytical approach for radial-forward extrusion process. Materials and Design. 2008. No 29. pp. 1694–1700.
14. Chudakov P. D. O vychislenii moshhnosti plasticheskoy deformacii. izvestiya vuzov. mashinostroenie. – 1979. – No.7. – Pp. 146–148.
15. Hrudkina, N., Aliieva, L., Abhari, P., Kuznetsov, M., Shevtsov, S.: Derivation of engineering formulas in order to calculate energy-power parameters and a shape change in a semi-finished product in the process of combined extrusion, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 2, No. 7 (98), pp. 49-57, 2019, doi:10.15587/1729-4061.2019.160585.

УДК 624.073.4

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.4>

Т.А. ЄМЕЛ'ЯНОВА

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID: 0000-0001-5191-8418

О.Ю. САКАРА

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID: 0000-0002-9302-1411

## АЛГОРИТМ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ТРИШАРОВОЇ КРУГОВОЇ ОБОЛОНКИ, ЯКА ПІДКРІПЛЕНА ПОЗДОВЖНИМИ РЕБРАМИ ЖОРСТКОСТІ

*В роботі розглянута пружна стійкість тришарової кругової оболонки з легким трансверсально – ізотропним заповнювачем, підкріпленої дискретно розташованими ребрами жорсткості в поздовжньому напрямку, з урахуванням дії поздовжніх сил в серединних площинах зовнішніх шарів і ребрах. Розв'язуюче рівняння стійкості зазначеної тришарової оболонки отримано шляхом спрощення основних диференціальних рівнянь за допомогою введення функцій зусиль  $F$  і переміщень  $\psi$ . Задачі розв'язувалися з урахуванням і без урахування деформацій зсуву в ребрах, та без урахування крутильної жорсткості ребер. Встановлені граничні умови ділянки оболонки, замкненої між ребрами. За допомогою граничного переходу отримані умови по лініях ребер без урахування деформацій зсуву в ребрах.*

*Отримане рівняння стійкості підкріпленої тришарової оболонки, використовуючи в рівняннях руху динамічний критерій стійкості (кругова частота коливання  $\omega = 0$ ). Побудована математична модель і розроблений алгоритм дослідження стійкості тришарової кругової оболонки з легким заповнювачем, підкріпленої поздовжніми ребрами жорсткості. Досліджені форми втрати стійкості, критичне навантаження та критична жорсткість ребер підкріпленої тришарової оболонки в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалів та геометричних розмірів оболонки, параметра кривизни та параметра жорсткості заповнювача. Побудовані графіки залежності параметра жорсткості  $\gamma$  від розмірів оболонки в плані, різних значень параметра зсуву  $k_0$  та параметра кривизни  $\alpha$  при підкріпленні одним та трьома ребрами жорсткості. Отримані кількісні залежності параметрів втрати стійкості від фізико-механічних властивостей матеріалів та розмірів тришарової кругової оболонки, підкріпленої одним і трьома поздовжніми ребрами жорсткості, можуть широко використовуватися для вивчення різноманітних питань напружено-деформованого стану зазначених тришарових конструкцій.*

*Побудова математичної моделі та розробка алгоритму дослідження стійкості кругової тришарової оболонки, яка підкріплена поздовжніми ребрами жорсткості, обумовлена тим, що сучасні програмні комплекси розрахунку зазначених конструкцій, не можуть з достатнім ступенем точності проводити дослідження стійкості підкріплених оболонок з урахуванням різних властивостей матеріалу.*

*Ключові слова: тришарова оболонка, легкий заповнювач, ребро жорсткості, стійкість, жорсткість оболонки, жорсткість ребра, параметр зсуву, параметр жорсткості, параметр кривизни, рівняння стійкості тришарової оболонки, граничні умови.*

Т.А. ЕМЕЛЬЯНОВА

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

ORCID: 0000-0001-5191-8418

О.Ю. САКАРА

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

ORCID: 0000-0002-9302-1411

## АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ТРЕХСЛОЙНОЙ КРУГОВОЙ ОБОЛОЧКИ, ПОДКРЕПЛЕННОЙ ПРОДОЛЬНЫМИ РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ

*В работе рассмотрена упругая устойчивость трехслойной круговой оболочки с легким трансверсально-изотропным наполнителем, подкрепленной дискретно расположенными ребрами жесткости в продольном направлении, с учетом действия продольных сил в срединных плоскостях внешних слоев и ребрах. Получено разрешающее уравнение устойчивости указанной трехслойной оболочки путем упрощения основных дифференциальных уравнений с помощью введения функций усилий  $F$  и перемещений  $\psi$ . Задачи решались с учетом и без учета деформаций сдвига в ребрах, и без учета крутильной жесткости ребер. Установлены граничные условия участка оболочки, замкнутой между*

ребрами. С помощью предельного перехода получены условия по линиям ребер без учета деформаций сдвига в ребрах.

Получено уравнение устойчивости подкрепленной трехслойной оболочки, используя в уравнениях движения динамический критерий устойчивости (круговая частота колебаний  $\omega=0$ ). Построена математическая модель и разработан алгоритм исследования устойчивости трехслойной круговой оболочки с легким наполнителем, подкрепленной продольными ребрами жесткости. Исследованы формы потери устойчивости, критическая нагрузка и критическая жесткость ребер подкрепленной трехслойной оболочки в зависимости от физико-механических свойств и геометрических размеров оболочки, параметра кривизны и параметра жесткости наполнителя.

Построены графики зависимости параметра жесткости  $\gamma$  от размеров оболочки в плане, различных значениях параметра сдвига  $k_0$  и параметра кривизны  $\alpha$  при подкреплении одним и тремя ребрами жесткости. Полученные количественные зависимости параметров потери устойчивости от физико-механических свойств и размеров трехслойной круговой оболочки, подкрепленной одним и тремя продольными ребрами жесткости, могут широко использоваться для изучения различных вопросов напряженно-деформированного состояния указанных трехслойных конструкций.

Построение математической модели и разработка алгоритма исследования устойчивости круговой трехслойной оболочки, подкрепленной продольными ребрами жесткости, обусловлена тем, что современные программные комплексы расчета указанных конструкций, не могут с достаточной степенью точности проводить исследования устойчивости подкрепленных оболочек с учетом различных свойств материала.

Ключевые слова: трехслойная оболочка, легкий наполнитель, ребро жесткости, устойчивость, жесткость оболочки, жесткость ребра, параметр сдвига, параметр жесткости, параметр кривизны, уравнение устойчивости трехслойной оболочки, граничные условия.

T.A. YEMELYANOVA

Kherson State Agrarian and Economic University

ORCID: 0000-0001-5191-8418

O.U. SAKARA

Kherson State Agrarian and Economic University

ORCID: 0000-0002-9302-1411

### STABILITY RESEARCH ALGORITHM OF THREE-LAYER CIRCULAR SHELL, IS SUPPORTED BY LONGITUDINAL RIGIDITY RIBS

The given article looks at elastic stability of a three-layer circular shell with a light transversal isotropic aggregate, is supported by discrete stiffening ribs in the longitudinal direction, taking into account the action of longitudinal forces in the median planes of the outer layers and ribs. A resolving stability equation for the indicated three-layer shell is obtained by simplifying the basic differential equations by introducing the functions force  $F$  and displacements  $\psi$ . The problems were solved taking into account and without taking into account shear deformations in the ribs, and without taking into account the torsional rigidity of the ribs. The boundary conditions of the section of the shell closed between the ribs are established. Using the passage to the limit, conditions along the lines of the edges without taking into account the shear deformations in the ribs are obtained.

The stability equation of the reinforced three-layer shell is obtained using the dynamic stability criterion (circular vibration frequency) in the equations of motion. A mathematical model is constructed and an algorithm for studying the stability of a three-layer circular shell with a light aggregate, supported by longitudinal stiffeners, is developed. The stability loss forms, the critical load, and the critical stiffness of the ribs of a reinforced three-layer shell are studied depending on the physic mechanical properties and geometrical dimensions of the shell, the curvature parameter, and the rigidity parameter of aggregate.

Plots of the dependence of the stiffness parameter  $\gamma$  on the dimensions of the shell in plan, various values of the shear parameter  $k_0$  and the curvature parameter  $\alpha$  with reinforcement by one and three stiffeners are constructed. The obtained quantitative dependences of the stability loss parameters on the physic mechanical properties and dimensions of a three-layer circular shell supported by one and three longitudinal stiffeners can be widely used to study various questions of the stress-strain state of these three-layer structures.

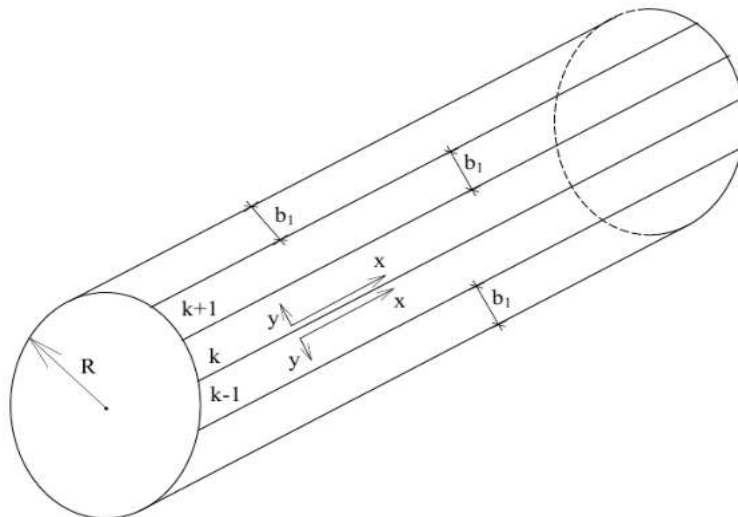
The construction of a mathematical model and the development of an algorithm for studying the stability of a circular three-layer shell supported by longitudinal rigidity ribs is due to the fact that modern software systems for calculating these structures cannot conduct stability studies of reinforced shells with a sufficient degree of accuracy, taking into account various properties of the material.

*Keywords: three-layer shell, lightweight aggregate, rigidity rib, stability, shell rigidity, rib rigidity, shear parameter, rigidity parameter, curvature parameter, three-layer shell stability equation, boundary conditions.*

### Постановка проблеми

Оптимальним варіантом міцної і жорсткої конструкції є тришарова конструкція, зокрема тришарова оболонка, яка давно знайшла широке застосування в різних галузях промисловості, у будівництві, авіації і суднобудуванні. Широке застосування тришарових оболонок пояснюється їхніми високими ваговими характеристиками, які дозволяють при однаковій вазі витримувати значно більші навантаження, чим можуть витримати одношарові. Однак тонкі несучі шари й легкий заповнювач гірше пручаються локальним навантаженням, тому, як правило, тришарові оболонки підсилюють поздовжніми та поперечними ребрами. Одним з найважливіших питань, який вирішується при проектуванні та розрахунках тришарових конструкцій, є стійкість, оскільки внутрішній шар має малу жорсткість, а несучі зовнішні шари — порівняно невелику товщину [1].

Розглядається тришарова кругова оболонка з легким трансверсально – ізотропним заповнювачем, яка підкріплена поздовжніми ребрами жорсткості. При побудові математичної моделі передбачається, що заповнювач легкий, ребра мають однакову жорсткість в одному напрямі і розташовані на однакових відстанях одне від одного. Для зовнішніх несучих шарів оболонки приймаються гіпотези Кірхгоффа - Лява, а для заповнювача - лінійний закон зміни тангенціальних переміщень за товщиною. Поперечні деформації заповнювача не враховуються. Для ребер приймаються гіпотези Бернуллі та враховується тільки згин ребер в вертикальній площині (рис.1) [2].



**Рис. 1. Схема тришарової кругової циліндричної оболонки, підкріпленої поздовжніми ребрами жорсткості**

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Варіаційним шляхом, використовуючи функціонал–дію за Остроградським–Гамільтоном, отримано диференціальні рівняння стійкості ділянки оболонки, замкненої між ребрами, а також умови по лініях ребер і по краях тришарової циліндричної оболонки, яка підкріплена як поздовжніми, так і поперечними ребрами жорсткості, при шарнірному обпиранні кромки [3,4,5].

Отримане розв’язуюче рівняння (1) та рівняння (2) можуть бути застосованими для побудови розрахункової моделі та розробки алгоритму дослідження стійкості кругової тришарової оболонки, яка підкріплена поздовжніми ребрами жорсткості [6]:

$$\nabla^4 \nabla^4 F + \frac{\bar{B}}{R^2 D^*} \frac{\partial^4}{\partial x^4} \left( 1 - \frac{Bh}{G^3} \nabla^2 \right) F - \frac{\omega^2 m_{об}}{D^*} \left( 1 - \frac{Bh}{G^3} \nabla^2 \right) \nabla^4 F = 0 \quad (1)$$

$$\Psi = f_2(y) \cos \frac{n\pi}{a} x. \quad (2)$$

де:

$$\phi = \nabla^4 F,$$

$$\Phi = -\frac{\bar{B}}{R} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( 1 - \frac{Bh}{G_3} \nabla^2 \right) F,$$

$F(x, y)$  – шукана функція

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є побудова математичної моделі та розробка алгоритму дослідження стійкості кругової тришарової оболонки, яка підкріплена поздовжніми ребрами жорсткості, при шарнірному обпиранні кромки з урахуванням дії подовжніх сил в серединних площинах зовнішніх шарів і ребрах .

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Розв'язок рівняння (1) шукаємо у вигляді [7]:

$$F = f_1(y) \sin \frac{n\pi}{a} x, \quad (3)$$

де  $a$  – довжина оболонки.

Підставляючи вираз (3) до рівняння (1), отримаємо диференціальне рівняння, яке визначає функцію  $f_1(y)$ .

$$\begin{aligned} & \frac{n^8 \pi^8}{a^8} f_1(y) + \frac{n^4 \pi^4 a^2}{R^4 a^6} \left( f_1(y) (a^2 + n^2 \pi^2 R^2 k_0) - a^2 R^2 k_0 f_1^2(y) \right) - \\ & - \frac{n^2 \pi^2 m_t}{R^2 a^8} \left( n^4 \pi^4 (a^2 + n^2 \pi^2 R^2 k_0) f_1(y) + a^6 (f_1^4(y) - R^2 k_0 f_1^6(y)) + \right. \\ & \left. + f_1^8(y) \right) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Розв'язок рівняння (4) шукаємо у вигляді:

$$f_1(y) = e^{\eta y}. \quad (5)$$

Підставляючи вираз (5) до рівняння (4) та вводячи позначення (7), приходимо до наступного характеристичного рівняння (6):

$$\begin{aligned} & \eta^8 + \alpha_n^2 R^2 k_0 m_t \eta^6 - \alpha_n^2 m_t \eta^4 - \alpha_n^4 R^2 k_0 \alpha^2 \eta^2 + \alpha_n^4 \left( (\alpha_n^2 R^4 (1 - k_0 m_t) + \right. \\ & \left. + k_0 \alpha^2) - m_t \right) + \alpha^2 = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

де  $\operatorname{tg} \phi_1 = \frac{r}{s}$ ,  $\operatorname{tg} \phi_2 = \frac{d}{c}$ ,  $\rho_1 = \left| \sqrt{s^2 + r^2} \right|$ ,  $\rho_2 = \left| \sqrt{c^2 + d^2} \right|$ , де  $s, c$  – дійсні,  $r, d$  – комплексні корені характеристичного рівняння (6).

Вводячи позначення:

$$\begin{aligned} \beta = \frac{\pi R}{\pi} \eta = R\eta; \quad \alpha^2 = \frac{\bar{B} \pi^4 R^4}{R^2 D^* \pi^4} = \frac{(1 - \mu^2) R^2}{H^2}; \quad m_t = \frac{2T_x \pi^2 R^2}{D^* \pi^2} = \frac{2T_x R^2}{D^*}; \\ k_0 = \frac{\pi^2 Bh}{G_3 \pi^2 R^2} = \frac{Bh}{G_3 R^2}; \quad \alpha_n = \frac{n\pi R}{a}; \end{aligned} \quad (7)$$

та передбачаючи, що корені  $\beta_i$  будуть комплексними, функція  $F(x, y)$  записується у вигляді (8):

$$F = \{ \cos(y\phi_1)C_1\rho_1^y + \sin(y\phi_1)C_2\rho_1^y + \cos(y\phi_1)C_3\rho_1^y - \sin(y\phi_1)C_4\rho_1^y + \\ + \cos(y\phi_2)C_5\rho_2^y + \sin(y\phi_2)C_6\rho_2^y + \cos(y\phi_2)C_7\rho_2^y - \sin(y\phi_2)C_8\rho_2^y \} \sin\left(\frac{n\pi}{a}x\right) \quad (8)$$

Розв'язок рівняння (2) шукаємо у вигляді:

$$\Psi = f_2(y) \cos \frac{n\pi}{a} x. \quad (9)$$

Підставляючи вираз (9) до рівняння (5), отримуємо диференціальне рівняння для визначення функції  $f_2(y)$ . Розв'язуючи це рівняння, отримаємо:

$$f_2(y) = C_9 \cos(\beta y) + C_{10} \sin(\beta y). \quad (10)$$

де 
$$\beta = \frac{a^2}{n^2\pi^2} - \frac{R^2(\mu-1)k_0}{2}.$$

Приймаючи для кожної ділянки свої вісі координат [8], розташуємо початок координат на початку кожної ділянки (це показано для  $k+1$  ділянки, яка знаходиться між  $k$ -им і  $(k+1)$ -им ребром) та позначимо  $f_1(y)$  на початку і на кінці ділянки (при  $y=0$  і  $y=b_1$ , де  $b_1$  – відстань між ребрами) через  $\eta_k$  і  $\eta_{k+1}$ , значення  $f_1^{\text{II}}(y)$  через  $\mu_k$  і  $\mu_{k+1}$ , значення  $f_1^{\text{IV}}(y)$  через  $\zeta_k$  і  $\zeta_{k+1}$ , значення  $f_1^{\text{VI}}(y)$  через  $\xi_k$  і  $\xi_{k+1}$ , значення  $f_2^{\text{II}}(y)$  через  $\phi_k$  і  $\phi_{k+1}$ .

Використовуючи ці умови, значення довільних постійних  $C_i$  визначаються з системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \eta_k &= C_1^k + C_3^k + C_5^k + C_7^k, \\ \mu_k &= (C_1^k + C_3^k)(p_5^2 - \phi_1^2) + (C_5^k + C_7^k)(p_6^2 - \phi_2^2) + 2(C_2^k - C_4^k)p_5\phi_1 + 2(C_6^k - C_8^k)p_6\phi_2, \\ \zeta_k &= (C_1^k + C_3^k)(p_5^4 - 6p_5^2\phi_1^2 + \phi_1^4) + (C_5^k + C_7^k)(p_6^4 - 6p_6^2\phi_2^2 + \phi_2^4) + (C_2^k - C_4^k)(4p_5^3\phi_1 - 4p_5\phi_1^3) + \\ &+ (C_6^k - C_8^k)(4p_6^3\phi_2 - 4p_6\phi_2^3), \\ \xi_k &= (C_1^k + C_3^k)(p_5^6 - 15p_5^4\phi_1^2 + 15p_5^2\phi_1^4 + \phi_1^6) + (C_5^k + C_7^k)(p_6^6 - 15p_6^4\phi_2^2 + 15p_6^2\phi_2^4 + \phi_2^6) + \\ &+ (C_2^k - C_4^k)(6p_5^5\phi_1 - 20p_5^3\phi_1^3 + 6p_5\phi_1^5) + (C_6^k - C_8^k)(6p_6^5\phi_2 - 20p_6^3\phi_2^3 + 6p_6\phi_2^5), \\ \phi_k &= \beta^2 C_{10}^k, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \eta_{k+1} &= ((C_1^{k+1} + C_3^{k+1})p_1 + (C_2^{k+1} - C_4^{k+1})p_2)\rho_1^{b_1} + ((C_5^{k+1} + C_7^{k+1})p_3 + (C_6^{k+1} - C_8^{k+1})p_4)\rho_2^{b_1}, \\ \mu_{k+1} &= ((C_1^{k+1} + C_3^{k+1})\rho_1^{b_1}(p_1(p_5^2 - \phi_1^2) - 2p_2\phi_1p_5) + (C_2^{k+1} - C_4^{k+1})\rho_1^{b_1}(p_2(p_5^2 - \phi_1^2) + 2p_1\phi_1p_5) + \\ &+ ((C_5^{k+1} + C_7^{k+1})\rho_2^{b_1}(p_3(p_6^2 - \phi_2^2) - 2p_6\phi_2p_4) + (C_6^{k+1} - C_8^{k+1})p_4)\rho_2^{b_1}(p_4(p_6^2 - \phi_2^2) + 2p_6\phi_2p_3), \\ \zeta_{k+1} &= ((C_1^{k+1} + C_3^{k+1})\rho_1^{b_1}(p_1(p_5^4 - 6p_5^2\phi_1^2 + \phi_1^4) + 4p_2(\phi_1^3p_5 - \phi_1p_5^3)) + \\ &+ (C_2^{k+1} - C_4^{k+1})\rho_1^{b_1}(p_2(p_5^4 - 6p_5^2\phi_1^2 + \phi_1^4) + 4p_1(\phi_1p_5^3 - \phi_1^3p_5)) + \\ &+ ((C_5^{k+1} + C_7^{k+1})\rho_2^{b_1}(p_3(p_6^4 - 6p_6^2\phi_2^2 + \phi_2^4) + 4p_4(\phi_2^3p_6 - \phi_2p_6^3)) + \\ &+ (C_6^{k+1} - C_8^{k+1})\rho_2^{b_1}(p_4(p_6^4 - 6p_6^2\phi_2^2 + \phi_2^4) + 4p_3(\phi_2p_6^3 - \phi_2^3p_6))), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \xi_{k+1} = & ((C_1^{k+1} + C_3^{k+1})\rho_1^{b_1} (p_1(p_5^6 - 15p_5^4\phi_1^2 + 15p_5^2\phi_1^4 - \phi_1^6) + p_2(20\phi_1^3 p_5^3 - 6\phi_1 p_5^5 - 6\phi_1^5 p_5)) + \\ & + (C_2^{k+1} - C_4^{k+1})\rho_1^{b_1} (p_2(p_5^6 - 15p_5^4\phi_1^2 + 15p_5^2\phi_1^4 - \phi_1^6) + p_1(-20\phi_1^3 p_5^3 + 6\phi_1 p_5^5 + 6\phi_1^5 p_5)) + \\ & + ((C_5^{k+1} + C_7^{k+1})\rho_2^{b_1} (p_3(p_6^6 - 15p_6^4\phi_2^2 + 15p_6^2\phi_2^4 - \phi_2^6) + p_4(20\phi_2^3 p_6^3 - 6\phi_2 p_6^5 - 6\phi_2^5 p_6)) + \\ & + (C_6^{k+1} - C_8^{k+1})\rho_2^{b_1} (p_4(p_6^6 - 15p_6^4\phi_2^2 + 15p_6^2\phi_2^4 - \phi_2^6) + p_3(-20\phi_2^3 p_6^3 + 6\phi_2 p_6^5 + 6\phi_2^5 p_6)), \\ \phi_{k+1} = & \beta^2 C_{10}^{k+1} \sin(\beta b_1) + \phi_k \cos(\beta b_1). \end{aligned}$$

В системі рівнянь (11) позначено:

$$\begin{aligned} \cos(\phi_1 b_1) = p_1, \quad \sin(\phi_1 b_1) = p_2, \quad \cos(\phi_2 b_1) = p_3, \quad \sin(\phi_2 b_1) = p_4, \\ \log(\rho_1) = p_5, \quad \log(\rho_2) = p_6. \end{aligned}$$

При розгляді  $(k-1)$ -ї ділянки початок координат приймаємо на її кінці та спрямовуємо вісь  $Oy$  в протилежну сторону. Тоді для неї довільні постійні будуть визначатися також із співвідношень (11), якщо в них замінити  $\eta_{k+1}, \mu_{k+1}, \zeta_{k+1}, \xi_{k+1}, \varphi_{k+1}$  на  $\eta_{k-1}, \mu_{k-1}, \zeta_{k-1}, \xi_{k-1}, \varphi_{k-1}$ .

Умови по лінії  $k$ -го ребра з урахуванням різних напрямків осей  $y$  для суміжних ділянок, які отримані з варіаційного рівняння, записуються у вигляді:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}\right)_{y=-0} + \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y}\right)_{y=+0} &= \frac{B_p}{2B(1-\mu^2)} \left(\frac{\partial^3 \Phi}{\partial x \partial y^3} - \mu \frac{\partial^3 \Phi}{\partial x^3}\right)_{y=0}; \\ (v_\alpha)_{y=-0} &= (v_\alpha)_{y=+0}; \\ \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial x}\right)_{y=+0} &= -\left(\frac{\partial \phi}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial x}\right)_{y=-0}; \\ \left(\frac{\partial^3 \phi}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 \Phi}{\partial y \partial x^2}\right)_{y=-0} + \left(\frac{\partial^3 \phi}{\partial y^3} + \frac{\partial^3 \Phi}{\partial y \partial x^2}\right)_{y=+0} &= -\left[\frac{D_p}{D^*} \left(1 - \frac{Bh}{G_3} \nabla^2\right) \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + \frac{P_p}{D^*} \left(1 - \frac{Bh}{G_3} \nabla^2\right) \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}\right]_{y=0}; \\ \left(\frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{Bh}{G_3} \nabla^2 \frac{\partial \phi}{\partial x}\right)_{y=0} &= 0. \end{aligned} \tag{12}$$

Підставляючи в (12) рішення (8) і (9), будемо мати рівняння в скінченних різницях (значення довільних постійних  $C_i^{k+1}, C_i^{k-1}$  визначаються по виразах (11).

В рівняннях (12) позначено:  $\delta_i = \frac{F_p}{2\delta b}; \quad \gamma = \frac{D_p}{2RD^*};$

де  $F_p$  – площа ребра,  $D_p$  – згинальна жорсткість ребра.

Невідомі  $\eta_k, \mu_k, \zeta_k, \xi_k, \varphi_k$ , які входять до цієї системи, повинні задовольняти умовам періодичності розв'язку, які мають вигляд:

$$\eta_k = \eta_{k+m}; \quad \mu_k = \mu_{k+m}; \quad \zeta_k = \zeta_{k+m}; \quad \xi_k = \xi_{k+m}; \quad \phi_k = \phi_{k+m}, \tag{13}$$

де:  $m$  – кількість ребер.

Рішення останньої системи рівнянь шукаємо у вигляді:



$$\begin{aligned} \eta_k &= A \sin \frac{2\pi sk}{m}; & \mu_k &= B \sin \frac{2\pi sk}{m}; & \zeta_k &= C \sin \frac{2\pi sk}{m}; \\ \xi_k &= M \sin \frac{2\pi sk}{m}; & \phi_k &= L \sin \frac{2\pi sk}{m}, \end{aligned} \tag{14}$$

які задовольняють граничним умовам (13).

Система однорідних рівнянь відносно невідомих  $A, B, C, M, L$ , не залежить від номеру  $k$ .

Дорівнюючи нулю визначник, складений із коефіцієнтів при  $A, B, C, M, L$ , отримаємо рівняння для визначення критичних сил тришарової кругової циліндричної оболонки, підкріпленої регулярними поздовжніми ребрами жорсткості.

Розв'язуючи це рівняння відносно параметра жорсткості  $\gamma$ , отримаємо залежність між  $\gamma$  та співвідношенням між радіусом оболонки та її довжиною  $a$ .

Досліджені критичне навантаження та критична жорсткість ребер підкріпленої тришарової кругової оболонки в залежності від фізико-механічних властивостей матеріалів та геометричних розмірів оболонки, параметра кривизни та параметра жорсткості заповнювача. Побудовані графіки залежності параметра жорсткості  $\gamma$  від розмірів оболонки в плані, підкріпленої одним (рис.2) і трьома (рис.3) ребрами жорсткості при  $\delta_t=0,2$  і різних значеннях параметра зсуву  $k_0$  та параметра кривизни  $\alpha$ . Значення  $\gamma$  визначалися як з урахуванням крайового ефекту Рейсснера (суцільні лінії на рисунках), так і без урахування.

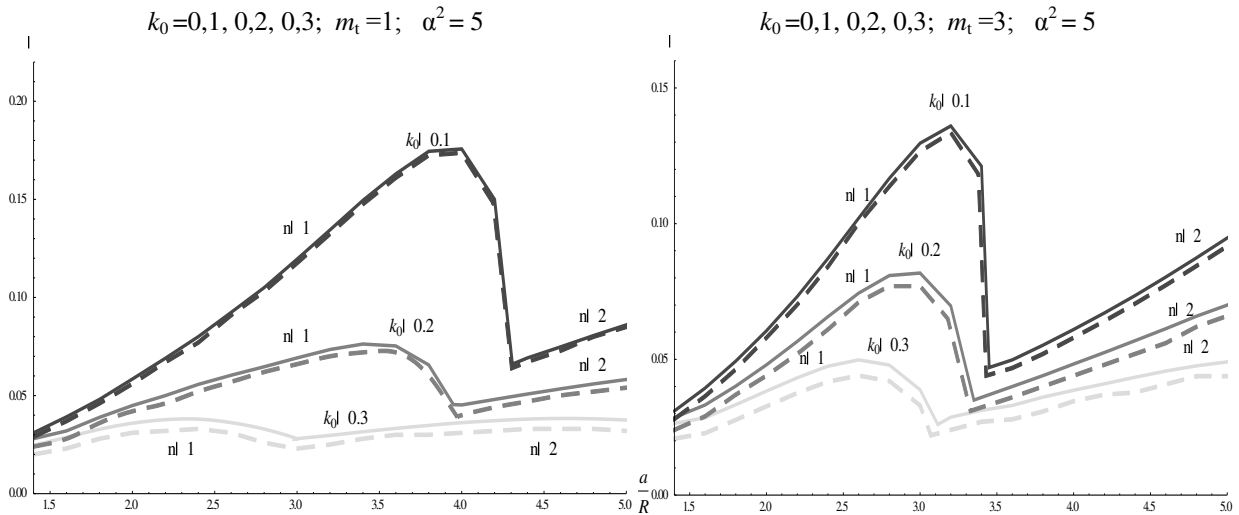


Рис. 2. Графіки залежності між  $\gamma$  та відношенням лінійних розмірів оболонки  $\frac{a}{R}$ , підкріпленої одним ребром жорсткості

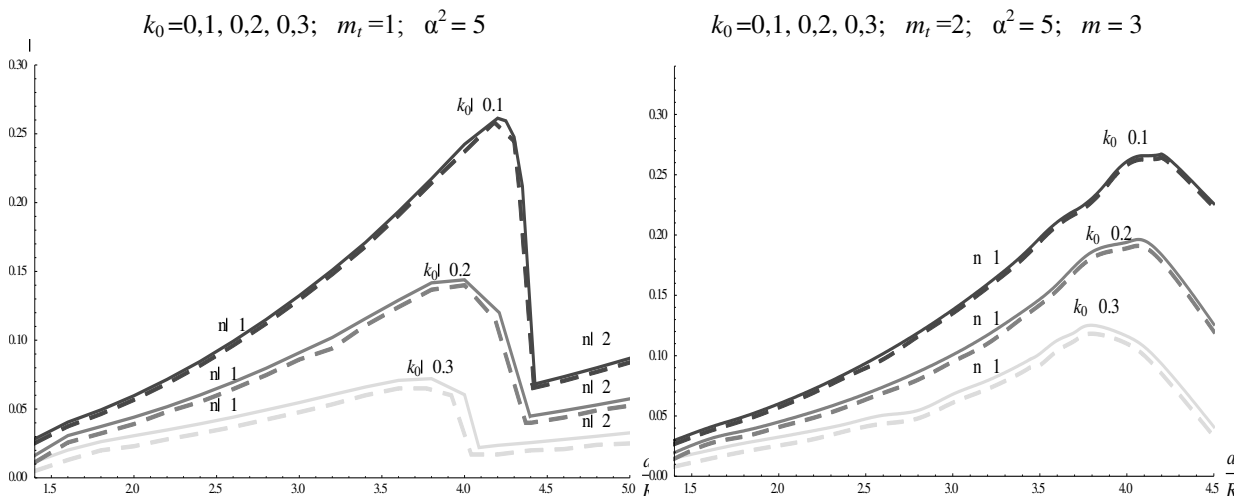


Рис. 3. Графіки залежності між  $\gamma$  та відношенням лінійних розмірів оболонки  $\frac{a}{R}$ , підкріпленої трьома ребрами жорсткості

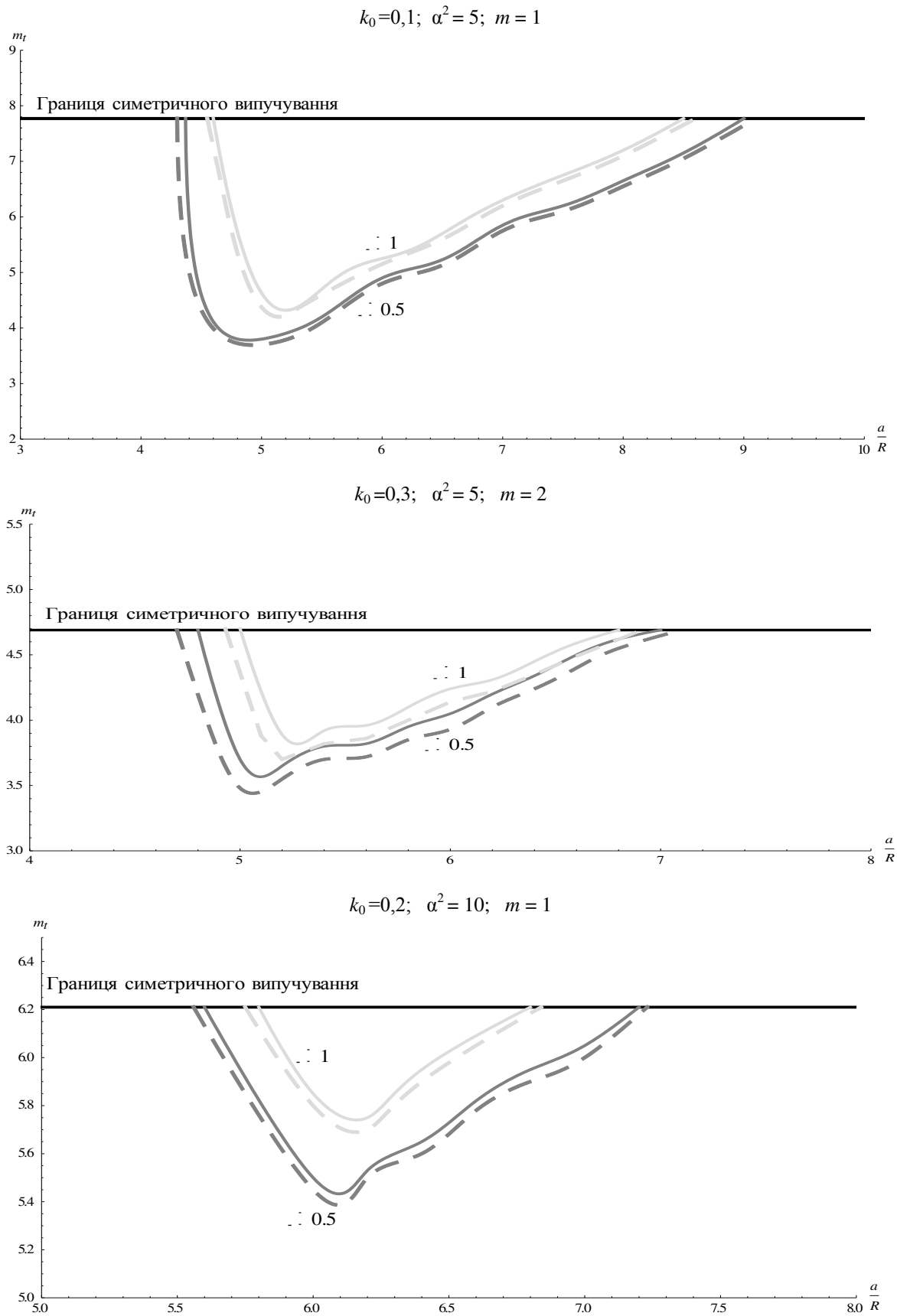


Рис. 4. Графіки значення параметра  $m_t$  та відношенням лінійних розмірів оболонки  $\frac{a}{R}$ , підкріпленої одним ребром жорсткості

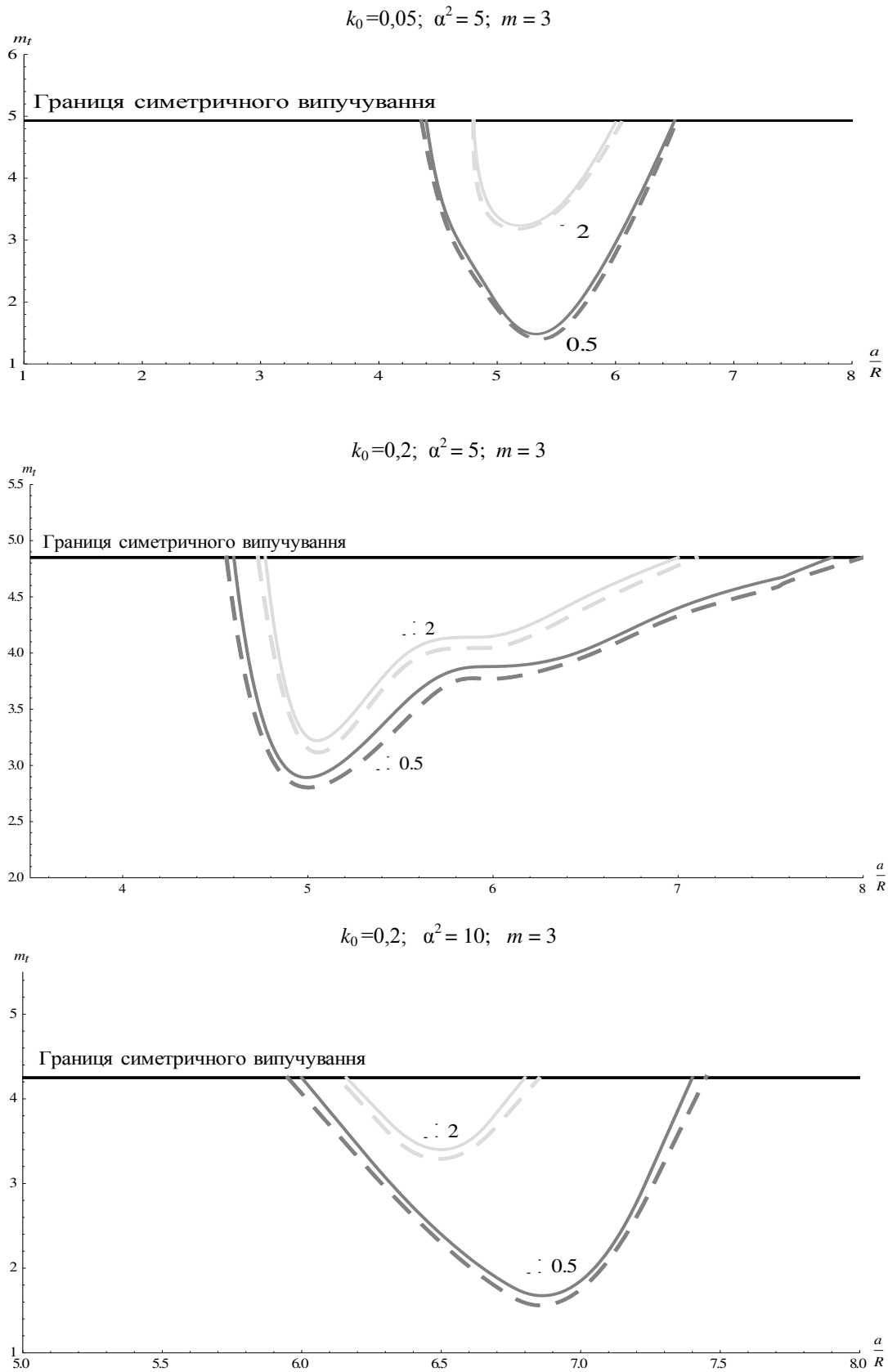


Рис. 5. Графіки значення параметра  $m_t$  та відношенням лінійних розмірів оболонки  $\frac{a}{R}$ , підкріпленої трьома ребрами жорсткості

Значення параметра критичного навантаження  $m_c$  визначається розв'язанням трансцендентного рівняння стійкості. На рис.4,5 представлені значення параметра критичного навантаження  $m_c$  для оболонки, підкріпленої одним та трьома ребрами жорсткості. Значення  $m_c$  визначалися як з урахуванням крайового ефекту Рейсснера (суцільні лінії на рисунках), так і без урахування. На графіках видно, що при визначенні  $m_c$  вплив крайового ефекту Рейсснера незначний при значеннях  $k_0 < 0,5$ . При більших значеннях  $k_0$  цей вплив підвищується.

#### Висновки

Таким чином, побудована математична модель та розроблений алгоритм дослідження стійкості тришарової кругової оболонки, підкріпленої поздовжніми ребрами жорсткості, на базі яких досліджене критичне навантаження в залежності від геометричних розмірів оболонки, параметра кривизни та параметра жорсткості заповнювача; отримані кількісні залежності параметрів втрати стійкості та вільних коливань від фізико-механічних властивостей матеріалів та розмірів тришарової підкріпленої оболонки. Встановлено, що зі збільшенням числа ребер критичне навантаження та критична жорсткість ребер підвищується; зі збільшенням відношення сторін оболонки критична жорсткість ребер збільшується, а критичне навантаження зменшується; зі збільшенням згинальної жорсткості ребер критичне навантаження збільшується до певної межі, після чого воно залишається постійним і рівним критичному навантаженню оболонки, замкненої між ребрами.

#### Список використаної літератури

1. Григолюк Э. И., Чулков П. П. Устойчивость и колебания трехслойных оболочек. М.: Машиностроение, 1973. 172 с.
2. Александров А. Я., Бородин М. Я. Конструкция с заполнителями из пенопластов. Москва: Оборонгиз, 1962. 212 с.
3. Кириченко В. Л., Емельянова Т. А. Дифференциальные уравнения устойчивости пологой трехслойной оболочки с легким заполнителем, подкрепленной ребрами жесткости. Вестник Херсонского государственного технического университета. 1999. №3(6). С. 248–251.
4. Surianinov Mykola, Yemelianova Tetiana, Lazarieva Dina. Investigation of Free Vibrations of Threelayered Cylindrical Shell Supported by Transverse Ribs. International Journal of Engineering and Technology (IJET). 2019. Vol. 11. № 1. P. 61–66. DOI:10.21817/ijet/2019/v11i1/191101016
5. Surianinov M., Yemelianova T., Shyliaiev O. Investigation of Free Vibrations of Three-Layered Circular Shell Supported by Annular Ribs of Rigidity. Proceedings of the Actual Problems of Engineering Mechanics (APEM 2019): 6th International Conference (Ukraine, Odesa, May 20-24, 2019). Vol. 968. Zurich: Trans Tech Publications Ltd, 2019. P. 437–443. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.968.437
6. Емельянова Т. А. Розв'язуюче рівняння стійкості тришарової оболонки, яка підкріплена ребрами жорсткості. Актуальні проблеми інженерної механіки: тези доповідей 4-ї Міжнародної науково-практичної конференції. (Одеса, ОДАБА, 2017 р.). Одеса: Екологія, 2017. С. 40–44.
7. Емельянова Т. А. Устойчивость трехслойной пологой оболочки с легким заполнителем, подкрепленной продольными ребрами жесткости. Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике (Сборник по материалам Международной научно-технической конференции). Минск: УП «Технопринт», 2001. С. 193–197.
8. Сливкер В. И. Строительная механика. Вариационные основы: М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. 736 с.

#### References

1. Grigolyuk E. I., & Chulkov P. P. (1973). Ustoychivost' i kolebaniya trekhsloynnykh obolochek. Moskva: Mashinostroyeniye.
2. Aleksandrov A. Ya., & Borodin M. Ya. (1962). Konstruktsiya s zapolnitelyami iz penoplastov. Moskva: Oborongiz.
3. Kirichenko V. L., & Yemel'yanova T. A. (1999). Differentsial'nyye uravneniya ustoychivosti pologoy trekhsloynnoy obolochki s legkim zapolnitelem, podkreplennoy rebrami zhestkosti. Vestnik Khersonskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 3(6), 248–251.
4. Surianinov Mykola, Yemelianova Tetiana, & Lazarieva Dina. (2019). Investigation of Free Vibrations of Threelayered Cylindrical Shell Supported by Transverse Ribs. International Journal of Engineering and Technology (IJET). 11, 1, 61–66. DOI:10.21817/ijet/2019/v11i1/191101016
5. Surianinov M., Yemelianova T., & Shyliaiev O. (2019). Investigation of Free Vibrations of Three-Layered Circular Shell Supported by Annular Ribs of Rigidity. Proceedings of the Actual Problems of Engineering Mechanics (APEM 2019): 6th International Conference (Ukraine, Odesa, May 20-24, 2019). Vol. 968. Zurich: Trans Tech Publications Ltd, pp. 437–443. DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.968.437

6. Yemel'yanova T. A. (2017). Rozv'yazuyuche rіvnyannya stіlykosti trisharovoyi obolonki, yaka pіdkrіplena rebrami zhorstkosti. Proceedings of the Aktualni problemi inzhenernoyi mehaniki: tezi dopovіdey 4-yi Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi. (Odesa, ODABA, 2017). Odessa: Ekologiya, pp. 40–44.
7. Emelyanova T. A. (2001). Ustoychivost trehsloynoy pologoy obolochki s legkim zapolnitelem, podkreplenoй prodolnyimi rebrami zhestkosti. Aktualnyie problemyi dinamiki i prochnosti v teoreticheskoy i prikladnoy mehanike (Sbornik po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii). Minsk: UP «Tehnoprint», 2001. P. 193–197.
8. Slivker V. I. Stroitel'naya mehanika. Variatsionnyie osnovyi: Uchebnoe posobie. M.: Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnyih vuzov, 2005.

УДК 004.986

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.5>

Я.О. ПОВОД

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0001-8403-5945

В.Г. ШЕРСТЮК

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-9096-2582

## РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОЇ ІНСОЛЯЦІЇ ЗА МЕЖАМИ АТМОСФЕРИ ЗЕМЛІ

У даній роботі для розробки еталонного алгоритму розрахунку сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі було використано найточніші на даний момент значення сонячної сталої, яке було прийняте космічною спільнотою. Було зроблено порівняльний аналіз з іншими алгоритмами, та розглянуті різні способи отримання потужності сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі. В процесі дослідження визначено які похибки має кожен з розглянутих способів, також досліджено споживання кількості процесорного часу кожним з цих способів. Було розроблено тести для кожного з розглянутих алгоритмів в рівних умовах для порівняння їх ефективності та точності. Отримані дані зведено до таблиці, за допомогою якої можна буде обрати оптимальний алгоритм для певної задачі.

Використовуючи теорію VSOP87 було проведено розрахунки для визначення точної відстані від Землі до Сонця, так як це один з основних параметрів, що впливає на сонячну інсоляцію поблизу Землі за межами її атмосфери. Спираючись на те, що зміни сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі мають періодичний характер, було використано функцію Фур'є для апроксимації еталонного алгоритму. За допомогою порівняння існуючих алгоритмів розрахунку сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі, визначення їх переваг і недоліків було розроблено даний еталонний алгоритм. Задля наочності було побудовано графіки: графік сонячної інсоляції з даних типового метеорологічного року; графік похибки апроксимації даних типового метеорологічного року за функцією першого порядку; графік похибки апроксимації даних типового метеорологічного року за функцією другого порядку; графік похибки апроксимації еталонного алгоритму за функцією першого порядку; графік похибки апроксимації еталонного алгоритму за функцією другого порядку.

Практичне значення розробленого алгоритму полягає в використанні його в програмному забезпеченні, яке допоможе в розрахунках потужності сонячного випромінювання для геліоцентричних, фотоелектричних станцій та для можливого використання в інших галузях де потрібні прогнозовані данні сонячної інсоляції.

Ключові слова: алгоритм, похибка, орбіта, графік, потужність, інсоляція, аналіз, апроксимація.

Я.А. ПОВОД

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0001-8403-5945

В.Г. ШЕРСТЮК

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0002-9096-2582

## РАСЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ ЗА ПРЕДЕЛАМИ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

В данной работе для разработки эталонного алгоритма расчета солнечной инсоляции за пределами атмосферы Земли были использованы самые точные на данный момент значение солнечной постоянной, которое были приняты космическим сообществом. Было сделано сравнительный анализ с другими методами, и рассмотрены различные способы получения мощности солнечной инсоляции за пределами атмосферы Земли. В процессе исследования определены какие погрешности имеет каждый из рассмотренных способов, также исследовано потребления количества процессорного времени каждым из этих способов. Был разработан тесты для каждого из рассмотренных алгоритмов в равных условиях для сравнения их эффективности и точности. Полученные данные сведены в таблицу, с помощью которой можно будет выбрать оптимальный алгоритм для определенной задачи.

Используя теорию VSOP87 было проведены расчеты для определения точного расстояния от Земли до Солнца, так как это один из основных параметров, влияет на солнечную инсоляцию вблизи Земли за пределами ее атмосферы. Опираясь на то, что изменения солнечной инсоляции за пределами атмосферы Земли имеют периодический характер, было использовано функцию Фурье для аппроксимации эталонного алгоритма. С помощью сравнения существующих алгоритмов расчета

солнечной инсоляции за пределами атмосферы Земли, определение их преимуществ и недостатков был разработан данный эталонный алгоритм. Для наглядности были построены графики: график солнечной инсоляции по данным типового метеорологического года; график погрешности аппроксимации данных типичного метеорологического года по функции первого порядка; график погрешности аппроксимации данных типичного метеорологического года за функцией второго порядка; график погрешности аппроксимации эталонного алгоритма с функцией первого порядка; график погрешности аппроксимации эталонного алгоритма с функцией второго порядка.

Практическое значение разработанного алгоритма заключается в использовании его в программном обеспечении, которое поможет в расчетах мощности солнечного излучения для гелиоцентрических, фотоэлектрических станций и для возможного использования в других отраслях где нужны прогнозируемые данные солнечной инсоляции.

Ключевые слова: алгоритм, погрешность, орбита, график, мощность, инсоляция, анализ, аппроксимация.

Y.O. POVOD

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0001-8403-5945

V.G. SHERSTIUK

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0002-9096-2582

### CALCULATION OF SOLAR INSOLATION OUTSIDE THE EARTH ATMOSPHERE

*In this work, to develop a reference algorithm for calculating solar insolation outside the Earth's atmosphere, the most accurate solar constant value adopted by the cosmic community has been used at this time. A comparative analysis was made with other algorithms and various ways of obtaining solar insolation power outside the Earth's atmosphere were considered. During the investigation, the errors were determined by each of the considered methods, and the consumption of CPU time by each of these methods. Tests were developed for each of the considered algorithms under equal conditions to compare their efficiency and accuracy. The data obtained is summarized in a table, by which we can choose the optimal algorithm for a particular task.*

*The VSOP87 theory were used to calculate the exact distance from Earth to the Sun, as this is one of the main parameters that affect solar insolation outside the Earth atmosphere. Because solar insolation changes outside the Earth's atmosphere are periodic, the Fourier function was used to approximate the reference algorithm. By comparing the existing algorithms for calculating solar radiation outside the Earth's atmosphere to determine their strengths and weaknesses was developed given the reference algorithm. For the sake of clarity, the following graphs were constructed: a graph of solar insolation from a typical meteorological year; a graph of the error of approximation of data of a typical meteorological year by function of the first order; a graph of error of approximation of data of a typical meteorological year by function of the second order; a graph of the error of approximation of the first-order reference algorithm; a graph of the error of approximation of the second-order reference algorithm.*

*The practical significance of the algorithm is to use it in software that helps in calculating power for heliocentric solar radiation, PV plants and for possible use in other industries that require predictable solar insolation data.*

*Keywords: algorithm, error, orbit, graph, power, insolation, analysis, approximation.*

#### Постановка проблеми

Сонячна інсоляція за межами атмосфери Землі є однією із складових розрахунку сонячної інсоляції в певній точці. Значення потужності сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі можна отримати декількома способами. Проте кожен із способів має свою похибку а також споживає певну кількість процесорного часу. Для того, щоб полегшити вибір можна зробити тести цих алгоритмів в рівних умовах, та звести дані до таблиці за допомогою якої можна буде обрати оптимальний алгоритм для певної задачі.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Зазвичай в програмному забезпеченні, для якого точність не має критичного значення, використовується постійне значення. Найточнішим на даний момент є значення сонячної сталої, яке прийняте космічною спільнотою в 1366,1 Вт/м<sup>2</sup>[1]. Проте це значення є медіаною та не враховує рух Землі навколо Сонця.

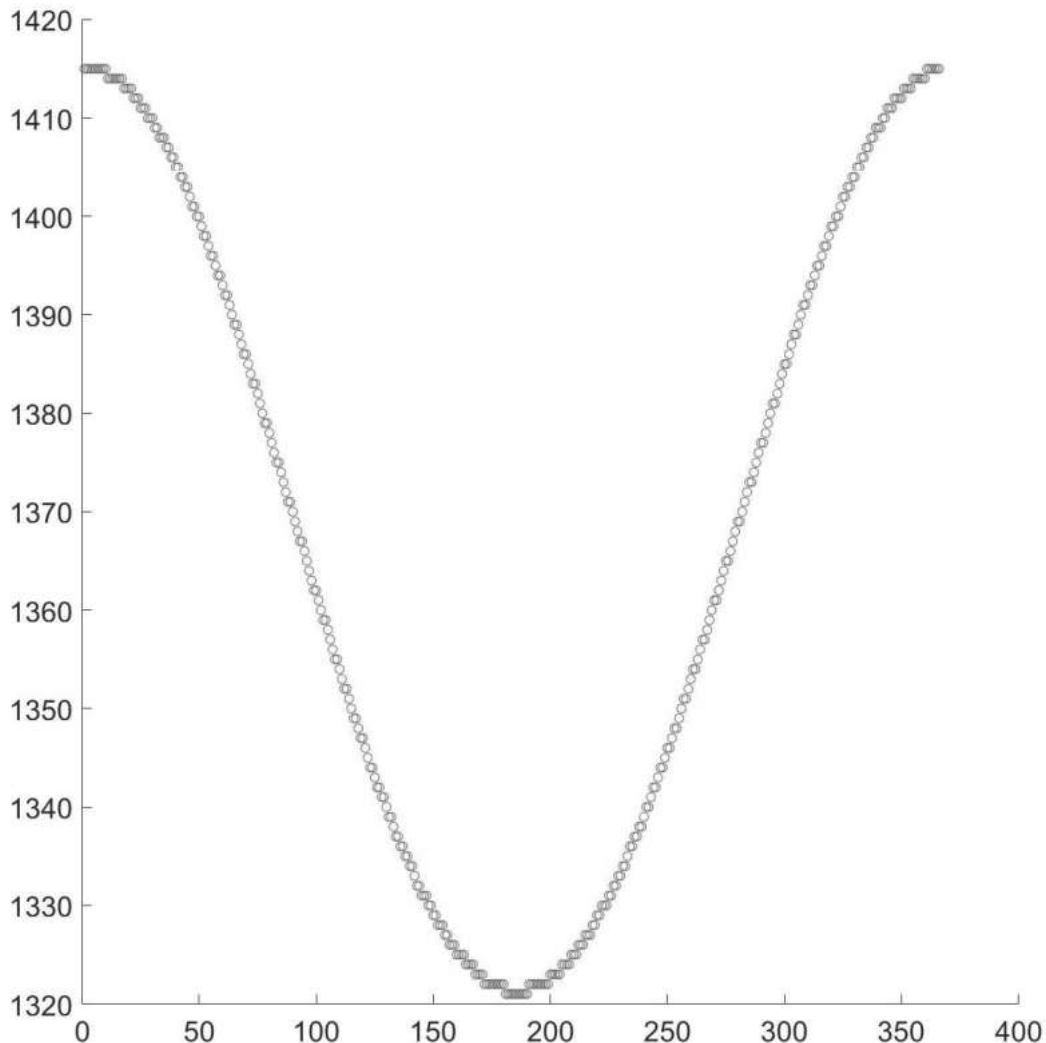
В програмному забезпеченні з підвищеними вимогами до точності зазвичай використовують спрощену формулу сонячної інсоляції за певний день року.

Приклад спрощеної формули [2]:

$$\frac{H}{H_{const}} = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi(n-2)}{365}\right), \quad (1)$$

Де  $H_{const}$  - середнє значення потужності сонячного випромінювання,  $H_{const} = 1353 \text{ Вт/м}^2$  ;  
 $n$  – порядковий номер дня в році.

Також нерідко використовуються данні типового метеорологічного року. Для прикладу були обрані дані ТМУЗ[3], які були розроблені національною лабораторією відновлюваної енергії США. На графіку ці данні мають наступний вигляд:



**Рис. 1. Графік сонячної інсоляції з даних типового метеорологічного року**

Медіана цього набору даних складає:  $1366 \text{ Вт/м}^2$ ;  
середнє значення:  $1367.1 \text{ Вт/м}^2$ .

National Solar Radiation Data Base одержало данні за період 1991- 2005 р.р. з 1021 метеостанції. Серед цих даних було використано 219 метеостанцій з найвищим класом точності, всього отримано 79935 точок.

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою роботи було порівняння існуючих алгоритмів розрахунку сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі та розробка еталонного алгоритму.



**Викладення основного матеріалу дослідження**

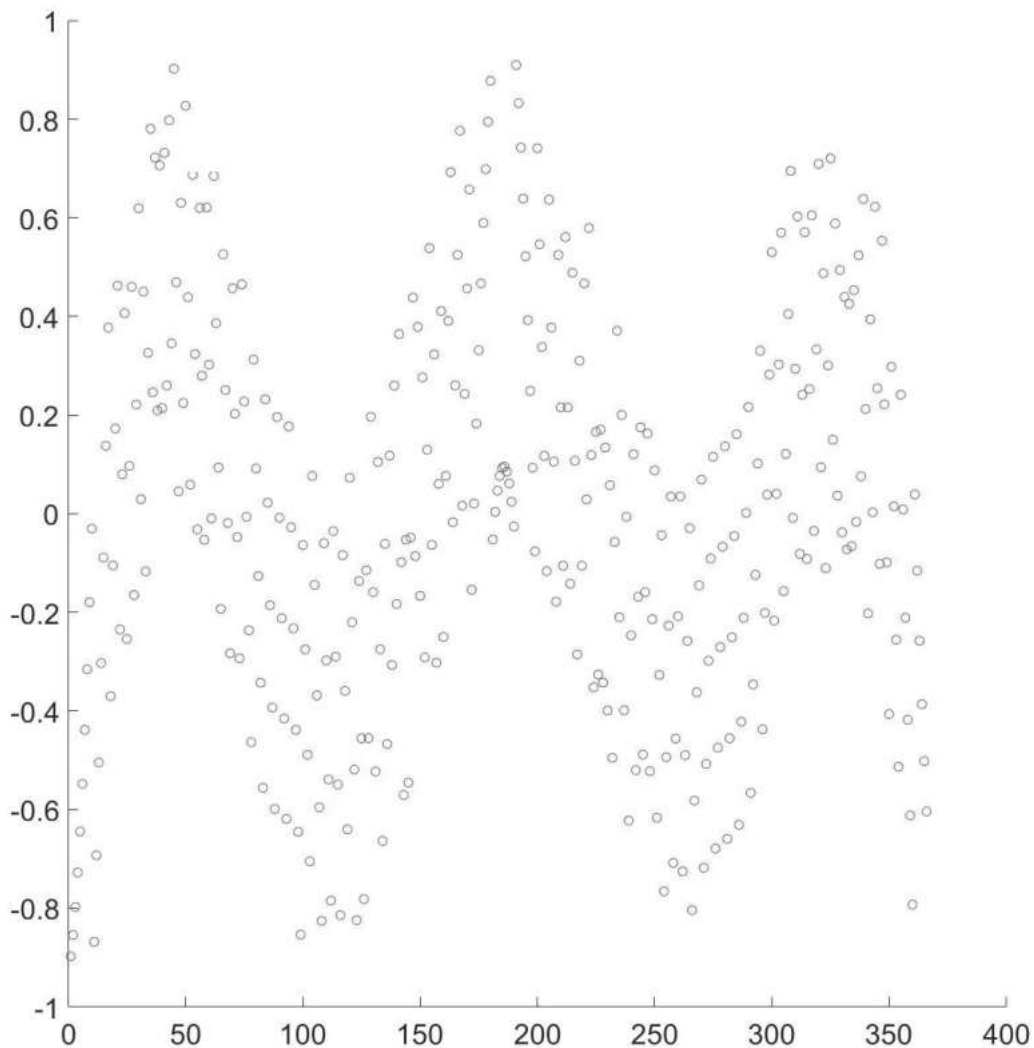
Використовувати базу даних сонячної інсоляції може бути не достатньо зручним рішенням. Ці дані округлені до цілого числа, та мають форму синусоїди. Для відображення цих даних у вигляді функції можна зробити апроксимацію. Так як ця функція має періодичний характер, має підійти функція Фур'є. При апроксимації функцією Фур'є першого порядку, було отримано наступну формулу:

$$H = 1368 + 47.5\cos(0.01676n) - 1.389\sin(0.01676n), \quad (2)$$

Коефіцієнт детермінації цієї функції дорівнює: 0.9998,

А середньоквадратична похибка складає  $0.4085 \text{ Вт/м}^2$ .

Графік похибки має наступний вигляд:



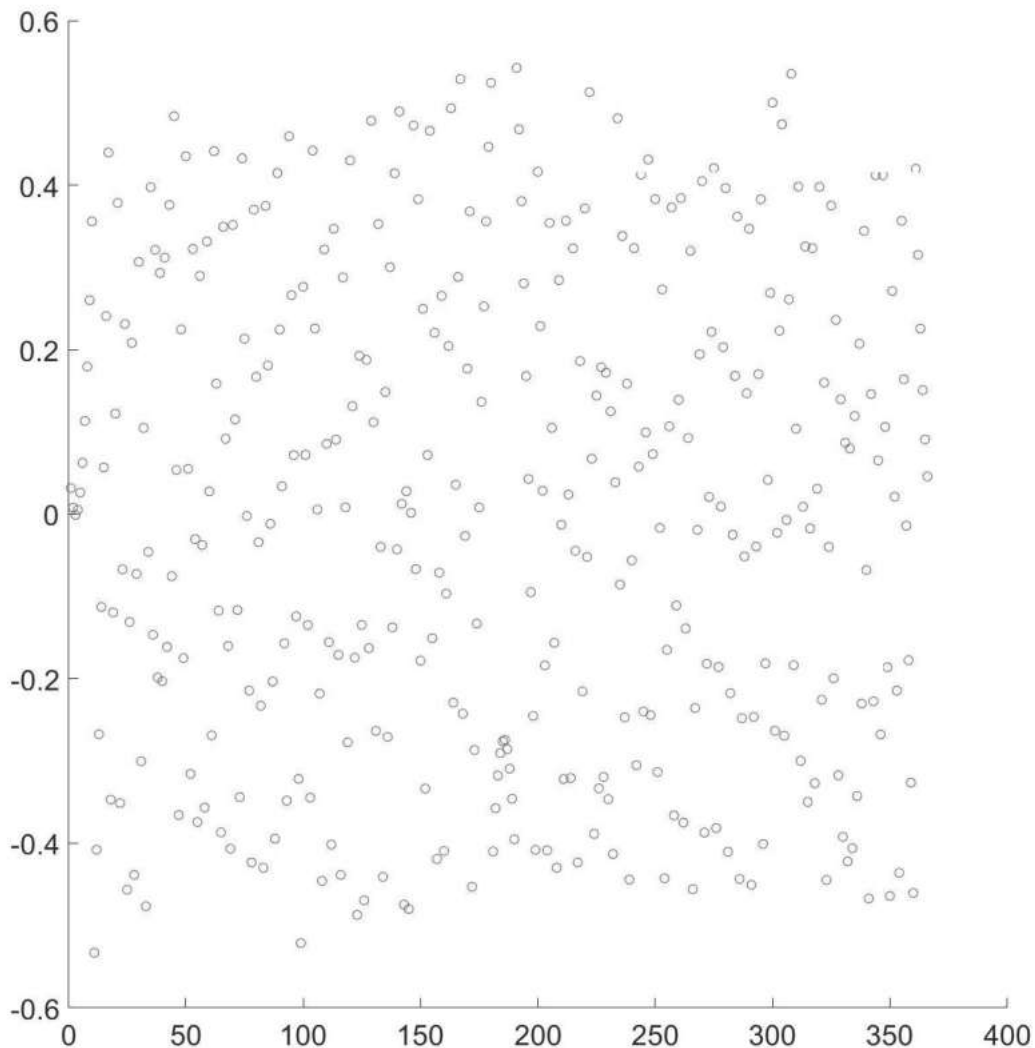
**Рис. 2. Графік похибки апроксимації даних типового метеорологічного року за функцією першого порядку**

Як можна зазначити графік похибки має періодичний характер, отже підвищення порядку функції може підвищити точність апроксимації.

Апроксимація функцією Фур'є другого порядку має наступний вигляд:

$$1367 + 46.8\cos(0.01719n) + 2.426\sin(0.01719n) + 0.9376\cos(2 \times 0.01719n) + 0.1315\sin(2 \times 0.01719n), \quad (3)$$

Коефіцієнт детермінації цієї функції дорівнює: 0.9999,  
А середньоквадратична похибка складає 0.29 Вт/м<sup>2</sup>.  
Графік похибки має наступний вигляд:



**Рис. 3. Графік похибки апроксимації даних типового метеорологічного року за функцією другого порядку**

Графік похибки має рівномірний характер, а враховуючи те, що дані округлені до цілих значень, можна вважати, що було досягнена функціональна залежність.

Точність розрахунків здебільшого залежить від точності розрахунку відстані від Сонця до Землі. Зазначені вище алгоритми використовують спрощену модель руху Землі навколо Сонця ці алгоритми можуть мати високу точність, але лише на певному інтервалі часу. Для більш точних розрахунків можливо скористатися більш точною моделлю руху Землі. Однією з найточніших математичних моделей розрахунку положення планет є теорія VSOP87[4] яка дозволяє розрахувати положення планет з точністю до однієї кутової секунди на часовому відрізку від 2000 років д. н. е. до 6000 років н. е.

Знаючи відстань від Сонця до Землі можна знайти потужність сонячного випромінювання за наступною формулою:

$$H = \frac{H_{Earth}}{D^2}, \quad (4)$$

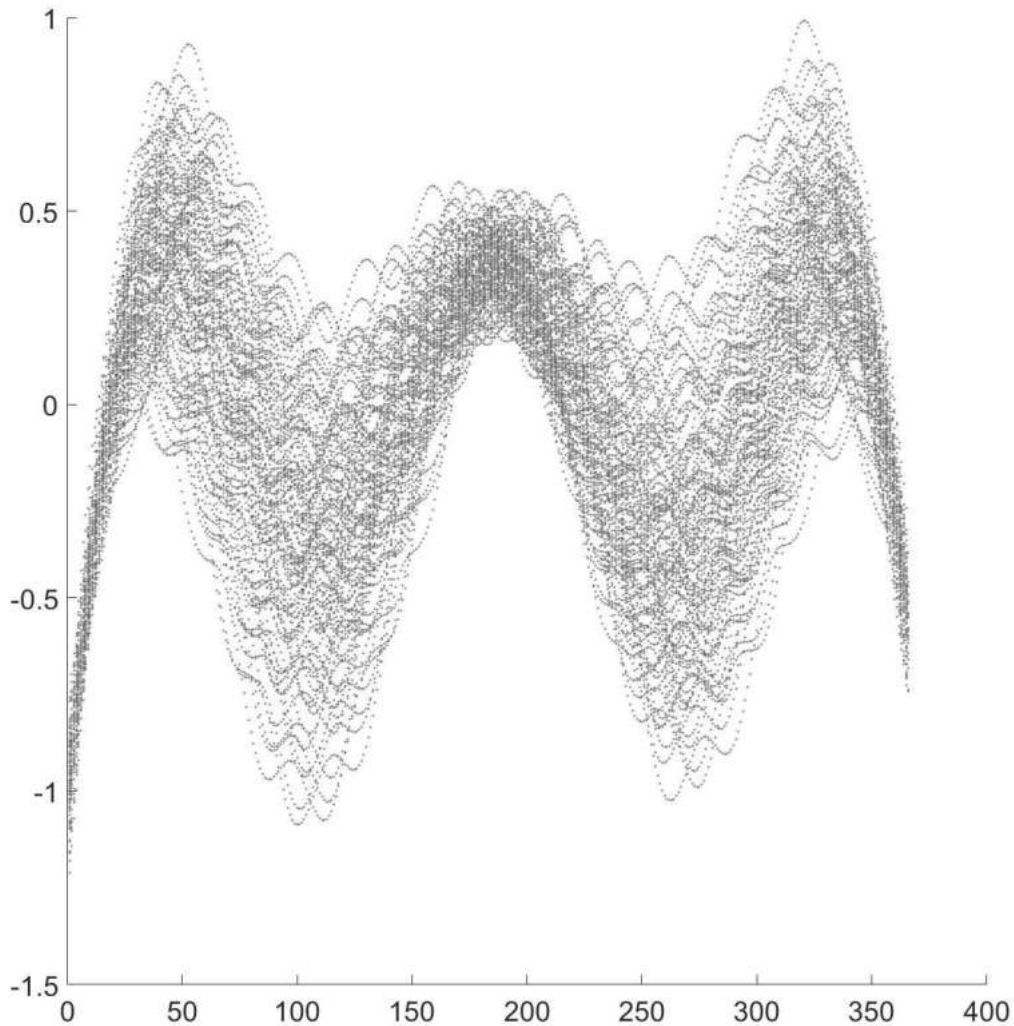
Де  $D^2$  відстань від Землі до Сонця в астрономічних одиницях

Хоча точний алгоритм дозволяє отримати найточніший результат, проте його виконання потребує значних ресурсів комп'ютера, тому було вирішено додатково розробити апроксимацію цього алгоритму. Характеристики орбіти Землі змінюються на великому проміжку часу, отже було вирішено робити апроксимацію для розрахунків за період з 2000 по 2100 роки. В якості функції апроксимації було використано функцію Фур'є.

Апроксимація за функцією першого порядку має наступний вигляд:

$$H = 1368 + 46.25 \cos(0.01675n) - 0.6233 \sin(0.01675n), \quad (5)$$

Графік похибки має наступний вигляд:

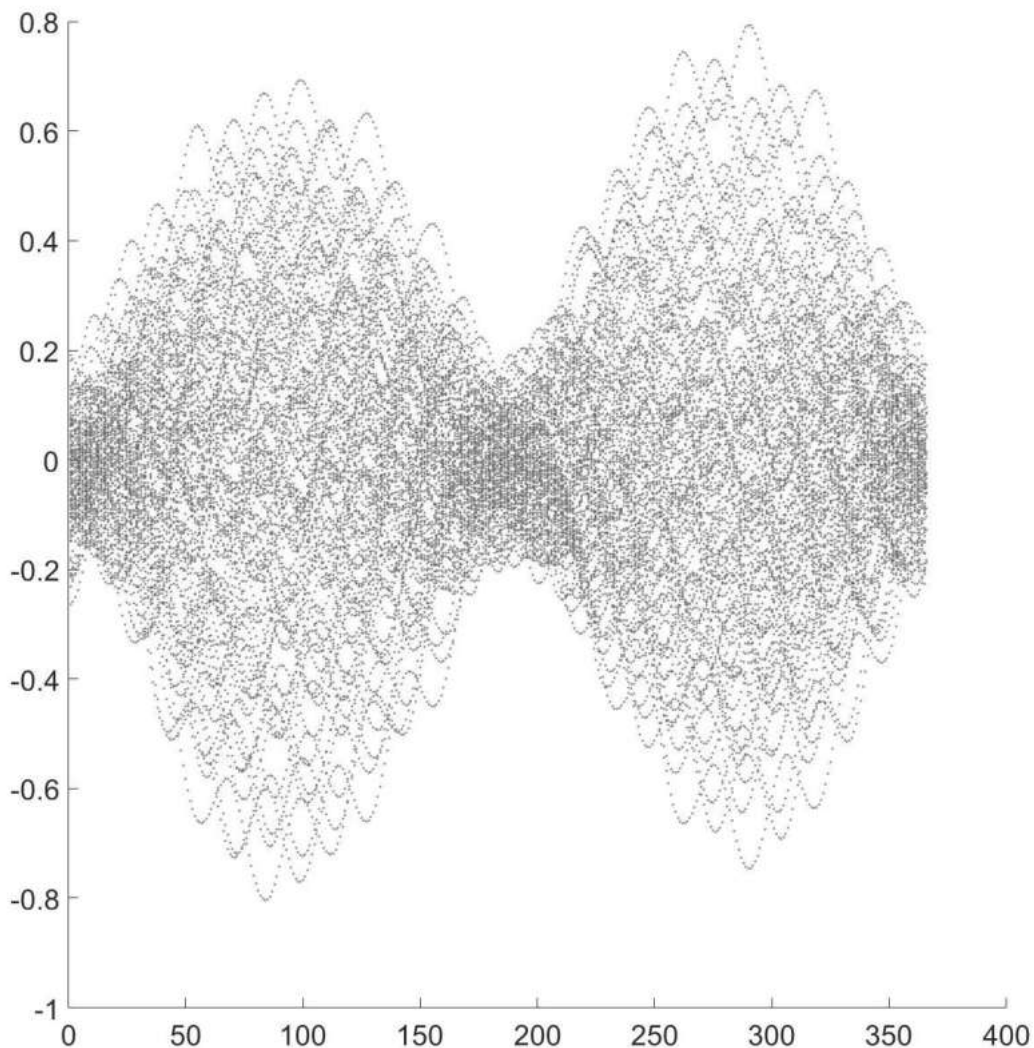


**Рис. 4. Графік похибки апроксимації еталонного алгоритму за функцією першого порядку**

Апроксимація за функцією другого порядку має наступний вигляд:

$$1366 + 45.52 \cos(0.01718n) + 3.072 \sin(0.01718n) + 0.911 \cos(2 \times 0.01718n) + 0.1239 \sin(2 \times 0.01718n), \quad (6)$$

Графік похибки має наступний вигляд:



**Рис. 5. Графік похибки апроксимації еталонного алгоритму за функцією другого порядку**

Подальше підвищення порядку функції не призводить до підвищення точності апроксимації.

Для остаточного вибору алгоритму були порівняні всі алгоритми за швидкістю роботи та точністю. Всі алгоритми були реалізовані на мові програмуванні C#. Час роботи кожного алгоритму вимірювався за допомогою класу Stopwatch. Всі алгоритми робили розрахунки для заздалегідь підготовленого масиву з датами за період від 01.01.2000 до 01.01.2100. Було виконано декілька прогонів для масивів від 1 до 525600 елементів. Всі алгоритми мають близькі можливості по розділенню на багато поточне виконання, тому для більшої точності вимірювання всі алгоритми виконувалися в одному потоці з найвищим пріоритетом.

Апаратна частина на якій проводилися тести представляє з себе:

Центральний процесор - AMD Ryzen 3 1200, який працює на базовій частоті (3.1 ГГц).

Оперативна пам'ять працює в двоканальному режимі на частоті 3333 МГц

В результаті були отримані наступні дані:

Таблиця 1

## Порівняння швидкості роботи алгоритмів

Алгоритм	Час розрахунку в мс.				
	1	12	365	8760	525600
Підстановка константи	0.0003	0.0003	0.0009	0.032	2.0344
Алгоритм G. D. Rai	0.142	0.1047	0.1625	0.8908	38.7256
Підстановка з масиву даних ТМУЗ	0.0895	0.1007	0.1506	0.3762	17.5563
Апроксимація даних ТМУЗ за першим порядком	0.1278	0.1142	0.1823	1.3163	72.8139
Апроксимація даних ТМУЗ за другим порядком	0.1311	0.1393	0.251	2.5137	139.0558
Точний розрахунок за допомогою повного алгоритму VSOP87	0.1397	0.4773	11.4612	270.1652	16349.2004
Використання лише першої гармоніки алгоритму VSOP87	0.1378	0.2077	6.1615	147.8361	8878.7557
Апроксимація алгоритму VSOP87 за першим порядком	0.0918	0.1562	0.1469	1.38	72.2877
Апроксимація алгоритму VSOP87 за другим порядком	0.1225	0.1995	0.2834	2.5269	140.7203

Для оцінки точності всі моделі були порівняні точним алгоритмом на базі алгоритму VSOP87.

Таблиця 2

## Порівняння похибки алгоритмів

Алгоритм	Коефіцієнт детермінації	Середньоквадратична похибка, Вт/м <sup>2</sup>
Підстановка константи	0	32,2487761611812
Алгоритм G. D. Rai	0,82859479365146	13,3511241844537
Підстановка з масиву даних ТМУЗ	0,996405524002744	1,93340850534399
Апроксимація даних ТМУЗ за першим порядком	0,998580898295569	1,21482184179058
Апроксимація даних ТМУЗ за другим порядком	0,998469897770687	1,2614384214661
Точний розрахунок за допомогою повного алгоритму VSOP87	1	0
Використання лише першої гармоніки алгоритму VSOP87	0,99998724766791	0,115159729952736
Апроксимація алгоритму VSOP87 за першим порядком	0,999662658897012	0,592298265902048
Апроксимація алгоритму VSOP87 за другим порядком	0,999829972313471	0,420499664545641

Для оцінки швидкості слід звернути увагу на те, що якщо час розрахунку менший ніж 17 мс. То розрахунок буде виконуватися між кадрами відображення, тобто буде повністю непомітним для користувача. В реальному програмному забезпеченні найвірогідніше буде розраховуватися щоденне значення на протязі одного року, тобто всього буде проводитись 365 розрахунків, а всі алгоритми виконують 365 розрахунків менше ніж за 17 мс.

## Висновки

1. Для отримання мінімальної похибки результатів дослідження було використано найточніші на даний момент значення сонячної сталої, яке було прийняте космічною спільнотою. Це дало змогу зробити порівняльний аналіз розробленого алгоритму з іншими існуючими алгоритмами, та дослідити різні способи отримання потужності сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі. Для підвищення точності еталонного алгоритму було враховано, що характеристики орбіти Землі безперервно змінюються на великому проміжку часу, тому було зроблено апроксимацію для розрахунків за період з 2000 по 2100 роки за допомогою функції Фур'є. Проведене дослідження дало змогу побудувати математичну модель для прогнозування сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі на значному проміжку часу.

2. В процесі дослідження визначено які похибки має кожен з існуючих алгоритмів та розглянутих способів, також досліджено споживання кількості процесорного часу кожним з цих способів. Було розроблено тести для кожного з розглянутих алгоритмів в рівних умовах для порівняння їх ефективності та точності. Отримані дані зведено до таблиці, за допомогою якої можна буде обрати

оптимальний алгоритм для певної задачі, а також порівняно час виконання реалізацій цих алгоритмів. Враховуючи, що отриманий еталонний алгоритм має мінімальну похибку в порівнянні з існуючими, та споживає меншу кількість процесорного часу, його використання для розрахунків сонячної інсоляції за межами атмосфери Землі буде переважним перед розглянутими при порівнянні алгоритмами.

#### Список використаної літератури

1. ASTM E490-00a(2019). Standard Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
2. G. D. Rai, Solar Energy Utilisation. Khanna Publishers, 1980. 44 с.
3. National Solar Radiation Data Base. URL: [https://rredc.nrel.gov/solar/old\\_data/nsrdb/1991-2005/tmy3](https://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb/1991-2005/tmy3) (дата звернення: 08.12.2019)
4. Bretagnon, P.; Francou, G. Planetary Theories in rectangular and spherical variables: VSOP87 solution. Astronomy and Astrophysics, Vol. 202, 309 с.

#### References

1. ASTM E490-00a(2019), Standard Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, [www.astm.org](http://www.astm.org). doi: 10.1520/E0490-00AR19
2. G. D. Rai, "Solar Energy Utilisation", Khanna Publishers, 1980, p. 44.
3. National Solar Radiation Data Base. Available at: [https://rredc.nrel.gov/solar/old\\_data/nsrdb/1991-2005/tmy3](https://rredc.nrel.gov/solar/old_data/nsrdb/1991-2005/tmy3) (accessed 08 December 2019).
4. Bretagnon, P.; Francou, G. (1988). "Planetary Theories in rectangular and spherical variables: VSOP87 solution". Astronomy and Astrophysics. 202: 309.

УДК 621.382.2

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.6>

А.Н. ФРОЛОВ

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова

ORCID: 0000-0003-2186-9488

С.Р. СЕЛИВЕРСТОВА

Херсонская государственная морская академия

ORCID: 0000-0003-1015-1593

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК И ПАРАМЕТРОВ ПРИБОРА КВ114

*В статье рассмотрены эффекты, которые влияют на параметры и характеристики и уменьшают себестоимость изготовления прибора КВ114. Для изготовления прибора применяется меза-технология, которая позволяет получать максимально-возможные напряжения пробоя и использует только одну фотолитографию, что приводит к снижению себестоимости изготовления пластин с кристаллами. Однако эта технология приводит к большому разбросу параметров и характеристик, а также не позволяет получить максимально возможные значения добротности и коэффициента перекрытия по емкости. Кроме того, при анализе выхода годных, было определено, что основной причиной малого выхода годных приборов является высокий уровень обратных токов.*

*Целью работы является определение причины появления больших обратных токов и определение технологии, позволяющей снизить уровень обратных токов при малой себестоимости изготовления пластин.*

*Наименьшую себестоимость изготовления приборов дают процессы с наименьшим количеством фотолитографий.*

*Исследование эффектов, влияющих на обратные токи, показало, что основной причиной высокого уровня обратных токов является применение никеля для формирования металлического контакта. Никель дает глубокие уровни в запрещенной зоне кремния, что значительно повышает токи рекомбинации. Для уменьшения токов рекомбинации необходимо применять алюминий вместо никеля. Это приводит к снижению уровня обратных токов на несколько порядков.*

*Для улучшения параметров и характеристик прибора без увеличения себестоимости предложен новый технологический процесс с применением слоев пористого анодного окисла кремния. В этом процессе используется только одна фотолитография, что уменьшает себестоимость изготовления пластины с кристаллами. Новая технология позволяет получить максимально-возможные значения напряжения пробоя, добротности, коэффициента перекрытия по емкости и уменьшает разброс параметров и характеристик приборов на разных пластинах. За счет применения алюминия вместо никеля выход годных по обратным токам увеличился с 15% до 95%.*

*Ключевые слова: меза-структура, меза-технология, обратный ток, пористый анодный окисел кремния.*

О.М. ФРОЛОВ

Национальний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова

ORCID: 0000-0003-2186-9488

С.Р. СЕЛІВЕРСТОВА

Херсонська державна морська академія

ORCID: 0000-0003-1015-1593

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПОЛІПШЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ПАРАМЕТРІВ ПРИЛАДУ КВ114

*В статті розглянуто ефекти, які впливають на параметри та характеристики приладу і знижують собівартість виготовлення приладу КВ114. Для виготовлення приладу застосовується меза-технологія, яка дозволяє отримати максимально-можливу напругу пробоя та використовує тільки одну фотолитографію, що приводить до зниження собівартості виготовлення пластин з кристалами. Однак ця технологія приводить до великого розкиду параметрів та характеристик приладу, а також не дозволяє отримати максимально-можливі значення добротності і коефіцієнта перекриття по ємності. Крім цього при аналізі виходу придатних приладів було виявлено, що основною причиною малого виходу придатних приладів є високий рівень зворотних струмів.*

*Метою роботи є визначення причини появи великих зворотних струмів та визначення технології, яка дозволяє знизити рівень зворотних струмів при малій собівартості виготовлення пластин.*

Найменшу собівартість виготовлення приладів дають процеси з найменшою кількістю фотолітографії.

Дослідження ефектів, які впливають на зворотні струми, показує, що основною причиною високого рівня зворотних струмів є використання нікелю для формування металічного контакту. Нікель дає глибокі рівні в забороненій зоні кремнію, що значно підвищує струми рекомбінації. Для зменшення струмів рекомбінації необхідно використовувати алюміній замість нікелю. Це приводить до зниження рівня зворотних струмів на декілька порядків.

Для поліпшення параметрів та характеристик приладу без підвищення собівартості запропонований новий технологічний процес з застосуванням шарів пористого анодного окислу кремнію. В цьому процесі використовується тільки одна фотолітографія, що зменшує собівартість виготовлення пластин з кристалами. Нова технологія дозволяє отримати максимально-можливі значення напруги пробою, добротності, коефіцієнта перекриття по ємності та зменшує розкид параметрів і характеристик приладів на різних пластинах. За рахунок використання алюмінію замість нікелю вихід придатних по зворотним струмам підвищився з 15% до 95%.

Ключові слова: меза-структура, меза-технологія, зворотний струм, пористий анодний окисел кремнію.

A.N. FROLOV

Admiral Makarov National University of Shipbuilding

ORCID: 0000-0003-2186-9488

S.R. SELIVERSTOVA

Kherson State Maritime Academy

ORCID: 0000-0003-1015-1593

#### RESEARCH OF WAYS OF IMPROVEMENT OF CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF KB114 DEVICE

The article discusses the effects that affect the parameters and characteristics and reduce the cost of manufacturing the device KV114. For the manufacture of the device, the mesa-technology is used, which allows to obtain the maximum possible breakdown voltages and uses only one photolithography, which leads to a reduction in the cost of manufacturing plates with crystals. However, this technology leads to a large scatter of parameters and characteristics, and also does not allow to obtain the maximum possible values of the quality factor and the coefficient of overlap in capacity. In addition, when analyzing the yield, it was determined that the main reason for the low yield of suitable devices is a high level of reverse currents.

The aim of the work is to determine the cause of the appearance of large reverse currents and to determine the technology that allows to reduce the level of reverse currents at a low cost of manufacturing plates.

The lowest cost of manufacturing devices give processes with the least number of photolithographs.

A study of the effects that affect reverse currents has shown that the main reason for the high level of reverse currents is the use of nickel to form a metal contact. Nickel gives deep levels in the band gap of silicon, which significantly increases the recombination currents. To reduce recombination currents, it is necessary to use aluminum instead of nickel. This leads to a decrease in the level of reverse currents by several orders of magnitude.

To improve the parameters and characteristics of the device without increasing the cost, a new technological process using layers of porous anode silicon oxide is proposed. In this process, only one photolithography is used, which reduces the cost of manufacturing a plate with crystals. The new technology allows to obtain the maximum possible values of breakdown voltage, quality factor, overlap coefficient for capacitance and reduces the spread of parameters and characteristics of devices on different plates. Due to the use of aluminum instead of nickel, the yield on reverse currents increased from 15% to 95%.

Keywords: mesa-structure, mesa-technology, reverse current, porous anodic silicon oxide.

#### Постановка проблеми

Полупроводниковый кремниевый прибор KB114 (варикап) имеет следующие основные параметры и характеристики [1]:

- емкость при напряжении обратного смещения  $U=4В$ ,  $C = 68\pm 14$  пФ;
- добротность на частоте  $f=10$  МГц при напряжении обратного смещения  $U=4В$ ,  $Q$ - не менее 400 ед.;
- обратный ток (ток утечки) при напряжении обратного смещения  $U=115В$ ,  $I_{обр}$ - не более 10 мкА;
- напряжение пробоя:  $U_{проб}$ - не менее 115В (группа А); не менее 150В (группа Б);
- коэффициент перекрытия по емкости  $K_c$ - не менее 3,9 (группа А), не менее



4,1 (группа А).

По своим параметрам и характеристикам прибор KB114 может использоваться как варикап или как универсальный диод в слаботочных электронных цепях с напряжениями питания до 100 В.

Прибор KB114 изготавливается по меза-технологии на кремниевых эпитаксиальных  $n$ - $n^+$  структурах, в которых эпитаксиальный слой  $n$ -типа имеет удельное сопротивление  $\rho=4,5$  Ом·см. Эта технология производства очень проста, включает только одну фотолитографию, что уменьшает себестоимость производства. А применение меза-структуры позволяет получать напряжения пробоя, близкие к теоретически возможным [2]. Для изготовления меза-структуры прибора применяется нанесение слоя нитрида кремния  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Меза-структура создается путем травления кремния. Удаление слоя нитрида кремния проводится селективным травлением в кипящем растворе ортофосфорной кислоты. Основные этапы производства прибора KB114 приведены на рис. 1.

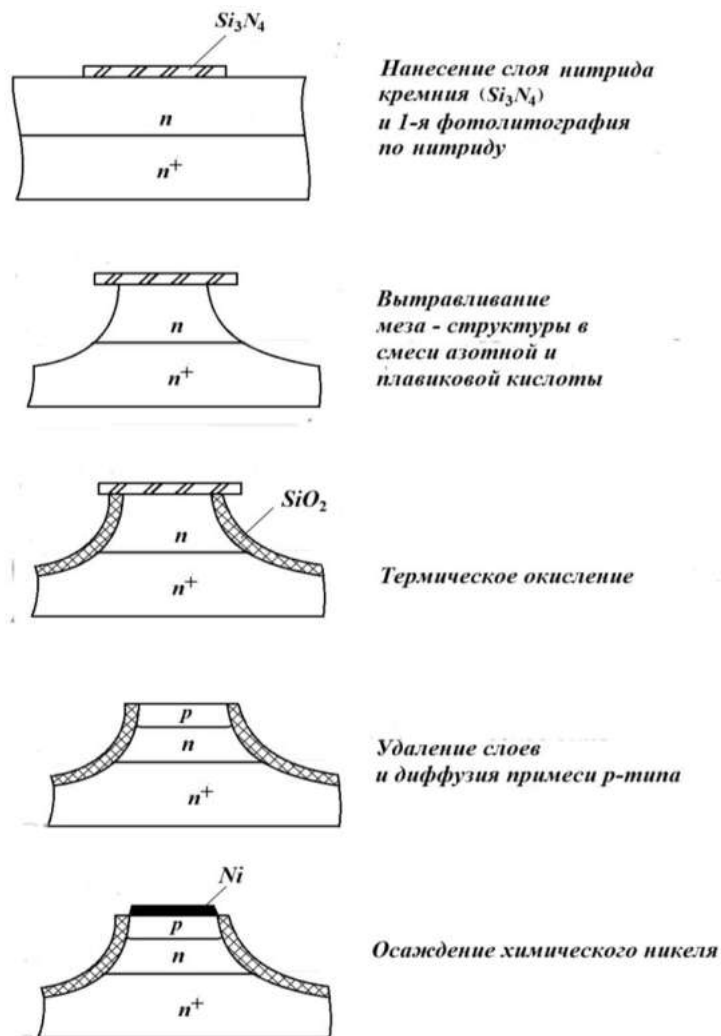


Рис. 1. Основные этапы изготовления прибора KB114

Однако на производстве прибор KB114 имеет малый выход годных, - не более 15%, что обуславливает его высокую себестоимость.

В первую очередь такой малый выход годных приборов обусловлен высоким уровнем обратных токов, которые имеют большой разброс значений и большая часть приборов имеет обратные токи больше нормы, хотя для кремниевых приборов эта норма довольно высока.

Высокий уровень обратных токов не удовлетворяет современным требованиям к приборам такого типа, и не позволяет провести отбраковку приборов с некоторыми дефектами, что уменьшает уровень безотказности.

Анализ влияния меза-структуры на коэффициент перекрытия по емкости, показал, что такая структура не позволяет получать максимально-возможных значений.

Кроме того, на производстве выяснено, что применение меза-структуры не позволяет уменьшить разброс по площади р-п переходов для приборов с разных партий из-за особенностей процесса травления меза-структуры. А разброс по площадям приводит к разбросу параметров и характеристик диодов, что требует дополнительной настройки радиоэлектронной аппаратуры у потребителя, повышая трудоемкость и себестоимость этой аппаратуры.

#### Анализ последних исследований и публикаций

Недостатки прибора KB114 обусловлены в первую очередь с применяемой технологией изготовления. В том числе:

Большой разброс по емкости. Емкость полупроводниковых р-п переходов определяется по выражению:

$$C = S_{p-n} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot e \cdot N_{p-n}}{2 \cdot (U + \varphi_k)}}; \quad (1)$$

где: -  $S_{p-n}$  - площадь р-п перехода;

-  $N_{p-n}$  - концентрация примеси на р-п переходе;

-  $\varphi_k$  - контактная разность потенциалов;

-  $\varepsilon_0$  - диэлектрическая постоянная;

-  $\varepsilon$  - удельная диэлектрическая проницаемость кремния.

Из выражения (1) видно, что емкость в первую очередь зависит от площади р-п перехода. Из-за большого количества разнообразных факторов, влияющих на скорость травления меза-структуры (колебания температуры и давления окружающей среды, концентрации примеси в эпитаксиальном слое, небольшие отклонения концентрации кислот в травителе, насыщенность раствора продуктами травления, неточность в работе оператора по времени окончания процесса травления и т.д.), скорость травления кремния и глубина травления имеют значительный разброс на разных партиях пластин. Поэтому площадь р-п перехода на разных пластинах разных партий получается с большим отклонением, как показано на рис. 2. Большой разброс по площади р-п перехода приводит к появлению разброса не только по емкости, но и по добротности.

Значит, к большому разбросу по емкости приводит использование типовой меза-технологии для производства приборов KB114.

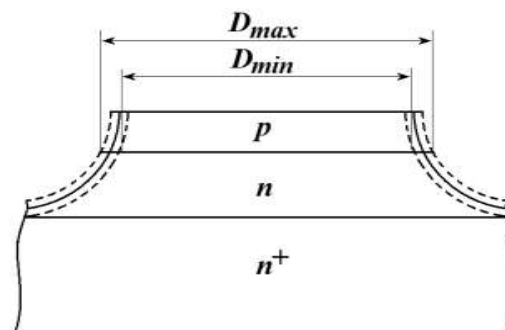


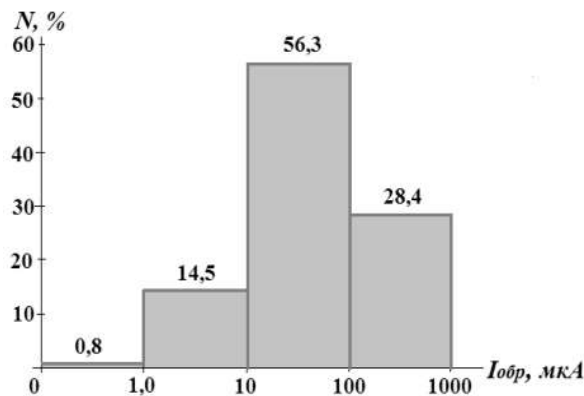
Рис. 2. Величина площади р-п переходов, получаемых при формировании меза-структуры при помощи кислотных травителей

Замена меза-технологии на технологию с планарным р-п переходом, в которой площадь р-п перехода определяется только возможностями фотолитографии, приводит к уменьшению разброса по емкости до нескольких %, но одновременно приводит к значительному уменьшению напряжения пробоя. Применение известных способов увеличения напряжения пробоя планарных р-п переходов использованием методов охранного кольца или расширенной металлизации [2] приводит к уменьшению таких параметров, как коэффициент перекрытия по емкости  $K_c$  или добротность  $Q$ . Кроме того, планарная технология требует увеличения количества фотолитографий, что увеличивает себестоимость изготовления пластин с кристаллами.

Очевидно, что альтернативой применяемой меза-технологии является технология с применением слоев пористого анодного окисла кремния [3]. Она позволяет создавать р-п переходы с максимально достижимыми напряжениями пробоя, а площадь р-п переходов определяется только возможностями фотолитографии и не зависит от размеров слоя пористого анодного окисла кремния.

Процент выхода годных и уровень обратных токов. Наибольший вклад в уменьшение выхода годных кристаллов вносит превышение уровня обратных токов над нормативным показателем (не более

10 мкА). Гистограмма распределения обратных токов, построенная на статистике измерения 24 пластин с кристаллами из 8 партий, приведена на рис. 3.



**Рис. 3. Гистограмма распределения обратных токов при типовой технологии изготовления приборов КВ 114**

Как видно из гистограммы, для увеличения выхода годных приборов необходимо значительно уменьшать обратные токи. Теоретически обратный ток полупроводниковых р-п переходов состоит из нескольких составляющих:

$$I_{обр} = I_{Г.ОПЗ} + I_{Г.V} + I_S + I_{ут.пов}; \quad (2)$$

где: -  $I_{Г.ОПЗ}$  - ток тепловой генерации электронно-дырочных пар в области пространственного заряда;  
 -  $I_{Г.V}$  - ток тепловой генерации электронно-дырочных пар в объеме полупроводниковых областей;  
 -  $I_S$  - ток поверхностной рекомбинации;  
 -  $I_{ут.пов}$  - ток утечки по поверхности перехода;

Известно, что для кремниевых приборов ток  $I_{Г.V}$  значительно меньше, чем ток  $I_{Г.ОПЗ}$ . Также при защите р-п переходов термическим окислом очень мала величина тока утечки  $I_{ут.пов}$ . Для кремниевых приборов величина тока составляющей тока  $I_{Г.ОПЗ}$  составляет основную часть тока насыщения  $I_o$ , который можно определить по вольтамперной характеристике (ВАХ) прибора при прямом смещении, используя выражение:

$$I_{np} = I_o \cdot \exp\left(\frac{eU_{np}}{kT}\right) - 1; \quad (3)$$

где: -  $U_{np}$  – напряжение прямого смещения;  
 -  $I_{np}$  - ток при напряжении  $U_{np}$ ;  
 -  $k$  – постоянная Больцмана;  
 -  $e$  - заряд электрона;  
 -  $T$  – температура при измерении (в градусах Кельвина).

Расчет тока  $I_o$  по измеренным ВАХ приборов, показывает, что этот ток составляет доли нА. Значит, в обратном токе прибора КВ114 основной составляющей может быть ток поверхностной рекомбинации.

**Формулирование цели исследования**

Целью работы являлось исследование вариантов технологии производства приборов КВ114 для определения способов уменьшения уровня обратных токов и повышения выхода годных приборов.

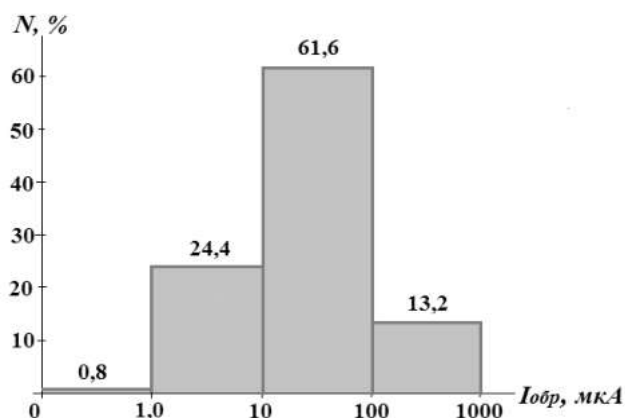
**Изложение основного материала исследования**

Для определения влияния конструкции и технологии изготовления прибора КВ114 на обратные токи были рассмотрены следующие предположения:

1. малая величина удельного сопротивления приводит к тому, что величина  $I_{обр}$  измеряется в предпробойной области ВАХ при обратном смещении;
2. на обратный ток сильное влияние оказывают скрытые дефекты, которые образуются в процессе выполнения технологических операций;
3. основной составляющей обратного тока является ток поверхностной рекомбинации.

Для проверки первого предположения, была проведена партия из 4 пластин на эпитаксиальных структурах, в которых эпитаксиальный слой имел повышенное удельное сопротивление  $\rho=6,5$  Ом·см вместо  $\rho=4,5$  Ом·см. Технологический процесс изготовления приборов не отличался от типового. После металлизации никелем и вжигания контакта проводилось измерение обратных токов и напряжения пробоя. Хотя напряжения пробоя в среднем увеличились на 15-20В, но распределение обратных токов почти не отличалось от представленного на рисунке 3.

Для проверки второго предположения, что уровень обратных токов зависит от внесенных в процессе изготовления дефектов, была проведена партия из 4 пластин по типовой технологии, но с дополнительной диффузией бора в р-п переход. Предполагалось, что проведение дополнительной диффузии бора в уже созданный слой р-типа приведет к геттерированию дефектов, а это должно уменьшить уровень обратных токов. Однако при дополнительной диффузии глубина р-п перехода увеличивается. Это приводит к уменьшению напряжения пробоя по условию смыкания ОПЗ р-п перехода с низкоомной  $n^+$ -подложкой, но одновременно привело к некоторому уменьшению уровня обратных токов. Гистограмма распределения обратных токов в эксперименте с дополнительной диффузией бора приведена на рис. 4.



**Рис. 4. Гистограмма распределения обратных токов при дополнительной диффузии бора в р-области**

Как видно из гистограммы уровни обратных токов в среднем уменьшились. Однако этот эффект не может быть объяснен геттерированием, так как согласно [4] геттерирование проводится для удаления быстро диффундирующих примесей из активных областей приборов созданием геттера в неактивных областях, а область р-типа р-п перехода является активной областью. Эффект уменьшения обратных токов объясняется тем, что при дополнительной диффузии увеличивается глубина р-п перехода, а согласно [5] скорость поверхностной рекомбинации носителей заряда в полупроводниках обратно пропорциональна квадрату глубины р-п перехода, т.е. с увеличением глубины залегания р-п перехода, обратные токи уменьшаются. Это дает возможность сделать вывод, что уровни обратных токов зависят от рекомбинации носителей заряда на границе раздела никеля и кремния.

Как известно, никель дает глубокие уровни в запрещенной зоне кремния: в половине запрещенной зоны, близкой к зоне проводимости – акцепторные уровни с энергией 0,35 эВ, а в другой половине акцепторные уровни с энергией 0,23 эВ [6, 7]. Это приводит к значительной величине обратных токов из-за процессов рекомбинации носителей заряда через глубокие уровни.

Известно, что алюминий в качестве контактного металла не дает глубоких уровней в кремнии, что обуславливает его широкое применение для металлизации полупроводниковых приборов и микросхем. Однако, из-за того, что на меза-структуре с нанесенным в вакууме слоем алюминия плохо держится фоторезист, то очень сложно провести качественную фотолитографию на всех кристаллах пластины. Кроме того, фотолитография по алюминию – это дополнительная фотолитография, что увеличивает себестоимость производства.

Технология с пористым анодным окислом кремния [3] позволяет использовать достоинства меза-технологии не только по увеличению напряжения лавинного пробоя и по уменьшению числа технологических операций, но также позволяет создавать алюминиевый контакт вместо никелевого контакта. А это должно значительно уменьшить уровень обратных токов.

Для проверки данного варианта технологии была проведена партия из 4 пластин. Основные технологические операции проводились в типовых режимах создания прибора KB114, с нижеприведенными отличиями.

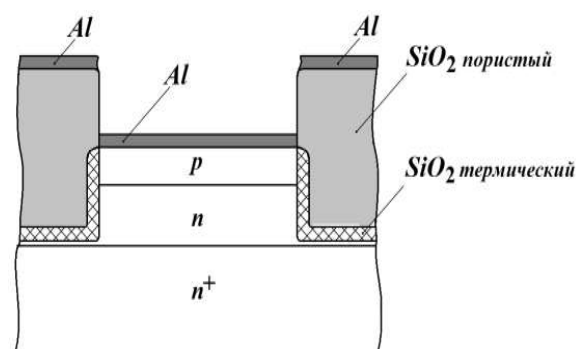
Вместо формирования меза-структуры путем травления кремния в кислотных травителях, после фотолитографии по нитриду, проводилось анодное окисление в режимах формирования пористого анодного окисла кремния в кипящем водном растворе борной кислоты. Режим подбирался так, чтобы высота слоя пористого анодного окисла над планарной поверхностью была в пределах 12-15 мкм.

Полученные слои пористого анодного окисла кремния имели вертикальные стенки.

После этого проводилась операция термического окисления через пористый окисел при температуре 1100°C в течении 45 минут в атмосфере влажного кислорода.

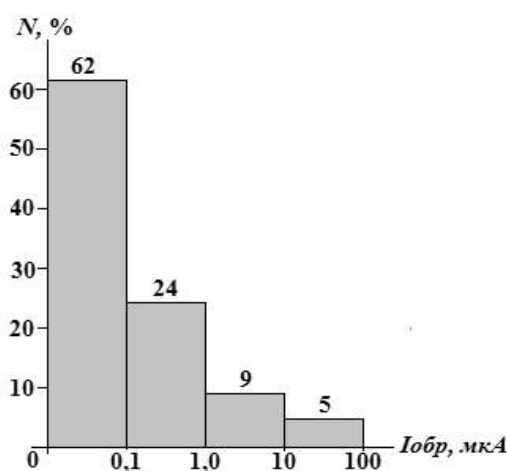
Удаление слоя нитрида кремния проводилось при помощи типовой операции травления в водном растворе кипящей ортофосфорной кислоты.

Металлический контакт создавался не химическим осаждением никеля, а путем вакуумного напыления алюминия термическим распылением. Из-за обрыва слоя алюминия на вертикальных стенках слоев пористого анодного окисла кремния, фотолитография по алюминию не применялась. При достаточной высоте слоев пористого анодного окисла кремния (больше чем в 10-11 раз, чем толщина слоя алюминия – 1-1,2 мкм) напыленный слой алюминия разрывается на вертикальных стенках пористого окисла [8]. В результате эксперимента получается структура прибора, показанная на рис. 5, т.е. получается отдельный алюминиевый контакт к р-п переходу и отдельно слой алюминия на поверхности пористого окисла кремния.



**Рис. 5. Поперечный разрез структуры высоковольтного прибора, изготовленного по технологии с применением слоев пористого анодного окисла кремния**

После вжигания алюминия при температуре 450°C в течении 25 минут в инертной атмосфере (в азоте) проводилось измерение обратных токов. Гистограмма распределения обратных токов на пластинах приборов с пористым анодным окислом кремния и алюминиевой металлизацией приведена на рис. 6.



**Рис. 6. Гистограмма распределения обратных токов на пластинах с пористым анодным окислом кремния и алюминиевой металлизацией**

Как видно из гистограммы, уровень обратных токов по сравнению с типовой меза-технологией изготовления приборов КВ114 значительно уменьшился. Процент выхода годных кристаллов на пластине по обратным токам увеличился до 95 %.

Кроме того, следует отметить, что при случайной закоротке, емкость прибора сильно не изменяется, так как емкость дополнительной структуры металл - пористый окисел – полупроводник мала из-за большой толщины пористого окисла.

#### Выводы

1. Основной причиной малого выхода годных приборов КВ114 являются значительные значения обратных токов, которые обусловлены применением никеля для металлизации контактов.
2. Замена никеля на алюминий в типовой технологии изготовления меза-структур прибора приводит к значительному увеличению себестоимости.
3. Меза-структура позволяет получать максимально-возможные напряжения пробоя, но приводит к большому разбросу параметров и характеристик приборов с разных партий из-за влияния различных факторов (температура, давление, время и т.д.) на процесс травления.
4. Применение новой технологии изготовления прибора КВ114 с использованием слоев пористого анодного окисла кремния позволяет:
  - получать высокие напряжения лавинного пробоя, используя такие же достоинства, как и у меза-структуры;
  - уменьшает разброс параметров, так как разброс глубины залегания слоев пористого анодного окисла кремния не влияет на площадь р-п перехода;
  - использовать в процессе изготовления только одну операцию фотолитографии, что уменьшает себестоимость изготовления кристаллов приборов;
  - приводит к уменьшению уровня обратных токов на несколько порядков, что повышает выход годных с 15% до 95%.

#### Список использованной литературы

1. Диоды: справочник /О.П.Григорьев, В.Я. Замятин, Б.В. Кондратьев, С.Л. Пожидаев. – М.: Радио и связь, 1990. – 316с.
2. Кремниевые планарные транзисторы. Под ред. Я.А. Федотова. – М.: Сов.радио, 1973. – 336 с.
3. Фролов О.М., Шевченко В.В., Філіпчук О.М. и др. Патент на корисну модель №102197. Спосіб виготовлення високовольтних діодів зі змінною ємністю. МПК: HOIL 29/93 (2006.01), HOIL 21/31(2006.01), HOIL 21/329. (2006.01), Опубл.26.10.2015. Бюл.№20.
4. Lavine J.P. Defect site competition for metal atoms in intrinsically gettered silicon: numerical model// J. Appl. Phys. – 1987, Vol. 62, №5. – P. 1682-1688.
5. Трутко А.Ф. Методы расчета транзисторов. Издание 2-е, переработанное и дополненное.- М.: Энергия, 1971.- 272 с.
6. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Книга 1. Перевод с англ.- 2-е переработанное и дополненное изд.- М.: Мир, 1984.- 456 с.
7. Матсон Э.А., Крыжановский Д.В. Справочное пособие по конструированию микросхем. – Минск: Выш. школа, 1982. – 224 с.
8. Фролов О.М., Філіпчук О.М., Шевченко В.В. и др. Патент на корисну модель №120347. Спосіб виготовлення діодів зі змінною ємністю. МПК(2017.01) HOIL 21/00, HOIL 21/761(2006.01). Опубл.25.10.2017. Бюл. №20.

#### Referenses

1. Diodes: spravochnik/O.P. Grigoryev, V.YA. Zamyatin, B.V. Kondratiev, S.L.Pozhidaev. – М.: Radio i svyaz, 1990. – 331 p.
2. Kremnievie planarnie tranzistori. Pod red. YA.A. Fedotova. – М.: Sov.radio, 1973. – 336 p.
3. Frolov O.M., Schevchenko V.V., Filipchuk O.M. i dr. Patent na korisnu model №102197. Sposib vigotvlennya visokovoltnih diodiv zi zminnoyu emnistyu. MPK: HOIL 29/93 (2006.01), HOIL 21/31(2006.01), HOIL 21/329. (2006.01), Publ.26.10.2015. Bull.№20.
4. Lavine J.P. Defect site competition for metal atoms in intrinsically gettered silicon: numerical model// J. Appl. Phys. – 1987, Vol. 62, №5. – P. 1682-1688.
5. Trutko A.F. Metodi raschota tranzistoriv. Izdanie 2-e, pererabotannoe i dopolnenoe. – М.: Energiya, 1971. -272 p.
6. Zi S. Phizika poluprovodnikovih priborov: V 2 knigah. Kniga 1/ Perevod s angl. – 2-e pererabotannoe i dopolnenoe izd. – М.: Mir, 1984. – 456 p.
7. Matson E.A., Krizhanovskiy D.V. Spravochnoe posobie po konstruirovaniyu mikroshem. – Minsk: Vish. schola, 1982. – 224 p.
8. Frolov O.M., Filipchuk O.M., Schevchenko V.V. i dr. Patent na korisnu model №120347. Sposib vigotvlennya diodiv zi zminnoyu emnistyu. MPK (2017.01) HOIL 21/00, HOIL 21/761(2006.01), Publ.26.10.2017. Bull. №20.

## ТЕХНОЛОГІЯ ЛЕГКОЇ І ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 677.11: 338.4:006.015.8

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.7>

Ю.В. БЕРЕЗОВСЬКИЙ

Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-9645-2743

Т.О. КУЗЬМІНА

Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0002-6113-1923

І.А. РУДЕНКО

Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-9964-6386

### ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕРОБКИ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЧЕРЕЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕДОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

*Метою дослідження – вивчення можливостей розвитку виробництва лляної продукції в Україні. Статтю присвячено вирішенню проблем розвитку наукових основ ресурсозберігаючих технологій комплексної переробки луб'яних культур. Стаття містить теоретичні та експериментальні дослідження в галузі переробки льону олійного. Розвиток теоретичних аспектів та аналіз перспектив формування асортименту лляних та льоновомісних товарів з позицій використання інноваційних ідей є найбільш трудомістким і проблематичним.*

*Нині відбуваються відповідні дискусії та створюються наукові основи встановлення передових технологій переробки стеблового луб'яного матеріалу, розроблення високопродуктивного технологічного обладнання або його вузлових складових та опрацювання перспектив їх промислового впровадження, що в цілому може позитивно вплинути на покращення якісних і кількісних значень показників властивостей кінцевої продукції.*

*У статті розглянуто теоретичні аспекти розвитку вітчизняного виробництва лляних та льоновомісних товарів з позицій використання властивостей лляної сировини. У процесі дослідження використано методи теоретичного узагальнення і порівняння, аналізу і синтезу. Проведено критичний аналіз рекомендацій окремих досить впливових радників та інституцій світового рівня щодо підвищення рівня екологізації товарного виробництва. Розглянуто питання виробництва, пошуку шляхів підвищення об'ємів виробництва і якості лляних виробів.*

*У статті також проаналізовано сучасні тенденції розвитку переробної галузі льонарства та коноплярства. Отримані дані показують, що для сталого розвитку ринку продукції України, підвищення її конкурентоспроможності доцільно використовувати принципи формування асортименту товарів на основі льоновомісних матеріалів. Дослідження перспективних напрямків інноваційних технологій виробництва і асортименту текстильних матеріалів дозволяє дати оцінку розвитку вітчизняного сегмента ринку лляних екологічно безпечних товарів.*

*Таким чином, удосконалено науково-методичний підхід вирішення теоретичних і практичних питань одержання лляного волокнистого матеріалу, який на противагу існуючим, дозволяє покращити очищення волокна.*

*Ключові слова: льон олійний, волокно, властивості, очищення, екологічність, якість, інноваційні технології.*

Ю.В. БЕРЕЗОВСКИЙ

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0002-9645-2743

Т.О. КУЗЬМИНА

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0002-6113-1923

И.А. РУДЕНКО

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0001-9964-6386

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО ЧЕРЕЗ ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Целью исследования – изучение возможностей развития производства льняной продукции в Украине. Статью посвящено решению проблем развития научных основ ресурсосберегающих технологий комплексной переработки лубяных культур. Статья содержит теоретические и экспериментальные исследования в области переработки льна масличного. Развитие теоретических аспектов и анализ перспектив формирования ассортимента льняных и льносодержащих товаров с позиций использования инновационных идей является наиболее трудоемким и проблематичным.

Сейчас происходят соответствующие дискуссии и создаются научные основы установления передовых технологий переработки стеблевого лубяного материала, разработка высокопроизводительного технологического оборудования или его узловых составляющих и обработка перспектив их промышленного внедрения, что в целом может положительно повлиять на улучшение качественных и количественных значений показателей свойств конечной продукции.

В статье рассмотрены теоретические аспекты развития отечественного производства льняных и льносодержащих товаров с позиций использования свойств льняного сырья. В процессе исследования использованы методы теоретического обобщения и сравнения, анализа и синтеза. Проведен критический анализ рекомендаций отдельных достаточно влиятельных советников и институтов мирового уровня по повышению уровня экологизации товарного производства. Рассмотрены вопросы производства, поиска путей повышения объемов производства и качества льняных изделий.

В статье также проанализированы современные тенденции развития перерабатывающей отрасли льноводства и коноплеводства. Полученные данные показывают, что для устойчивого развития рынка продукции Украины, повышение ее конкурентоспособности целесообразно использовать принципы формирования ассортимента товаров на основе льносодержащих материалов. Исследование перспективных направлений инновационных технологий производства и ассортимента текстильных материалов позволяет дать оценку развития отечественного сегмента рынка льняных экологически безопасных товаров.

Таким образом, усовершенствовано научно-методический подход к решению теоретических и практических вопросов получения льняного волокнистого материала, который в противовес существующим, позволяет улучшить очистки волокна.

Ключевые слова: масленичный лен, волокно, свойства, очистка, экологичность, качество, инновационные технологии.

Y.V. BEREZOVSKY

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0002-9645-2743

T.O. KUZMINA

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0002-6113-1923

I.A. RUDENKO

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0001-9964-6386

### PERSPECTIVES OF OILSEED FLAX PROCESING THROUGH THE APPLICATION OF HIGH TECHNICAL SOLUTIONS

The aims of the research – to explore the possibility of development manufacture of flax products in Ukraine. The paper is devoted to solving problems of development of scientific bases of resource-saving technologies of complex processing of bast crops. The work contains theoretical and experimental research in the field of processing oilseed flax. The development theoretical aspects and analyze of a prospects to forming



assortment of the flax and flax-containing commodities from the standpoint of using innovative ideas is most labour intensive and problematic task.

Currently, relevant discussions are underway and scientific bases are being established to develop advanced technologies for the processing of stem bast material, to design high-performance technological equipment or its nodal components, and to work on the prospects for their industrial implementation, which in general can have a positive effect on improving the qualitative and quantitative values of performance indicators.

In the manuscript the theoretical aspects of development the domestic production of flax and flax-containing commodities the standpoint of using properties of flax raw material are considered. In the process of research the methods of theoretical generalization and comparison, analysis and synthesis are used. The critical analysis of recommendations of certain very influential advisers and institutes of world level on increase of the level of ecological commodity production was carried out. The questions of production, finding ways of improving to the volumes production and quality flax products are considered.

The paper also provides the analysis of the current trends in the development of flax and hemp processing industry. The obtained data show that for the sustainable development of a products Ukraine market and increasing of its competitiveness the principles forming of product range based on flax-type materials should be used. Researches of the perspective directions of the innovative production technologies and assortment of textile materials allow giving an assessment to development of a national segment of the market of flax ecologically safe goods.

Thus, scientific and methodical approach solving theoretical and practical questions of receipting of flax of fibre materials, which, in contrast to existing, allow to improve cleaning of fibre is improved.

Keywords: oilseed flax, fibre, properties, cleaning, environmental friendliness, production, quality, innovative technologies.

### Постановка проблеми

Серед усіх сільськогосподарських рослин луб'яні є одними з найбільш складних для переробки, після збирання яких одержують насіння й солому або тресту, що формують у спеціальне пакування. У сучасних умовах виробництва ефективність отримання волоконпродукції може бути забезпечена лише із використанням машин низької метало- та енергоємності. Нажаль, в Україні відсутнє виробництво спеціальних машин, які необхідні для проведення збиральних та післязбиральних операцій, обладнання для первинної переробки луб'яних культур, а висока ціна закордонної техніки не сприяють розвитку галузі, впровадженню новітніх технологій. Нині невисока ефективність існуючого в державі промислового переробного устаткування дає змогу отримувати від загальної маси виробленого льоноволокна лише 20-30 % тіпаного льону, а відсутність льонокомбінатів для переробки сировини на товарну продукцію змушує виробників шукати споживачів сировини поза країною [1-3].

Нині в світі широкого розповсюдження набув напрямок екологізації продукції – це не тільки модно і безпечно, а й вигідно та перспективно. Складові луб'яних рослин використовують в самих різних сферах життя людини від харчових продуктів, прокладання доріг, отримання вибухівки до автомобіле- та авіабудування. Вироби з технічних лляних тканин є просто незамінними для різних галузей економіки. На текстильних підприємствах із волокна виробляють різні тканини, що відзначаються тривалим строком носіння, дуже гігієнічні, антистатичні, легко перуться, стійкі до гниття. Костриця використовується для виробництва тепло- і звукоізоляційних матеріалів, паперу, целюлози, меблевих плит, а також, як паливо. Насіння й олію використовують у харчовій, косметичній, миловарній, фармацевтичній, електротехнічній, паперовій, гумовій та інших галузях промисловості [3-6].

Таким чином, слід зазначити, що важливим і актуальним питанням для сьогоденності лишається питання відновлення та стабілізації вітчизняної галузі льонарства та коноплярства, вирішення якого можливе за рахунок впровадження сучасних високоєфективних і енергоощадних технологій з використанням високопродуктивного обладнання.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Теорія та практика технічного переозброєння підприємств, модернізація технологічного устаткування, застосування сучасного ефективного обладнання з переробки луб'яної сировини, які розглянуті в наукових джерелах [2; 3; 7-11], надають підставу стверджувати, що нині для подолання кризових явищ у легкій промисловості України та отримання позитивних результатів у переробці стеблового матеріалу льону та конопель необхідно використовувати в промисловості інноваційні рішення проблем переробки з врахуванням специфічних фізико-механічних властивостей даних технічних культур, зміни попиту споживчого ринку на екологічно чисту безпечну продукцію, сучасні високотехнологічні нововведення, конструкційну специфіку переробки луб'яної сировини новими пристроями.

На фоні всебічного проникнення ненатуральних матеріалів у життя людини та їх значного впливу на екосистему все гостріше постає питання екологізації суспільства, використання природних

складових, що мають певні безпечні, а подекуди цінні корисні властивості, та в цілому можуть позитивно вплинути на стан навколишнього природного середовища [12-15]. Отже питання ефективного раціонального використання природних ресурсів в умовах обмежених фінансових можливостей та нестачі широкого спектра сировини і матеріалів на цей час залишається відкритим та актуальним.

#### Формулювання мети дослідження

Мета дослідження – вивчення можливостей розвитку виробництва лляної продукції в Україні. Завданням роботи є пошук перспектив покращення виробничих умов переробки вітчизняних лубоволокнистих рослин та розв'язання питань підвищення якісних і кількісних характеристик луб'яного волокна за рахунок поліпшення технологічних особливостей обробки оброблювального стеблового матеріалу і застосування конструкційних розробок вузлових з'єднань пристроїв з обробки лубоволокнистої сировини. У статті також проаналізовано сучасні тенденції розвитку переробної галузі легкої промисловості, досліджено технічні і технологічні особливості процесу обробки стеблової частини лубоволокнистих культур та надано оцінку напрямкам підвищення ефективності їх переробки. При цьому аналізується перспектива застосування новітніх розробок в промисловості.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Протягом декількох століть вітчизняне льонарство використовувало льон-довгунець як основну культуру, яка є традиційною для культивування в північних і західних регіонах України, що мають оптимальні кліматичні умови для його вирощування. За останні роки в Україні залишилося лише 3 області, де нині на незначних площах продовжують його вирощувати, – Житомирська, Сумська та Чернігівська, господарства яких у 2014 р. разом зібрали льон-довгунець з площі 1,3 тис. га із середньою врожайністю 6,3 ц/га (табл. 1) [1; 3; 16-18].

В останні десятиліття господарствами, які вирощують льон, практично не закуповувалися нові машини, а наявні в господарствах вже фізично зношені, не повністю укомплектовані та фактично вичерпали свій технічний ресурс. Зношеність наявної спеціалізованої техніки для проведення робіт з вирощування льону в 2017-2018 рр. досягала 75-80 %. За останні роки жодне підприємство на Україні так і не змогло організувати виготовлення машин та обладнання для збирання і переробки льону. У Житомирській області з 11-ти льонозаводів може працювати лише 5: Новоград-Волинський, Смільчинський, Володарськ-Волинський, Коростишівський та Червоноармійський. Подальшу переробку виробленого льоноволокна можна проводити на Рівненському льонокомбінаті, оскільки Житомирський льонокомбінат не працює. Нинішній стан зазначеного виробництва ледь перевищує рівень 1 % від того, який мав місце лише чверть століття тому.

У світі в 2016 році льон-довгунець вирощувався на площі приблизно 190 тис. га. Біля 80 % цієї площі було зосереджено в Європі (Франція, Німеччина, Бельгія), зокрема у Франції – до 70 тис. га. Світове виробництво якісних волокон складає орієнтовно 230 тис. тонн, де частка Європи становить до 85 %. Згідно останніх даних (вересень 2018) компанії SANECO, льон-довгунець вирощувався на площі 123 тис. га в трьох країнах Європи (Франція, Бельгія, Нідерланди). Середній обсяг зібраної соломи склав 6,3 млн. т, а вихід довгого волокна – 22 %. За 2018 рік урожай дав 170 тис. т обрізаного довгого льяного волокна і 62 тис. т «хвостів». Саме цей льон буде представлений на ринку в 2019 році, а в готових виробках – до 2020 року. Франція залишається європейським лідером льонарства в 2018 році, площа льону-довгунця у цій країні склала 105,3 тис. га [16-18].

Таблиця 1

#### Динаміка вирощування льону-довгунця (волокно) у 2000-2014 рр.

Показник	Роки					
	2000	2010	2011	2012	2013	2014
Україна						
Зібрана площа, тис. га	19,8	1,0	1,3	2,1	1,5	1,3
Виробництво, тис. т	8,3	0,4	0,8	1,8	1,1	0,9
Урожайність, ц/га	4,2	4,0	5,9	8,6	7,3	6,3
Житомирська область						
Зібрана площа, тис. га	3,6	0,0	0,4	0,7	0,6	0,3
Виробництво, тис. т	1,0	0,0	0,2	0,5	0,3	0,3
Урожайність, ц/га	2,9	0,8	5,5	7,3	5,4	9,5
Сумська область						
Зібрана площа, тис. га	1,9	0,6	0,2	0,5	0,4	0,5
Виробництво, тис. т	1,2	0,3	0,1	0,5	0,5	0,4
Урожайність, ц/га	6,5	4,3	4,7	11,3	13,2	7,6
Чернігівська область						
Зібрана площа, тис. га	8,5	0,3	0,6	0,9	0,5	0,5
Виробництво, тис. т	3,7	0,1	0,5	0,8	0,3	0,2
Урожайність, ц/га	4,4	4,2	6,8	8,6	5,0	3,3

В ЄС в процесі від посіву до кінцевої переробки і реалізації задіяно близько 10 тис. компаній. Їх об'єднує, контролюючи всі етапи виробництва і переробки льону-довгунця, Європейська конфедерація льонарства і коноплярства, створена ще в 1951 році. Ця наднаціональна структура включає відповідні асоціації країн-учасників. Якщо розглядати виготовлення не тільки волокон, а й пачосів з льону, які використовуються для виробництва обшивки, наповнювачів і низькоякісних тканин, то частка України в 2014 році була не більшою за 0,3 %, або 870 тонн. Це дуже мало порівняно з тим, що 25-30 років тому виробництво волокон і пачосів з льону становило понад 100 тис. т.

Вищезазначені факти свідчать про необхідність створення консолідуючої структури подібної до Європейської конфедерації для відродження льонарства як галузі виробництва волокон. Нині таку місію і завдання може виконувати недавно створена Асоціація розвитку льонарства і коноплярства України [18].

За останнє десятиліття в Україні площі, що були під льоном-довгунцем, поступово переходять під культивування льону олійного, насіння якого містить 45-55 % олії, яку широко використовують в певних галузях промисловості: лакофарбовій для виготовлення натуральної оліфи, лаків, емалей, різних фарб для підводних робіт; електротехнічній, автомобільній, суднобудівній тощо, а також у миловарінні, медицині. Крім того, широко використовують макуху льону олійного, яка містить 33,5 % білка та близько 9 % жиру і за кормовими якостями переважає макуху інших рослин для годівлі тварин. Цими та іншими перевагами культури керуються українські аграрії, беручись за її виробництво [1; 3; 16-18].

Господарства з виробництва льону олійного в Україні до недавнього часу не демонстрували динамічного розвитку. Посівні площі під культурою, хоч і в рази перевищували аналогічні під довгунцем, скорочувалися з року в рік до різкого стрибка врожайності в 2014 році. Так, після збільшення врожайності культури до 12,3 ц/га, що майже вдвічі перевищила показники попереднього року, виробники звернули увагу на перспективність даної культури. У наступному ж сезоні площі посівів під культурою вирости на 84,6 % до 62,2 тис. га, що і призвело до нечуваного підвищення валового збору насіння льону олійного – 68,6 тис. тонн (рис. 1) [1].

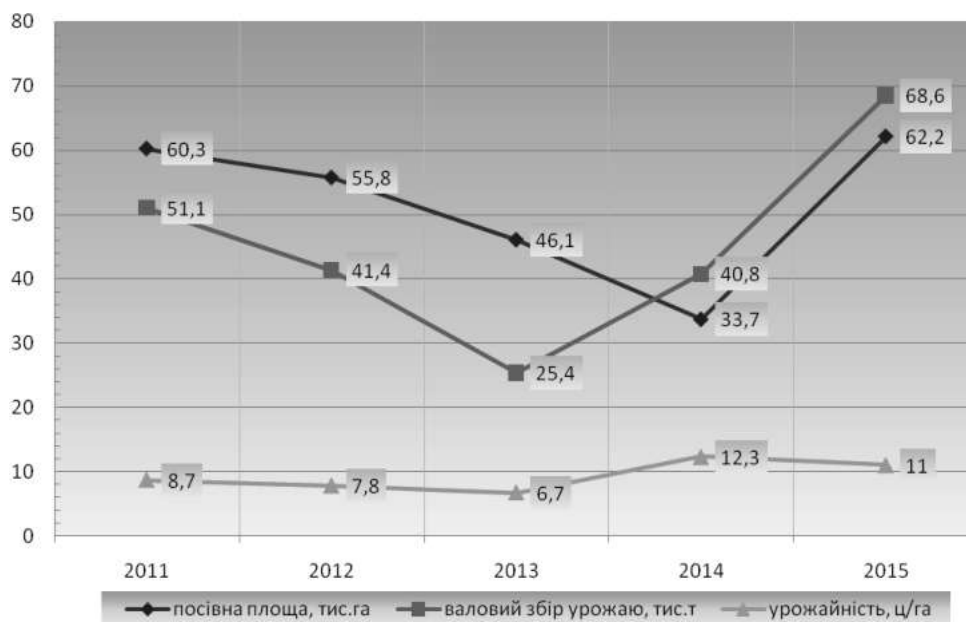


Рис. 1. Виробництво льону олійного в Україні, 2011-2015 рр.

Значна частина зібраного льону олійного йде на переробку. При цьому виникають проблеми нездатності конкурувати з основною трійкою українських олійних – соняшником, соєю та ріпаком – під якими зайнято понад 98 % посівних площ, задіяних під олійними культурами в Україні. Олійноекстракційні заводи, потужності яких в розпал сезону є перевантаженими, здебільшого просто не в змозі переорієнтувати виробничий процес таким чином, щоб додати до нього ще й переробку насіння льону. Потужності ж єдиного в Україні спеціалізованого олійноекстракційного заводу знаходяться в Донецьку, та, з зрозумілих причин, зараз є недоступними. Тому вітчизняний виробник змушений шукати збут сировини за кордоном.

Світове виробництво насіння льону олійного складає від 1,6 до 2 млн. тонн щорічно. У світі явним лідером виробництва насіння льону олійного є Канада, на долю цієї країни припадає близько 34 % всього світового валового збору культури. Найближчими ж конкурентами Канади є Росія (15,3 %) та

Китай (13,6 %). Слідом крокують казахське (12,9 %) та американське (6,3 %) льонарство. Загалом же доля першої п'ятірки країн-виробників льону становить понад 82 % всього світового виробництва культури. Частка України в світовому виробництві за 2014 рік становила 1,59 %, що дало змогу державі займати восьмий рядок в рейтингу країн виробників (рис. 2) [1]. Найбільшими імпортерами насіння льону є США, Китай, Німеччина, Нідерланди. У структурі імпорту Сполучені Штати та Китай займають 70 % світового ринку. Завдяки глобалізації та зростанню економік країн Південної та Південно-Східної Азії в найближчі роки прогнозується значне зростання споживання насіння льону в цих регіонах. За підрахунками учасників ринку для задоволення потреби в культурі об'єм насіння має становити близько 3 млн. тонн. Внаслідок чого основною продукцією льонарства, яка потрапляє на зовнішні ринки, стало насіння льону олійного [17-18].

За офіційними даними Державної служби статистики України, насіння українського льону в 2015/16 роках було експортовано в 45 країн. До п'ятірки імпортерів вітчизняного насіння льону ввійшли В'єтнам, Єгипет, Туреччина, Польща та Австрія, сумарно на них припадає понад 82 % всього експорту культури. Безпосередня наближеність до європейського ринку, поступове збільшення та спрощення товарообігу між ЄС та Україною послугувало стимулом до нарощування посівних площ, обробки насіння, експорту готової продукції. Особливу увагу слід звернути на виробництво екологічно чистої продукції, яка користується стабільним попитом у розвинених країнах. Кліматичні умови в нашій країні дозволяють отримувати високі врожаї без використання хімічних добрив, пестицидів тощо.

Аналіз даних вказує на те, що в переробній лляній галузі за останнє десятиліття переважає культивування олійного льону серед інших видів волокнистих рослин. Зростання попиту на продукцію цієї культури та значні прибутки від експортно-орієнтованого виробництва лляного насіння спонукало виробників розширювати площу посіву під дану рослину. Розвиток такого сценарію ставить надзвичайне питання переробки стеблових матеріалів, оскільки насіння йде на експорт, а стеблова частина є незатребуваною вітчизняною промисловістю. Стебла щораз просто залишають на полях або спалюють, що може призвести до виникнення екологічно небезпечних ситуацій. У такій ситуації байдужість держави до виробництва власної волокнистої продукції та відсутність реального плану розвитку льонарства і конопляництва призводить до подальшого занепаду первинної переробки лубоволокнистих культур, що підвищує ймовірність зникнення даної галузі та збільшує витрати виробників легкої промисловості на закупівлю натуральної волокнистої сировини [10-11; 19-22].



Рис. 2. Структура світового виробництва льону за 2014 рік

Через те що льон олійний відрізняється від льону-довгунця анатомічними й фізико-технологічними властивостями, то переробка стеблових матеріалів льону олійного за технологією льону-довгунця є нездійсненною, однак при його обробці може бути застосовано подібні технологічні прийоми переробки – м'яття, тіпання, трясіння, проте з різними особливостями конструктивного виконання технологічного обладнання та порядку його використання. Через це переробку льону олійного здійснюють за технологією отримання однотипного волокна. Для виробництва однотипного волокна застосовують різноманітні пристрої та способи, особливою рисою яких є те, що вони призначені для

переробки відходів тіпання й непристосовані для практичної переробки стебел трести. Для теперішніх мізерних об'ємів наявної сировини на заводах первинної обробки луб'яних рослин застосовують застарілі технології обробки стеблового матеріалу і обладнання, що вже не відповідають сучасним вимогам виробництва. Тому широке залучення інновацій у зазначену сферу має забезпечити комплексний підхід до розв'язання проблем галузі.

Науковий супровід виробництва інноваційної продукції в льонарстві має здійснюватися силами провідних вітчизняних учених у галузі селекції, насінництва, технологій вирощування, збирання та переробки. Так, розроблена технологія одержання безпосередньо в господарствах однотипного волокна з трести льону-довгунцю надає змогу повністю механізувати процеси збирання і переробки льонотрести, значно спрощує технологічний процес, надає можливість зменшити метало- і енергоємність устаткування та знизити собівартість одержуваного волокна, яке можна надалі використати для виробництва бавовноподібного лляного волокна, щоб забезпечити текстильні підприємства держави власною недорогою целюлозною сировиною. Основним побажанням до технічного переоснащення льонозаводів є застосування технологічних ліній переробки трести льону із співвідношенням виходу довгого та короткого волокна не менше 50:50 %, з розрахунку на обсяги переробленої лляної трести обсяг отриманого довгого льоноволокна має бути не менше 13,5 % [3]. Необхідно проводити удосконалення наявних та розроблення новітніх технологій переробки льоноволокна стосовно напрямів нетрадиційного його використання; закладання основ поглибленої переробки лубоволокнистого матеріалу.

У ситуації затребуваності сучасного доступного вискоєфективного обробного обладнання, простих технологій переробки, що стануть доступними для вітчизняних виробників, необхідно завдяки сучасним досягненням у науці і техніці розробляти нові і вдосконалювати наявні технології виробництва луб'яного натурального волокна, впроваджувати оптимальні автоматизовані системи управління технологічними процесами й виробництвом, удосконалювати національні системи визначення показників якості сировини й товарної продукції, розширювати асортимент, підвищувати якість продукції з льону та знижувати її собівартість, розробляти дієві механізми економічно вигідних взаємовідносин підприємств лляного комплексу зі споживачами в реальних умовах імпорту і експорту продукції з льону і конопель.

Завданням механічної переробки трести льону-довгунця на волокно є руйнування деревини стебла і відокремлення її від волокна. Технологія включає процеси плющення, м'яття стебел трести і тіпання отриманого пром'ятого сирцю. Всі процеси на заводах здійснюються за допомогою м'яльно-тіпальних агрегатів МТ-101 або інших марок. Відходи тіпання переробляють на коротке волокно на куделеприготувальному агрегаті КПА-1. Технологія переробки лубоволокнистих культур побудована навколо застосування процесів м'яття і тіпання, що є основними процесами для технології обробки луб'яних рослин, відіграють провідну роль у відокремленні волокнистої частини від деревної. Саме вони суттєво позначаються на якісних і кількісних показниках одержуваного волокна. Таким чином, вирішення питання вдалої підготовки стеблового матеріалу до основних процесів переробки, якісного проходження самої переробки і злагожденості вузлових частин обладнання відповідних процесів є запорукою отримання якісного луб'яного волокна і підвищення його виходу.

У ході низки досліджень було запропоновано декілька технічних і технологічних розробок з покращення процесу виділення волокна зі стебла лубоволокнистих рослин [9; 11; 22; 23]. Для більш ефективної обробки стебел луб'яних культур стало необхідним опрацювання процесів м'яття і тіпання.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень на базі Херсонського національного технічного університету було розроблено спосіб переробки трести з льону олійного [23]. Запропонований спосіб може бути використаний для отримання волокна з льону олійного для фармацевтичної, медичної та паливної галузей виробництва, а також для виробництва іншої продукції легкої промисловості.

В основу нововведення було поставлено за мету розширення асортименту продуктів переробки трести з льону олійного та створення безвідходної технології шляхом зміни технологічних операцій.

Поставлену задачу вирішували таким чином, що у спосіб отримання волокна з трести льону олійного, який включає розмотування рулонів лляної трести, м'яття у багатовальцьовій м'яльній машині, тіпання у двосекційній машині «Charle» та очищення волокна від костриці на трясильних машинах з верхнім і нижнім гребінними полями. Після обробки трести у машині «Charle» створюються дві потокові лінії, перша з яких призначена для одержання прядомих волокон з довжиною останніх 250...500 мм, а друга для непрядомих волокон з довжиною 10... 250 мм. При розмотуванні рулонів формується шар трести регульованої товщини, а після розподілу волокон на прядомі і непрядомі, непрядомі волокна шляхом сепарації розподіляються на дві фракції. Більш дрібну з них спрямовують на утворення паливних брикетів з додаванням подрібненої костриці та місцевих видів подрібненого палива, а фракцію з більш довгими волокнами спрямовують на одержання вати, паперу або продукції легкої промисловості. При цьому в процесі брикетування дрібної фракції лляного волокна з подрібненою кострицею до складу

брикетів додають домішки з місцевих видів палива (тирсу деревини, вугільний пил, лушпиння насіння або кукурудзи), а співвідношення кількості лляних волокон та домішок складають з врахуванням питомої теплотворної спроможності домішок [23].

Суттєвою відмінністю є те, що при розмотуванні рулонів формують шар трести регульованої товщини, а після розподілу волокон, на прядомі і непрядомі, непрядомі волокна шляхом сепарації розподіляють на дві фракції, які використовуються надалі за різним цілевим спрямуванням, при цьому в процесі брикетування дрібної фракції лляного волокна до складу брикетів додають домішки з костриці та подрібнених місцевих видів палива у відповідному співвідношенні складових з врахуванням питомої теплотворної спроможності домішок.

Запропонований спосіб реалізується в такій послідовності – спочатку на першій потоковій лінії рулон трести льону олійного розмотують, здійснюючи це на розмотувачі рулонів з регулюванням товщини шару. Для цього пристрій для розмотування рулону вибирають таким, щоб він конструктивно давав можливість регулювання товщини шару трести, який відокремлюють від рулону, з врахуванням початкової щільності, вологості трести з льону олійного у рулоні. Для оптимізації енерговитрат товщині шару трести збільшують або зменшують перед наступною операцією сушіння. Отриманий шар трести спрямовують у сушарку за допомогою кілкового механізму, а після сушіння подають на м'яльну машину куделеприготувального агрегату (машину «Charles»), де висушена маса обробляється вальцями, при цьому кількість рифлів на кожній наступній парі вальців збільшена, завдяки чому збільшується інтенсивність впливу на оброблюваний матеріал. Далі у технологічній послідовності волокно транспортером з м'яльної частини подають до пари живильних вальців, а з них до тіпального барабана діаметром 120 см, оснащеного дванадцятьма бильними планками, а відстань між живильними вальцями та полем тіпання встановлюють рівною 5 мм. Зазор між живильними вальцями та бильними планками тіпального барабана регулюють за допомогою важеля, регулювання зазору здійснюють з врахуванням якості волокна. Відстань між живильними вальцями та полем тіпання тіпального барабана встановлюють 30 мм у другій тіпальній секції. У цій операції створюють дві потокові лінії, розподіляючи волокна на дві частини: прядомі – з довжиною 250-500 мм та непрядомі – з довжиною до 250 мм. На першій потоковій лінії переробку волокна здійснюють на трясильній машині з нижнім гребінним полем. На другій потоковій лінії волокно спрямовують на сепаратор, за допомогою якого його розподіляють на дві фракції: більш дрібну, яку спрямовують для утворення паливних брикетів з наступним додаванням до дрібного волокна костриці та місцевих видів подрібненого палива. Відсепаровану фракцію з більш довгим волокном після відділення від костриці на волокноочисних машинах ВОМ-1 та щипальній машині Щ-1, спрямовують до машини ЧМД-4 для тонкого чесання волокна. Для повного очищення волокна льону олійного прочісують на машинах грубого чесання ЧГ та тонкого чесання ЧМД-4. Таким чином, спосіб переробки трести з льону олійного дає можливість отримати одночасно декілька продуктів переробки: високоякісні прядомі волокна, короткі непрядомі волокна з мінімізацією вмісту костриці, а також можливість отримання додаткового продукту – сировини для виготовлення паливних брикетів, що свідчить про створення безвідходної технології з оптимізацією енерговитрат [23].

На доцільність застосування механічної переробки стебел з льону олійного вказує розширення можливостей отримання додаткових видів продукції та за відповідних техніко-технологічних змін рентабельність переробки трести льону олійного, що за даними виробничих досліджень становить близько 55 %. Нині з пошуком можливостей отримання додаткових вітчизняних паливних ресурсів за даної технології в процесі брикетування можливо для регіональних територій отримати паливо із суміші дрібних фракцій лляного волокна з різними місцевими видами горючих матеріалів, що в певній мірі полегшує вирішення енергетичних питань національної безпеки.

#### Висновки

Поліпшення стану сировинної бази лляної промисловості, її структури разом з інноваційним розвитком забезпечить зростання обсягів виробництва не лише традиційних, а й нових видів продукції з льону, зниження її собівартості, що сприятиме розширенню сфери застосування льону як відновлюваної сировини, зростанню зайнятості й доходів сільського населення, збереженню наявних та створенню нових робочих місць у сільському господарстві і переробному та промисловому секторах економіки і дасть можливість зменшити обсяги імпорту сировини та готової продукції. Враховуючи світові тенденції, за якими льонарство і коноплярство стають інвестиційно-привабливою галуззю, розвиток виробництва екологічно чистої безпечної продукції з вітчизняної луб'яної сировини стане запорукою для створення надійної сировинної бази для легкої, хімічної, харчової, медичної та інших галузей промисловості України.

Для досягнення підвищення ефективності процесів обробки лубоволокнистого матеріалу розроблено спосіб переробки трести з льону олійного, що дозволяє розширити асортимент продуктів переробки трести з льону олійного та створити безвідходну технологію. Зазначені розробки спроможні підвищити конкурентоспроможність льонопродукції за рахунок покращення її якості та зниження витрат на виробництво. У разі промислового використання може позитивно вплинути на виробничі і економічні

показники переробних підприємств від одержання натурального більш якісного і кількісного волокна та привести до розвитку слабозвинутих депресивних регіонів України.

#### Список використаної літератури

1. Дейна Д. Олійний аутсайдер: все про виробництво та експорт льону. URL: <https://agroconf.org/content/oliyniy-autsayer-vse-pro-virobnictvo-ta-eksport-lonu> (дата звернення: 05.09.2019).
2. Чехова І.В., Чехов С.А., Шкурко М.П. Вітчизняний ринок льону. Економіка України. 2017. № 1 (662). С. 52-63.
3. Приймачук Т.Ю., Штанько Т.А., Ковальов В.Б. Розвиток галузі льонарства в Україні. URL: [http://agrovisnyk.com/pdf/ua\\_2017\\_07\\_14.pdf](http://agrovisnyk.com/pdf/ua_2017_07_14.pdf) (дата звернення: 25.08.2019).
4. Рудик Р.І., Ковальов В.Б., Приймачук Т.Ю. Перспективи розвитку льонарства на Житомирщині. Житомир. 2015. 25 с.
5. Наталенко И. Льяных дел мастер! URL: <http://latifundist.com/blog/read/305-lnyanyh-del-master>. (дата звернення: – 07.07.2019).
6. Березовський Ю.В. Товарознавча характеристика властивостей льону. Товарознавчий вісник. 2012. Випуск 5. С. 23-28.
7. Горач О.О. Розробка технології одержання трести із соломи льону олійного з використанням штучного зволоження: дис. ... канд. техн. наук. Херсон, 2009. 206 с.
8. Сай В.А. Технологія вирощування, збирання та первинної переробки льону олійного. Луцьк: ЛНТУ, 2012. 168 с.
9. Березовський Ю.В. Застосування нових технічних рішень у виробництві лляної продукції. Вісник ХНТУ. № 4 (51). Херсон: ХНТУ, 2014. С. 51-58.
10. Тіхосова Г.А. Розвиток наукових основ технологій первинної переробки волокон льону олійного: дис. ... д-ра техн. наук. Херсон, 2011. 358 с.
11. Березовський Ю.В. Використання нових технічних рішень у промисловому виробництві лляної продукції. Наука та інновації. 2016. Т. 12. № 4. С. 53-70.
12. Березовський Ю.В. Оцінка необхідності розвитку та підтримки виробництва екологічно безпечної лляної продукції в Україні. Вісник ХНТУ. № 2 (49). Херсон: ХНТУ, 2014. С. 51-55.
13. Березовський Ю.В. Теоретичні аспекти розвитку екобрендингу лляних та льоновмісних товарів в Україні. Товарознавство та інновації. Вип. 5. Донецьк: ДонНУЕТ, 2013. С. 24-33.
14. Мацієвич Т.О. Фінансовий механізм реалізації екологічної політики в Україні: дис. ... канд. екон. наук. Тернопіль, 2016. 239 с.
15. Свояченко М. Лен и конопля: реалии и перспективы возрождения. URL: [http://www.ua-fashion.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=23&Itemid=17&lang=uk](http://www.ua-fashion.net/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=17&lang=uk). (дата звернення: 20.07.2019).
16. Рынки. Льяной рай. URL: <https://msb.aval.ua/ru/news/?id=25138>. (дата звернення: 24.08.2019).
17. Шкурко М. Зовнішньоекономічні аспекти зростання українського льонарства. URL: <http://agroportal.ua/ua/views/blogs/vneshneekonomicheskie-aspekty-rosta-ukrainskogo-lnovodstva/#>. (дата звернення: 26.08.2019).
18. Производство льна на Украине. URL: <https://www.rosflaxhemp.ru/fakti-i-cifri/spravochnie-materiali.html/id/1819>. (дата звернення: 28.08.2019).
19. Гілязетдінов Р.Н. Розвиток наукових основ створення інноваційних технологій первинної переробки луб'яних культур: дис. ... д-ра техн. наук. Херсон, 2009. 329 с.
20. Меньяло-Басиста І.О., Тернова Т.І., Тіхосов С.М. Удосконалення процесу механічної обробки стебел трести льону олійного. URL: [http://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdata/15-1/15\\_1/29.pdf](http://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdata/15-1/15_1/29.pdf). (дата звернення: 06.09.2019).
21. Головенко Т.М. Розроблення технології переробки стебел трести льону олійного з метою одержання нетканих матеріалів: дис. ... канд. техн. наук. Херсон, 2013. 226 с.
22. Березовський Ю.В. Технічні рішення процесу переробки лляної сировини. Наука та інновації. 2017. Т. 13. № 3. С. 25-37.
23. Патент України № 111028. Кужель Е. В., Березовський Ю. В. Спосіб переробки трести з льону олійного.

#### References

1. Deina D. Oliyniy autsayer: vse pro vyrobnytstvo ta eksport lonu. URL: <https://agroconf.org/content/oliyniy-autsayer-vse-pro-virobnictvo-ta-eksport-lonu>. Last accessed: 05.09.2019 [in Ukrainian].
2. Chekhova I.V., Chekhov S.A., Shkurko M.P. (2017). Domestic market of flax. Economy of Ukraine. 1 (662). 52-63 [in Ukrainian].

3. Prymachuk T.Yu., Shtanko T.A., Kovalov V.B. Rozvytok haluzi lonarstva v Ukraini. URL: [http://agrovisnyk.com/pdf/ua\\_2017\\_07\\_14.pdf](http://agrovisnyk.com/pdf/ua_2017_07_14.pdf). Last accessed: 25.08.2019 [in Ukrainian].
4. Rudyk R.I., Kovalov V.B., Prymachuk T.Iu. (2015). Perspektyvy rozvytku lonarstva na Zhytomyrshchyni. Zhytomyr. 25 [in Ukrainian].
5. Natalenko I. L'njanyh del master! URL: <http://latifundist.com/blog/read/305-lnyanyh-del-master>. Last accessed: 07.07.2019 [in Russian].
6. Berezovs'kyj Ju. V. (2012). Tovaroznavcha harakterystyka vlastyvojestj l'onu. Tovaroznavchyj visnyk. 5: 23-28 [in Ukrainian].
7. Horach O.O. (2009). Technology development of trust reception from straw of oil flax with the use of artificial irrigation. PhD (Tech.). Kherson [in Ukrainian].
8. Sai V.A. (2012). Tekhnolohiia vyroshchuvannia, zbyrannia ta pervynnoi pererobky lonu oliinoho. Lutsk [in Ukrainian].
9. Berezovskyi Iu.V. (2014). Zastosuvannia novykh tekhnichnykh rishen u vyrobnytstvi llianoi produktsii. Visnyk KhNTU. 4 (51): 51-58 [in Ukrainian].
10. Tikhosova H.A. (2011). Development of scientific basis of primary processing of oil flax fibers. PhD (Tech.). Kherson [in Ukrainian].
11. Berezovskyi Iu.V. (2016). Vykorystannia novykh tekhnichnykh rishen u promyslovomu vyrobnytstvi llianoi produktsii. Nauka ta innovatsii. T. 12. № 4: 53-70 [in Ukrainian].
12. Berezovskyi Iu.V. (2014). Otsinka neobkhdnosti rozvytku ta pidtrymky vyrobnytstva ekolohichno bezpechnoi llianoi produktsii v Ukraini. Visnyk KhNTU. 2 (49): 51-55 [in Ukrainian].
13. Berezovskyi Iu.V. (2013). Teoretychni aspekty rozvytku ekobrendynhu llianykh ta lonovmisnykh tovariv v Ukraini. Tovaroznavstvo ta innovatsii. 5: 24-33 [in Ukrainian].
14. Matsievich T.A. (2016). The financial mechanism for them plementation of environmental policy in Ukraine. PhD (Econ.). Ternopil [in Ukrainian].
15. Svojachenko M. Len i konoplja: realii i perspektyvy vozrozhdenija. URL: [http://www.ua-fashion.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=23&Itemid=17&lang=uk](http://www.ua-fashion.net/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=17&lang=uk). Last accessed: 20.07.2019 [in Russian].
16. Rynki. L'njanoy raj. URL: <https://msb.aval.ua/ru/news/?id=25138>. Last accessed: 24.08.2019 [in Russian].
17. Shkurko M. Zovnishnoekonomichni aspekty zrostannia ukrainskoho lonarstva. URL: <http://agroportal.ua/ua/views/blogs/vneshneekonomicheskie-aspekty-rosta-ukrainskogo-lnovodstva/#>. Last accessed: 26.08.2019 [in Ukrainian].
18. Proizvodstvo l'na na Ukraine. URL: <https://www.rosflaxhemp.ru/fakti-i-cifri/spravochnie-materiali.html/id/1819>. Last accessed: 28.08.2019 [in Russian].
19. Hiliazetdinov R.N. (2009). Development of scientific bases of creating innovative technology of primary processing of bast crops. PhD (Tech.). Kherson [in Ukrainian].
20. Mieniailo-Basyta I., Ternova.T., Tikhosov S. Improving machining process stems of oilseed flax retting straw. URL: [http://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdata/15-1/15\\_1/29.pdf](http://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdata/15-1/15_1/29.pdf). Last accessed: 06.09.2019 [in Ukrainian].
21. Holovenko T. M. (2013). Processing technology development trusts stalks of flax oil to produce nonwovens. PhD (Tech.). Kherson [in Ukrainian].
22. Berezovskyi Iu.V. (2017). Tekhnichni rishennia protsesu pererobky llianoi syrovyny. Nauka ta innovatsii. 13. 3: 25-37 [in Ukrainian].
23. Patent of Ukraine № 111028. Kuzhel E.V., Berezovsky Yu.V. Method of processing oilseed flax retting straw [in Ukrainian].



УДК 663.256.15

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.8>

Н.В. ВОЄВОДА

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID: 0000-0002-3324-965x

К.Є. ПОХІЛ

Херсонський державний аграрно-економічний університет

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ГРИЛЬЯЖНИХ ЦУКЕРОК ПІДВИЩЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ

У статті проведений аналіз якісних характеристик сформованого у виробничих умовах ТОВ «Херсонська кондитерська фабрика» грильязних цукерок оздоровчого спрямування. Наведено рецептурну композицію розроблених солодоців у відсотковому співвідношенні та технологічну схему їх виробництва, яка у не ускладнює класичних виробничий процес. Лабораторні зразки містять у своєму складі фруктозу, гуміарабік, горіхи, ванілін, какао та кукурудзяну олію. Враховуючи технологічні властивості цукру, фруктоза не має таких скріплюючі властивостей, тому як структуроутворювач додавався гуміарабік. Наведена порівняльна характеристика хімічного складу та енергетичної цінності розроблених цукерок. Вказано, що дослідні зразки мають нижчу енергетичну та вищу харчову цінність. Проведено аналіз на вміст білків, жирів, вуглеводів, вітамінів В1, В2, В9, Е, а також семи мінеральних речовин. Розроблено бальну шкалу для оцінки органолептичних показників цукерок, а саме за кольором, консистенцією, зовнішнім виглядом, смаком та запахом. Визначено, що при додаванні гуміарабіака у кількості 4% цукерки мають найкращі органолептичні показники, а при збільшенні цього компонента у кількості до 6% вони значно погіршуються. При цьому узагальнено, що за показниками якості та органолептичним дослідженням розроблені лабораторні вироби не поступаються контрольним, що містять цукор та виготовляються на вказаному підприємстві. Узагальнено основні дефекти продукції при виробництві згаданих цукерок, причини їх виникнення та параметри технологічних операцій, які перешкоджають їх появі. Таким чином, перспективи подальших досліджень на ТОВ «Херсонська кондитерська фабрика» можна пов'язати з соціологічним дослідженням органолептичних показників серед населення м. Херсон.

Ключові слова: грильязні цукерки, оздоровче харчування, технологічна схема, рецептура, органолептичні показники.

Н.В. ВОЄВОДА

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

ORCID: 0000-0002-3324-965x

К.Е. ПОХИЛ

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГРИЛЬЯЖНЫХ КОНФЕТ ПОВЫШЕННОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ

В статье проведен анализ качественных характеристик сформированного в производственных условиях ООО «Херсонская кондитерская фабрика» грильязных конфет оздоровительного направления. Приведена рецептурная композиция разработанных сладостей в процентном соотношении и технологическая схема их производства, которая не утяжеляет классический производственный процесс. Лабораторные образцы содержат в своем составе фруктозу, гуммиарабик, орехи, ванилин, какао и кукурузное масло. Учитывая технологические свойства сахара, фруктоза не имеет таких скрепляющих свойств, потому как структурообразователь прилагался гуммиарабик. Приведена сравнительная характеристика химического состава и энергетической ценности разработанных конфет. Указано, что опытные образцы имеют низкую энергетическую и высокую пищевую ценность. Проведен анализ на содержание белков, жиров, углеводов, витаминов В1, В2, В9, Е, а также семи минеральных веществ. Разработана балльная шкала для оценки органолептических показателей конфет, а именно по цвету, консистенции, внешнему виду, вкусу и запаху. Определено, что при добавлении гуммиарабиака в количестве 4% конфеты имеют лучшие органолептические показатели, а при увеличении этого компонента в количестве до 6% они значительно ухудшаются. При этом обобщенно, что по показателям качества и органолептическим исследованием разработанные лабораторные изделия не уступают контрольным, которые содержат сахар и изготавливаются на указанном предприятии. Обобщены основные дефекты продукции при производстве упомянутых конфет, причины их возникновения и параметры технологических операций, которые препятствуют их появлению. Таким образом, перспективы дальнейших исследований на ООО «Херсонская кондитерская

фабрика» можно связать с социологическим исследованием органолептических показателей среди населения г. Херсон.

Ключевые слова: грильяжные конфеты, оздоровительное питание, технологическая схема, рецептура, органолептические показатели.

N. VOIEVODA

Kherson State Agrarian and Economic University

ORCID: 0000-0002-3324-965x

K. POKHIL

Kherson State Agrarian and Economic University

## OPTIMIZATION OF PRODUCTION TECHNOLOGY OF GRILLED CANDIES OF INCREASED FOOD VALUE

*The article analyzes the qualitative characteristics of wellness candies formed in the production conditions of limited liability company «Kherson Confectionery Factory». The recipe composition of the developed sweets in a percentage ratio and the technological scheme of their production, which does not complicate the classic production process, are reduced. Laboratory samples contain fructose, gumarabic, nuts, vanillin, cocoa and corn oil. Considering the technological properties of sugar, fructose does not have such binding properties, so gumarabic was added to the structure. The comparative characteristic of chemical composition and energy value of the developed chocolates is presented. It is indicated that the prototypes have lower energy and higher nutritional value. The analysis of proteins, fats, carbohydrates, vitamins B1, B2, B9, E, as well as seven minerals was carried out. A point scale has been developed to evaluate the organoleptic characteristics of chocolates, namely by color, texture, appearance, taste and smell. It is determined that attached to adding gumarabic in the amount of 4% candy have the best organoleptic characteristics, and at presence increasing this component in the amount of up to 6% they are significantly worse. At the same time, it is generalized that the developed laboratory products are not inferior by quality indicators and organoleptic research to the control samples, that containing sugar and made at the specified enterprise. The basic defects of sweets in the production of the aforementioned chocolates, the causes of their occurrence and the parameters of technological operations that prevent their appearance are summarized. Thus, the prospects for further research at limited liability company «Kherson Confectionery Factory» can be linked with sociological study of organoleptic parameters in Kherson city.*

*Keywords: grilled candies, health nutrition, technological scheme, recipe composition, organoleptic parameters.*

### Постановка проблеми

Протягом останніх років ринок кондитерських виробів стабільно розвивається: щорічно зростають обсяги виробництва та розширюється асортимент. Цьому сприяють новітні технології виробництва як традиційних, так і нових кондитерських виробів, впровадження нових високопродуктивних ліній та обладнання, що сприяє зростанню попиту на солодощі у споживачів в Україні та за її межами. Для розширення асортименту кондитерських виробів доцільно розробити цукерки із заміною традиційного цукру сахарози на глюкозу і фруктозу, адже сегмент споживачів-діабетиків щорічно зростає та набирає оберти тенденція здорового харчування серед молоді. Таким чином, постає необхідність розробки солодкої продукції оздоровчого спрямування на місцевих підприємствах, зокрема у південному регіоні в ТОВ «Херсонська кондитерська фабрика», оскільки наразі на цьому підприємстві не виготовляються цукерки на глюкозі і фруктозі.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сьогодні в Україні, виробництво оздоровчих грильяжних цукерок спостерігається такою торговою маркою «PASTIVALLE» (м. Житомир) [1], які містять у складі пастилу з соку ягід та фруктів, горіхи: мигдаль, волоський, фундук, мед натуральний, глюкозу й чорний бельгійський шоколад. При цьому сучасними вітчизняними науковцями не запатентовано жодних грильяжних цукерок оздоровчого спрямування, проте містяться численні роботи з вдосконалення технологічного процесу та складу грильяжних мас для виробництва цукерок класичного складу з цукром [2-4].

### Формулювання мети дослідження

Визначити рецептурну композицію грильяжних цукерок оздоровчого спрямування, сформулювати технологічні особливості їх виробництва та дослідити показники якості експериментальних зразків цієї продукції, що виготовлені на базі ТОВ «Херсонська кондитерська фабрика».

### Викладення основного матеріалу дослідження

Для розширення асортименту кондитерських виробів доцільно розробити цукерки із заміною традиційного цукру сахарози на глюкозу і фруктозу. Актуальним напрямком досліджень є використання

моносахаридів, які б виконували декілька технологічних функцій: уповільнення процесу черствіння виробів; надання високих органолептичних показників виробам; розширення асортименту кондитерських виробів; покращення їх харчової цінності.

Фруктоза – органічна речовина – вуглевод із групи моносахаридів, що міститься в солодких плодах, меді; безбарвні кристали солодкого смаку (солодше сахарози в 1,5 рази). Перевага фруктози полягає в тому, що солодкого смаку можна надати страві відносно невеликими кількостями фруктози, оскільки при близькій до цукру калорійності їжі замість цього споживачі вживають солодші страви. Відтак частина фруктози перетворюється безпосередньо на жир; жирові запаси спалити набагато важче, ніж глюкозу. Ситість визначається рівнем глюкози в клітинах. Та частина фруктози яка перетворюється на жир, не впливає на відчуття ситості. Тому збільшення споживання фруктози пов'язують з розвитком ожиріння [5]. Фруктоза прискорює переробку алкоголю та переробку продуктів його неповного розпаду в нешкідливі речовини. Фруктоза – натуральний замітник цукру, має досить високу солодкість – 1,5–1,7 до солодкості цукрози. Температура плавлення кристалічної фруктози – 104°C. Фруктоза добре розчиняється у воді, її розчинність перевищує розчинність цукру. Фруктоза має доволі високу гігроскопічність: вже при відносній вологості повітря 45–80% вона починає сорбувати вологу. Калорійність фруктози подібна до цукрози і становить близько 4 ккал/г. Фруктозу можна рекомендувати для харчування хворим на цукровий діабет, оскільки її засвоєння не супроводжується значним підвищенням цукру у крові.

Молярна маса фруктози 180,16 г/моль, густина–1,695 г/см<sup>3</sup>. Термовластивості: температура плавлення–103°C (нижча, ніж у глюкози), температура кипіння 440°C, температура займання 219°C. За хімічними властивостями це типова кетаза. При відновленні формуються маніт та сорбіт.

Гуміарабік – тверда прозора маса, яка виділяється різними видами акацій. Зареєстрована як харчова добавка E414. У кулінарії гуміарабік дозволяє підвищити стійкість емульсій, зменшити утворення грудок і піни, запобігти цукроутворенню, не сильно змінюючи смак продукту. Ці властивості корисні в кондитерському і хлібобулочному галузі (печива, креми, вершки, морозиво і т.д.), при виробництві напоїв (в тому числі газованих і алкогольних) тощо. Регулює точку заморожування, утримує вологу. Гуміарабік також використовували в давні часи, при створенні чорнила для папірусної писемності, додаючи його в розведenu у воді сажу. Гуміарабік у шлунку і тонкому кишківнику не розчиняється і не всмоктується. Мікрофлора товстого кишківнику розщеплює його повністю; у травному процесі, що відбувається з утворенням коротколанцюгових жирних кислот, виділяється близько 3,5 ккал, тобто 80% енергії крохмалю. З точки зору хімії гуміарабік є складовою сумішшю з глікопротеїнів і полісахаридів. Молекулярно-еластичний, він з легкістю розподіляє частинки жирів в продуктах, добре утримує вологу, може регулювати точку замерзання. У харчовій промисловості добавка E414 (гуміарабік) використовується, як текстурант, емульгатор, плівкоутворювач, піногасник та стабілізатор емульсій, тому ця добавка широко використовується в харчовому виробництві.

В кондитерській галузі гуміарабік запобігає утворенню грудок та піни, але при цьому повністю зберігає смак продукту (наприклад, при виробництві печива, цукерок, пастили, глазури та ін.). Наведемо дефекти кондитерських виробів та причини їх виникнення у табл. 1.

В класичну рецептуру входить шоколадна глазур, цукор – пісок, мед бджолиний, ядро горіха смажене, масло вершкове, ванілін. Пропонуємо використовувати натуральний цукор замітник (фруктозу), як загущувач – гуміарабік [6].

Цукерки грильяз за класичною рецептурою готують шляхом розплавлення цукру з додаванням в розплав крупки, приготовленої з горіхових ядер, кукурудзяної олії, ваніліну [7].

Класичні грильязні маси готують вручну або на машинах для прокатування і різання грильязу - періодично і на поточних лініях – безперервно.

Приготування цукеркових корпусів вручну і на машинах здійснюється наступним чином: в електрокотел місткістю не більше 60 л завантажують фруктозу масою 25-30 кг і розплавляють її при постійному перемішуванні. Для запобігання пригорання дно котла попередньо змочують водою. Нагрівають і доводять при безперервному перемішуванні до 170-175 °С. При цьому вміст редуруючих цукрів в розплаві складає 18-25%. Тривалість процесу плавлення фруктози становить 30-40 хв. Після закінчення операції вимикають обігрів і в котел завантажують горіхову крупку з обсмаженого горіхового ядра, кукурудзяну олію, ванілін та гуміарабік. Масу температурою 135-140 °С. Ретельно перемішують і вивантажують на мраморову плиту або на металевий стіл, що охолоджується водою. Для прискорення охолодження і використання зворотних відходів в масу температурою 60-70 °С вводять відходи корпусів цукерок після різання і проминають на цих же столах. При ручному обробленні масу невеликими порціями розрівнюють і прокочують металевою рифленою качалкою до отримання шару завтовшки 6-7 мм, після чого качалкою з дисковими ножами пласт ріжуть в двох напрямках на прямокутні, квадратні або ромбовидні корпуси. Скалка з дисковими ножами складається з валика діаметром 18-20 мм, довжиною 450-500 мм, на який насаджені круглі сталеві ножі діаметром 120-130 мм на відстані 20 мм один від іншого. На кінцях валика є дерев'яні обертові ручки, завдяки чому валик з ножами легко

переміщується по цукерковій пласту. Розрізаний пласт охолоджується протягом 5-10 хв. до 20-25°C, після чого його ламають вручну, по місцях розрізів, на окремі корпуси, які зсипають в лотки і потім передають на глазурування.

Таблиця 1

**Основні дефекти при виробництві цукерок**

Дефекти	Причини
Що виникають при формуванні цукеркових корпусів:	
- після формування пласти мають шорстку поверхню;	- низька температура формування;
- при формуванні відбувається прилипання мас до поверхні валків;	- висока температура маси бо підвищена температура поверхні формуючих валків;
- при формуванні утворюється пласт нерівномірної товщини;	- швидкість формування не дорівнює швидкості приймального транспортера;
Що виникають при глазуруванні:	
- при глазуруванні корпусу не покриваються необхідним шаром глазури, спостерігається просвічування корпусу:	
- маса глазури на корпусах вище норми, особливо у верхній частині корпусу;	- висока в'язкість глазури або погано працює вентилятор;
- глазурувані корпуси мають на бічних поверхнях неглазурувані ділянки, «очі»;	- погано очищена поверхня корпусів;
- при виході з глазурувального апарату на цукерках утворюються «хвости»;	- низька температура глазури, густа глазура;
Що виникають при закручуванні, пакуванні та зберіганні цукерок:	
- при закручуванні розкривається етикетка в місці закручування;	- знижений вміст парафіну в папері або не відрегульований механізм;
- після пакування цукерок в транспортну тару з гофрокартону деформуються коробка;	- низька якість картону коробів;
- стадія зберігання: - при зберіганні глазуруваних шоколадною глазурю цукерок глазура «сивіє»;	- високі відносна вологість повітря і температура на складі.

Глазурувані цукерки загортають на загорткових машинах «в замок» і укладають в коробки з гофрокартону або в картонні коробки. Термін зберігання цукерок, загорнутих в етикетку або фольгу, 4 міс, покладених в капсули - не більше 3 міс.

Таке виробництво грильяжних цукерок пов'язано зі значними витратами фізичної праці, низькою продуктивністю і нестабільною якістю одержуваних виробів. Якість грильяжних цукерок багато в чому визначається якістю розплаву фруктози і в існуючих умовах в більшій мірі залежить від кваліфікації обслуговуючого персоналу. Плавлення виробляється шляхом його нагрівання за допомогою поверхні в плівковому шарі, причому одночасно з нагріванням відбувається подальше перемішування розплаву до однорідного стану. Процес плавлення здійснюється у вертикальному плівковому апараті роторного типу [8].

Фруктоза безперервним потоком дозується в верхню частину роторного апарату. Продукт переміщається зверху вниз під дією гравітаційних сил. Одночасно під впливом відцентрових сил фруктоза відкидається до стінок апарату. Одночасно відбувається поступовий підігрів частинок цукру до температури плавлення, а потім - плавлення. Час плавлення становить 15-30 с.

У верхній зоні плівкового апарату підтримується температура стінок 140 °С, в середній зоні - 200-215°C, в нижній - 160°C. З плівкового апарату безперервним потоком випливає прозорий карамелізований розплав температурою 190-205 °С, що має червонувато-коричневий колір.

Грильяжну масу отримують безперервним способом шляхом подачі в лопатевий змішувач розплаву цукру, горіхової крихти в суміші з ваніліном, кукурудзяної олії та крихти грильяжної маси.

Враховуючи значну калорійність цукерок та сучасні тенденції до харчування, пропонуємо покращити технологію (знизити калорійність) шляхом заміни цукру на фруктозу. Враховуючи технологічні особливості цукру, фруктоза не має таких скріплюючих властивостей, тому як структуроутворювач додаємо гуміарабік.

Відомо, що фруктоза в 1,5 солодша за цукор. Однак при заміні цукру на фруктозу у отриманих виробках структура не відповідає вимогам, що висуваються до даного виду виробів. Вироби не мають тієї еластичності. Тому, вирішено додати структуроутворювач. Дослідивши властивості гуміарабіку для визначення оптимальної кількості, вносимо його в рецептуру з кроком 0,5%. В результаті відпрацювання

технології за органолептичними показниками встановлено, що доцільно вносити гуміарабік в кількості 1-3 %. Рецептурний склад цукерок наведений у табл. 2.

Таблиця 2

Рецептурний склад цукерок, 1000 г		
	Кількість, г/кг гот. прод.	Вимоги до сировини
Фруктоза	100	Зовнішній вигляд: білий кристалічний порошок. Смак: солодкий. Запах відсутній.
Гуміарабік	10	Запах та смак відсутні.
Горіхи	600	Ядра щільні та пружні, легка терпкість.
Ванілін	10	Зовнішній вигляд: дрібнокристалічний порошок, без грудочок і сторонніх включень. Колір та смак: білий або злегка жовтуватим відтінком; солодкий із гіркуватим присмаком, властивим ваніліну. Явно виражений запах ваніліну, без стороннього запаху.
Глазур (какао, фруктоза)	330	Смак та запах, характерні для конкретного виду глазури і маси, без стороннього присмаку та запаху. Колір – вся білого до темно-коричневого; для кольорової – від кольору сировини, та барвників для цукрової та помадної. Консистенція за температури від 0 °С до 18 °С - тверда, від 28 °С до 40 °С - плинна.
Кукурудзяна олія	50	Прозорість: прозора без осаду. Запах та колір: характерні для конкретного виду олії, без гіркоти.

Технологічна схема виробництва цукерок «Південні» зображена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема виробництва грильязу «Південного» безперервним способом

Технологічний процес виготовлення цукерок «Південні» представлено у табл. 3.

Хімічний склад цукерок має велике значення для розробки нових видів функціональних продуктів. У таблиці 4 представлені дані для порівняння хімічного складу виробу (вміст речовин на 100 г.) виготовленого за оригінальної рецептури та вдосконаленої.

Таблиця 3

## Аналіз технологічного процесу виробництва цукерок «Південні» з грильязним корпусом

Етап	Технологічна операція	Параметри	Фізико-хімічні зміни	Мета, яка досягається
Підготовка сировини	В електрокотел завантажують фруктозу масою і розплавляють її при постійному перемішуванні	Електрокотел 60 л, фруктоза 25-30 кг, перемішування при 170-175°C. Тривалість процесу плавлення становить 30-40 хв.	Для запобігання пригорання дна котла попередньо змочують водою	Розплавлення фруктози
Приготування грильязної маси	В котел завантажують горіхову крупку з волоського горіха, вершкове масло, ванілін та гуміарабік	Температура маси 135-140 °C	Перемішують і вивантажують	Отримання грильязної маси
Формування корпусу	Невеликими порціями розрівнюють металевою качалкою до отримання шару. Пласт ріжуть на прямокутні, квадратні форми	Скалка з дисковими ножами складається з валика діаметром 18-20 мм, довжиною 450-500 мм.	Розрівнювання, різання	Отримання потрібної форми
Глазування	Глазувані цукерки загортають на машинах «в замок» і укладають в картонні коробки	Термін зберігання цукерок, загорнутих в етикетку або фольгу, - 4 міс, покладених в капсули - не більше 3 міс	Загортання в «замок»	Глазування цукерок
Фасування	Глазувані цукерки загортають на загорткових машинах «в замок»	Короби з гофрокартону або в картонні коробки	Укладання в коробки	Фасування цукерок
Пакування	Укладають в картонні коробки		Укладання в коробки	Упаковка цукерок

Таблиця 4

## Хімічний склад та енергетична цінність цукерок типу грильяз

Складові продукту	Контроль	Дослід 1 (2% гуміарабіка)	Дослід 2	Дослід 3
Білки, г	9,5	15	15	15
Жири, г	21,0	20,4	20,3	20,3
Вуглеводи, г	56,4	25	24	24
Енергетична цінність, ккал	47,0	47,9	48,4	51,2
Вітаміни, мг				
B1	75	82	96	113
B2	67	73	88	95
B9	92	160	180	187
E	64	75	81	89
Мінеральні речовини, мг				
Mg	81	87	93	99
Cu	580	575	559	540
Na	55	67	79	84
K	47	57	63	78
S	34	45	67	89
Fe	91	110	118	190
Cl	34	41	56	67
Всього	100	100	100	100

Примітка. У досліді 1 додали 2 % гуміарабіка, у досліді 2 – 4%, у досліді 3 – 6%.

Відповідно за даними (табл. 4) найкращі показники за хімічним складам були у досліді 3. Однак, для більш достовірних даних було досліджено органолептичні показники. Для їх оцінки було розроблено шкалу, яка наведена в табл. 5. На основі цих вимог визначено органолептичну оцінку цукерок, яка наведена в табл. 6.

Таблиця 5

Найменування показника	Характеристика органолептичних показників, бали			
	5	4	3	2
Зовнішній вигляд	Форма виробу рівна, без тріщин, уламків.	Допустимі маленькі тріщини	Тріщини на поверхні, форма дещо деформована	Неправильна форма, тріщини на поверхні.
Консистенція	Тверда	Крихка	Крихка, не тримає форму	Не відповідає виду
Колір	Однорідний	Дещо нерівномірний відтінок	Коричневий відтінок, дещо нерівномірний	Не відповідає виду, неоднорідний
Смак та запах	Відповідає виду цукерок, без згірлого, кислого чи іншого неприємного присмаку	Присутній кислий присмак	З вираженим присмаком згірлого	Надмірно виражені смаком ароматичних та смакових добавок

Таблиця 6

Органолептична оцінка цукерок типу грильяж						
Дослідження	Консистенція	Колір	Смак	Запах	Зовнішній вигляд	Середня оцінка
Контроль	5	5	5	5	5	5
Дослід	5	5	5	5	4	4,8

Дослід 2 з додаванням 4% гуміарабіка має кращі показники ніж контроль. А з додаванням 6-ти % органолептичні показники погіршилися.

#### Висновки

За результатами проведеного дослідження виробництва цукерок грильяж оздоровчого спрямування можна стверджувати, що запропонована рецептурна композиція у технологічному вираженні не ускладнює виробничий процес. При цьому проведена порівняльна характеристика хімічного складу та енергетичної цінності показала переваги розроблених цукерок за показниками нижчої енергетичної та вищої харчової цінності. Таким чином, перспективи подальших досліджень на ТОВ «Херсонська кондитерська фабрика» можна пов'язати з соціологічним дослідженням органолептичних показників серед місцевого населення.

#### Список використаної літератури

1. Офіційний сайт ТМ «PASTIVALLE» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pastivalle.com/#about> – Назва з екрану.
2. Пат. № 109753 UA Україна Склад для карамелізації горіхів та приготування грильяж них мас, А23G 3/36 (2006.01); заявл. № a201411468 від 21.10.2014; опубл. 25.09.2015. – 3 с.
3. Пат. № 58718 UA Україна Грильяж, А23G 3/36 (2011.01); заявл. № u201011552 від 28.09.2010; опубл. 26.04.2011. – 4 с.
4. Пат. № 50518 UA Україна Спосіб автоматичного керування процесом темперування шоколадної маси у темперуючій машині, А23G 1/00 (2009); заявл. № u200913518 від 25.12.2009; опубл. 10.06.2010. – 3 с.
5. Донченко А.В. Історія основних харчових продуктів (вступ до спеціальності) / Донченко А.В., Надикта В.Д.: навчальне видання. – М.: Делі принт, 2002. – 304 с.
6. Олейнікова, А.Я. Проектування кондитерських підприємств [Текст] .: Підручник / А. Я. Олейнікова, Г.О. Магомедов – Воронеж: Воронеж. держ. технол. акад., 2003 – 475 с.
7. Драгілев А.І. Технологія кондитерських виробів / Драгілев А.І., Лур'є І.С. – М.: Делі Принт, 2003. – 430 с.

8. Скобельська З.Г. Технологія виробництва цукристих кондитерських виробів / Скобельська З.Г., Горячева Г.Н.: Учеб. для поч. проф. освіти. - М: ІРПО; Проф Обр Издат, 2002. – 416 с.

#### **References**

1. Official site of TM "PASTIVALLE" Available at: <https://pastivalle.com/#about> (accessed 17 September 2019).
2. Bondarenko V.A., Yarandin V.A. Composition for caramelization of nuts and preparation of grillage masses Patent UA, no. 109753, 2015.
3. Closed joint-stock company «Shpolianskyi zavod prodtovariv» Grillage. Patent UA, no. 58718, 2011.
4. Pavlov A.I., Binkalo S.F. A method of automatically controlling the temperature of chocolate mass in a tempering machine. Patent UA, no. 50518, 2010.
5. Donchenko A.V., Nadykta V.D. History of staple foods (introduction to the specialty). Moscow, Delhi print, 2002. 304 p.
6. Oleynikova A.Ya., Magomedov G.O. Designing confectionery enterprises. Voronezh, Voronezh. state. technol. academy., 2003. 475 p.
7. Dragilev A.I., Lurie I.S. Technology of confectionery Moscow, Delhi print, 2003. 430 p.
8. Skobelskaya Z.G., Goryacheva G.N. Sugar confectionery production technology. Moscow, IRPO., 2002. 416 p.



УДК 677.055.32:677.072

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.9>

О.М. ДМИТРИК

Київський національний університет технологій та дизайну

В.І. БЕЗСМЕРТНА

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID: 0000-0002-2247-6718

Л.Є. ГАЛАВСЬКА

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID: 0000-0002-6994-6641

## ВПЛИВ ТИПУ В'ЯЗАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ПОКАЗНИКИ ВТРАТИ МІЦНОСТІ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТА ПАРААРАМІДНИХ НИТОК ПІСЛЯ В'ЯЗАННЯ

У даній статті представлено результати дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на показники втрати міцності високомолекулярних поліетиленових (ПЕ) та параарамідних (ПА) ниток після в'язання, а також у разі їх поєднання у процесі в'язання з металевою монониткою. Зразки трикотажних полотен вироблено переплетенням кулірна гладь на двох типах плосков'язального обладнання 8 класу: плоскофангова машина типу ПВРК та рукавичковий автомат ПА-8-33 (РА).

У відповідності до існуючої методики встановлено величину розривального навантаження та видовження ниток до та після в'язання на розривній машині KaoTieh KT-7010AZ. Для оцінки втрати міцності нитки після в'язання використано коефіцієнт використання міцності, який представляє собою відношення міцності нитки після в'язання до її вихідної міцності.

У результаті реалізованого експерименту виявлено вищі значення коефіцієнта використання міцності ПА нитки порівняно з ПЕ. На втрату міцності ПЕ ниток впливає в'язування у структуру трикотажу металевої мононитки. Таким чином ПЕ нитки при переробці їх у структуру трикотажу переплетення гладь у більшій мірі втрачають міцність, що пояснюється особливостями вихідного полімера. ПЕ нитки більш чутливі до видовження при силових навантаженнях та руйнації окремих волокон внаслідок взаємодії з металевою монониткою. Це і спричиняє більшу втрату міцності у процесі в'язання трикотажу саме ПЕ нитки, яка за своєю будовою є багатофіламентною некрученою ниткою.

Одержані у ході досліджень характеристики втрати міцності високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток, перероблених у структуру кулірного трикотажу переплетення гладь, дають можливість формувати задані властивості трикотажу у кінцевому продукті.

Ключові слова: розривальне навантаження, розривальне видовження, коефіцієнт використання міцності, втрата міцності, нитки підвищеної міцності, високомолекулярна поліетиленова нитка, параарамідна нитка, металева мононитка.

О.М. ДМЫТРИК

Киевский национальный университет технологий и дизайна

В.И. БЕССМЕРТНАЯ

Киевский национальный университет технологий и дизайна

ORCID: 0000-0002-2247-6718

Л.Е. ГАЛАВСКАЯ

Киевский национальный университет технологий и дизайна

ORCID: 0000-0002-6994-6641

## ВЛИЯНИЕ ТИПА ВЯЗАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПОТЕРИ ПРОЧНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ И ПАРААРАМИДНЫХ НИТЕЙ ПОСЛЕ ВЯЗАНИЯ

В данной статье представлены результаты исследования влияния типа плосковязального оборудования на показатели потери прочности высокомолекулярных полиэтиленовых (ПЭ) и параарамидных (ПА) нитей после вязания, а также в случае их сочетания в процессе вязания с металлической мононитью. Образцы трикотажных полотен изготовлены переплетением кулирная гладь на двух типах плосковязального оборудования 8 класса: плоскофанговой машине типа ПВРК и перчаточном автомате ПА-8-33 (РА).

В соответствии с существующей методикой установлено величину разрывной нагрузки и удлинения нитей до и после вязания на разрывной машине KaoTieh KT-7010AZ. Для оценки потери

прочности нити после вязания использован коэффициент использования прочности, который представляет собой отношение прочности нити после и до вязания.

В результате реализованного эксперимента выявлено более высокие значения коэффициента использования прочности ПА нити по сравнению с ПЭ. На потерю прочности ПЭ нитей влияет вязывание в структуру трикотажа металлической мононити. Таким образом ПЭ нити при переработке их в структуру трикотажа переплетения гладь в большей степени теряют прочность, что объясняется особенностями исходного полимера. ПЭ нити более чувствительны к удлинению при силовых нагрузках и разрушению отдельных волокон в результате взаимодействия с металлической мононитью. Это и вызывает большую потерю прочности в процессе вязания трикотажа именно ПЭ нитей, которые по своему строению являются багатопиламентными некручеными нитями.

Полученные в ходе исследований характеристики потери прочности высокомолекулярных полиэтиленовых и параарамидных нитей, переработанных в структуру кулирного трикотажа переплетения гладь, дают возможность формировать заданные свойства трикотажа в конечном продукте.

Ключевые слова: разрывная нагрузка, разрывное удлинение, коэффициент использования прочности, потеря прочности, нити повышенной прочности, высокомолекулярная полиэтиленовая нить, параарамидная нить, металлическая мононить.

O.M. DMYTRYK

Kyiv National University of Technology and Design

V.I. BEZSMERTNA

Kyiv National University of Technology and Design

ORCID: 0000-0002-2247-6718

L.Ye. HALAVSKA

Kyiv National University of Technology and Design

ORCID: 0000-0002-6994-6641

#### THE INFLUENCE OF THE TYPE OF KNITTING EQUIPMENT ON THE STRENGTHS OF LOSSING STRENGTH OF POLYETHYLENE AND PARARAMID THREADS AFTER KNITTING

*This article presents the results of a study of the effect of type of knitting equipment on the loss of strength of high molecular weight polyethylene (PE) and para-aramid (PA) filaments after knitting, as well as when combined in the process of knitting with a metal monofilament. Samples of knitted fabrics are made by interlacing the cooling surface on two types of flat-knitting equipment of the 8th class: the flat-type machine PVRK and the glove machine PA-8-33 (RA).*

*In accordance with the existing methodology, the value of the breaking load and the elongation of the yarns before and after knitting on the KaoTieh KT-7010AZ breaking machine was established. To estimate the loss of thread strength after knitting, the use factor of strength, which is the ratio of the strength of the thread after and before knitting, was used.*

*As a result of the experiment, it is found that the coefficient of PA strength of the yarn of knitwear samples without introduction into the metal monofilament structure, in comparison with PE, increases regardless of the type of knitting equipment. When introduced into the structure of a metal monofilament, regardless of the type of knitting equipment, the coefficient of PA strength of the filament compared to the PE increases. Thus, the PE filaments, when processing them into the structure of knitwear, weave loosening, to a greater extent, lose their strength, which is explained by the peculiarities of the original polymer. PE filaments are more sensitive to elongation at power loads and destruction of individual fibers due to interaction with the metal monofilament. This causes a greater loss of strength in the knitting process of the PE thread itself, which by its structure is a multifilament non-twisted thread.*

*The characteristics of the loss of strength of high-molecular-weight polyethylene and para-aramid threads obtained in the structure of the knit fabric knit fabric, obtained in the course of the researches, give the opportunity to form the specified properties of knitwear in the final product.*

*Keywords: tensile load, tensile elongation, strength factor, loss of strength, high strength raw material, high molecular weight polyethylene filament, para-aramid filament, metallic monofilament.*

#### Постановка проблеми

Останнім часом зростає попит на текстильні матеріали для потреб оборонно-промислового комплексу. Розширення сфер використання текстилю стало можливим завдяки появі сировини підвищеної міцності різноманітного походження: вуглецеві, скляні, керамічні, кварцеві, параарамідні та поліетиленові волокна й нитки. Зокрема нитки знайшли своє застосування у виробництві текстилю підвищеної міцності для виготовлення засобів індивідуального захисту від дії механічних ушкоджень.

Вплив умов переробки надміцної сировини у текстильний матеріал, а саме вплив процесу в'язання та типу в'язального обладнання на зміну їх властивостей у даний час вивчено недостатньо. Наявна в літературних джерелах інформація не дає надійних відомостей при порівняльних випробуваннях ниток підвищеної міцності із застосуванням ідентичних методів, ускладнює зіставлення властивостей ниток й оптимізацію їх застосування [1-3].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використання трикотажу технічного призначення з кожним роком зростає, що пов'язано з появою нових видів надміцної сировини та технологічних можливостей в'язального обладнання. Однак питання впливу властивостей сировини та особливостей протікання технологічних процесів виробництва на показники втрати їх міцності та фізико-механічні характеристики трикотажу вивчені недостатньо.

У роботі [4] автором завдяки реалізації повного двофакторного експерименту досліджено вплив глибини кулірування та натягу ниток на розривні характеристики трикотажу. Дослідні зразки трикотажу вироблені на двофонтурній плосков'язальній машині Stoll CMS 330 10 класу з високомолекулярних поліетиленових ниток. Встановлено, що найбільший вплив на структурні характеристики трикотажу з двофонтурних плосков'язальних машин з наявністю платин має глибина кулірування та натяг нитки. Однак, автором роботи не проводилося дослідження втрати міцності самих ниток після в'язання.

Автором іншої роботи [5] шляхом проведення повного трифакторного активного експерименту встановлено регресійні залежності, що описують вплив параметрів в'язання на збереження міцності параарамідної нитки. Досліджено, що на величину розривального навантаження нитки після в'язання впливає лінійна густина, глибина кулірування та зусилля відтягування полотна, які діють на показники втрати міцності параарамідних ниток у процесі в'язання. Дослідні зразки вироблені на плосков'язальному обладнанні типу ПВРК. Тому одержані рівняння регресії не можуть бути використані у разі вироблення трикотажу на плосков'язальному обладнанні з використанням платин у процесі в'язання. У роботі не акцентується увага на особливостях самого процесу петлетворення, зокрема на загальному чи зосередженому зусиллі відтягування.

У роботі [6] автором на підставі порівняльного аналізу високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток різних виробників представлено властивості волокон вихідної сировини. Наведені дослідження направлені на вивчення фізико-механічних характеристик тканих структур, вироблених з використанням параарамідних та поліетиленових ниток. Одержані у даній роботі результати для тканих структур не можуть бути трансформовані на трикотажні структури, оскільки це інша технологія формування та спосіб структуроутворення текстильного матеріалу.

Автором іншої роботи [7] досліджено характеристики параарамідних ниток різних виробників вітчизняного та зарубіжного виробництва, зокрема їх питоме розривальне навантаження та видовження після дії на сировину різноманітних чинників, пов'язаних з експлуатацією виробів з них: навколишнє середовище, кінетика сорбції, десорбції водяної пари, кінетика набухання у воді. Це дає можливість оцінити поведінку ниток за різних умов експлуатації. Автором встановлено основні недоліки арамідних волокон: низький опір стискуючим навантаженням і порівняно високе вологопоглинання. Введення в їх структуру високомодульних керамічних та скляних волокон дозволяє зберегти електрофізичні властивості та підвищити міцність при стисненні. Однак, описані у даній роботі результати досліджень стосуються виключно ниток до етапу їх переробки у текстильний матеріал (тканину чи трикотаж). Тобто не враховані процеси та переходи нитки на устаткування, що також впливає на втрату міцності нитки.

Робота [8] присвячена вивченню впливу умов розриву параарамідних ниток різних виробників російського та зарубіжного виробництва на їх розривальні характеристики, а саме у мокрому та сухому стані, у вигляді прямолінійного відрізка, з імітацією петлі та вузла. Цей метод дозволяє дати оцінку неоднорідності структури ниток різного асортименту, виявити зміни, що відбуваються в нитках при переробці у текстильний матеріал. Результатом роботи є падіння міцності і приріст подовження при розриві, що спостерігаються внаслідок прояву ефекту пластифікації. Аналогічно попередній роботі [7], автором проведено дослідження на нитках до їх переробки у текстильний матеріал.

У роботі [9] автором проведені випробування з визначення механічних властивостей ниток в залежності від швидкості руху затискача розривної машини. У якості об'єкта дослідження використано параарамідні нитки вітчизняного та зарубіжного виробництва. Залежно від швидкості розтягування змінюється час, протягом якого здійснюється деформація, при збільшенні швидкості час деформування знижується. Внаслідок цього не вистачає часу зруйнуватися більшості міжмолекулярних зв'язків, розвинулися еластичній і пластичній деформації. При низькій швидкості виходить зворотна залежність: зі збільшенням швидкості розтягування розривальне навантаження зростає, а розривальне видовження зменшується.

Таким чином, аналіз наукових публікацій вітчизняних та зарубіжних авторів, які працюють у сфері дослідження поведінки надміцної сировини під впливом різноманітних чинників, дозволяє зробити висновок, що дані результати не дають вичерпних відомостей про поведінку ниток у разі їх переробки на в'язальному обладнанні. Отже, питання впливу властивостей виду надміцної сировини та

особливостей протікання технологічних процесів виробництва на показники втрати її міцності та фізико-механічні характеристики одинарного кулірного трикотажу переплетення гладь вивчено недостатньо та потребує проведення додаткових досліджень.

#### Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є дослідження впливу типу в'язального обладнання та введення у структуру металеві мононитки на показники втрати міцності високомолекулярних поліетиленових та параарамідних ниток при їх переробці в структуру кулірного трикотажу переплетення гладь.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

При створенні текстилю підвищеної міцності важливо розуміти як саме впливає безпосередньо процес в'язання трикотажу на втрату міцності вихідної сировини. У даному дослідженні зразки трикотажних полотен вироблено одинарним кулірним переплетенням гладь, з двох видів сировини: високомолекулярних поліетиленових (ПЕ) та параарамідних (ПА) ниток. Для підвищення міцності трикотажу додатково у структуру в'язано металеву мононитку. Для виготовлення дослідних зразків трикотажу використано два типи плосков'язального обладнання 8 класу: плоскофангову машину типу ПВРК та рукавичний автомат ПА-8-33 (РА). При цьому довжина нитки в петлі на двох типах в'язального обладнання залишалась незмінною ( $l=8,9$ мм). Заправні дані дослідних зразків наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри структури дослідних зразків трикотажу

№ зразка	Тип в'язального обладнання	Вид сировини	Лінійна густина, текс	Товщина, мм	Поверхнева густина, г/м <sup>2</sup>
1	ПВРК	ПЕ	44X2	0,80	177,9
2		ПА	92	0,70	192,5
3		ПЕ металева нитка	44X2 0,12 мм	0,85	304,2
4		ПА металева нитка	92 0,12 мм	0,79	312,0
5	РА	ПЕ	44X2	1,10	191,0
6		ПА	92	1,00	196,0
7		ПЕ металева нитка	44X2 0,12 мм	1,20	306,8
8		ПА металева нитка	92 0,12 мм	1,12	323,7

На обраних двох типах плосков'язального обладнання реалізується в'язальний послідовний процес петлетворення. Відмінність полягає у тому, що на плоскофанговій машині типу ПВРК у ході в'язання трикотаж знаходиться під впливом значного зусилля відтягування, яке за прикладеною силою є загальним, а на рукавичному автоматі операція відтягування забезпечується горловинами платин (зосереджене відтягування). У ході переробки параарамідних ниток на рукавичному автоматі внаслідок їх значної жорсткості зусилля відтягування полотна виявилось недостатнім. Через це на полотні формувалися витягнуті пресові петлі. Для забезпечення нормального перебігу процесу петлетворення створено додаткове зусилля відтягування полотна шляхом використання тягарців сумарною вагою 596 г. При цьому довжина нитки в петлі залишалась незмінною.

Для визначення розривального навантаження та розривального видовження нитки після в'язання на розривній машині КаоТієн КТ-7010AZ у відповідності до існуючої стандартизованої методики [10] шляхом розпуску вироблених зразків трикотажу підготовлено по 10 дослідних проб у вигляді відрізків ниток затискної довжини 500 мм (загальна довжина 700 мм). Результати розрахунку середніх значень розривального навантаження та розривального видовження ниток після в'язання та показник втрати міцності нитки наведено у табл. 2.

Коефіцієнт використання міцності представляє собою відношення величини розривального навантаження після в'язання до величини розривального навантаження вихідної нитки [1]. Для співставлення розривального навантаження двох видів сировини, які відрізняються за лінійною густиною, величину розривального навантаження приведено до одиниці лінійної густини нитки. Величина питомого розривального навантаження / видовження вихідної сировини до в'язання: ПЕ ниток складає 198,59 г/текс / 6,08%, ПА ниток - 161,98 г/текс / 4,96%.

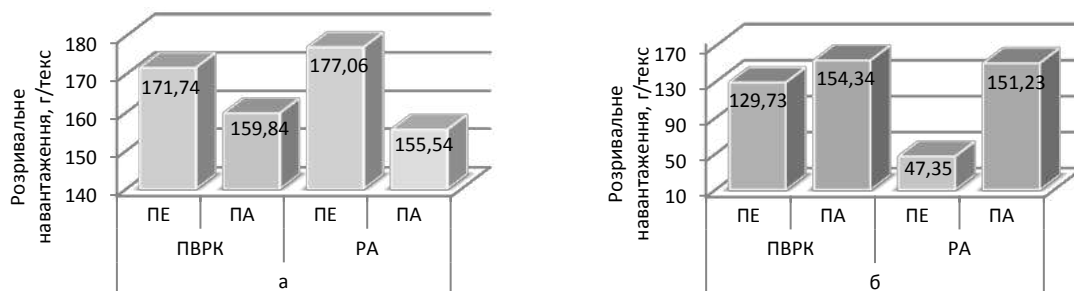
Для того щоб з'ясувати, який вплив на розривні характеристики поліетиленових та параарамідних ниток здійснює тип в'язального обладнання та введення у структуру металеві мононитки, нами проведено порівняльний аналіз одержаних результатів експериментальних досліджень.

На підставі даних табл. 2 побудовано діаграми (рис.1-3), які наглядно ілюструють вплив зміни виду сировини та типу в'язального обладнання на вищезазначені характеристики.

Таблиця 2

Механічні характеристики дослідних зразків			
№ зразка	Розривальне навантаження, г/текс	Розривальне видовження, %	Коефіцієнт використання міцності
1	171,74	9,52	0,86
2	159,84	4,70	0,99
3	129,73	7,32	0,65
4	154,34	4,58	0,95
5	177,06	10,16	0,89
6	155,54	4,26	0,96
7	47,35	7,78	0,24
8	151,23	4,24	0,93

З діаграм, наведених на рис.1, видно, що величина розривального навантаження обох ниток після в'язання порівняно з вихідною сировиною зменшується. Але при цьому на втрату міцності досліджуваних ниток має вплив як тип в'язального обладнання, так і вв'язування у структуру трикотажу металеві мононитки. Величина розривального навантаження ПЕ нитки після в'язання трикотажу на рукавичному автоматі (зразок5) більша порівняно з трикотажем, виробленим на машині ПВРК (зразок 1) на 3,1%. Разом з тим величина розривального навантаження ПА нитки після в'язання зразка 6 (РА) порівняно зі зразком 2 (ПВРК) менша на 2,7%. Порівняно з вихідною сировиною розривальне навантаження ПЕ нитки після в'язання зразка 1 на машині ПВРК знизилось на 13,2%; зразка 5, виробленого на рукавичному автоматі, – на 10,5%. Розривальне навантаження ПА нитки після в'язання зразка 2 порівняно з вихідною сировиною знизилось лише на 1,3%, зразка 6 - на 3,98% (рис. 1, а).

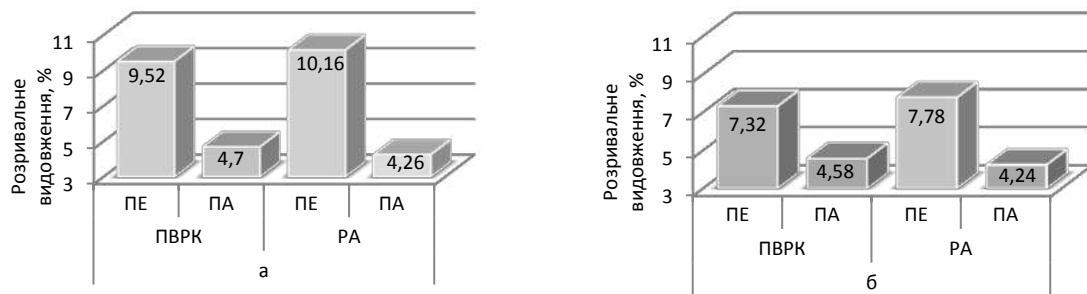


**Рис. 1. Діаграми розривального навантаження поліетиленової та параарамідної ниток після в'язання трикотажу: а- без металеві мононитки, б- з металеві монониткою**

Найбільший вплив на зниження рівня розривального навантаження нитки у разі поєднання у процесі в'язання трикотажу ПЕ ниток з металеві монониткою на рукавичному автоматі. Це пояснюється участю у процесі в'язання трикотажу платин, які своїми горловинами створюють зосереджену на платинних дугах петель взаємодію двох ниток. Зміна типу в'язального обладнання з ПВРК на РА призводить до зниження величини розривального навантаження ПЕ нитки після в'язання трикотажу (зразок 7 порівняно зі зразком 3) на 63,48%. На величину розривального навантаження ПА нитки при її поєднанні у процесі в'язання з металеві монониткою тип в'язального обладнання впливає у незначній мірі (зразок 8 порівняно зі зразком 4), а саме: знижується на 2,02% (рис. 1, б).

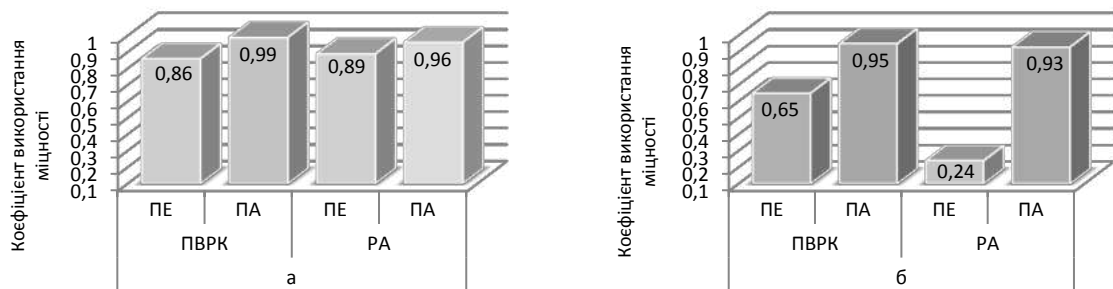
Діаграми, представлені на рис. 2, наглядно ілюструють вплив типу в'язального обладнання та введення у структуру трикотажу металеві мононитки на величину розривального видовження ПЕ та ПА ниток після в'язання. Слід зауважити, що розривальне видовження ПА нитки після в'язання порівняно з вихідною сировиною зменшується, а ПЕ нитки – збільшується, а саме: зразка 2 зменшується на 5,24%; зразка 5 – на 14, 11%, зразка 4 – на 7,66%, зразка 8 – на 14,52%; зразка 1 зростає на 56,6%, зразка 5 – на 67,0%, зразка 3 – на 20,4% зразка 7 – на 27,96%. При цьому вв'язування у структуру трикотажу металеві мононитки призводить до зниження рівня розривального видовження обох видів ниток, що можна пояснити перерозподілом навантаження у процесі в'язання трикотажу між нитками, які пров'язані у петлі (ПА чи ПЕ ниткою та металеві монониткою). Крім того, у разі вироблення дослідних зразків трикотажу з ПЕ нитки на рукавичному автоматі величина розривального видовження нитки після в'язання вища порівняно зі зразками з машини ПВРК. Зміна типу в'язального обладнання з РА на ПВРК у

випадку використання ПА нитки навпаки призводить до зростання розривального видовження. Більш чутливою до впливу процесу в'язання на величину розривального видовження виявилася ПЕ нитка.



**Рис. 2. Діаграми розривального видовження поліетиленової та параарамідної ниток після в'язання трикотажу: а- без металевої мононитки, б- з металевою монониткою**

Діаграми, представлені на рис. 3, наглядно ілюструють як в межах одного типу в'язального обладнання змінюється показник втрати міцності поліетиленової та параарамідної ниток (рис.3, а), а також у разі поєднання їх у процесі в'язання з металевою монониткою (рис.3, б).



**Рис. 3. Діаграми використання міцності поліетиленової та параарамідної ниток у процесі в'язання трикотажу: а- без металевої мононитки, б- з металевою монониткою**

У результаті реалізованого експерименту виявлено, що ПА нитки у процесі їх переробки на в'язальному обладнанні порівняно з ПЕ нитками менш схильні до втрати міцності. Їх поєднання у процесі в'язання з металевою монониткою також у незначній мірі впливає на втрату її міцності. Значення коефіцієнта використання міцності ПЕ нитки, поєднаної у процесі в'язання з металевою монониткою (зразки 3, 7), дозволили зробити висновок щодо впливу особливостей процесу в'язання (типу в'язального обладнання) на втрату її міцності після в'язання. Так ПЕ нитка зразка 3 порівняно з вихідною сировиною втратила свою міцність на 35%, зразка 7 – на 76%. При цьому зміна типу в'язального обладнання з ПВРК на РА призвела до зниження коефіцієнта використання міцності у 2,7 рази.

### Висновки

У ході проведених досліджень встановлено що за величиною розривального навантаження після в'язання на одиницю лінійної густини поліетиленова нитка показала кращі результати. Але при цьому у разі вироблення дослідних зразків на рукавичковому автоматі з введенням у структуру металевої мононитки поліетиленова нитка втрачає свою міцність на 76% (зразок 7). Це пов'язано з особливостями протікання процесу петлетворення та будовою нитки, яка представляє собою багатофіламентну не кручену нитку. Саме наявність великої кількості філаментів та відсутність крутки призводить до більшої її руйнації порівняно з параарамідною ниткою при взаємодії з металевою монониткою у процесі виконання зосередженого зусилля відтягування за допомогою платин.

У процесі переробки на в'язальному обладнанні поліетиленова нитка внаслідок особливостей будови вихідного полімеру стає більш податливою до розривального видовження, у порівнянні з параарамідною ниткою. При цьому розривальне видовження параарамідних ниток після їх переробки у структуру трикотажу навіть зменшується порівняно з вихідною сировиною. Це можна пояснити тим, що у процесі в'язання під дією зусилля відтягування відбувається розпрямлення та паралелізація елементарних волокон в структурі комплексної нитки, внаслідок чого і зменшується розривальне видовження.

Коефіцієнт використання міцності нитки є основним показником, який вказує на втрату міцності нитки у процесі в'язання. У результаті реалізованого експерименту виявлено, що коефіцієнт використання міцності параарамідної нитки зразків трикотажу без введення у структуру металевої моноплетки, порівняно з поліетиленовою, незалежно від типу в'язального обладнання має вищі значення. Таким чином поліетиленові нитки при переробці їх у структуру трикотажу переплетення гладь у більшій мірі втрачають міцність, що пояснюється особливостями вихідного полімера. Поліетиленові нитки більш чутливі до видовження при силових навантаженнях. Це і спричиняє їх більшу втрату міцності у процесі в'язання трикотажу.

#### Список використаної літератури

1. Безсмертна В. І. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на втрату міцності надмолекулярної поліетиленової нитки після в'язання / В.І. Безсмертна, С.В. Офіцерова, Л.Є. Галавська // Молодь - науці і виробництву - 2018: Інноваційні технології легкої промисловості : матеріали міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Херсон, 17-18 травня 2018 року. – Херсон : ХНТУ, 2018. – С. 36-39.
2. Дмитрик О.М. Дослідження впливу типу плосков'язального обладнання на втрату міцності параарамідних ниток після в'язання / О.М. Дмитрик, Л.Є. Галавська // Молодь - науці і виробництву - 2019: Інноваційні технології легкої промисловості : матеріали міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Херсон, 16-17 травня 2019 року. – Херсон: ХНТУ, 2019. – С. 49-51.
3. Дмитрик О.М. Дослідження впливу виду надміцної сировини на показники втрати міцності після в'язання / О.М. Дмитрик, В.І. Безсмертна, Л.Є. Галавська // Збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій KyivTex&Fashion / за заг. ред. Л.І. Зубкової: (31 жовтня 2019 р., м. Київ). – Київ: КНУТД, 2019. – С. 257-261.
4. Боброва С. Ю. Вплив параметрів в'язання на структурні характеристики трикотажу, виготовленого з високомолекулярних поліетиленових ниток / С.Ю. Боброва, Л.Є. Галавська, Л. А. Синькова // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2018. – № 4 (67) . – С. 133-138.
5. Безсмертна В.І. Дослідження втрати міцності параарамідних ниток у процесі в'язання кулірного трикотажу / В.І. Безсмертна, Л.Є. Галавська, С.Ю. Боброва // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2019. – №2 (132). – С. 51-59.
6. Беляева Є.О. Слоистые органокомпозиты и гибридные композиты на основе волокон из сверхвысокомолекулярного полиэтилена: дис. ... канд. тех. наук: 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов, 02.00.04 – «Физическая химия» / Москва – 2019. – 165 с.
7. Лебедева Н.П. Влияние эксплуатационных воздействий на свойства параарамидных нитей технического назначения: автореф. дис. ... канд. тех. наук: специальность 05.19.01 – «Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности» / Лебедева Наталья Павловна – Санкт-Петербург – 2007. – 17 с.
8. Глобина С.А. Исследование прочности в сухом и мокром состоянии параарамидных нитей российского и зарубежного производства / С.А. Глобина, А.В. Курденкова, Ю.С. Шустов, Я.И. Буланов // Вестник науки и образования. – 2018. – №7 (43). – С. 27-32.
9. Глобина С.А. Исследование влияния скорости растяжения на механические свойства параарамидных нитей / С.А. Глобина, А.В. Курденкова, Ю.С. Шустов, Я.И. Буланов // Вестник науки и образования № 7(43) 2018. Том 2 – С. 23-26.
10. ДСТУ ISO 2062:2015. Текстиль. Пряжа з пакувань. Визначення розривального навантаження та видовження під час розриву (ISO 2062:2009, IDT).

#### References

1. Bezsmertna V.I., Ofitserova S.V., Halavska L.Ie. Doslidzhennja vplyvu typu ploskov'jazal'nogho obladnannja na vtratu micnosti nadmolekuljarnoji polietylenovoji nytky pislja v'jazannja. konf. «Molodj - nauci i vyrobnyctvu - 2018: Innovacijni tekhnologhiji leghkoji promyslovosti» [Materialy mizhnarodnoji naukovo-praktyčnoji konferenciji zdobuvachiv vyshhoji osvity i molodykh uchenykh]. Kherson, 17-18 travnia 2018, pp. 36-39.
2. Dmytryk O.M., Halavska L.Ie. Doslidzhennia vplyvu typu ploskoviazal'nogho obladnannja na vtratu mitsnosti paraaramidnykh nytok pislja viazannja. konf. «Molodj - nauci i vyrobnyctvu - 2019: Innovacijni tekhnologhiji leghkoji promyslovosti» [Materialy mizhnarodnoji naukovo-praktyčnoji konferenciji zdobuvachiv vyshhoji osvity i molodykh uchenykh]. Kherson, 16-17 travnia 2019, pp. 49-51.
3. Dmytryk O.M., Bezsmertna V.I., Halavska L.Ie. Doslidzhennja vplyvu vydu nadmicnoji syrovyny na pokaznyky vtraty micnosti pislja v'jazannja. konf. «III Mizhnarodna naukovo-praktyčna konferentsiia tekstylnykh ta feshn tekhnolohii KyivTex&Fashion» [Zbirnyk materialiv za zah. red. L.I. Zubkovoij]. Kyiv, 31 zhovtnia 2019, pp. 257-261.

4. Bobrova S. Yu., Halavska L.Ie., Synkova L. A. Vplyv parametriv v'jazannja na strukturni kharakterystyky trykotazhu, vygotovlenogho z vysokomolekuljarnykh polietylenovykh nytok. Visnyk Khersonsjkogho nacionaljnogho tekhnichnogho universytetu, 2018, no. 4 (67), pp. 133-138.
5. Bezsmertna V.I., Halavska L.Ie., Bobrova S.Iu. Doslidzhennia vtraty mitsnosti paraaramidnykh nytok u protsesi viazannia kulirnoho trykotazhu. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu, 2019, no. №2 (132), pp. 51-59.
6. Beliaieva Ye.O. Sloystye orhanokompozyty y hybrydnye kompozyty na osnove volokon yz sverkhvysokomolekuliarnoho polyetylena. Diss. kand. techn. nauk [05.17.06 – Tekhnolohyia y pererabotka polymerov y kompozytov, 02.00.04 – Fyzycheskaia khymyia]. Moskva, 2019. 165 P.
7. Lebedeva N.P. Vliyanye ekspluatatsyonnykh vozdeistvyi na svoistva paraaramydnnykh nytei tekhnicheskogo naznachenya: avtoref. Diss. kand. techn. nauk [05.19.01 – Materyalovedenye proyzvodstv tekstylnoi y lehkoj promyshlennosti], Sankt-Peterburh, 2007. 17 P.
8. Hlobyna S.A., Kurdenkova A.V., Shustov Yu.S., Bulanov Ya.Y. Issledovanie prochnosti v suhom i mokrom sostoyanii paraaramidnykh nitej rossijskogo i zarubezhnogo proyzvodstva. Vestnik nauki i obrazovaniya, 2018, no. (43)., pp. 27-32.
9. Hlobyna S.A., Kurdenkova A.V., Shustov Yu.S., Bulanov Ya.Y. Issledovanie vliyaniya skorosti rastyazheniya na mehanicheskie svojstva paraaramidnykh nitej. Vestnik nauki i obrazovaniya, 2018, no. 7(43), T. 2, pp. 23-26.
10. DSTU ISO 2062:2015. Tekstyl. Priezha z pakuvan. Vyznachennia rozryvalnoho navantazhennia ta vydovzhennia pid chas rozryvu (ISO 2062:2009, IDT). Kyiv, 2015. 12 p.



УДК 339.1

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.10>

В.В. ЄВТУШЕНКО

Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-6545-7755

І.А. РУДЕНКО

Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-9964-6386

К.С. ІЛЬОНОК

Херсонський національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ СПОЖИВАЧІВ ЖІНОЧОГО ОДЯГУ РІЗНИХ ЦІНОВИХ СЕГМЕНТІВ

У сучасному світі, сконцентрованому на споживачеві, його поведінка набуває вирішального значення, що помітно посилює вплив на діяльність організацій будь-якого типу та вимагає від них подальших розробок методів впливу на споживача із врахуванням його вподобань. У даній роботі проведено дослідження вподобань споживачів з різним рівнем доходів щодо вибору жіночого одягу. У зв'язку з ускладненням структури потреб населення адресний підхід до процесу проектування одягу є найважливішою умовою забезпечення збуту продукції. В цьому випадку при проектуванні одягу підприємства повинні враховувати чітко визначений сегмент ринку, його потреби і очікування. Цільова аудиторія - жінки у віці від 20 до 55 років і старші, соціальний стан - студенти, фахівці, керівники середньої ланки, начальники відділів, керівники організацій. Вимоги споживачів різних цінових сегментів до одягу мають не рівнозначні особливості. Крім того, їх відмінності в освіті, доходах, професійній діяльності є корисними орієнтирами для виробництва одягу та його реалізації. Виділено три основних цінові сегменти ринку споживачів з низьким, середнім та високим рівнем доходів щодо жіночого одягу та визначено значимість критеріїв вибору для кожного з них. Так, для споживачів низького цінового сегмента одним з найбільш важливих критеріїв вибору жакета є ціна виробу, для середнього цінового сегмента - якість посадки жакета і для високого цінового сегмента – якість виготовлення та посадки жакета. Для виявлення значущості критеріїв цінової групи виробу було проведено експертне опитування. Найбільш значимим критерієм для жіночого верхнього одягу при формуванні цінової групи є вибір матеріалу верху. Тому чітка орієнтація на споживчі вимоги повинна здійснюватися на кожному етапі проектування виробу. Запропоновано під час виробництва одягу для певного цінового сегменту враховувати вимоги споживачів цього сегменту.

Ключові слова: ціновий сегмент, ринок, споживач, якість, критерій.

В.В. ЄВТУШЕНКО

Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-6545-7755

І.А. РУДЕНКО

Херсонський національний технічний університет  
ORCID: 0000-0001-9964-6386

К.С. ІЛЬОНОК

Херсонський національний технічний університет

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЖЕНСКОЙ ОДЕЖДЫ РАЗНЫХ ЦЕНОВЫХ СЕГМЕНТОВ

В современном мире, сконцентрированном на потребителе, его поведение приобретает решающее значение, заметно усиливает влияние на деятельность организаций любого типа и требует от них дальнейших разработок методов воздействия на потребителя с учетом его предпочтений. В данной работе проведено исследование предпочтений потребителей с разным уровнем доходов по выбору женской одежды. В связи с усложнением структуры потребностей населения адресный подход к процессу проектирования одежды является важнейшим условием обеспечения сбыта продукции. В этом случае при проектировании одежды предприятия должны учитывать четко определенный сегмент рынка, его потребности и ожидания. Целевая аудитория - женщины в возрасте от 20 до 55 лет и старше, социальное положение - студенты, специалисты, руководители среднего звена, начальники отделов, руководители организаций. Требования потребителей различных ценовых сегментов к одежде имеют не равнозначные особенности. Кроме того, их различия в образовании, доходах, профессиональной деятельности являются полезными ориентирами для производства одежды и ее реализации. Выделены три основных ценовых сегмента рынка потребителей с низким, средним и

высоким уровнем доходов относительно женской одежды и определена значимость критериев выбора для каждого из них. Так, для потребителей низкого ценового сегмента одним из самых важных критериев выбора жакета является цена изделия, для среднего ценового сегмента - качество посадки жакета и для высокого ценового сегмента - качество изготовления и посадки жакета. Для выявления значимости критериев ценовой группы изделия был проведен экспертный опрос. Наиболее значимым критерием для женской верхней одежды при формировании ценовой группы является выбор материала верха. Поэтому четкая ориентация на потребительские требования должна осуществляться на каждом этапе проектирования изделия. Предложено при производстве одежды для определенного ценового сегмента учитывать требования потребителей этого сегмента.

Ключевые слова: ценовой сегмент, рынок, потребитель, качество, критерий.

V.V. YEVTUSHENKO

Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-6545-7755

I.A. RUDENKO

Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0001-9964-6386

K.S. IL'ONOK

Kherson National Technical University

## RESEARCH OF WOMEN'S CLOTHES CONSUMERS MARKET OF DIFFERENT PRICE SEGMENTS

*In today's consumer-centered world, its behavior is crucial, which significantly increases the impact on the activities of organizations of any type and requires them to further develop methods of influencing the consumer, taking into account their preferences. In this paper, a survey of consumer preferences with different income levels regarding women's clothing choices is conducted. Due to the complexity of the structure of the needs of the population, the targeted approach to the process of designing clothes is the most important condition for ensuring product sales. In this case, when designing clothes, businesses should take into account a well-defined market segment, its needs and expectations. Target audience - women aged 20 to 55 and older, social status - students, professionals, middle managers, heads of departments, heads of organizations. Consumer requirements of different price segments for clothing have different features. In addition, their differences in education, income, professional activity are useful guidelines for the production of clothing and its implementation. The three main price segments of the low, middle and high income consumer market are identified for women's clothing and the significance of the selection criteria for each is determined. Thus, for consumers of the low price segment one of the most important criteria for choosing a jacket is the price of the product, for the middle price segment - the quality of fit of the jacket and for the high price segment - the quality of manufacture and fit of the jacket. An expert survey was conducted to identify the significance of the product price criteria. The most significant criterion for women's outerwear when pricing is the choice of the material of the top. Therefore, a clear focus on consumer requirements should be at every stage of product design. It is suggested that, when producing clothing for a particular price segment, the requirements of the customers in that segment should be taken into account.*

Keywords: price segment, market, consumer, quality, criterion.

### Постановка проблеми

В умовах конкурентного середовища якість товару має особливе значення та стала одним із засобів впливу на споживача. У створенні нових видів продукції особлива увага приділяється зовнішнім ознакам виробу, на які в першу чергу звертає увагу споживач. Вимоги споживачів різних цінкових сегментів до одягу мають не рівнозначні особливості. Тому доцільним є проведення маркетингових досліджень для визначення груп споживачів із подібними вподобаннями. Необхідно виявити особливості вподобань споживачів з низьким, середнім та високим рівнем доходів щодо жіночого одягу та встановити значимість критеріїв, що впливають на формування цінової групи виробів.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженням ринку споживачів, особливостями його формування та розвитку займалися ряд вчених. Зокрема, сегментуванню ринку за групами споживачів в умовах перенасиченості ринку товарів легкої промисловості, приділено увагу в дослідженнях С.С. Гаркавенко [1]. Вивченням основних чинників впливу на споживчу поведінку в сучасних умовах займалася О.В. Євтушевська [2]. В.А. Нікульча та Ю.Б. Чаплінський досліджували маркетингові складові формування купівельної поведінки споживачів [3].

Недостатньо уваги приділено дослідженням діапазону цін на верхній жіночий одяг і вподобанням споживачів даних сегментів.

### Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є аналіз сегментів жіночого одягу (жакетів) різних цінових категорій.

### Викладення основного матеріалу дослідження

В умовах постійно мінливої кон'юнктури ринку, а також скорочення виробничого циклу, результати роботи швейних підприємств залежать від того, наскільки точно і правильно вибраний сегмент ринку для проектування одягу. У зв'язку з ускладненням структури потреб населення адресний підхід до процесу проектування одягу є найважливішою умовою забезпечення збуту продукції. В цьому випадку при проектуванні одягу підприємства виявляють чітко визначений сегмент ринку, його потреби і очікування. На сьогодні у всьому світі провідну роль при плануванні асортименту відіграють маркетингові дослідження [4].

Маркетингове дослідження складається з п'яти основних етапів (рис. 1), з яких визначальним є виявлення проблеми і формування цілей.

Цілі можуть бути пошуковими, описовими і експериментальними, і їх досягнення відбувається шляхом збору, переробки первинної та вторинної інформації.

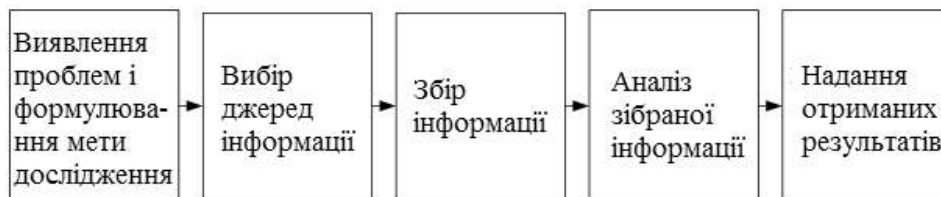


Рис. 1. Схема основних етапів маркетингових досліджень

В рамках даної роботи проведено аналіз сегментів жіночого одягу (жакетів) різних цінових категорій. Для споживачів з низьким, середнім і високим рівнем доходу переваги значно відрізняються за моделями, конструктивними рішеннями і матеріалами, з яких виготовляється виріб, якістю виготовлення. Метою даного дослідження було виявлення діапазону цін на жіночі жакети різних цінових сегментів м. Херсона і переваг споживачів даних сегментів.

Маркетингове дослідження проводилося методом структурованого опитування-анкетування. Анкети заповнювалися зі слів респондентів і самостійно опитуваними в разі інтернет-розсилання.

Ефективність проведення опитування багато в чому залежить від визначення вибірки. Вибірка - кількісний параметр вибіркової сукупності, кількість одиниць спостереження, що підлягають вивченню (кількість респондентів).

Репрезентативність вибірки забезпечувалася імовірнісним підходом, при якому відбір респондентів здійснювався за суб'єктивними критеріями - жінки у віці від 20 до 55 років і старші, соціальний стан - студенти, фахівці, керівники середньої ланки, начальники відділів, керівники організацій.

Достовірність висновків про закономірності соціальних явищ залежить від якості проведеної вибірки. При науково обгрунтованому визначенні чисельності опитуваних осіб вибіркова сукупність служить моделлю генеральної сукупності в тому випадку, якщо в ній з точністю відтворюється статистичний розподіл, тобто вибірка в зменшеному розмірі передає різноманітність за допомогою показника дисперсії розподілу осіб генеральної сукупності.

Сукупність індивідів, для яких потрібно встановити закон розподілу випадкової величини та його параметри за однією або декількома характеристиками, називається генеральною сукупністю, а її частина, результати емпіричного дослідження якої щодо закону і параметрів розподілу за цими характеристиками поширюються на всю генеральну сукупність, називається вибірковою сукупністю.

Якість вибірки оцінюється за двома показниками: репрезентативності та надійності, таким чином, щоб розбіжність між величинами вибіркової і генеральної середньої не перевищує допустимої величини граничної помилки вибірки.

Вибірка, може бути повторною і без повторною. При повторній вибірці один і той же елемент може потрапити в вибірку сукупності кілька разів, так як після випробування цей елемент повертається в генеральну сукупність і може потрапити до вибірки повторно.

У без повторній вибірці кожен елемент генеральної сукупності може потрапити в вибірку сукупності тільки один раз, оскільки після випробування він не повертається в генеральну сукупність.

В даному маркетинговому дослідженні використовується без повторна вибірка, так як опитування респондента здійснюється один раз.

В процесі проведення досліджень приймали участь респонденти, вік більшої частини яких - 30% знаходиться в діапазоні до 24 років, 25% - 25-34 років, 18% - 35-44 роки, 19% - 45-54 років і 8% - 55 років і старші.

Розподіл опитаних за соціальним статусом склало: 54% - фахівці - працівники, зайняті в комерційній структурі, 17% - студенти різних навчальних закладів, 10% - працівники державних структур і служб, 16% - респонденти, які займаються індивідуальною комерційною діяльністю, 3% - пенсіонери.

Оскільки рівень життя і цін в різних регіонах країни відрізняються один від одного, тому доцільно при визначенні цінових сегментів ринку жіночого одягу враховувати платоспроможний попит населення.

Низький ціновий сегмент ринку орієнтований на споживачів з невеликим доходом і представлений недорогим одягом, ціна якого утримується на рівні речових ринків. Споживачі цієї групи мають раціональний підхід до вибору одягу, віддають перевагу більш практичним і універсальним моделям, відповідним до різних ситуацій.

Опитування споживачів за критеріями вибору жакетів показав, що для споживачів низької цінової групи визначальним є оптимальне співвідношення ціна-якість: при невисокій вартості товару повинні бути достатній рівень якості виготовлення та посадка. В результаті опитування 30% респондентів вказали ціну виробу в якості головного критерію вибору жакета, 20% - якість посадки виробу на фігурі, 19% - якість виготовлення виробу, 11% - волокнистий склад матеріалу, з якого виготовлений жакет, 12% - модельні особливості (конструктивне рішення) жакета, 8% - бренд (фірма-виробник) жакета.

Така вимога обумовлена тим, що в низькому ціновому сегменті споживачі не можуть дозволити собі часто міняти предмети свого гардероба і підходять до вибору одягу з позиції практичності. При цьому часто доводиться поступатися якістю матеріалу, його волокнистим складом, оскільки дані критерії підвищують вартість продукції.

Вироби, в основному, виконані з матеріалів з великим вмістом синтетичних волокон: від 70% до 100%. Вміст натуральних волокон у складі матеріалу не перевищує 30%.

В середньому сегменті діапазон цін і платоспроможний попит споживачів вищий, ніж в низькому. Споживачами даної групи товарів є жінки у віці від 26 до 45 років, які мають постійний, стабільний заробіток, це жінки, які працюють в середній ланці - всі вони можуть дозволити собі часто відвідувати модні магазини.

Результати опитування показали значимість якості посадки жакета для споживачів середнього цінового сегмента - 25%, 24% виділили якість виготовлення головним критерієм вибору жакета, 16% вказали модельні особливості (конструктивне рішення) жакета, 18% - вказали волокнистий склад матеріалу, з якого виготовлений жакет, 10% - ціна виробу і 7% - бренд (фірма-виробник) жакета.

Відповідати запитам даної категорії споживачів здатні виробники, які динамічно реагують на віяння високої моди. Однак не всі згодні з такою точкою зору, тому що часто швидке копіювання модних моделей, призводить до невисокої якості товару. До того ж покупці вважають за краще купувати одяг не на один сезон, а на більш тривалий термін.

Представники середнього цінового сегмента, на відміну від низького, більш схильні купувати одяг певних брендів. Вміст натуральних волокон, як правило, в складі матеріалу від 40-80%.

Високий ціновий сегмент має вузьку спрямованість на клас споживачів з надзвичайно високими вимогами до одягу. Це жінки, в основному, старші 30 років, з високим рівнем достатку. Перш за все, потрібно відзначити, що дана категорія людей цінує бездоганну якість в усьому: матеріалах, конструкції, обробці. Моделі, які продають спеціалізовані магазини відомих брендів, в повній мірі відповідають даним вимогам. Прихильність споживачів того чи іншого бренду залежить від смаку покупця і орієнтації марки на вікову групу. Вміст натуральних волокон, як правило, в складі матеріалу від 75 до 100%.

Результати опитування споживачів високого цінового сегмента показали значимість якості виготовлення жакета - 25% і якість посадки - 24%, 20% респондентів вказали головним критерієм волокнистий склад матеріалу, з якого виготовлений жакет, 17% - бренд (фірма-виробник) жакета, 8% - ціна виробу і 6% - модельні особливості (конструктивне рішення) жакета.

Провівши аналіз переваг споживачів при покупці жакетів та асортименту магазинів жіночого одягу, вдалося виділити три основних цінові сегменти ринку і визначити значимість критеріїв вибору для кожного з них. Так, для споживачів низького цінового сегмента одним з найбільш важливих критеріїв вибору жакета є ціна виробу, для середнього цінового сегмента - якість посадки жакета і для високого цінового сегмента - якість виготовлення і якість посадки жакета.

Вирішуючи питання про відмінність жіночих жакетів, призначених для споживачів з різним рівнем доходу необхідно виявити значимість критеріїв, що впливають на формування цінової групи виробів. Тому чітка орієнтація на споживчі вимоги повинна здійснюватися на кожному етапі проектування виробу.

Для виявлення значущості критеріїв цінової групи виробу було проведено експертне опитування серед фахівців швейних підприємств міста Херсона - ТОВ «Швейна фабрика «ВІД», ПП «Швейна фабрика «Юність» та швейна фабрика Херсонського УВП УТОГ. При проведенні опитування, було

запропоновано дати суб'єктивну оцінку для кожного виду критеріїв таких, як підбір матеріалу верху, вибір конструктивного і технологічного рішення. При цьому найбільш важливий критерій має оцінку  $R = 1$ , а найменш значимий  $R = 3$ .

Суми рангових оцінок  $\sum_{j=1}^n R_{ij}$  кожного експерта однакові і розраховуються за формулою:

$$\sum_{j=1}^n R_{ij} = (1 + 2 + 3 + \dots + n) = 0,5n(n+1), \text{ для } i = 1 \dots m \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n R_{ij} = (1 + 2 + 3) = 6$$

де  $n$  - кількість груп характеристик властивостей критеріїв;

$m$  - кількість експертів.

Вихідна матриця рангів наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Шифр експерта	Вихідна матриця рангів		
	Рангові оцінки властивостей факторів		
	1	2	3
1	2	1	2
2	2	2	3
3	1	3	2
4	1	2	3
5	1	1	3
6	1	3	3
7	1	2	3
Сума рангів	9	14	19

Сума рангових оцінок по вертикалі  $S_j$  для кожної групи властивостей критеріїв  $X_j$  розраховується за формулою:

$$S_j = \sum_{i=1}^m R_{ij}, \text{ для } j = 1 \dots n \quad (2)$$

Для кожної групи властивостей критеріїв  $X_j$  визначається коефіцієнт значущості за формулою:

$$Y_j = \frac{mn - S_j}{mn^2 - m \sum_{j=1}^n R_{ij}} \quad (3)$$

де  $S_j$  - сума рангових оцінок за вертикаллю

Для визначення узгодженості експертних оцінок за даними рангових оцінок експертів розраховуємо коефіцієнт конкордації  $W$  за формулою:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^n (S_j - \bar{S})^2}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n)} \quad (4)$$

де  $\bar{S}$  – середня сума рангів для всіх груп властивостей, що дорівнює

$$\bar{S} = 0,5m(n + 1) \quad (5)$$

Для оцінки значущості коефіцієнта узгодження знаходимо критерій Пірсона  $\chi^2 = W_m (n - 1)$ , який зіставляємо з табличним значенням критерію  $\chi^2$  при степені свободи  $S = n-1$ .

Отримані коефіцієнти значущості критеріїв наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Коефіцієнти значущості критеріїв цінової групи жакетів		
Види критеріїв	Місце критерію	Коефіцієнт значущості
Підбір матеріалу верху	1	0,6
Розробка конструктивного рішення	2	0,3
Розробка технологічного рішення	3	0,09
Коефіцієнт конкордації $W$		0,51
Критерій Пірсона $\chi^2_{\text{розр.}}$		7,14
Критерій Пірсона $\chi^2_{\text{табл.}}$		5,99

З даних табл. 2 можна зробити висновок, що матеріал верху має найбільший коефіцієнт значущості (0,6) при формуванні цінової групи виробу. Тому важливість дослідження даного критерію є обґрунтованою.

Тому, при виборі матеріалу в процесі підготовки до запуску у виробництво виробів для певного цінового сегмента важливо мати інструмент, який дозволяє визначити, наскільки даний матеріал задовольняє вимогам споживачів певного сегмента з урахуванням психометричних особливостей сприйняття якості людиною.

#### Висновки

1. За результатами проведених досліджень вдалося виділити три основних цінові сегменти ринку та визначити значимість критеріїв вибору для кожного з них. Так, для споживачів низького цінового сегмента одним з найбільш важливих критеріїв вибору жакета є ціна виробу, для середнього цінового сегмента - якість посадки жакета і для високого цінового сегмента – якість виготовлення і якість посадки жакета.

2. Встановлено, що матеріал верху жіночого одягу має найбільший коефіцієнт значущості під час формування цінової групи виробу. Тому при виробництві одягу для певного цінового сегменту доцільним є врахування вимог споживачів цього сегменту.

#### Список використаної літератури

1. Гаркавенко С.С. Сегментування ринку за групами споживачів як основа формування конкурентоспроможності в умовах перенасиченості ринку взуття / С.С. Гаркавенко // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. - №4. Т.4 – Хмельницький. – 2010. – С. 214-217
2. Євтушевська О.В. Особливості поведінки споживачів на ринку в сучасних умовах / О.В. Євтушевська // Інвестиції: практика та досвід. – 2016. – № 20. – С. 22-24.
3. Нікульча В.А. Маркетингові складові формування купівельної поведінки споживачів / В.А.Нікульча, Ю.Б. Чаплінський // Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту КНТЕУ. – Чернівці: ЧТЕІ КНТЕУ, 2014. – Випуск IV (56). Економічні науки. – С. 178–185
4. Каменева Н.Г. Маркетинговые исследования: Учеб. пособие / Н.Г. Каменева, В.А. Поляков. - 2-е изд., доп. - М.: Вузовский учебник: НИЦ Инфра-М, 2012. - 368 с.

#### References

1. Garkavenko S.S. Market segmentation by consumer groups as the basis of competitiveness formation in the conditions of oversaturation of the shoe market / S.S. Garkavenko // Bulletin of the Khmelnytsky National University. Economic sciences. - №4. Vol.4 - Khmelnytsky. - 2010. - P. 214-217
2. Yevtushevskaya O.V. Peculiarities of consumer behavior in the market in modern conditions / O.V. Yevtushevskaya // Investments: practice and experience. - 2016. - № 20. - P. 22-24.
3. Nikulcha V.A Marketing components of forming consumer buying behavior / V.A. Nikulcha, Yu.B. Chaplinsky // Bulletin of the Chernivtsi Trade and Economic Institute of KNTEU. - Chernivtsi: KNTEU, 2014. - Issue IV (56). Economic sciences. - P. 178–185
4. Kameneva N.G., Polyakov V.A. Marketing Research: Textbook. Allowance. 2nd ed., Ext. Moscow, University textbook: SIC Infra-M, 2012. 368 p.

УДК 677.011:006.83:620.2

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.11>

Є.О. КАЛІНСЬКИЙ

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-2605-8759

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОЛОКНА ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ

У даній статті "Перспективи використання волокна льону олійного для виробництва нетканих матеріалів" Калінського Є.О. розглянуто проблеми та перспективи використання волокна льону олійного для виробництва нетканих матеріалів. Була поставлена мета проаналізувати сучасні тенденції розвитку виробництва нетканих матеріалів промисловістю України та визначити доцільність розробки і впровадження технологій переробки короткого волокна льону олійного для виробництва нетканих матеріалів. Результати аналізу статистичних даних Державної служби статистики України показали, що обсяги виробництва нетканих матеріалів та виробів з них в Україні за останні 10 років постійно зростають, що вимагає розширення вітчизняної сировинної бази. Визначено, що для отримання нетканих матеріалів вітчизняні підприємства використовують в якості сировини поліефір або поліпропілен, які імпортуються з Нідерландів, Білорусі та Китаю Джерелом сировини для виробництва нетканих матеріалів може стати волокно льону олійного. Під цю культуру відведені великі посівні площі в південних регіонах України. Льон олійний вирощується сільгоспідприємствами в основному для отримання цінного насіння, але соломка льону олійного, яка містить велику кількість волокна, зовсім не використовується. Сільгоспвиробники не мають технологій та обладнання для переробки цієї соломи на волокно. Якісні характеристики такого волокна відповідають вимогам національних стандартів на сировину для виробництва нетканих матеріалів. Але використання волокна льону олійного для виробництва нетканих матеріалів не набуло широкого поширення внаслідок відсутності енергоефективних технологій отримання та національних стандартів для оцінювання якості на цей вид сировини. В статті зроблено висновок, що існує потреба в розробці нових удосконалених технологій переробки соломи льону олійного і створенні нормативно-технічного забезпечення його якості.

Ключові слова: неткані матеріали, льон олійний, стандарт.

Е.А. КАЛИНСКИЙ

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0002-2605-8759

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛОКНА МАСЛЯНИЧНОГО ЛЬНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной статье "Перспективы использования волокна льна масличного для производства нетканых материалов" Калининского Е.А. рассмотрены проблемы и перспективы использования волокна льна масличного для производства нетканых материалов. Была поставлена цель проанализировать современные тенденции развития производства нетканых материалов промышленностью Украины и определить целесообразность разработки и внедрения технологий переработки короткого волокна льна масличного для производства нетканых материалов. Результаты анализа статистических данных Государственной службы статистики Украины показали, что объемы производства нетканых материалов и изделий из них в Украине за последние 10 лет постоянно растут, что требует расширения отечественной сырьевой базы. Определено, что для получения нетканых материалов отечественные предприятия используют в качестве сырья полиэфиры или полипропилен, которые импортируются из Нидерландов, Беларуси и Китая. Источником сырья для производства нетканых материалов может стать волокно льна масличного. Под эту культуру отведены большие посевные площади в южных регионах Украины. Лен масличный выращивается сельхозпредприятиями в основном для получения ценных семян, но солома льна масличного, которая содержит большое количество волокна, совсем не используется. Сельхозпроизводители не имеют технологий и оборудования для переработки волокна из соломы. Качественные характеристики такого волокна соответствуют требованиям национальных стандартов на сырье для производства нетканых материалов. Но использование волокна льна масличного для производства нетканых материалов не получило широкого распространения вследствие отсутствия энергоэффективных технологий получения и национальных стандартов для оценки качества на этот вид сырья. В статье сделан вывод, что существует необходимость в разработке новых усовершенствованных технологий переработки соломы льна масличного и создании нормативно-технического обеспечения его качества.

Ключевые слова: нетканые материалы, лён масличный, стандарт.

I. A. KALINSKYI  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-2605-8759

### PROSPECTS FOR THE USE OF OIL FLAX FIBER FOR THE PRODUCTION OF NONWOVENS

*In this article, "Prospects for using oilseed flax fiber for the production of nonwovens", E. A. Kalinsky considers the problems and prospects of using oilseed flax fiber for the production of nonwovens. The goal was to analyze the current trends in the development of non-woven materials production by the Ukrainian industry and determine the feasibility of developing and implementing technologies for processing short oilseed flax fiber for the production of non-woven materials. The results of the analysis of statistical data of the State statistics service of Ukraine showed that the volume of production of non-woven materials and products made of them in Ukraine over the past 10 years is constantly growing, which requires the expansion of the domestic raw material base. It is determined that domestic enterprises use polyester or polypropylene as raw materials for production of nonwovens, which are imported from the Netherlands, Belarus and China. The source of raw materials for production of nonwovens can be oilseed flax fiber. Large acreage areas in the southern regions of Ukraine are allocated for this crop. Oilseed flax is grown by agricultural enterprises mainly to produce valuable seeds, but oilseed flax straw, which contains a large amount of fiber, is not used at all. Agricultural producers do not have technologies and equipment for processing fiber from straw. The quality characteristics of this fiber meet the requirements of national standards for raw materials for the production of nonwovens. However, the use of oilseed flax fiber for the production of nonwovens is not widespread due to the lack of energy-efficient production technologies and national standards for quality assessment for this type of raw material. The article concludes that there is a need to develop new and improved technologies for processing oilseed flax straw and create regulatory and technical support for its quality.*

*Keywords: non-woven materials, oilseed flax, standard.*

#### Постановка проблеми

В останні роки в Україні спостерігається постійне зростання виробництва нетканих матеріалів. Це пояснюється їх невисокою вартістю внаслідок використання для їх виготовлення відходів інших підгалузей текстильної промисловості, а також можливістю їх використання взамін тканин аналогічного призначення. Але в зв'язку із суттєвим скорочення обсягів виробництва текстильної промисловості (до 1% у структурі промисловості України в 2019 р.) [1], скоротилася і вітчизняна сировинна база для виробництва нетканих матеріалів. Для отримання нетканих матеріалів (наприклад геотекстилю) вітчизняні підприємства використовують в якості сировини поліефір (відновлену бавовняну або лляну сировину) або поліпропілен, які імпортуються з Нідерландів, Білорусі та Китаю [2]. Тому актуальною проблемою є пошук нових джерел для забезпечення зростаючих темпів виробництва нетканих матеріалів вітчизняною промисловістю.

#### Аналіз останніх досліджень

Одним із таких джерел сировини для виробництва нетканих виробів завжди було волокно льону довгунця та продуктів його переробки. Нажаль за останні роки посівні площі льону-довгунця постійно скорочувались. З іншого боку в Україні спостерігається зростання посівних площ льону олійного. Це сільськогосподарська культура, яка вирощується в південних регіонах України для отримання цінного насіння. При цьому стеблова частина льону олійного зовсім не використовується і часто спалюється прямо на полях.

Питання щодо можливості використання короткого волокна льону олійного, як сировини для виробництва нетканих матеріалів піднімалось в працях багатьох дослідників [3-5]. Вказані вище дослідники запропонували нові інноваційні технології переробки волокна льону, які при впровадженні теоретично дозволили б використати це волокно, як сировину для виробництва нетканих матеріалів.

#### Формулювання мети дослідження

Мета даного дослідження проаналізувати сучасні тенденції розвитку виробництва нетканих матеріалів промисловістю України та визначити доцільність розробки і впровадження технологій переробки короткого волокна льону олійного для виробництва нетканих матеріалів.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Аналіз даних Державної служби статистики України за 2003-2018 рр [1] дозволив виявити чітку тенденцію до зростання виробництва нетканих матеріалів (табл. 1).



Таблиця 1

Обсяги виробництва нетканих матеріалів промисловістю України за 2003-2019 рр.

Роки	Матеріали неткані і вироби з матеріалів нетканих, тис.т
2003	6,8
2004	8,8
2005	11,6
2006	14,7
2007	16,1
2008	16,6
2009	14,5
2010	16,2
2011	15,6
2012	17,4
2013	16,1
2014	15,9
2015	15,6
2016	17,3
2017	18,7
2018	18,3
2019	17,3

Графічно це відображено на рис. 1.

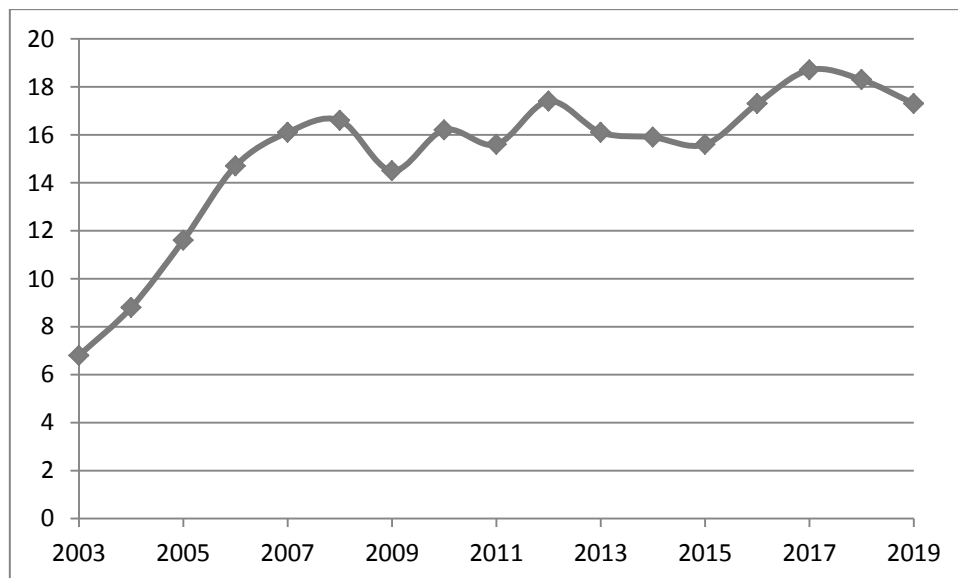


Рис. 1. Виробництво нетканих матеріалів промисловістю України

Якщо проаналізувати статистичні дані по групам нетканих матеріалів за 2019 рік, то вочевидь, що зростає не тільки загальне виробництво, а також виробництво по групам нетканих матеріалів за поверхневою щільністю (табл. 2):

Таблиця 2

**Виробництво нетканих матеріалів промисловістю України за 2019 рік**

Матеріали неткані (уключаючи вироби з нетканих матеріалів; крім предметів одягу) без покриття з поверхневою щільністю	Вироблено (тонн) за		Грудень 2019р. у % до грудня 2018р.	2019р. у % до 2018р.	Запаси готової продукції на кінець грудня 2019р.
	грудень 2019р.	2019р.			
не більше 25 г/м <sup>2</sup>	94	1330	66,7	111,6	-
25 – 70 г/м <sup>2</sup>	91	1100	97,8	123,3	-
70 - 150 г/м <sup>2</sup>	474	5532	99,0	107,4	361
більше 150 г/м <sup>2</sup>	862	9332	97,3	79,4	602

Отже аналіз статистичних даних показує, що в останні роки спостерігається стійке зростання виробництва нетканих матеріалів та виробів з них. А отже і є необхідність в пошуку нових джерел сировини для цього виробництва.

В роботах [3-5] зазначалось, що волокно льону олійного після обробки на м'яльно-тіпальному агрегаті та чесальній машині має технологічні параметри, що відповідають національним стандартам України на сировину для виготовлення нетканих матеріалів (табл. 3).

Таблиця 3

**Порівняльний аналіз технологічних показників волокна льону олійного із нормативними вимогами до сировини для виробництва нетканих матеріалів**

	Технологічні показники короткого лляного волокна	Нормативні вимоги до сировини за ГОСТ 26604-85, ГОСТ 28867-90, ГОСТ 28748-90 [6-8]
Вміст костриці та смітних домішок, %	7,5-8,0	24,0-26,0
Лінійна щільність, текс	3,0-4,0	3,9-4,2
Середня масо довжина, мм	25,4-28,5	50,0-60,0

Наприклад для виготовлення геотекстилю використовують легкі неткані матеріали з поверхневою щільністю 15-60 г/м<sup>2</sup>. А для пошиття одягу, подушок, на матрацників, топперів, авточохлів, різноманітного домашнього, садового, спортивного, автомобільного, іншого і дитячого текстилю, а також при виробництві матраців використовуються неткані полотна з поверхневою щільністю 150-600 г/м<sup>2</sup>.

Отже можна зробити висновок, що коротке лляне волокно льону олійного цілком придатне для виготовлення нетканих матеріалів.

Станом на лютий 2020 року 1 тонна короткого лляного волокна №№1-6 коштує 15-19 тис. грн./т. [9], а поліефір, який зараз використовується як сировина для виготовлення геотекстилю, коштує 50-54 тис. грн./т. [10]. Простий аналіз показує, що коротке лляне волокно, як сировина для виробництва нетканих матеріалів, значно дешевше ніж імпорتنі поліефіри.

Одною з причин, яка гальмує широке застосування волокна льону олійного для потреб промисловості є відсутність стандартів для оцінювання якості такого волокна. Це створює певні проблеми при визначенні ринкової вартості сировини і обмежує її використання. Існуючі ДСТУ [11] та ГОСТ регламентують якість довгого та короткого волокна отриманого із льону-довгунця і не можуть бути застосовані для оцінювання якості короткого волокна льону олійного. Варто зазначити, що науковцями ХНТУ вже дещо зроблено в напрямку розробки нормативно-технічної документації на волокно льону олійного. Це, наприклад, технічні умови "Солома льону олійного", "Треста льону олійного" та "Волокно льону олійного" [12-14]. Але цього вочевидь недостатньо і актуальним питанням є розробка національних стандартів ДСТУ на цей вид сировини.

**Висновки**

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновки:

1. У зв'язку із зростанням обсягів виробництва нетканих матеріалів в Україні за період 2003 - 2019 рр. зростає й попит на сировину для цього виробництва.
2. Підприємства використовують імпорتنу сировину і потребують розширення вітчизняної сировинної бази.
3. В Україні зростають площі посівів льону олійного. Солома льону олійного зовсім не використовується для отримання волокна і часто лишається на полях де вона згниває або спалюється.

4. Дослідження провідних вчених переконливо доводять, що для виробництва нетканих матеріалів волокно льону олійного може стати альтернативним джерелом сировини.

5. Вартість короткого волокна льону олійного значно нижче імпоротної сировини, яку зараз використовують вітчизняні підприємства.

6. Використання волокна льону олійного в якості сировини гальмується відсутністю нормативно-технічної бази для оцінювання його якості.

Отже нагальною проблемою є удосконалення технологій збирання, переробки та методів оцінювання якості такої сировини.

#### Список використаної літератури

1. Виробництво основних видів промислової продукції. Сайт Державної служби статистики України – Режим доступу: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/pr/prm\\_ric/prm\\_ric\\_u/vov2005\\_u.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/pr/prm_ric/prm_ric_u/vov2005_u.html).
2. Бобирь С. В. Розроблення технології переробки стебел льону олійного з метою одержання органічного геотекстилю: дис. канд. техн. наук: 05.18.02 / С.В. Бобирь. - Херсон, 2015. - 269 с.
3. Головенко Т.М. Сучасні проблеми ринку нетканих матеріалів в Україні та пошук вітчизняної сировини для їх виробництва / Т.М. Головенко, Л.А. Чурсіна, Н.В. Тулущенко // Вісник ХНТУ. – 2014. – № 2 (49). – С. 56-62.
4. Тіхосова Г.А. Наукові основи комплексної переробки стебел та насіння льону олійного: монографія / Г.А. Тіхосова, Л.А. Чурсіна, О.О. Горач, Т.І. Янюк.– Херсон: Олді-плюс, 2011. – 356с.
5. Головенко Т. М. Інноваційні технології одержання нетканих та целюлозовмісних матеріалів з льону олійного: монографія / Л. А. Чурсіна, Тіхосова Г. А., Меньяло-Басиста І. О. Херсон: Грінв Д.С., 2014. – 304 С.
6. ГОСТ 26604-85 Полотна нетканые (подоснова) антисептированные из волокон всех видов для теплозвукоизоляционного линолеума. Технические условия. – Введ. 01.01.1987. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 22 с.
7. ГОСТ 28867-90 Покрытия и изделия ковровые нетканые машинного способа производства. Общие технические условия. – Введ. 01.01.1992. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 64 с.
8. ГОСТ 28748-90 Полотна нетканые махровые. Общие технические условия. – Введ. 01.01.1992. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 5 с.
9. Прайс-листы компании Линен оф Десна, ООО. – Режим доступу: <https://linenofdesna.all.biz/price>
10. Оптовые поставки материалов и сырья. Цены и прайс-лист. – Режим доступу: <http://china.org.ru/key/polyester-casting-resin.html>
11. ДСТУ 5015:2008. Волокно льяне коротке. Технічні умови. – Увед. 01.07.2009. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 11 с.
12. ТУ У 01.1-2303511525-001:2016 Солома льону олійного. Технічні умови. – Увед. 01.03.2016. – Херсон.: ДП "Херсонстандартметрологія", 2016. – 8 с.
13. ТУ У 01.1-05480298-001:2017. Треста льону олійного. Технічні умови. – Увед. 01.04.2017. – Херсон.: ДП "Херсонстандартметрологія", 2016. – 6 с.
14. ТУ У 01.1-05480298-002:2018. Волокно льону олійного. Технічні умови. – Увед. 01.02.2018. – Херсон.: ДП "Херсонстандартметрологія", 2018. – 7 с.

#### References

1. Vyrobnyststvo osnovnykh vydiv promyslovoi produktsii. Website State Statistics Service of Ukraine. Available at: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/pr/prm\\_ric/prm\\_ric\\_u/vov2005\\_u.html](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2006/pr/prm_ric/prm_ric_u/vov2005_u.html).
2. Bobyr S. V. Rozroblennia tekhnolohii pererobky stebel lonu oliinoho z metoiu oderzhannia orhanichnoho heotekstyliu. Diss. kand. techn. nauk [Development of technology for processing stems of flax oil for organic geotextile production . Cand. tech. sci. diss.]. Kherson, 2015. 269 p.
3. Holovenko T. M. Suchasni problemy rynku netkanykh materialiv v Ukraini ta poshuk vitchyznianoї syrovyny dlia yikh vyrobnystva [Modern problems of the market of nonwovens in Ukraine and search for domestic raw materials for their production]. Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu [Visnyk of Kherson National Technical University], 2014, no. 2 (49), pp. 56-62.
4. Tichosova H.A. Naukovi osnovy kompleksnoi pererobky stebel ta nasinnia lonu oliinoho [Scientific bases of complex processing of stems and seeds of oilseed flax]. Kherson, Grin Publ., 2011. 356 p.
5. Holovenko T. M. Innovatsiini tekhnolohii oderzhannia netkanykh ta tseliulozovmisnykh materialiv z lonu oliinoho [Innovative technologies for producing non-woven and cellulose-containing materials from oilseed flax]. Kherson, Grin Publ., 2014. 304 p.

6. GOST 26604-85. Polotna netkanyie (podosnova) antiseptirovannyie iz volokon vseh vidov dlya teplozvukoizolyatsionnogo linoleuma. Tehnicheskie usloviya. [State Standard 26604-85. Non-woven textile preservative treated sheets (backing) of fibres for thermal-sound-insulating linoleum. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1985. 22 p.
7. GOST 28867-90. Pokryitiya i izdeliya kovrovyye netkanyie mashinnogo sposoba proizvodstva. Obschie tehnicheskie usloviya. [State Standard 28867-90. Machine-made non-woven floor coverings and carpet goods. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 7 p.
8. GOST 28748-90. Polotna netkanyie mahrovyye. Obschie tehnicheskie usloviya. [State Standard 28748-90 Loop non-woven fabrics. General specification]. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 7 p.
9. Prays-listyi kompanii Linen of Desna, OOO Available at: <https://linenofdesna.all.biz/price>
10. Optovyye postavki materialov i syr'ya. Tsenyi i prays-list. – Available at: <http://china.org.ru/key/polyester-casting-resin.html>
11. DSTU 5015:2008. Volokno liane korotke. Tekhnichni umovy. [National Standard 5015:2008. Short flax fibre. Specifications]. Kiev, Derzhstandart Ukraine, 2008. 13 p.
12. TU U 01.1-2303511525 - 001: 2016. Soloma lonu oliinoho. Tekhnichni umovy. [Technical Specifications TU U 01.1-2303511525 - 001: 2016. Oilseed Flax Straw. Technical Specifications]. Kherson, State enterprise "Kherson standard metrology", 2016. 7 p.
13. TU U 01.1-05480298-001:2017. Tresta lonu oliinoho. Tekhnichni umovy. [Technical Specifications TU U 01.1-05480298-001:2017. Oilseed flax retted straw. Specifications]. Kherson, State enterprise "Kherson standard metrology", 2017. 9 p.
14. TU U 01.1-05480298-002: 2018. Volokno lonu oliinoho. Tekhnichni umovy. [Technical Specifications TU U 01.1-05480298-002: 2018. Oilseed Flax Fiber. Specifications]. Kherson, State enterprise "Kherson standard metrology", 2018. 6 p.

УДК:663:05

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.12>

А.Т. ЛЯЛИК

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя  
ORCID: 0000-0003-3013-1784

О.С. ПОКОТИЛО

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя  
ORCID: 0000-0001-8693-8240

М.Д. КУХТИН

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя  
ORCID: 0000-0002-0195-0767

С.Я. ДОБРОВОЛЬСЬКА

Галицький коледж ім. В'ячеслава Чорновола  
ORCID: 0000-0002-6635-6849

## ЗМІНА ОРГАНОЛЕПТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИРКОВОЇ ПАСТИ З ЛЛЯНОЮ ОЛІЄЮ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЗБЕРІГАННЯ

*Розроблення нових видів рецептур сиркових виробів, які мають у своєму складі інгредієнти багаті на незамінні жирні кислоти, що підвищують їх біологічну цінність є перспективними для впровадження у виробництво.*

*У статті наведено результати досліджень зміни органолептичних показників та величини титрованої кислотності у зразках сиркової пасти з різним умістом лляної олії у процесі зберігання за температури  $+2\pm 0,5$  та  $+6\pm 1$  °С.*

*Органолептичні властивості зразків сиркової пасти визначали згідно ДСТУ 4503:2005 «Вироби сиркові. Загальні технічні умови та удосконаленою нами 10 бальною шкалою. Органолептичні властивості кисломолочного сиру оцінювали згідно ДСТУ 4554:2006 «Сир кисломолочний. Загальні технічні умови». При цьому сиркова паста вважалася прийнятною для виробництва за органолептичними показниками при загальній кількості балів не менше 9. Величину титрованої кислотності зразків сиркової пасти з лляною олією та кисломолочного сиру визначали титрометричним методом.*

*Встановлено, що зберігання дослідних зразків сиркової пасти за температури  $+2\pm 0,5$  °С протягом 7 діб суттєво не вплинуло на загальну бальну оцінку. Так у дослідних зразках з вмістом 8 і 10 % лляної олії загальна бальна оцінка знижувалася на 0,1 бал, порівняно з свіжовиготовленими зразками. Водночас у зразку з вмістом лляної олії 12 % бальна оцінка знижувалася на 0,4 бали. Виявлено, що через 14 діб зберігання сиркової пасти у зразках з вмістом 8 і 10 % лляної олії загальна бальна оцінка знизилася до  $9,0\pm 0,2$  бали, а в зразку з 12 % олії до  $7,1\pm 0,2$  бали. Проте зразки сиркової пасти з вмістом 8 і 10 % лляної олії, ще вважалися прийнятними для виробництва, так як загальна бальна оцінка була не нижче 9 балів. Встановлено, що під час зберігання сиркової пасти з лляною олією за температури  $+6\pm 1$  °С відмічається поступове збільшення титрованої кислотності, що негативно впливає на органолептичні показники продукту. Зберігання зразків сиркової пасти довше 7 діб за даних температурних умов не бажане через зниження загальної бальної оцінки.*

*Ключові слова: сиркова паста, лляна олія, кисломолочний сир, органолептична оцінка, титрована кислотність, температура зберігання, термін придатності.*

А.Т. ЛЯЛЫК

Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя  
ORCID: 0000-0003-3013-1784

О.С. ПОКОТЫЛО

Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя  
ORCID: 0000-0001-8693-8240

М.Д. КУХТЫН

Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя  
ORCID: 0000-0002-0195-0767

С.Я. ДОБРОВОЛЬСКАЯ

Галицкий колледж им. Вячеслава Чорновола  
ORCID: 0000-0002-6635-6849

## ИЗМЕНЕНИЕ ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТВОРОЖНОЙ ПАСТЫ С ЛЬНЯНЫМ МАСЛОМ ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ХРАНЕНИЯ

*Разработка новых видов рецептур творожных изделий, имеющих в своем составе ингредиенты богаты незаменимыми жирными кислотами, которые повышают их биологическую ценность, являются перспективными для внедрения в производство.*

В статье приведены результаты исследований изменения органолептических показателей и величины титруемой кислотности в образцах творожной пасты с различным содержанием льняного масла в процессе хранения при температуре  $+ 2 \pm 0,5$  и  $+ 6 \pm 1$  °С.

Органолептические свойства образцов творожной пасты определяли по ДСТУ 4503:2005 Изделия творожные. Общие технические условия и усовершенствованной нами 10 балльной шкалой. Органолептические свойства творога оценивали по ДСТУ 4554:2006 Творог. Общие технические условия. При этом творожная паста считалась приемлемой для производства по органолептическим показателям при общем количестве баллов не менее 9. Величину титруемой кислотности образцов творожной пасты с льняным маслом и творога определяли титрометрическим методом.

Установлено, что хранение опытных образцов творожной пасты при температуре  $+ 2 \pm 0,5$  °С в течение 7 суток существенно не повлияло на общую балльную оценку. Так в опытных образцах с содержанием 8 и 10% льняного масла общая балльная оценка снижалась на 0,1 балл по сравнению с свежеприготовленными образцами. В то же время в образце с содержанием льняного масла 12% балльная оценка снижалась на 0,4 балла. Выявлено, что через 14 дней хранения творожной пасты в образцах с содержанием 8 и 10% льняного масла общая балльная оценка снизилась до  $9,0 \pm 0,2$  балла, а в образце с 12% масла до  $7,1 \pm 0,2$  балла. Однако образцы творожной пасты с содержанием 8 и 10% льняного масла, еще считались приемлемыми для производства, так как общая балльная оценка была не ниже 9 баллов. Установлено, что во время хранения творожной пасты с льняным маслом при температуре  $+ 6 \pm 1$ °С отмечается постепенное увеличение титруемой кислотности, что негативно влияет на органолептические показатели продукта. Хранение образцов творожной пасты дольше 7 дней при данных температурных условиях не желательно из-за снижения общей балльной оценки.

Ключевые слова: творожная паста, льняное масло, творог, органолептическая оценка, титруемая кислотность, температура хранения, срок годности.

A.T. LIALYK

Ternopil Ivan Pulyk National Technical University

ORCID: 0000-0003-3013-1784

O.S. POKOTYLO

Ternopil Ivan Pulyk National Technical University

ORCID: 0000-0001-8693-8240

M.D. KUKHTYN

Ternopil Ivan Pulyk National Technical University

ORCID: 0000-0002-0195-0767

S.Y. DOBROVOLSKA

Halytskyi College named after Viacheslav Chornovil

ORCID: 0000-0002-6635-6849

## CHANGE ORGANOLEPTIC CHARACTERISTICS OF CHEESE PASTA WITH LINSEED OIL STORAGE UNDER DIFFERENT CONDITIONS

*The development of new types of recipes for curd products, which have ingredients rich in essential fatty acids, which increase their biological value, are promising for introduction into production.*

*The results of the investigated changes of organoleptic indicators and values of titrated acid in the rupture of curd spread with different content of the linseed oil stored under the temperature of  $+2 \pm 0.5$  and  $+6 \pm 1$  °C were presented at the article.*

*The organoleptic qualities of the curd spread samples were determined according to SSU (State Standards of Ukraine) 4503: 2005 Curd products. General Technical Conditions and our improved 10 point scale. The organoleptic qualities of cottage cheese were evaluated according to SSU 4554: 2006 Cottage cheese. General Technical Conditions. In this case, the curd spread was considered acceptable for production by organoleptic qualities with total score of not less than 9 points. The titrated acidity of the samples of curd spread with flax oil and cottage cheese was determined by the titrimetric method.*

*It was found that the storage of experimental samples of curd spread at a temperature of  $+ 2 \pm 0,5$  °C for 7 days did not significantly affect the overall score. Thus, in the test samples containing 8% and 10% linseed oil, the total score was reduced by 0.1 points, compared with freshly made samples. At the same time, in the 12% linseed oil sample, the score was reduced by 0.4 points. It was found that after 14 days of storage of curd paste in samples containing 8% and 10% f linseed oil, the total point score decreased to  $9.0 \pm 0.2$  points, and in the sample with 12% oil to  $7.1 \pm 0.2$  points. However, the samples of curd spread containing 8% and 10% linseed oil were still considered acceptable for production, as the total score was not lower than 9 points. It is established that during storage of curd spread with f linseed oil at  $+ 6 \pm 1$  °C, a gradual increase in titrated acidity is observed, which adversely affects the organoleptic characteristics of the product. Storage of curd*

*spread samples for longer than 7 days under these temperature conditions is not desirable due to a decrease in the overall score.*

*Keywords: cheese paste, linseed oil, sour milk cheese, organoleptic evaluation, titrated acidity, storage temperature, expiration date.*

### **Постановка проблеми**

При розробці складу харчових продуктів вагоме значення мають вміст в них жирів, особливо жирних кислот, таких як поліненасичені (лінолева і ліноленова), омега-3, яких практично немає у жирах тваринного походження. Завдяки великому вмісту даних кислот у насінні льону, горіхах, рибі, ці продукти є корисними для профілактики серцево-судинних захворювань. Тому розроблення нових видів рецептур сиркових виробів, які мають у своєму складі інгредієнти багаті на незамінні жирні кислоти та підвищують їх біологічну цінність, є перспективними для впровадження у виробництво.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Сиркова паста, що виготовлена на кисломолочному сирі відноситься до молочного продукту, технологія виготовлення якого пов'язана з розвитком і біохімічною активністю мікрофлори. Основна мікрофлора нетермізованої сиркової пасти має бути представлена молочнокислими мікроорганізмами закваски [1, 2]. Проте в технологічному процесі виробництва сиркової пасти на її мікробіологічні показники може мати значний вплив залишкова мікрофлора пастеризованого молока, технологічного обладнання, а також інгредієнтів, що вносяться. При порушенні технологічного процесу або недотриманні гігієнічних вимог виробництва поряд із наявною молочнокислою мікрофлорою сиркової пасти до неї може попадати і розвиватися стороння технічно шкідлива та умовно-патогенна і патогенна мікрофлора [2, 3]. Інтенсивність розмноження і біохімічна активність всієї мікрофлори сиркової пасти залежить від якості кисломолочного сиру, температури охолодження і тривалості зберігання в охолодженому стані [4]. Так як сиркова паста відноситься до високопоживного продукту, вона є добрим живильним середовищем для більшості мікроорганізмів (БГКП, грибів і дріжджів, золотистого стафілококу патогенних сальмонел, тощо) [5, 6]. Розвиток небажаної мікрофлори спричиняє виникнення вад сиркової пасти, скорочує термін її зберігання, а також становить небезпеку для споживачів. Вважається, що органолептичні методи дослідження харчового продукту відображають, як його якість безпосередньо під час виробництва, так і характеризують зміни якості у процесі зберігання [7]. Тому органолептичні методи дослідження відносять до основних, що дають можливість одержати об'єктивні дані про якість продукту за такими важливими для споживача показниками, як смак і запах, консистенція і структура, колір і зовнішній вигляд [8].

Отже, обґрунтування термінів зберігання сиркової пасти з врахуванням її органолептичних показників та величини титрованої кислотності є важливою умовою для вибору оптимальної температури охолодження і строків її холодильного зберігання.

### **Формулювання мети дослідження**

Метою роботи було дослідити динаміку зміни органолептичних показників та величину титрованої кислотності зразків сиркової пасти з різним умістом лляної олії в процесі зберігання за різних температур.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

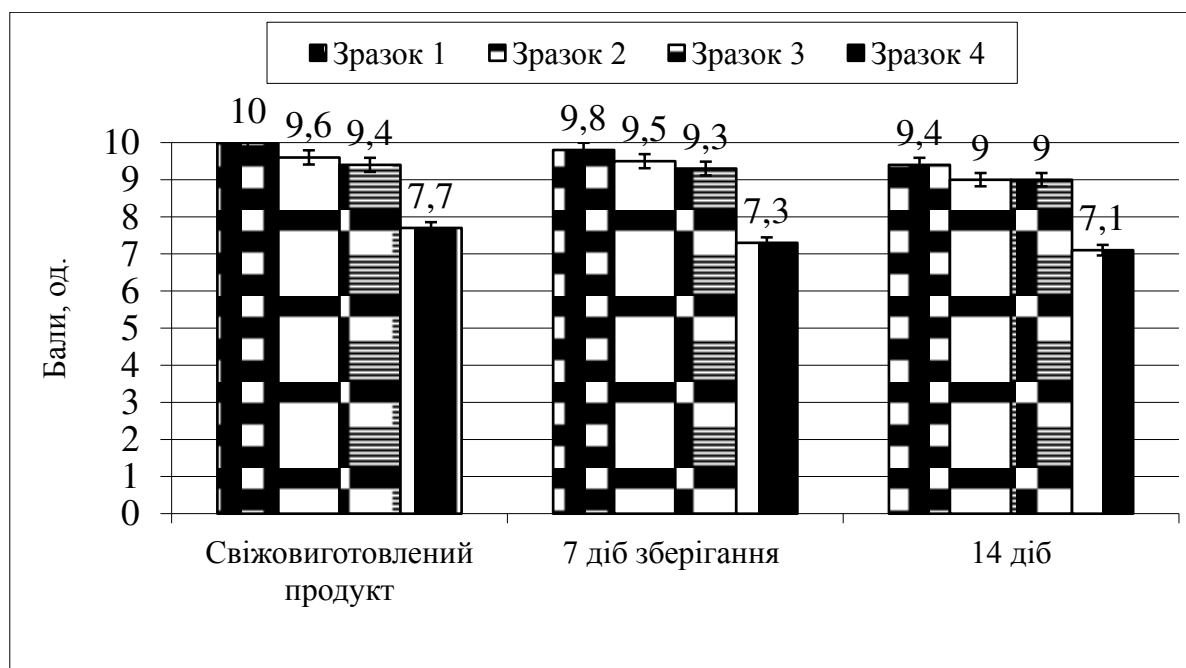
Органолептичні властивості зразків сиркової пасти визначали згідно ДСТУ 4503:2005 «Вироби сиркові». Загальні технічні умови [9] та удосконаленою нами 10 бальною шкалою (табл. 1). При цьому сиркова паста буде вважатися прийнятною для виробництва за органолептичними показниками при загальній кількості балів не менше 9. Органолептичні властивості кисломолочного сиру оцінювали згідно ДСТУ 4554:2006 «Сир кисломолочний. Загальні технічні умови» [10].

Величину титрованої кислотності зразків сиркової пасти з різним вмістом лляної олії та кисломолочного сиру визначали титрометричним методом [11].

Нами було розроблено технологію виробництва сиркової пасти з різним вмістом лляної олії. Дослідні зразки кисломолочного продукту містили 8, 10 та 12 % лляної олії і спеції. Отримані сиркові вироби мали білий з кремовим відтінком колір, який був рівномірний за всією масою та характерний кисломолочний, без зайвої кислотності, з ледь відчутно гірчичним присмаком лляної олії смак і запах. Тому було проведено дослідження з визначення впливу умов зберігання на динаміку зміни органолептичних показників і величини титрованої кислотності у дослідних зразках сиркової пасти з різним вмістом лляної олії. Відповідно з ДСТУ 4503:2005 Сиркові вироби. Загальні технічні умови [9], їх зберігають за температури не вище +6 °С, не довше 3 діб – нетермізовані та до 7 діб – термізовані. За температури зберігання від 0 °С до + 2 °С термін придатності нетермізованих сиркових виробів становить до 4 діб, а термізованих до 14 діб. Результати експериментальних досліджень впливу температури холодильного зберігання (+ 2±0,5 °С) на зміну органолептичних показників і величини титрованої кислотності у дослідних зразках сиркової пасти наведено на рис. 1 та 2.

Таблиця 1

Шкала органолептичної оцінки сиркової пасты з вмістом лляної олії		
Назва показника	Характеристика показника	Оцінка в балах
Смак і запах (5 балів)	Характерний кисломолочний, без зайвої кислотності, з ледь відчутним присмаком лляної олії	5
	Характерний кисломолочний, з вираженою кислотністю, з ледь відчутним присмаком лляної олії	4
	Характерний кисломолочний, без зайвої кислотності, з гірчичним присмаком лляної олії	3
	Характерний кисломолочний, з вираженою кислотністю, з гірчичним присмаком лляної олії	2
	Гіркий і кислий	1
Консистенція і структура (3 бали)	Однорідна, ніжна, пластична, пастоподібна, рівномірна мазка	3
	Однорідна, ніжна, не достатньо пластична, пастоподібна, помірна мазка	2
	Однорідна, не достатньо пластична, пастоподібна, крихка, не мазка	1
Колір і зовнішній вигляд (2 бали)	Привабливий для споживача – білий з ледь вираженим кремовим відтінком, рівномірний по всій масі	2
	Непривабливий для споживача – білий з ледь вираженим кремовим відтінком, не рівномірний по всій масі, з крапельками вологи	1
Загальна максимальна бальна оцінка		10



**Рис. 1.** Результати бального оцінювання дослідних зразків сиркової пасты під час зберігання за температури  $+2\pm 0,5$  °С: зразок 1 – контроль (кисломолочний сир); зразок 2 – сиркова паста з вмістом 8 % лляної олії; зразок 3 – сиркова паста з вмістом 10 % лляної олії; зразок 4 – з вмістом 12 % лляної олії

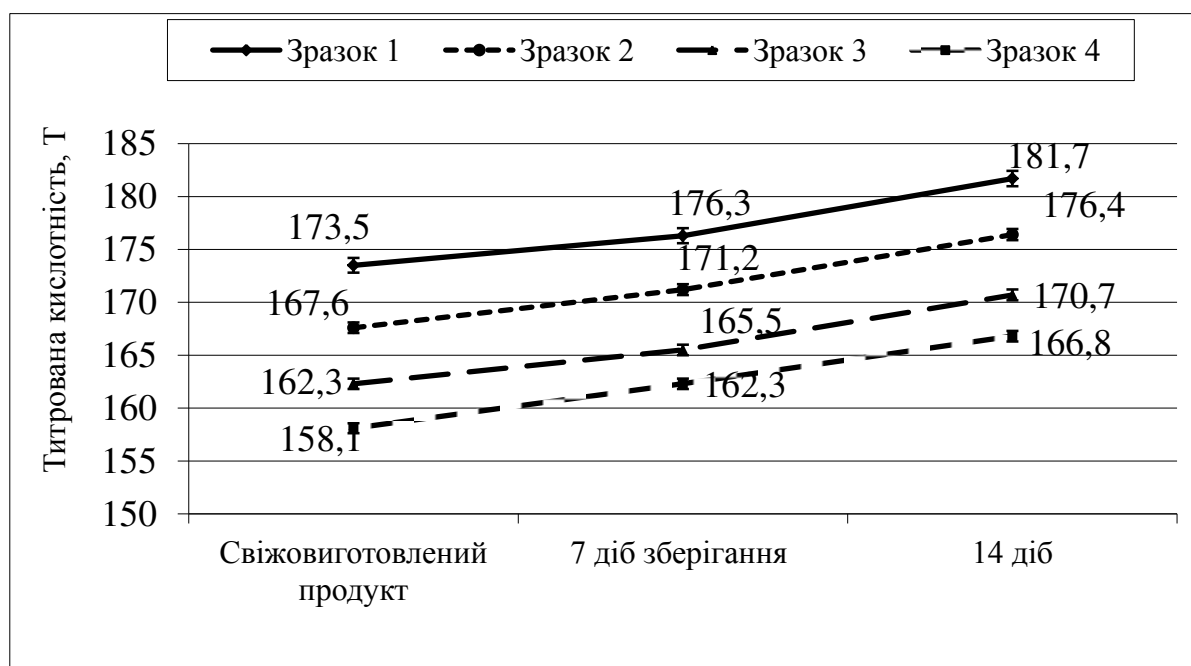
З даних рис. 1 видно, що у свіжовиготовлених зразках сиркової пасты з лляною олією, найкращі органолептичні показники були дегустовані у зразку №2 з 8 % лляної олії –  $9,6\pm 0,2$  бали. Збільшення вмісту лляної олії у зразку №4 до 12 % сприяло зниженню органолептичної оцінки до  $7,7\pm 0,2$  балів, що пов'язано із наявністю характерного гірчичного присмаку лляної олії.



Зберігання дослідних зразків сиркової пасти за температури  $+2\pm 0,5$  °С протягом 7 діб суттєво не вплинуло на загальну бальну оцінку. Так у дослідних зразках №2 і №3 загальна бальна оцінка знизилася на 0,1 бал, порівняно з свіжовиготовленими зразками, а у зразку №4 бальна оцінка знизилася на 0,4 бали.

Подальше зберігання сиркової пасти упродовж наступних 7 діб (14 доба) зумовило зниження органолептичних показників сиркової пасти. У зразках №2 і №3 загальна бальна оцінка знизилася до  $9,0\pm 0,2$  бали, а в четвертому зразку до  $7,1\pm 0,2$  бали. Проте зразки сиркової пасти №2 і №3, ще вважалися прийнятними для виробництва, так як загальна бальна оцінка була не нижче 9 балів. У контрольному зразку також відмічали зниження органолептичної оцінки на 14 добу вона становила  $9,4\pm 0,4$  бали.

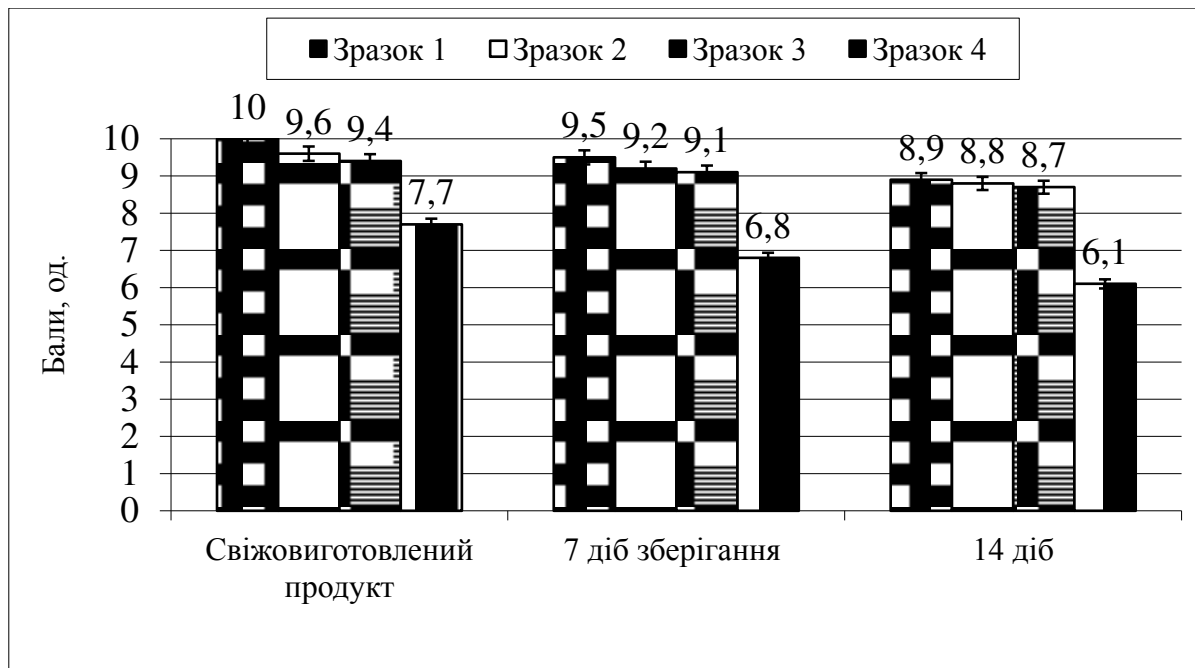
Динаміка зміни титрованої кислотності за даних умов зберігання сиркової пасти (рис. 2) вказує на практично відсутній мікробіологічний процес упродовж 7 діб зберігання, так як накопичення молочної кислоти практично не відбувалося. Величина титрованої кислотності у всіх зразках зросла на  $3,1\dots 4,1$  °Т, що ймовірно пов'язано з життєдіяльністю психротрофних рас молочнокислих мікроорганізмів. На 14 добу зберігання виявили зростання титрованої кислотності на  $8,4\dots 8,8$  °Т, порівняно з початковою кількістю. Проте, необхідно відмітити, що згідно ДСТУ 4503:2005 [9] величина титрованої кислотності у сирковій пасти повинна коливатися в межах від 150 до 220 °Т. Тому за показником титрована кислотність усі дослідні зразки відповідали вимогам ДСТУ [9].



**Рис. 2.** Зміна титрованої кислотності у зразках сиркової пасти під час зберігання за температури  $+2\pm 0,5$  °С: зразок 1 – контроль (кисломолочний сир); зразок 2 – сиркова паста з вмістом 8 % лляної олії; зразок 3 – сиркова паста з вмістом 10 % лляної олії; зразок 4 – з вмістом 12 % лляної олії

Отже, зберігання зразків сиркової пасти з різним вмістом лляної олії за температури  $+2\pm 0,5$  °С протягом 14 діб можливе за умови високих органолептичних показників у свіжовиготовленій пасти. Так як протягом даного періоду зберігання загальна бальна оцінка знижується, в середньому на  $0,5\dots 0,6$  балів. Зміни в основному пов'язані з вадами смаку і запаху (посилиється присмак лляної олії). При цьому величина титрованої кислотності суттєво не зростає та не виходить за допустимі межі згідно ДСТУ [9].

Дослідження впливу температури холодильного зберігання ( $+6\pm 1$  °С) на зміну органолептичних показників і величини титрованої кислотності у дослідних зразках сиркової пасти наведено на рис. 3 та 4.



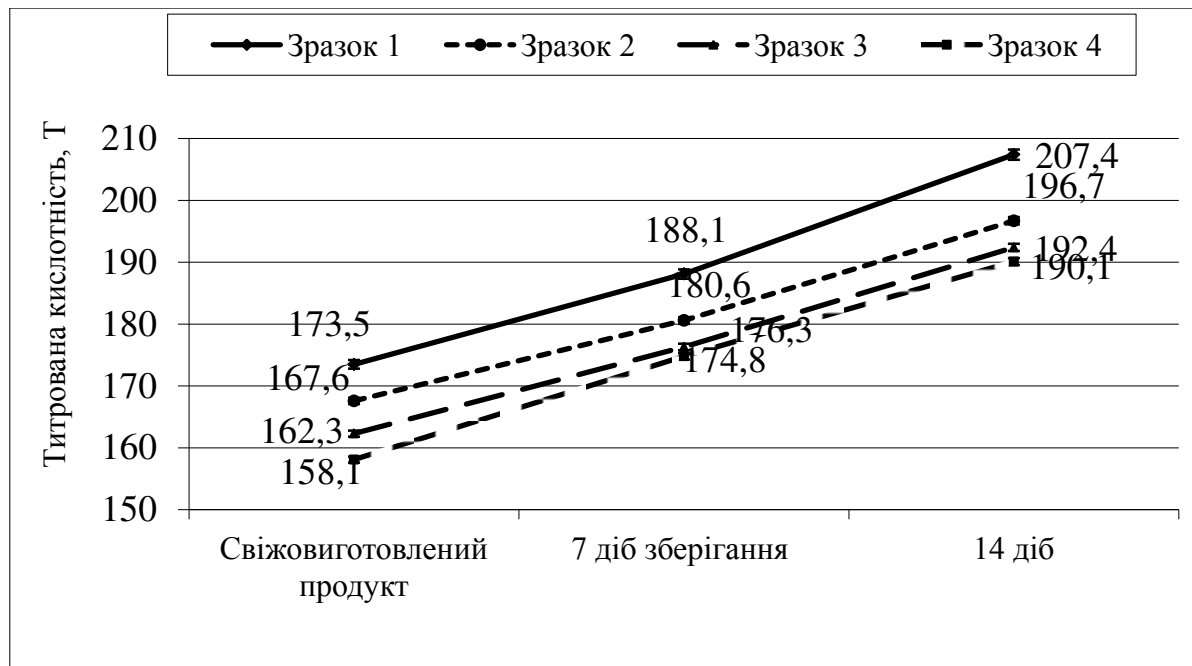
**Рис. 3. Результати бального оцінювання дослідних зразків сиркової пасти під час зберігання за температури  $+6\pm 1$  °C: зразок 1 – контроль (кисломолочний сир); зразок 2 – сиркова паста з вмістом 8 % лляної олії; зразок 3 – сиркова паста з вмістом 10 % лляної олії; зразок 4 – з вмістом 12 % лляної олії**

З рис. 3 видно, що з підвищенням температури зберігання дослідних зразків сиркової пасти до  $+6\pm 1$  °C знижується їхня загальна бальна оцінка на 7 добу. У зразках №2 і №3 загальна бальна оцінка становила  $9,2\pm 0,2$  і  $9,1\pm 0,2$  бали відповідно, що на  $0,4\dots 0,3$  бали менше, ніж у свіжо виготовлених зразках. У четвертому зразку загальна бальна оцінка знизилася на  $0,9$  бали і становила  $6,8\pm 0,2$  бали. Основними вадами, які знижували органолептичні показники зразків сиркової пасти з лляною олією є вади смаку і запаху: посилення присмаку лляної олії та зростання більш вираженої кислотності. У контрольному зразку загальна бальна оцінка знизилася на  $0,5$  бала і становила  $9,5\pm 0,2$  балів.

Через 14 дів зберігання у дослідних зразках №2 і №3 загальна бальна оцінка зменшилася до  $8,8\dots 8,7$  балів, а в зразку №4 до  $6,1$  бала. Усі зразки сиркової пасти мали характерну ваду смаку і запаху, яка визначалася вираженою кислотністю з гірчичним присмаком лляної олії. Тому всі дослідні зразки вважалися не прийнятними для виробництва, так як загальна бальна оцінка була нижче 9 балів.

Результати дослідження зміни титрованої кислотності зразків сиркової пасти за температури зберігання  $+6\pm 1$  °C (рис. 2), вказують на інтенсифікацію молочнокислого процесу. Так, через 7 дів зберігання кислотність у всіх дослідних зразках сиркової пасти та контролі збільшилася, в середньому на  $14,5\pm 1,3$  °T, порівняно з початковою кількістю. Це вказує на розвиток і біохімічну активність молочнокислої мікрофлори. На 14 добу зберігання зразків сиркової пасти величина титрованої кислотності збільшилася більше, як на  $30$  °T, порівняно з свіжовиготовленим продуктом. Зростання кислотності спричиняє накопичення молочної кислоти та погіршення смакових властивостей продукту, що підтверджують дані рис. 3.

Таким чином отримані дані вказують на те, що під час зберігання сиркової пасти з лляною олією за температури  $+6\pm 1$  °C відмічається поступове збільшення титрованої кислотності, що негативно впливає на органолептичні показники продукту. Зберігання зразків сиркової пасти довше 7 дів за даних температурних умов не бажане через зниження загальної бальної оцінки.



**Рис. 4.** Зміна титрованої кислотності у зразках сиркової пасти під час зберігання за температури  $+6\pm 1$  °С: зразок 1 – контроль (кисломолочний сир); зразок 2 – сиркова паста з вмістом 8 % лляної олії; зразок 3 – сиркова паста з вмістом 10 % лляної олії; зразок 4 – з вмістом 12 % лляної олії

#### Висновки

Отже, підводячи підсумки даних досліджень можна відзначити наступне. Зберігання зразків сиркової пасти з вмістом лляної олії від 8 до 10 % за температури  $+2\pm 0,5$  °С можливе протягом 14 днів без суттєвого зниження їхніх органолептичних показників та величини титрованої кислотності. Збільшення кількості лляної олії до 12 % у сирковій пасті спричиняє появу вадами смаку і запаху (посилюється присмак лляної олії). З підвищенням температури зберігання зразків сиркової пасти до  $+6\pm 1$  °С відмічається зниження строків їх зберігання через біохімічну активність молочнокислої мікрофлори і наростання величини титрованої кислотності. Внаслідок чого сиркову пасту за даних умов можна зберігати не довше ніж 7 днів без значного погіршення органолептичних показників.

#### Список використаної літератури

1. Бергілевич О.М., Касянчук В.В., Салата В.З. Мікробіологія молока і молочних продуктів з основами ветеринарно-санітарної експертизи. Навчальний посібник. – Суми: Університетська книга, 2010. – 320 с.
2. Грек О.В. Технологія сиру кисломолочного та сиркових виробів: навчальний посібник / О.В. Грек, Т.А. Скорченко. – К.: НУХТ, 2009. – 235 с.
3. Kukhtyn M., Berhilevych O., Kravcheniuk K., Shynkaruk O., Horiuk Y., Semaniuk N. Formation of biofilms on dairy equipment and the influence of disinfectants on them. *Eastern-European journal of Enterprise Technologies*, 2017. 5/11, 89, pp. 26–33. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.110488
4. Шевчук Т.В. Особливості органолептичних та фізико-хімічних показників сиру зернистого різних торгових марок / Т.В. Шевчук // *Безпека продуктів харчування та технологія переробки*. – 2013. – № 2, (72). – С. 184–188.
5. Lialyk A.T., Pokotylo O.S., Kukhtyn M.D. Microbiological parameters of cheese paste with the content of flaxseed oil at different storage temperatures. *Scientific Messenger LNUVMB*, 2019. 21, 91, pp. 124–129. DOI: 10.32718/nvlvet - f9121
6. Гачак Ю. Р. Розробка рецептур сиркових мас із крипорощками «Морська капуста» та «Брокколи» та їх технологічні характеристики / Ю.Р. Гачак, Я.С. Вавричевич, Н.І. Прокопюк // *Науковий вісник ЛНУВМБС ім. С.З. Гжицького*. – 2016. – Т.18, №1,(65). – С. 53–59.
7. Очколяс О.М., Лебська Т.К. Сенсорна оцінка вершкового масла із морськими водоростями. URL: <https://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-416/technology-of-food-products-416/28565-416-027> (дата звернення: 03.02.2020)

8. Бошко Т., Павліш Л. Оцінювання якості лікерів за профілем флейвору / Т. Бошко, Л. Павліш // Товари і ринки. – 2015. – №2. – С. 57–63.
9. ДСТУ 4503:2005. Вироби сиркові. Загальні технічні умови. [Чинний від 2006–01–10]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 14 с.
10. ДСТУ 4554:2006. Сир кисломолочний. Загальні технічні умови. [Чинний від 2007–01–01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 10 с.
11. ГОСТ 3624-92. Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности. – [Введен 1999-01-01]. М.: Стандартиформ, 2008. 10 с.

#### References

1. Berhilevych O.M., Kasianchuk V.V., Salata V.Z. Mikrobiologhiia moloka i molochnykh produktiv z osnovamy veterynarno-sanitarnoi ekspertyzy:navchalnyi posibnyk [Microbiology of milk and dairy products with the basics of veterinary-sanitary examination: a textbook]. Sumy, Universytetska knyha, 2010. 320 p.
2. Hrek O.V. Tekhnologhiia syru kyslomolochnoho ta syrkovykh vyrobiv: navchalnyi posibnyk [Technology of sour milk and cheese products: a textbook], Kyiv, NUKhT, 2009. 235 p.
3. Kukhtyn M., Berhilevych O., Kravcheniuk K., Shynkaruk O., Horiuk Y., Semaniuk N. Formation of biofilms on dairy equipment and the influence of disinfectants on them. Eastern-European journal of Enterprise Technologies, 2017. 5/11, 89, pp. 26–33. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.110488
4. Shevchuk T.V. Osoblyvosti orhanoleptychnykh ta fizyko-khimichnykh pokaznykiv syru zernystoho riznykh torhovykh marok [Features of organoleptic and physicochemical indicators of granulated cheese of different brands]. Bezpeka produktiv kharchuvannia ta tekhnologhiia pererobky, 2013. 2, 72, pp. 184–188 (in Ukrainian).
5. Lialyk A.T., Pokotylo O.S., Kukhtyn M.D. Microbiological parameters of cheese paste with the content of flaxseed oil at different storage temperatures. Scientific Messenger LNUVMB, 2019. 21, 91, pp. 124–129. DOI: 10.32718/nvlvet - f9121
6. Hachak Yu.R., Vavrychevych Ya.S., Prokopiuk N.I. Rozrobka retseptur syrkovykh mas iz krioporoshkamy «Morska kapusta» ta «Brokkoli» ta yikh tekhnologichni kharakterystyky [Formulation of cheese masses with crystalline powders "Sea Cabbage" and "Broccoli" and their technological characteristics]. Naukovi visnyk LNUVMBS im. S.Z. Hzytskoho, 2016. 18, (65), pp. 53–59 (in Ukrainian).
7. Ochkolias O.M., Lebska T.K. Sensorna otsinka vershkovoho masla iz morskymy vodorostiamy (Sensory evaluation of seaweed butter) Available at: [www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-416/technology-of-food-products-416/28565-416-027](http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-416/technology-of-food-products-416/28565-416-027) accessed 03.02.2020
8. Boshko T., Pavlish L. Otsiniuvannia yakosti likeriv za profilem fleivoru [Assessment of the quality of liquors by the flavor profile]. Tovary i rynky, 2015. 2, pp. 57–63 (in Ukrainian).
9. DSTU 4503:2005. Vyrobny syrkovy. Zahalni tekhnichni umovy [State Standard 4503:2005. Cheese products. General specifications]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2006. 14 p.
10. DSTU 4554:2006. Syr kyslomolochnyi. Zahalni tekhnichni umovy [State Standard 4554:2006. Cottage cheese. General specifications]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007. 10 p.
11. ГОСТ 3624-92. Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности [State Standard 3624-92. Milk and dairy products. Acrytometry titrimetric methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 10 p.

УДК 330:341.1:338

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.13>

Н.В. НОВІКОВА

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID: 0000-0001-5393-688X

І.О. РЯПОЛОВА

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID: 0000-0002-7672-663

## ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Встановлено, що механізм впровадження технологічних інновацій передбачає початкові витрати на відповідні маркетингові дослідження, які є підґрунтям з'ясування потреби в певній продукції. З'ясовано, що попит на певну продукцію на його еволюційні чи революційні зміни сприяють виникненню попиту на технології та обладнання. Таким чином, харчові підприємства, розвиваючи споживчий ринок та стимулюючи певні уподобання споживачів, потрапляють у коло зміни потреб, яке і змушує підприємства впроваджувати технологічні інновації.*

*Визначено, що механізм впровадження технологічних інновацій повинен містити у собі і організаційну, і технологічну частини, у результаті чого можна уникнути помилок у виборі обладнання та технології, як технологічного характеру так і маркетингового.*

*Доведено, що технологічні інновації є чинником подальшого розвитку продуктивних інновацій, які у свою чергу сприяють формуванню інфраструктурних та маркетингових інновацій.*

*Встановлено, що питома вага підприємств, які взагалі займаються інноваціями є досить стабільною, проте загальна сума витрат поступово зростає, у тому числі й витрати на придбання нових технологій та обладнання. Інноваційна діяльність на підприємствах, особливо харчової промисловості, потребує якісно нового підходу. Вона повинна бути не одиничним актом впровадження будь-якого типу інновації, а стратегічно орієнтованою системою заходів з розробки, впровадження, освоєння, виробництва, комерціалізації та оцінки ефективності інновації.*

*З'ясовано, що в цілому інновації у харчовій промисловості у більшості випадків мають косметичний характер, а не кардинальний (має місце псевдоінновація). Але попри цього доведено, що технологічні інновації є каталізатором інших інновацій — продуктивних, інфраструктурних, маркетингових, що створює системність інновацій на підприємствах. Визначено, що технологічні інновації можна поділити за терміновістю впровадження. При цьому для підприємств харчової промисловості найбільш розповсюдженими є короткотермінові та середньотермінові інновації.*

*Ключові слова: інновації, технологічні інновації, харчова промисловість, проблеми технологічних інновацій, терміновість впровадження інновацій.*

Н.В. НОВІКОВА

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

ORCID: 0000-0001-5393-688X

І.О. РЯПОЛОВА

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

ORCID: 0000-0002-7672-663

## ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Установлено, что механизм внедрения технологических инноваций предусматривает первоначальные затраты на соответствующие маркетинговые исследования, которые являются основой выяснения потребности в определенной продукции. Выяснено, что спрос на определенную продукцию на его эволюционные или революционные изменения способствуют возникновению спроса на технологии и оборудование. Таким образом, пищевые предприятия, развивая потребительский рынок и стимулируя определенные предпочтения потребителей, попадают в круг изменения потребностей, которое и заставляет предприятия внедрять технологические инновации.*

*Определено, что механизм внедрения технологических инноваций должен содержать в себе и организационную, и технологическую части, в результате чего можно избежать ошибок в выборе оборудования и технологии, как технологического характера так и маркетингового.*

*Доказано, что технологические инновации являются фактором дальнейшего развития продуктивных инноваций, которые в свою очередь способствуют формированию инфраструктурных и маркетинговых инноваций.*

Установлено, что удельный вес предприятий, которые вообще занимаются инновациями является достаточно стабильным, однако общая сумма расходов постепенно растет, в том числе и расходы на приобретение новых технологий и оборудования. Инновационная деятельность на предприятиях, особенно пищевой промышленности, требует качественно нового подхода. Она должна быть не единичным актом внедрения любого типа инновации, а стратегически ориентированной системой мероприятий по разработке, внедрению, освоению производства, коммерциализации и оценки эффективности инноваций.

Установлено, что в целом инновации в пищевой промышленности в большинстве случаев носят косметический характер, а не кардинальный (имеет место псевдоинновации). Но несмотря на него доказано, что технологические инновации являются катализатором других инноваций - продуктовых, инфраструктурных, маркетинговых, что создает системность инноваций на предприятиях. Определено, что технологические инновации можно разделить по срочности внедрения. При этом для предприятий пищевой промышленности наиболее распространены краткосрочные и среднесрочные инновации.

Ключевые слова: инновации, технологические инновации, пищевая промышленность, проблемы технологических инноваций, срочность внедрения инноваций.

N.V. NOVIKOVA

Kherson State Agrarian and Economic University

ORCID: 0000-0001-5393-688X

I.O. RYAPOLOVA

Kherson State Agrarian and Economic University

ORCID: 0000-0002-7672-663

## PROBLEMS OF INNOVATION IN THE FOOD INDUSTRY

*It has been established that the mechanism for introducing technological innovations provides for initial costs for relevant marketing research, which are the basis for determining the need for a particular product. It was found that the demand for certain products for its evolutionary or revolutionary changes contribute to the emergence of demand for technology and equipment. Thus, food enterprises, developing the consumer market and stimulating certain preferences of consumers, fall into the circle of changing needs, which forces enterprises to introduce technological innovations.*

*It was determined that the mechanism for introducing technological innovations should include both organizational and technological parts, as a result of which mistakes in choosing equipment and technology, both of a technological nature and marketing, can be avoided.*

*It is proved that technological innovation is a factor in the further development of product innovations, which in turn contribute to the formation of infrastructure and marketing innovations.*

*It has been found that the share of enterprises engaged in innovation is quite stable, but the total cost is gradually increasing, including the cost of acquiring new technologies and equipment. Innovation in enterprises, especially in the food industry, requires a qualitatively new approach. It should not be a single act of implementation of any type of innovation, but a strategically oriented system of measures for the development, implementation, development, production, commercialization and evaluation of innovation performance.*

*It has been found that, in most cases, innovations in the food industry are cosmetic, not cardinal (pseudo-innovation takes place). But despite it it is proved that technological innovations with a catalyst for other innovations - product, infrastructure, marketing, which creates a systematic innovation in enterprises. It is determined that technological innovations can be divided according to the urgency of implementation. However, short-term and medium-term innovations are the most common for the food industry.*

*Keywords: innovation, technological innovation, food industry, problems of technological innovation, urgency of innovation.*

### Постановка проблеми

В умовах зростання конкуренції на споживчих ринках, при постійному підвищенні вартості енергоносіїв та дефіциті кваліфікованої робочої сили, інновації потрібні підприємствам як фактор зростання та посилення позицій на ринку за допомогою набуття суттєвих конкурентних переваг. При цьому інновації - це єдиний ресурс, який унікальний на будь-якому підприємстві, який вельми складний для копіювання конкурентами. Проте інновації можуть стати не тільки базовою конкурентною перевагою, але й джерелом всебічного розвитку підприємства.

Примхливому сучасному споживачу на ринку постійно пропонується широкий асортимент товарів. Без використання інновацій виробники прирікають себе на суттєве відставання від вимог споживчого ринку, і, як наслідок, на поступову втрату конкурентних позицій на ринку. Необхідність відстеження розвитку сучасних технологій потребує постійного удосконалення або оновлення

обладнання, впровадження інновацій, в тому числі і технологічного характеру в харчовій промисловості [2].

За умов бурхливого зростання інноваційних технологій і приходу на ринок великих європейських виробників харчових продуктів, таких як Unilever, Sun Interbrew, Baltic Beverages Holding, особливо гостро встають питання виживання і конкуренції. Все більше значення набувають питання вибору високотехнологічного обладнання, мінімізації витрат сировини і економії енергоносіїв, більш ефективного використання персоналу. В умовах жорсткої конкуренції загострюється проблема закупівлі обладнання і впровадження технологій.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Як було з'ясовано, проблема інновацій різного типу та їх впровадження привертають увагу певних прошарків фахівців та вчених. Відповідно до цього напрям активно опрацьовується та знаходить відображення у істотній кількості наукових публікацій, які досліджують різні аспекти формування та впровадження інновацій, як на галузевому рівні, так і на рівні певних підприємств.

Л. Ляшенко у межах дослідження організаційно-економічного механізму розвитку харчової промисловості визначає галузеві пріоритети в інвестуванні та пропонує систему заходів реалізації інноваційної моделі розвитку [8].

М. Пашута досліджує інновації як фактор випереджального розвитку економіки, де визначає середньострокові пріоритетні напрями інноваційної діяльності за галузями промисловості, у тому числі й харчової [1].

П. Антонюк, О. Антонюк аналізують етап та шляхи інтенсифікації інновацій у харчовій промисловості, де визначають умови подолання низького техніко-технологічного рівня галузі [2].

Р. Майстро переймається проблематикою рівня та напрямків інноваційного розвитку національних підприємств в умовах трансформаційних процесів в економіці, внаслідок чого визначає шляхи інноваційного розвитку підприємств та напрями підвищення їх конкурентоспроможності на основі активізації інноваційних процесів [3].

М. Мілева визначає інвестиційно-інноваційну спрямованість як основну складову стратегічного розвитку харчових підприємств України та у межах цього виділяє методи зупинення негативних тенденцій інноваційного розвитку підприємств шляхом розробки комплексних стратегій розвитку з використанням ефективних форм інвестування промисловості на прикладі пивної промисловості України [4].

Проте слід зазначити, що інновації досліджуються взагалі як процес або як діяльність, що спрямовані на покращення діяльності галузі або підприємства. Але, зважаючи на те, що інновації за своєю сутністю не є однорідними, то відповідно до цього варіативними є, як умови їх започаткування, так і їх подальший економічний ефект, а також проблеми, які виникають під час їх впровадження.

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою статті є визначення змісту та систематизація типів технологічних інновацій, з'ясування проблем їх впровадження на підприємствах харчової промисловості для формування дієвого механізму реалізації технологічних інновацій.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Відповідно до табл.1, слід зазначити, що питома вага підприємств, які впроваджували інновації взагалі не має чіткої тенденції до зростання, а саме впровадження технологічних інновацій взагалі стрімко скорочується - від 158 - у 2012 році до 52 одиниць у 2019 році. Відповідно до скорочення технологічних інновацій відбувається і скорочення продуктових інновацій - з 866 у 2012 році до 80 найменувань у 2019 році. Ця ситуація склалась під впливом того, що підприємства харчової промисловості вичерпали ресурс модифікації та удосконалення існуючих рецептур харчових продуктів. Для активізації створення продуктових інновацій потрібно активізувати впровадження технологічних інновацій, які нададуть можливості виробництва нових продуктів, а також їх подальшої модифікації та удосконалення. Теж саме відбувається і по відношенню до маловідходних та ресурсозберігаючих технологій.

Крім того, розглядаючи інноваційну активність промислових підприємств (табл. 2), зазначимо, що питома вага підприємств, які взагалі займаються інноваціями є досить стабільною, проте загальна сума витрат поступово зростає, у тому числі й витрати на придбання нових технологій та обладнання. Як зазначає, Я. Жаліло це сприяє зростанню їх конкурентоспроможності та зниженню витрат на здійснення виробничої діяльності [5].

Таблиця 1

## Впровадження інновацій на промислових підприємствах

Рік	Питома вага підприємств, що впроваджували інновації, %	Впроваджено нових технологічних процесів, од.	у.т.ч. маловідходні, ресурсозберігаючі	Освоєно інноваційні види продукції. найменувань	З них нові види техніки	Питома вага реалізованої інноваційної продукції в обсязі промислової, %
2012	21,7	158	76	866	42	23
2013	17,3	150	62	767	43	9,6
2014	18,0	121	43	848	62	8,9
2015	8,8	117	54	321	57	7,2
2016	8,9	115	55	151	67	3,8
2017	6,7	90	43	172	68	5,8
2018	6,8	54	29	132	53	5,5
2019	8,0	52	36	80	39	4,6

Таблиця 2

## Інноваційна активність промислових підприємств

Рік	Питома вага підприємств, що займалися інноваціями, %	у тому числі за напрямками				
		Загальна сума витрат	Дослідження і розробки, тис. грн..	Придбання нових технологій, тис. грн.	Підготовка виробництва до впровадження інновацій, тис.грн	Інші витрати
2012	13,5	467603	17,06	960,2	24,2	6568
2013	12,4	524372	56,9	2090,2	22,8	7619
2014	13,2	482999	48,1	643,8	30,1	6231
2015	10,4	807662	58,4	5650,3	63,2	10710
2016	11,6	996938	69,1	11519,2	42,7	12303
2017	9,8	1955088	95,2	90263,9	47,5	12033
2018	7,9	1785340	115,3	46546,4	77,3	12359
2020	10,4	2639912	160,8	237190,2	X	92896

Як свідчить статистика, динаміка впровадження інновацій є негативною. Насамперед це пов'язано з відсутністю на більшості підприємств, як фінансових можливостей щодо закупівлі обладнання та відповідних технологій виробництва, так і з недооцінкою стратегічного планування впровадження інновацій як вагомою чинником зростання конкурентоспроможності підприємства та посилення його позицій на ринку. Відповідно до цього зростання кількості інноваційних продуктів випереджає зростання кількості інноваційних технологій. Тож більша частина нинішніх інновацій є «косметичними» - покращення існуючих товарів, які вже виробляються, і продовження їх випуску на тому ж обладнанні, за тими ж технологіями. Але цей шлях інноваційного розвитку досить швидко вичерпується і він не спроможний підтримати конкурентоспроможність підприємств впродовж довгого часу [7].

Порівнюючи кількість впровадження нових технологій (табл.1) та вартість придбаних технологій (табл.2). слід зазначити, що зменшення кількості впроваджених інноваційних процесів супроводжується зростанням їх вартості, що підкреслює тенденцію до придбання більш масштабних та вагомих технологій. Тобто можна говорити про те, що підприємства не стільки удосконалюють своє виробництво, скільки його кардинально модернізують. А зважаючи на те, що кардинальна модернізація є запорукою системності інноваційного процесу, то це сприятиме дифузії інновацій в підприємстві не тільки у сфері обладнання та технологій, але й в асортименті, структурі управління, кваліфікації персоналу.

Таким чином, технологічні інновації є чинником, який активізує продуктиві, інфраструктурні, маркетингові інновації, що у свою чергу і робить інноваційний процес не крапковим, а системним. Зважаючи на те, що інновація (впровадження інновацій) - це діяльність підприємства, яка «пов'язана з упровадженням як технологічно нових, так і технологічно удосконалених продуктів (продуктиві



інновації) і процесів (процесові інновації)» [6], то одразу визначимо, що у даному дослідженні об'єктом є технологічні (процесові) інновації.

Харчова промисловість є тією галуззю економіки, де впровадження інновацій, у тому числі й технологічних, одразу знаходить відображення на товарних ринках. У першу чергу це розробка та просування нових товарів, як модифікованих, так і справді нових. Це призводить до трансформації потреб певних сегментів споживачів, які налаштовані купувати інноваційні товари, що у свою чергу сприяє окупності вкладених коштів. Отже, інновації у харчовій промисловості мають більш швидку окупність, що посилює роботу підприємств в цьому напрямі.

Відповідно до світової практики на провідні підприємства харчової промисловості працюють науково-дослідні інститути, і при цьому для них інноваційний процес це не просто частка щоденної роботи, а й єдина можливість подальшого розвитку. «Найбільша у світі компанія з виробництва продуктів харчування Unilever (біля 400 торговельних марок, серед яких Calve, Lipton, Hellman's) з обігом 48 млрд. дол. витрачає на наукові дослідження до 2,5% від власного обсягу продаж. Ще 10 років по тому цей показник склав 1,9%» [8].

Активізація впровадження технологічних інновацій викликана тим, що у вітчизняній харчовій промисловості досить низький науково-технічний та технологічний рівень виробництва, відсутні високовиробничі інноваційні розробки, які пов'язані з глибокою переробкою сировини, переробкою побічних продуктів виробництва у інгредієнти, що використовуються на підприємствах комбікормової та інших галузей промисловості. І недоліки пов'язані з тим, що існує тенденція до створення підприємств з середнім та малим обсягами виробництва, у яких недостатньо інвестицій, як для закупівлі сучасних інноваційних технологій в розвинених країнах, так і на власні розробки у цій галузі. З іншого боку, низький рівень впровадження технологічних інновацій пов'язаний з тим, що західні країни мають вагому економічну вигоду, експортуючи до України готову продукцію та здійснюючи закупки дешевої сировини для власного виробництва.

Інноваційна діяльність на підприємствах, особливо харчової промисловості, потребує якісно нового підходу. Вона повинна бути не одиничним актом впровадження будь-якого типу інновації, а стратегічно орієнтованою системою заходів з розробки, впровадження, освоєння, виробництва, комерціалізації та оцінки ефективності інновацій. Виходячи з цього виділяють основні напрями інноваційної діяльності у харчовій галузі: технологічні (процеси); продуктові (асортиментні); маркетингові (управлінські); інфраструктурні (організаційні).

Стосовно технологічних інновацій, то до них на підприємствах харчової галузі доцільно віднести:

1. розробку та впровадження технологій зберігання сировини, що є основою для виробництва харчових продуктів;
2. застосування ресурсозберігаючих технологій, які характеризуються максимально корисним виходом готової продукції та мінімумом відходів, на основі сучасних методів обробки;
3. удосконалення технологічних процесів з метою скорочення часу виробничого циклу без втрати якості готової продукції;

І. С. Санду визначає, що основною вимогою майже до всіх технологічних інновацій є вимога удосконалення ресурсозбереження, а також екологічність процесів, які впроваджуються [7].

Відповідно до визначених напрямів технологічних інновацій у харчовій промисловості, доцільно зважити на те, що вони різняться за вартістю та швидкістю впровадження. Це дозволяє говорити про таку вагомую характеристику як терміновість впровадження технологічних інновацій, яка відповідно може бути короткотерміною, середньотерміною та довготерміною.

Стосовно харчової промисловості, то мова йде про коротко - та середньотермінові інновації. Так, до короткотермінових технологічних інновацій можна віднести впровадження нових таропакувальних ліній або технологій з утилізації відходів виробництва. Період впровадження таких інновацій обумовлений монтажем та налагодженням обладнання з подальшим його запуском. Це робить впровадження такої інновації досить привабливим, особливо зважаючи на те, що упаковка грає важливу роль в репрезентації товару перед споживачем, виступаючи «обличчям» компанії і гарантом якості продукції. Займаючи вагоме місце не тільки у процесі виробництва, але й на етапі реалізації, вона перетворилась в важливий засіб, який значною мірою впливає на роботу більшості галузей переробної промисловості, і в першу чергу, харчової, на стан споживчого ринку і якості життя населення.

До середньотермінових технологічних інновацій доцільно віднести ті, які пов'язані з новими технологіями переробки сировини, бо вони потребують не тільки монтажу та налагодження, але й опрацювання самого технологічного процесу, адже мова йде про продукти харчування, які повинні мати відповідний рівень якості.

Відповідно до терміну впровадження змінюється і вартість технологічних інновацій - чим довший термін впровадження, тим більша вартість самої інновації та процесу впровадження. Внаслідок цього харчові підприємства стикаються з труднощами фінансування системного впровадження

технологічних інновацій. Проте, враховуючи особливості деяких харчових виробництв, можна говорити про доцільність поетапного впровадження, яке може бути варіативним.

#### Висновки

Таким чином, слід зазначити, що в Україні чітко виражена тенденція до зменшення кількості інноваційних процесів, які впроваджуються, але поряд з цим вони мають більш об'ємний характер, тобто набувають рис системності в окремих підприємствах. Проте, з'ясовано, що в цілому інновації у харчовій промисловості у більшості випадків мають косметичний характер, а не кардинальний (має місце псевдоінновація). Але попри нього доведено що технологічні інновації є каталізатором інших інновацій — продуктових, інфраструктурних, маркетингових, що створює системність інновацій у підприємствах. Визначено, що технологічні інновації можна поділити за терміновістю впровадження. При цьому для підприємств харчової промисловості найбільш розповсюдженими є короткотермінові та середньотермінові інновації.

#### Список використаної літератури

1. Пашута М. Інновації як фактор випереджального розвитку економіки [Електронний ресурс]. Персонал. 2006. URL: №6 // <http://personal.in.ua/article/> (дата звернення 03.02.2020).
2. Антоноук П.О., Антоноук О.П. Аналіз стану та шляхів інтенсифікації інновацій в харчовій промисловості [Електронний ресурс] URL: [www.rusnauka.com/DNI\\_2006/Economics/3\\_antonj\\_uk.doc.htm](http://www.rusnauka.com/DNI_2006/Economics/3_antonj_uk.doc.htm) (дата звернення 15.09.2019).
3. Майстро Р.Г. Рівень та напрямки інноваційного розвитку національних підприємств в умовах трансформаційних процесів в економіці [Електронний ресурс] [www.nbuv.gov.ua/porta!/Soc\\_Gum/VMSU/2007-02/07mrghvi.htm](http://www.nbuv.gov.ua/porta!/Soc_Gum/VMSU/2007-02/07mrghvi.htm) (дата звернення 24.02.2017).
4. Мілева М.Д. Інвестиційно-інноваційна спрямованість як основна складова стратегічного розвитку харчових підприємств України [Електронний ресурс] [w.w.w.coftfconVact.com/2008febt/5\\_mileva.htm](http://w.w.w.coftfconVact.com/2008febt/5_mileva.htm) (дата звернення 16.07.2019).
5. Жалило Я. Реальная поддержка инновационных процессов в Украине [Електронний ресурс] [www.companion.ua/Articles/](http://www.companion.ua/Articles/) (дата звернення 10.08.2020).
6. Слиньков Д. Диета для компании: подводные камни инноваций в пищевой промышленности [Електронний ресурс] (дата звернення 13.04.2018).
7. Санду И.С. Развитие инновационной деятельности в отраслях пищевой промышленности [Електронний ресурс] [www.vivanauka.ru/itogi6.htm](http://www.vivanauka.ru/itogi6.htm) (дата звернення 16.08.2017).
8. Ляшенко С. Использование нанотехнологий в пищевой промышленности [Електронний ресурс] [vny.naiionewsnet.ru/blog/niksr/](http://vny.naiionewsnet.ru/blog/niksr/) (дата звернення 08.12.2018).

#### References

1. Pashuta M. Innovations as a factor in the advance of economic development [Electronic resource]. Staff. 2006. URL: №6 // <http://personal.in.ua/article/> (Accessed 03 February 2020).
2. Antonyuk PA, Antonyuk. OP An analysis of the state and ways of intensifying innovation in the food industry [Electronic resource] URL: [www.rusnauka.com/DNI\\_2006/Economics/3\\_antonj\\_uk.doc.htm](http://www.rusnauka.com/DNI_2006/Economics/3_antonj_uk.doc.htm) (Accessed 15 September 2019).
3. Master R.G. Level and directions of innovative development of national enterprises in the conditions of transformation processes in economy [Electronic resource] [www.nbuv.gov.ua/porta!/Soc\\_Gum/VMSU/2007-02/07mrghvi.htm](http://www.nbuv.gov.ua/porta!/Soc_Gum/VMSU/2007-02/07mrghvi.htm) (Accessed 24 February 2017).
4. Mileva MD Investment-innovation orientation as the main component of strategic development of food enterprises of Ukraine [Electronic resource] [w.w.w.coftfconVact.com/2008febt/5\\_mileva.htm](http://w.w.w.coftfconVact.com/2008febt/5_mileva.htm) (Accessed 16 July 2019).
5. Regret I Real support for innovation processes in Ukraine [Electronic resource] [www.companion.ua/Articles/](http://www.companion.ua/Articles/) (Accessed 10 August 2020).
6. D. Slinkov Diet for the company: pitfalls of innovation in the food industry [Electronic resource] (Accessed 13 April 2018).
7. Savdu IS Development of innovative activity in the branches of the food industry [Electronic resource] [www.vivanauka.ru/itogi6.htm](http://www.vivanauka.ru/itogi6.htm) (Accessed 16 August 2017).
8. Lyashenko S. The use of nanotechnologies in the food industry [Electronic resource] [vny.naiionewsnet.ru/blog/niksr/](http://vny.naiionewsnet.ru/blog/niksr/) (Accessed 08 December 2018).

УДК 677.11.021

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.14>

С.В. ПУТИНЦЕВА

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0001-7850-0871

## ПОТЕНЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІТЧИЗНЯНОЇ СИРОВИНИ В ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

У даній роботі визначено потенційні можливості використання луб'яних культур для формування вітчизняного асортименту паперу. Потенційним джерелом сировини для целюлозно-паперової промисловості може стати льон олійний, посівні площі якого в Україні протягом останнього часу значно збільшилися.

Для зменшення імпортозалежності вітчизняних целюлозно-паперових підприємств була прийнята Загальнодержавна цільова програма розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року, в якій передбачено використання соломи однорічних рослин для створення вітчизняної сировинної бази паперової промисловості. Однією з таких рослин є льон олійний, що вирощується в Україні тільки з метою одержання насіння. Стебла даної культури, які є потенційною сировиною для підприємств паперової галузі, зараз взагалі не використовують та вважають відходами виробництва, що спричиняє додаткові витрати для льоносіючих господарств на їх утилізацію. Зважаючи на досить великі посівні площі льону олійного в Україні та високий вміст целюлози у стеблах даної культури, розширення сировинної бази підприємств целюлозно-паперової промисловості за рахунок використання льону олійного є важливим економічним і науковим завданням.

Сировинне забезпечення підприємств целюлозно-паперової промисловості є однією з основних проблем галузі. Першочерговим завданням є забезпечення розвитку ринку вторинної сировини, тобто макулатури. Саме тому підприємства галузі продовжують вкладати значні інвестиції в розвиток системи заготівлі макулатури в Україні. У зв'язку з цим сьогодні завданням галузі є і забезпечення розвитку технологій, пов'язаних із використанням природних місцевих ресурсів, зокрема з переробленням соломи, вільний ресурс якої в Україні достатній.

Ключові слова: целюлозно-паперова промисловість; сировина; льон олійний; імпортозалежність.

С.В. ПУТИНЦЕВА

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0001-7850-0871

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

В данной работе определены потенциальные возможности использования лубяных культур для формирования отечественного ассортимента бумаги. Потенциальным источником сырья для целлюлозно-бумажной промышленности может стать лен масличный, посевные площади которого в Украине в последнее время значительно увеличились.

Для уменьшения импортозависимости отечественных целлюлозно-бумажных предприятий была принята Общегосударственная целевая программа развития целлюлозно-бумажной промышленности Украины и отечественного рынка картонно-бумажной продукции на период до 2020 года, в которой предусмотрено использование соломы однолетних растений для создания отечественной сырьевой базы бумажной промышленности. Одной из таких растений является лен масличный, что выращивается в Украине только с целью получения семян. Стебли данной культуры, которые являются потенциальным сырьем для предприятий бумажной отрасли, сейчас вообще не используют и считают отходами производства, что влечет дополнительные расходы для льоносіючих хозяйств на их утилизацию. Несмотря на довольно большие посевные площади льна масличного в Украине и высокое содержание целлюлозы в стеблах данной культуры, расширение сырьевой базы предприятий целлюлозно-бумажной промышленности за счет использования льна масличного является важным экономическим и научным задачей.

Сырьевое обеспечение предприятий целлюлозно-бумажной промышленности является одной из основных проблем отрасли. Первоочередной задачей является обеспечение развития рынка вторичного сырья, то есть макулатуры. Именно поэтому предприятия отрасли продолжают вкладывать

значительные инвестиции в развитие системы заготовки макулатуры в Украине. В связи с этим сегодня задачей отрасли является и обеспечение развития технологий, связанных с использованием природных местных ресурсов, в частности с переработкой соломы, свободный ресурс которой в Украине достаточный.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность; сырье; лен масличный; импортозависимость.

S. PUTINTSEVA

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0001-7850-0871

## THE POTENTIAL USE OF DOMESTIC RAW MATERIALS FOR PULP AND PAPER INDUSTRY OF UKRAINE

*This article identifies the potential use of bast cultures for the formation of domestic of paper assortment's. Oil flax can become a potential source of raw materials for the pulp and paper industry, the sown area of which in Ukraine has recently increased significantly.*

*To reduce the import dependence of domestic pulp and paper enterprises, a nationwide targeted program for the development of the pulp and paper industry of Ukraine and the domestic market of cardboard and paper products for the period up to 2020 was adopted. One such plant is oilseed flax, which is grown in Ukraine only for the purpose of obtaining seeds. The stems of this crop, which are a potential raw material for the paper industry, are currently not used at all and are considered production wastes, which entails additional costs for flax-growing farms to dispose of them. Despite the rather large acreage of oilseed flax in Ukraine and the high content of cellulose in the stems of this crop, expanding the raw material base of the pulp and paper industry through the use of oilseed oil is an important economic and scientific task.*

*The raw material supply of the pulp and paper industry is one of the major problems of the industry. The primary task is to ensure the development of the secondary raw materials market, or waste paper. That is why the enterprises of the industry continue to make significant investments in the development of waste paper processing system in Ukraine. In this regard, the task of the industry today is to ensure the development of technologies related to the use of natural local resources, in particular with the processing of straw, whose free resource in Ukraine is sufficient.*

*Keywords: pulp and paper industry; raw materials; flax oil; import dependence.*

### Постановка проблеми

Папір в Україні почали виробляти більше ніж 400 років тому. Целюлозно-паперова промисловість об'єднує підприємства, які з рослинної сировини виготовляють: папір, картон і вироби з них; штучне волокно; фібру та напівфабрикати (деревну масу); целюлозу. Основна сировина галузі – деревина хвойних порід і відходи її оброблення, меншою мірою – солома, волокно й костриця конопель і льону, бавовник, стебла очерету, рогозу, макулатура та ганчір'я. Однак сировинне забезпечення підприємств целюлозно-паперової промисловості є однією з основних проблем галузі.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Щорічно галузь забезпечує випуск товарів на 5,5 млрд. грн., при цьому 50 % його припадає на 15 потужних підприємств, розташованих у Львівській, Київській, Чернігівській, Житомирській, Дніпропетровській, Одеській і Хмельницькій областях [1].

Лідерами вітчизняної галузі є ПрАТ «Київський КПК», ПАТ «Слов'янські шпалери – КФТП», ПрАТ «Рубіжанський КТК», ПрАТ «Кохавинська паперова фабрика» та ВАТ «Ізмаїльський ЦКК». Серед найбільш успішно працюючих підприємств варто відзначити ВАТ «Малинська ПФ Вайдманн», ПрАТ «Кохавинська ПФ». У червні 2003 р. 14 провідних підприємств та організацій України, що працюють на вітчизняному ринку картонно-паперової продукції, об'єдналися в Асоціацію українських підприємств целюлозно-паперової галузі «Укрпапір». Сьогодні у складі Асоціації працює більше ніж 40 підприємств целюлозно-паперової галузі. Підприємства та організації – члени Асоціації – посідають чільне місце серед усіх виробників картонно-паперової продукції України [2].

Мета створення Асоціації – підвищення ефективності функціонування її членів, представлення та захист їх інтересів, сприяння економічному й соціальному розвитку підприємств целюлозно-паперового комплексу України та організацій, які працюють на ринку картонно-паперової продукції. Основним напрямом діяльності Асоціації є розроблення та реалізація Загальнодержавної цільової програми розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 р. у сфері інвестиційно привабливої політики.

21 березня 2006 р. відбулася офіційна процедура підписання Меморандуму про співпрацю Асоціації з Міжнародною фінансовою корпорацією. 3 липня 2006 р. здійснювалася практична робота з

компанією Jaakko Pöyry Consulting щодо розроблення Програми розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції до 2020 р.

У 2007 р. було завершено роботу над проектом Програми. Компанією Jaakko Pöyry Consulting було представлено обґрунтований документ, підготовлений на підставі детального аналізу існуючої ситуації та перспектив розвитку картонно-паперового ринку сусідніх з Україною країн. Проект містить багато конкретних пропозицій щодо напрямів розвитку галузі. Після цього виконавча дирекція Асоціації «Укрпапір» на основі отриманого документа почала розроблення проекту Загальнодержавної цільової програми розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 р. з метою подальшого надання даній цільовій програмі статусу державної.

За останні п'ять років на підприємствах – членах Асоціації було виготовлено близько 63 % загального обсягу виробництва паперу та картону в Україні, 97 % газетного паперу, 85 % офсетного паперу, 97 % картону коробкового, 77 % зошитів тощо [3].

Що ж до виробництва, експорту, імпорту та споживання картонно-паперової продукції в цілому й за окремими видами (газетний, офсетний, санітарно-гігієнічний папір, картон тарний, включаючи флотинг і коробковий, тара з гофрокартону, шпалери, зошити), то практично всі підприємства впродовж цього періоду працювали стабільно, щомісячно збільшуючи обсяги виробництва та підвищуючи якість виготовленої продукції.

Однак сировинне забезпечення підприємств картонно-паперової промисловості є однією з основних проблем галузі. Ця проблема не нова, проте економічний стан країни поки ще не дозволяє її вирішити. Сьогодні першочерговим завданням є забезпечення розвитку ринку вторинної сировини, тобто макулатури. Саме тому підприємства галузі продовжують вкладати значні інвестиції в розвиток системи заготівлі макулатури в Україні [3].

#### Формулювання мети дослідження

Отже, серед існуючих проблем галузі, перш за все, необхідно відзначити проблему сировинного забезпечення підприємств целюлозно-паперової промисловості. Як зазначалося раніше, це не нова проблема, розв'язання якої полягає у створенні в Україні потужностей із випуску целюлози. У зв'язку з цим сьогодні першочерговим завданням галузі є забезпечення розвитку технологій, пов'язаних із використанням природних місцевих ресурсів, зокрема з переробленням соломи, вільний ресурс якої в Україні достатній [4].

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Вітчизняна целюлозно-паперова промисловість має переважно переробний характер. Існуючі потужності підприємств галузі з виробництва паперу й картону розраховані головним чином на перероблення целюлозної сировини та макулатури. Відсутністю власної сировинної бази обумовлений розвиток виробництва малотоннажних і спеціальних видів паперу та картону – конденсаторного, антикорозійного, цигаркового паперу, паперу із синтетичних волокон для використання у військово-промисловому комплексі, пергаменту пакувального, фільтрувального паперу та картону, а також санітарно-гігієнічного паперу [1].

У структурі виробництва паперу та картону в Україні станом на 2013 рік переважало виготовлення тарного картону – 54,4 %. Найменшими були обсяги виробництва газетного – 0,9 % – та офсетного паперу – 0,8 % (рис. 1).

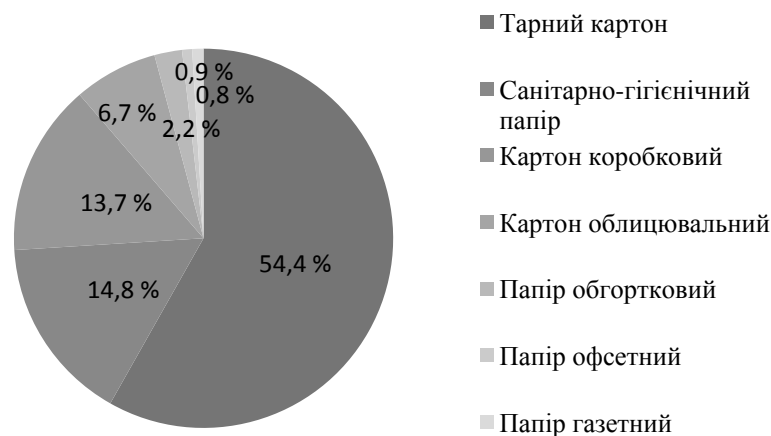


Рис. 1. Структура виробництва паперу та картону в Україні у 2013 році [5]

Вітчизняний ринок картонно-паперової продукції сьогодні оцінюється на рівні 1,5 млн. т споживання різних видів картону, паперу та виробів із них. Вказана потреба ринку забезпечується українською продукцією в обсязі понад 0,5 млн. т та продукцією іноземного походження в обсязі 1,0 млн. т на рік загальною вартістю близько 1,7 млрд. дол. США (табл. 1).

Таблиця 1

Виробництво, експорт, імпорт та споживання картонно-паперової продукції в Україні [5, 6]

Операція	Обсяг, тис. т					
	2000 р.	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.
Виробництво	409,6	1022,5	1016,7	1082,5	1111,2	1298,3
Експорт	117,9	147,1	133,8	146,8	144,3	104,0
Імпорт	320,7	108,8	104,5	111,6	117,1	101,7
Споживання	612,4	984,2	987,4	1047,3	1084,0	1296,0

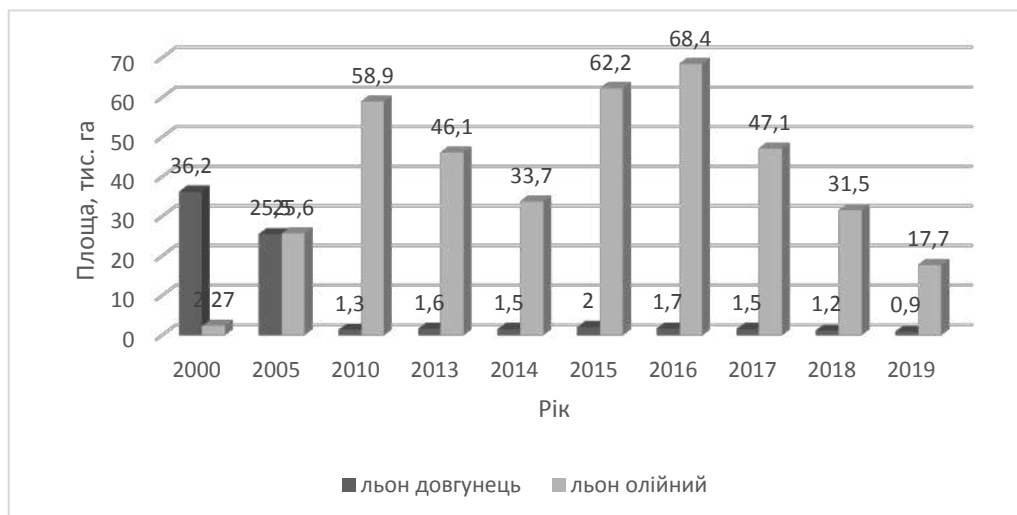
При цьому слід зазначити, що вітчизняні картонно-паперові підприємства щорічно експортують майже 50 % виготовленої продукції на суму 1,0 млрд. дол. США.

Зараз світова целюлозно-паперова промисловість опинилася в скрутному становищі, оскільки виробники целюлози підвищили ціни на свою продукцію [7]. Спочатку Metsä Fibre (Фінляндія) оголосила про підвищення цін на хвойну целюлозу (NBSK) в Європі з 1 березня 2013 року. Нова ціна становила 860 доларів за тонну. Потім до Metsä Fibre приєдналася Mercer International (Німеччина). Ця компанія також оголосила про підвищення європейських цін на хвойну целюлозу (NBSK) з 1 березня 2013 р. до 860 доларів за тонну. Після цього Stora Enso (фінсько-шведська лісопромислова компанія, одна з найбільших у світі) почала інформувати клієнтів про підвищення цін на північну білену хвойну целюлозу (NBSK) в Європі з 1 березня 2013 року до 700 євро за тонну. Södra (Швеція) у 2013 р. підвищила ціни в Європі на хвойну білену целюлозу до 870 доларів за тонну, а з 1 вересня 2014 р. – до 950 доларів за тонну [7]. Тенденція до підвищення закупівельних цін на целюлозу зберігається до цього часу. Таким чином, середня ціна імпортованої целюлози на 1 вересня 2015 р. у вітчизняній валюті становила 20 715 грн. за тонну.

Тому українські виробники намагаються замінити деревну целюлозу вторинною сировиною. Витрати на імпорту макулатуру в останні роки активно збільшуються. За даними Державної митної служби України, лише в 2014 році наша країна імпортувала майже 215 тис. т вторинної сировини на суму понад 45 млн. дол. Головними постачальниками макулатури для України були Польща, Угорщина, Молдова та Словаччина [8]. Однак собівартість продукції з імпорту макулатури також постійно зростає, що призводить до зменшення рентабельності виробництва целюлозно-паперової продукції. До того ж, для виготовлення деяких видів паперу необхідно застосовувати саме рослинну целюлозу. Проте виробництво паперу ускладнюється тим, що в Україні цей волокнистий напівфабрикат не виготовляється, тому підприємці імпортують його з-за кордону (близько 90 % від загального обсягу використання), а це суттєво підвищує ціну готової продукції [8].

Отже, серед існуючих проблем галузі, перш за все, необхідно відзначити проблему сировинного забезпечення підприємств целюлозно-паперової промисловості. Як зазначалося раніше, це не нова проблема, розв'язання якої полягає у створенні в Україні потужностей із випуску целюлози, проте економічний стан країни поки що не дозволяє її вирішити. У зв'язку з цим сьогодні першочерговим завданням галузі є забезпечення розвитку технологій, пов'язаних із використанням природних місцевих ресурсів, зокрема з переробленням соломи, вільний ресурс якої в Україні достатній [4].

Потенційним джерелом сировини для целюлозно-паперової промисловості може стати льон олійний, посівні площі якого в Україні протягом останнього часу значно збільшилися. Дана тенденція спостерігається по всій південно-східній частині країни, а особливо в Херсонській області. Так, з 2000 р. по 2019 р. посівні площі, відведені під цю культуру в Україні, мали різну динаміку і у 2016 році досягли близько 70 тис. га (рис. 2). Це пов'язано, насамперед, з великою вартістю насіння на світовому ринку.



**Рис. 2. Динаміка зміни посівних площ, відведених під льон в Україні у 2000-2019 роках**

Поряд із цим у нашій державі така цінна сировина, як стебла льону олійного, зовсім не використовується. Гірше того, вона спалюється або зорюється в ґрунт, що замість доходу спричиняє великі проблеми для льоносіючих господарств. У той же час науковцями Херсонського національного технічного університету під керівництвом професора Л.А. Чурсіної було встановлено, що в неоднорідній стебловій масі льону олійного, яка залишається на полі після збирання насіння, міститься значна кількість волокна – у середньому 19 %, а середній вміст целюлози становить приблизно 75 % залежно від методу оброблення [9]. Це свідчить, що через відсутність впровадження на вітчизняних підприємствах комплексної технології перероблення стеблової маси льону олійного тільки протягом 2012 року в Україні було втрачено майже 19,021 тис. т волокна, з них 13,315 тис. т целюлози. В Херсонській області у 2012 році посівні площі цієї культури становили 9,1 тис. га, отже, було втрачено 3,458 тис. т волокна, з них 2,420 тис. т целюлози [9].

#### Висновки

Таким чином, використання целюлози з волокон льону олійного буде сприяти імпортозаміщенню целюлозовмісних матеріалів, які на даний час завозяться в Україну з інших країн.

Виконуючи дослідження згідно з Загальнодержавною цільовою програмою розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року, вчені Херсонського національного технічного університету розробили технології отримання волокнистого напівфабрикату з луб'яної сировини – волокон льону олійного, льону-довгунця та конопель – для подальшого одержання паперу. Дані технології були розроблені у 2010-2016 рр. Показники якості отриманих волокнистих напівфабрикатів визначали за чинними стандартами на целюлозу та папір із деревної сировини, оскільки стандартів і технічних умов для паперової продукції з луб'яної сировини в Україні наразі немає.

#### Список використаної літератури

1. Зінченко Д.В. Проблеми та перспективи розвитку целюлозно-паперової промисловості України в умовах світового ринку [Електронний ресурс] / Д.В. Зінченко, Д.Р. Дунська // Актуальні проблеми економіки та управління: зб. наук. праць. – К.: КТУУ «КПІ», 2014. – Вип. 8. – Режим доступу: <http://probl-economy.kpi.ua/ru/node/398>.
2. Концепція загальнодержавної цільової програми розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року [Електронний ресурс] / Оф. сайт Міністерства промислової політики України. – Режим доступу: <http://industry.kmu.gov.ua/industry/control/uk/publish/article>.
3. Целюлозно-паперова промисловість України [Електронний ресурс] / Державна підтримка українського експорту. – Режим доступу: <http://ukrexport.gov.ua/ukr/prom/ukr/25.html>.
4. Швороб Г.М. Проблеми і перспективи розвитку целюлозно-паперової промисловості в Україні [Електронний ресурс] / Г.М. Швороб // Міжнародна інтернет-конференція «Формування та розвиток економіки в сучасних умовах господарювання». – Режим доступу: <http://www.wp.viem.edu.ua/konf2/art.php?id=0904>.
5. Державний комітет статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua).

6. Сумарний обсяг імпорту та експорту окремих груп товарів за кодами ТНЗЕД [Електронний ресурс] / Офіційний сайт Державної митної служби України. – Режим доступу: <http://arc.customs.gov.ua/dmsu/control/cstat/f2a/showstat>.
7. Содружество бумажных оптовиков [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.sbo-paper.ru/news/archive\\_world/39476/](http://www.sbo-paper.ru/news/archive_world/39476/).
8. Pasila A.A. New method for harvesting flax and hemp / A. Pasila // Nord flax: proceeding and abstracts of the 1st Nordic Conference on flax and hemp processing, 10-12 August 1998, – Tampere, Finland, 1998. – P. 149-158.
9. Наукові основи комплексної переробки стебел та насіння льону олійного: монографія / [Л.А. Чурсіна, Г.А. Тіхосова, О.О. Горач, Т.І. Янюк]. – Херсон: Олді-плюс, 2011. – 356 с.

#### References

1. Zinchenko D.V., Dunska D.R. Problemy ta perspektyvy rozvytku tseliulozno-paperovoi promyslovosti Ukrainy v umovakh svitovoho rynku [Problems and prospects of development of pulp and paper industry of Ukraine in the conditions of the world market]. – Aktualni problemy ekonomiky ta upravlinnia: zb. nauk. prats – Current Issues in Economics and Management: Coll. of sciences. works. – К.: KTUU «KPI», 2014. – N. 8. – Available at: <http://probl-economy.kpi.ua/ru/node/398>.
2. Kontseptsiiia zahalnodержavnoi tsilovoi prohramy rozvytku tseliulozno-paperovoi promyslovosti Ukrainy ta vitchyznianoho rynku kartonno-paperovoi produktsii na period do 2020 roku (Concept of the national target program of development of the pulp and paper industry of Ukraine and the domestic market of cardboard and paper products for the period up to 2020) / Of. sait Ministerstva promyslovoi polityky Ukrainy (Off. website of the Ministry of Industrial Policy of Ukraine) Available at: <http://industry.kmu.gov.ua/industry/control/uk/publish/article>.
3. Tseliulozno-paperova promyslovist Ukrainy (The pulp and paper industry of Ukraine) / Derzhavna pidtrymka ukraïnskoho eksportu (State support for Ukrainian exports) Available at: <http://ukrexport.gov.ua/ukr/prom/ukr/25.html>.
4. Shvorob H.M. Problemy i perspektyvy rozvytku tseliulozno-paperovoi promyslovosti v Ukraini [Problems and perspectives of development of pulp and paper industry in Ukraine]. Mizhnarodna internet-konferentsiia «Formuvannia ta rozvytok ekonomiky v suchasnykh umovakh hospodariuvannia» – International Internet Conference «Formation and development of the economy in the current conditions of management». Available at: <http://www.wp.viem.edu.ua/konf2/art.php?id=0904>.
5. Derzhavnyi komitet statystyky Ukrainy (State Statistics Committee of Ukraine) Available at: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua).
6. Sumarnyi obsiah importu ta eksportu okremykh hrup tovariv za kodamy TNZED (The total volume of imports and exports of individual groups of goods under CNZED codes) Ofitsiyni sait Derzhavnoi mytnoi sluzhby Ukrainy (The official website of the State Customs Service of Ukraine) Available at: <http://arc.customs.gov.ua/dmsu/control/cstat/f2a/showstat>.
7. Sodruzhestvo bumazhnykh optovykov (Commonwealth of paper wholesalers) Available at: [http://www.sbo-paper.ru/news/archive\\_world/39476/](http://www.sbo-paper.ru/news/archive_world/39476/).
8. Pasila A.A. New method for harvesting flax and hemp / A. Pasila // Nord flax: proceeding and abstracts of the 1st Nordic Conference on flax and hemp processing, 10-12 August 1998, – Tampere, Finland, 1998. – P. 149-158.
9. Naukovi osnovy kompleksnoi pererobky stebel ta nasinnia lonu oliinoho: monohrafiia (Scientific bases of complex processing of stems and linseeds) / [L.A. Chursina, H.A. Tikhosova, O.O. Horach, T.I. Yaniuk]. – Kherson: Oldi-plus, 2011. – 356 p.



УДК 637.12.05:637.3

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.15>

І.О. РЯПОЛОВА

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID: 0000-0002-7672-6639

Н.В. НОВІКОВА

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID: 0000-0001-5393-688X

## САНІТАРНО – ГІГІЄНІЧНІ ПОКАЗНИКИ МОЛОКА-СИРОВИНИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ СИРУ

У даній роботі наведено результати спостереження за умовами отримання молока-сировини яке призначене для виробництва сиру від різних груп постачальників, які умовно можна поділити на дві групи. До першої можна віднести ферми з належним виконанням гігієнічних вимог отримання молока-сировини. До другої групи - постачальники, де виявлено невідповідності належного виконання гігієнічних вимог отримання молока. Визначено можливі біологічні ризики при виробництві молока та контрольні міри по їх недопущенню. До молока, що направляється для виготовлення сирів, пред'являють підвищені гігієнічні вимоги. Між початком переробки молока і випуском готового продукту проходить тривалий час, і мікрофлора, що витримала пастеризацію може завдати шкоду якості продукції і здоров'ю людей. Режимы пастеризації молока при виробництві сиру значно м'якші і це не гарантує загибель усіх патогенних мікроорганізмів.

Встановлено, що молоко-сировина яке приймається на ПАТ «Новокаховський маслосирзавод» від різних груп постачальників може бути використана для виробництва різної продукції. Молоко отримане від корів із молочно - товарних ферм за мікробіологічними показниками та сичужно-бродильною пробою може бути використане для виробництва твердих сичужних сирів. Низька якість збірного молока-сировини (постачальник II групи) створює серйозні труднощі для переробних підприємств, які повинні гарантувати безпечність своєї кінцевої продукції для здоров'я людини, тому молоко від тварин приватного сектору може бути перероблене на вершкове масло або плавлені сирки. Виробництво молока належної якості та безпеки в умовах приватного сектору можливе із використанням системи контролю біологічних небезпечних чинників та розробкою контрольних заходів з метою мінімізації їх впливу. Також необхідно орієнтувати власників худоби на системне визначення небезпечних чинників і виконання запобіжних заходів, які суттєво впливають на безпеку молока.

Ключові слова: молоко-сировина, санітарно-гігієнічні вимоги, біологічні ризики, мезофільні мікроорганізми, соматичні клітини, бродильна проба.

І.А. РЯПОЛОВА

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

ORCID: 0000-0002-7672-6639

Н.В. НОВІКОВА

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

ORCID: 0000-0001-5393-688X

## САНІТАРНО – ГІГІЄНІЧЕСКІЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОКА-СЫРЬЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО СЫРА

В данной работе приведены результаты наблюдения за условиями получения молока-сырья предназначенного для производства сыра от различных групп поставщиков, которые условно можно разделить на две группы. В первую отнести фермы с надлежащим исполнением гигиенических требований получения молока-сырья. Ко второй группе - поставщики, где выявлены несоответствия надлежащего выполнения гигиенических требований получения молока. Определены возможные биологические риски при производстве молока и контрольные меры по их недопущению. К молоку, которое предназначено для изготовления сыров, предъявляют повышенные гигиенические требования. Между началом переработки молока и выпуском готового продукта проходит длительное время, и посторонняя микрофлора выдержавшая пастеризацию, может нанести ущерб качеству продукции и здоровью людей. Режимы пастеризации молока при производстве сыра значительно мягче и это не гарантирует гибель всех патогенных микроорганизмов.

Установлено, что молоко-сырье, которое принимается на ПАТ «Новокаховский маслосырзавод» от различных групп поставщиков может быть использовано для производства различной продукции. Молоко, полученное от коров с молочно - товарных ферм (поставщик I группы) по микробиологическим показателям и сычужно-бродильной пробе может быть использовано для

*производства твердых сычужных сыров. Низкое качество сборного молока-сырья (поставщик II группы) создает серьезные трудности для перерабатывающих предприятий, которые должны обеспечить безопасность своей конечной продукции для здоровья человека, поэтому молоко от животных частного сектора может быть переработано на масло или плавленые сырки. Производство молока надлежащего качества и безопасности в условиях частного сектора возможно с использованием системы контроля биологических опасных факторов и разработкой контрольных мероприятий с целью минимизации их влияния. Поэтому, необходимо ориентировать владельцев скота на системное определение опасных факторов и выполнения мер, которые будут существенно влияют на безопасность молока.*

*Ключевые слова: молоко-сырье, санитарно-гигиенические требования, биологические риски, мезофильные микроорганизмы, соматические клетки, бродильная проба.*

I.O. RYAPOLOVA

Kherson State Agrarian and Economic University

ORCID: 0000-0002-7672-6639

N.V. NOVIKOVA

Kherson State Agrarian and Economic University

ORCID: 0000-0001-5393-688X

### SANITARY AND HYGIENE INDICATORS OF MILK AS RAW MATERIAL THAT EFFECTING ON CHEESE QUALITY

*This paper presents the results of observations on the conditions of raw milk obtaining, which is intended for the production of cheese from different groups of suppliers, which can be divided into two groups. The first includes farms with independent execution of hygienic requirements of raw milk obtaining. The second group includes suppliers who find that the hygienic requirements of milk production. Possible biological risks in milk production and control measures for their prevention have been identified. To the milk sent for the production of cheese, have high hygienic requirements. There is a long period of time between the beginning of the processing of milk and the release of the finished product, and the foreignness microbial flora that withstood pasteurization can be detrimental to product quality and human health. The pasteurization regimes of milk in the production of cheese are much softer and this does not guarantee the death of all pathogenic microorganisms.*

*It is established that the raw milk that is accepted at public limited company "Novokakhovsky Butter Cheese Factory" from different groups of suppliers can be used for production of different products. Milk obtained from cows from dairy farms by microbiological parameters and rennet digestion can be used for the production of hard rennet cheeses. The low quality of raw milk (supplier group II) creates serious difficulties for processing companies, which must guarantee the safety of their final products for human health, so milk from animals of private sector can be processed into butter or cream cheese. The production of adequate quality and safety milk in the private sector is possible using a system of biological hazards control and developing control measures to minimize their impact. It is also necessary to orient livestock owners to the systematic identification of hazardous factors and the implementation of preventive measures that significantly affect on milk safety.*

*Keywords: milk raw materials, hygiene requirements, biological risks, mesophilic microorganisms, somatic cells, fermentation test.*

#### Постановка проблеми

Випуск гарантовано безпечної та якісної молочної продукції у світовій практиці забезпечується впровадженням у виробництво внутрішніх систем контролю безпеки та якості, інтегрованих у процес отримання продукції, зокрема, системи НАССР, що функціонує відповідно до міжнародних стандартів. До безпечності та якості молока пред'являють особливі вимоги, оскільки за найменшого порушення санітарно-гігієнічних правил його одержання та первинної обробки воно може стати сприятливим середовищем для розвитку патогенних мікроорганізмів. Рекомендовані гігієнічні принципи стосуються розміщення, облаштування, оснащення підприємств харчової промисловості та особистої гігієни працівників харчового підприємства, гігієнічного контролю під час первинного виробництва, перероблення, зберігання та транспортування харчових продуктів, технічного обслуговування обладнання та інвентарю, прибирання, чищення та санітарної обробки приміщень і засобів обслуговування, інформації про продукт та поінформованості споживачів [1].

Загальні принципи гігієни харчових продуктів встановлені в стандарті Кодекс Аліментаріус «Рекомендований міжнародний Кодекс загальних принципів гігієни харчових продуктів», прийнятому в 1969 році [2].

Якість молока формується в ході всього технологічного процесу, починаючи з кормів та закінчуючи реалізацією молока, тому систему якості НАССР в технології виробництва молока в господарстві необхідно розділити на наступні етапи: заготівля, зберігання кормів та повноцінна годівля

корів, створення комфортних умов їх утримання; підготовчі роботи перед доїнням, процес доїння та подальший шлях прямування молока: очищення, охолодження, зберігання та транспортування його на переробні підприємства [3].

Для виробників молока найбільш ефективною системою управління якістю продукції є система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) – аналіз ризиків та критичних контрольних точок (ККТ). Визначення ККТ дозволяє своєчасно виявляти причини зниження якості показників та проводити коригувальні дії.

Визначення ризиків включає оцінку вірогідності, потрапляння чи розповсюдження небезпечного агента з точки зору санітарних та фітосанітарних заходів, що можуть бути застосовані, а також оцінку пов'язаних з цим біологічних й економічних наслідків, або оцінку можливостей виникнення негативного впливу на здоров'я.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Аналіз чинників, які негативно впливають на якість молока в умовах його виробництва, свідчить про те, що основні із них – забруднення під час процесу доїння. Саме за період виконання даної технологічної операції у молоко потрапляють механічні домішки, які є носіями великої кількості бактерій, і які, потрапляючи в молоко, швидко розвиваються, бо знаходять там сприятливе поживне середовище.

Умовно ферми з виробництва молока можна поділити на дві групи. До першої - віднести ферми з належним виконанням гігієнічних вимог отримання молока-сировини. Де є наявні доїльні зали, виконується контроль належного очищення молокопроводів та догляду за вим'ям, введено систему винагороди операторів машинного доїння за належні показники якості молока-сировини. До другої – ферми, де виявлено невідповідності належного виконання гігієнічних вимог отримання молока, а саме відсутні доїльні зали, доїння проводиться безпосередньо в стійлах, не передбачено специфічної системи контролю очищення молокопроводів та догляду за вим'ям. До другої групи можна віднести і приватних постачальників молока.

За даними Л.А. Кондрасій [4], на фермах першої групи встановлено стабільність впродовж року якості молока-сировини за показниками, які визначено чинним національним стандартом, що дає можливість не проводити контроль кожної партії молока під час закупівлі. Але, доцільно розробити систему моніторингу показників кількості мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів та соматичних клітин протягом року. Молоко-сировина з ферм другої групи, навпаки, вимагає постійного контролю з метою гарантування безпечності та якості молока. На цих фермах необхідне впровадження заходів щодо поліпшення гігієнічних вимог отримання молока-сировини належної якості, цьому буде сприяти підвищення рівня обізнаності спеціалістів, відповідальних за проведення контролю якості молока.

#### **Формування мети дослідження**

До молока, що направляється для виготовлення сирів, пред'являють підвищені гігієнічні вимоги. Режими пастеризації молока при виробництві сира значно м'якші і це не гарантує загибель усіх патогенних мікроорганізмів. Можуть зберігатися коагулазо - позитивні стафілококи. Між початком переробки молока і випуском готового продукту проходить тривалий час, і стороння мікрофлора, що витримала пастеризацію може завдати шкоди якості продукції і здоров'ю людей.

Для оцінки якості молока проводять редуцтазну пробу. Однак молоко, що відповідає вимогам за бактеріальним обсіменінням може містити спори мезофільних анаеробних лактатзброджувальних бактерій і бути непридатним для виробництва сиру. Тому оцінка якості молока тільки за редуцтазною пробю недостатня.

Присутність у молоці невеликої кількості мезофільних анаеробних лактатзброджувальних бактерій викликає псування сирів (бродіння, утворення рваного малюнка, прогірклий смак). Спори цих м/о потрапляють у молоко із силосу, повітря, ґрунту. Ступінь обсіменіння молока спорами мезофільних анаеробних лактатзброджувальних бактерій залежить від санітарного стану ферм, дотримання санітарно-гігієнічних правил одержання молока.

Небезпечним для людей є обсіменіння молока коагулазопозитивними стафілококами. При наявності сприятливих умов вони розвиваються в молоці і виробляють токсин, який не знищується пастеризацією, що може призвести до харчових отруень при вживанні сиру.

Сире молоко може бути контаміноване і сальмонелами, але вони при прийнятих режимах пастеризації гинуть. Деякі термостійкі штами сальмонел, що зберігаються в молоці після пастеризації, можуть викликати харчове отруєння при вживанні в їжу зрілих сирів. Сальмонели потрапляють у молоко від хворих тварин, обслуговуючого персоналу, через воду, корми. Молоко від корів, хворих сальмонельозом, заборонено здавати на підприємства молочної промисловості.

Сире молоко містить бактерії з групи кишкової палички, які звичайно гинуть при пастеризації. Однак іноді виявляють поодинокі мікроорганізми цієї групи. У процесі виготовлення сирів створюються умови, при яких кишкова паличка посилено розмножується і досягає великої кількості. Це може бути при

уповільненому перебігу молочнокислого бродіння. При подальшому дозріванні сирів бактерії кишкової палички гинуть.

При виробництві сирів необхідно дотримувати параметри технологічного процесу, не допускати використання молока, що містить речовини-інгібітори, маститного молока. Молоко, призначене для виготовлення сичужних сирів, повинне відповідати вимогам вищого чи першого сорту.

Метою роботи було дослідження якості молока-сировини від різних постачальників Херсонської області за біологічними ризиками, яке призначене для виробництва сиру в умовах ПАТ «Новотроїцький маслосирзавод».

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Згідно завдання нашого дослідження розглянемо поетапно можливі біологічні ризики при виробництві молока та контрольні міри по їх недопущенню:

- період лактації – можуть мати місце біологічні небезпеки (патогенні мікроорганізми, клінічний і субклінічний мастит, збудники інфекційних хвороб). Причинами їх виникнення є недотримання технологічних схем вакцинації, несвоєчасна діагностика маститу, перехресне зараження від обслуговуючого персоналу, через природних носіїв (мишовидні гризуни, птахи, комахи). На даному технологічному етапі до контрольних мір слід віднести - профілактичну вакцинацію, диспансеризацію, дезінфекцію, дератизацію, дезінсекцію, особисту гігієну працівників, медичне обстеження. Контроль за якістю кормів. Виконання ветеринарно-санітарних вимог під час застосування ветеринарних препаратів;

- процес доїння корів – є ризики біологічного характеру: сапрофітні, патогенні та умовно – патогенні мікроорганізми причиною яких є мікрофлора внутрішніх каналів вимені, поверхнева мікрофлора вимені та дійок, мікрофлора рук оператора доїння, мікрофлора доїльного обладнання, молокопроводів, молокозбиральної тари, технологічного обладнання.

Як зазначає А.П. Палій [5], з точки зору дотримання санітарних норм і здоров'я вимені корови, оператор доїння повинен піклуватися про достатню гігієну під час всього технологічного процесу. При гігієнічній обробці рук слід дотримуватися певної техніки, оскільки спеціальні дослідження показали, що при проведенні гігієни рук певні ділянки шкіри залишаються контамінованими. Так, при гігієні рук найчастіше пропускаються наступні ділянки шкіри: кінчики пальців (найбільш контаміновані, оскільки усі дії здійснюються за допомогою кінчиків пальців); міжпальцеві проміжки, великий палець (рідко піддаються дії при проведенні гігієни рук). Таким чином, техніка гігієни рук передбачає обробку усіх ділянок шкіри рук. Контроль санітарного стану в приміщені, гігієнічна обробка вимені перед доїнням, правильно проведена гігієна рук, здоювання перших порцій молока в окрему тару, ретельна обробка доїльного обладнання, молокопроводів, молокозбиральної тари - є контрольними мірами на даному технологічному етапі;

- транспортування молока до молокопереробних підприємств - при недотриманні температурного режиму під час збору та перевезення молока, змішування молока від здорових та маститних корів можуть мати місце біологічні ризики. При неякісному промиванні молокозбиральної тари – хімічні. Для усунення небезпек необхідно відокремлювати молоко від здорових і хворих тварин. Здійснювати температурний контроль під час охолодження вимірювальними пристроями та контролювати якість промивання молокозбиральної тари.

Чисельність бактерій у сирому молоці є індикатором здоров'я молочного стада, санітарно-гігієнічних умов при доїнні та зберіганні, а також мірою ризику його псування. Мікробіологічна якість молока впливає на вихід і якість молочних продуктів.

Для повної санітарно-гігієнічної оцінки діяльності молочно-товарних ферм та пунктів зі збору молока на селі, було проведено порівняльні дослідження показників якості та безпеки молока-сировини. Така комплексна порівняльна оцінка дозволить виявити найбільш вагомі чинники, які знижують гатунок молока, та розробити превентивні санітарні заходи. Для порівняння у табл. 1 наведено результати досліджень молока, заготовленого через різні групи постачальників молока-сировини: перша (I) група – молочно-товарні ферми, друга (II) група збірні пункти з охолодженням молока.

Таблиця 1

#### Показники якості молока-сировини отриманої від різних груп постачальників

Показники	Група постачальників молока-сировини	
	I група	II група
Кислотність, °Т	16,78±0,22	18,05±0,27
Густина, кг/м <sup>3</sup>	1028,12±0,46	1027,52±0,51
Вміст жиру, %	3,68±0,2	3,25±0,22
Вміст білка, %	3,2±0,17	3,18±0,21
Кількість соматичних клітин, тис	218,6±26,9	552,78±31,2
КМАФАнМ, КУО	2,9x10 <sup>5</sup> ±0,27	4,6x10 <sup>6</sup> ±0,31

Отримані показники свідчать, що молоко отримане від підприємств першої групи за кількістю мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів та соматичних клітин відповідає вищому гатунку. Молоко отримане від постачальників другої групи – особистих підсобних господарств на збірних пунктах відповідає другому гатунку.

Для визначення ризиків мікробіологічної безпеки у процесі отримання молока, ми визначили мікрофлору повітря приміщень утримання тварин, води, бактеріального обсіменіння рук операторів доїння. Дослідження мікрофлори повітря седиментаційним методом показало варіювання кількості мікроорганізмів в 1 м<sup>3</sup> приміщення перед видаленням гною і після видалення, перед початком доїння. Отримані дані свідчать, що кількість мікроорганізмів у 1 м<sup>3</sup> повітря перевищують допустимий рівень для тваринницьких приміщень (80 тис./м<sup>3</sup>) і становлять 141,8 та 408,8 тис./м<sup>3</sup> відповідно до першої та другої груп постачальників молока.

При дослідженні бактеріального забруднення води, яку використовували для вологого туалету вимені, ополіскування обладнання, інвентарю, тари і т.п. встановлено значне перевищення допустимого рівня. Кількість мікроорганізмів у 1 мл води становила 1543,5 та 1816 КУО, що у 15 та 18 разів перевищує стандарт для водопровідної води і у 5 та 6 разів для колодязної. Також при висіві досліджуваної води на поживне середовище Ендо, якою користувалися у особистому підсобному господарстві, у одній з чашок Петрі було виявлено дві колонії які за культуральними властивостями були віднесені до БГКП.

Для зменшення впливу екзогенних факторів на забруднення молока мікроорганізмами необхідно використовувати водопровідну воду, що відповідає чинним нормативним документам на питну воду. Вода зі свердловин також повинна відповідати цим вимогам і підлягати необхідному контролю в повному обсязі.

Визначення санітарно – гігієнічного стану рук доярок показує, що миття рук гарячою водою з милом знижувало бактеріальне обсіменіння рук доярок майже у 16 разів.

Відомо, що в обсіменінні молока мікрофлорою важливе значення має обробка вимені перед доїнням. Переддоїльна обробка вимені – доступний і ефективний спосіб зниження механічного забруднення і бактеріального обсіменіння молока. Дослідження показало, що волога обробка вимені перед доїнням зменшує не тільки загальну чисельність бактерій більше ніж у шість разів, а і впливає на кількість БГКП. Крім того, фіксація хвоста корів під час обробки перед доїнням та під час доїння сприяє зниженню мікробного обсіменіння молока.

Досліджено, що у сирому охолодженому до 3-5°C молоці після змішування (постачальники II групи) відбувається підвищення кількості мікроорганізмів (на 20%). Далі, після збереження молока протягом 24 годин, їх кількість дещо зменшується за рахунок дії бактерицидних речовин (бактерицидна фаза). Але, бактеріальне обсіменіння молока від початку технологічного процесу до відправлення на переробне підприємство збільшується на 17%.

До молока, що направляється для виготовлення сирів, пред'являють підвищені гігієнічні вимоги.

За гігієнічними показниками для сироваріння придатне молоко I класу за бродильною і не нижче II класу за сичужно-бродильною пробою. Дослідження молока-сировини від різних груп постачальників за гігієнічними показниками наведено у табл. 2.

Таблиця 2

#### Гігієнічні показники молока, призначеного для виробництва сичужних сирів

Показники	Норма	Група постачальників	
		I	II
Група чистоти за еталоном	I	вищий гатунок	II клас
Бактеріальне обсіменіння (не більше) тис мікроб. клітин у 1 дм <sup>3</sup>	500	<200	< 4000
Кількість спор мезофільних анаеробних лактатзброджуючих бактерій (мікробн. клітин у 1 дм <sup>3</sup> )	10	9	15
Клас за сичужно-бродильною пробою (не нижче)	II	I	III
Кількість соматичних клітин тис у 1 мл (не більше)	500	<300	<650

Отже, молоко-сировина яке приймається на ПАТ «Новокаховський маслосирзавод» від різних груп постачальників може бути використана для виробництва різної продукції. Так, молоко отримане від корів із молочно - товарних ферм за мікробіологічними показниками та сичужно-бродильною пробою може бути використане для виробництва твердих сичужних сирів. Низька якість збірного молока-сировини (постачальник II групи) створює серйозні труднощі для переробних підприємств, які повинні гарантувати безпечність своєї кінцевої продукції для здоров'я людини, тому молоко від тварин приватного сектору може бути перероблене на вершкове масло або плавлені сирки.

### Висновки

Важливим показником який впливає на ціну є якість молока. Закупівельні ціни по Херсонській області від підприємств восени 2019 року в середньому становили: на молоко «екстра» – 9,49 грн., вищого гатунку – 8,93 грн., першого гатунку 8,5 грн., другого гатунку від підсобних господарств населення – 5,6 грн. [6]. Проведені розрахунки дають можливість стверджувати, що для постачальників другої групи належне гігієнічне виробництво молока-сировини яке можна здавати першим гатунком дозволить підсобному господарству населення отримати додаткові кошти у розмірі 66,0 грн. на одну корову за добу практично без додаткових капіталовкладень. Для постачальників першої групи які отримують молоко переважно вищого та першого гатунку підвищення якості молока-сировини дозволить отримати додатково 28762,5 грн. за добу на дійне стадо у 1260 голів.

### Список використаної літератури

1. Столярчук П.С., Остап'юк С.Д. Встановлення граничних значень критичних точок контролю за системою HACCP при виробництві вершкового масла, 2013: URL: <http://vlp.com.ua/node/10998>.
2. Кодек Аліментаріус URL: <http://govuadocs.com.ua/docs/3036/index-23342.html?page=6>.
3. Белов Ю.П. Розробка та впровадження системи управління безпечністю харчових продуктів HACCP. Світ Якості України. 2005. № 2. С. 42–45.
4. Кондрасій Л.А. Науково-практичне обґрунтування критерії оцінки якості молока-сировини з урахуванням вимог законодавства ЄС: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. вет. наук 16.00.09. Київ, 2018. 24 с.
5. Палій А.П. Визначення критичних контрольних точок при виробництві високоякісного молока. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького. Львів, 2015. Том 17. № 3 (63). С. 277–281.
6. Закупівельні ціни на молоко пішли вгору URL: <http://agroportal.ua/ua/news/zhivotnovodstvo/zakupochnye-tseny-na-moloko-poshli-vverkh/>

### References

1. Stolyarchuk P.S., Ostap'yuk S.D. The establishment of boundary values of critical points for the control of the HACCP system for high oil prices, 2013: URL: <http://vlp.com.ua/node/10998>.
2. Codex Alimentarius URL: <http://govuadocs.com.ua/docs/3036/index-23342.html?page=6>.
3. Belov Yu.P. Rozrobka that vprovadzheniya system and management of security products of HACCP. Holy Yakosti of Ukraine. 2005. No. 2. P. 42–45.
4. Kondrasiy L.A. Scientifically-practical obruntuvannya criteria for evaluating the brightness of milk-syrovini from urahuvannyam vimog legislation ЄС: author. dis. on the health sciences. Candidate degree vet. Sciences 16.00.09. Kyiv, 2018.24 p.
5. Paliy A.P. Recognition of critical control points for high milk. Science Newsletter of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. S.Z. Gzhitsky. Lviv, 2015. Volume 17. No. 3 (63). S. 277–281.
6. Purchased milk prices sent to the city URL: <http://agroportal.ua/ua/news/zhivotnovodstvo/zakupochnye-tseny-na-moloko-poshli-vverkh/>

УДК 664.66+664.748

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.16>

Б.М. ТАНАСІЙЧУК

Херсонський державний аграрно-економічний університет

Ю.Є. МЕШКОВ

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-2506-7020

## ШЛЯХИ ПОДОВЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ЗБЕРІГАННЯ ХЛІБА

У статті розглядаються проблеми черствіння хліба, які мають велике соціальне і економічне значення. Черствіння хліба зумовлене його висиханням і старінням високополімерів — крохмалю та білка. В результаті цих процесів знижується гідрофільність колоїдів хліба, погіршується здатність м'якушки до набухання та поглинання води. Факторами, що впливають на черствіння, є склад рецептури, параметри технологічного режиму виробництва хліба, структура пористості хліба, умови зберігання. Над подовженням тривалості зберігання хлібобулочних виробів працюють багато науковців.

Відома практика подовження терміну зберігання хлібобулочних виробів із застосуванням ферментних препаратів, поверхнево-активних речовин, комплексних поліпшувачів якості. Найбільш широко застосування у виробництві хліба знайшли поліпшувачі з б-амілазою, активність яких залежить від походження. Результати їх застосування розрізнені. Порівняльної оцінки впливу поліпшувачів нового покоління на процес черствіння хліба не проводилось.

Використовуючи комплексні поліпшувачі Мажимікс «Свежесть» з білою етикеткою, Мажимікс «Эффект» з жовтою етикеткою (виробництво Франції), та ферментного препарату Новаміл (виробництва Данії), які впливають на процес черствіння хлібобулочних виробів проводиться порівняльна оцінка для вивчення технологічних властивостей поліпшувачів, та їх вплив на процес черствіння та якість хліба; встановлення найбільш оптимальних дозувань поліпшувачів і діапазонів, які забезпечують сповільнення процесу черствіння; дослідження впливу поліпшувачів на біохімічні та мікробіологічні процеси в тісті, а також на його структурно-механічні властивості.

Якість напівфабрикатів оцінюється за показниками: вологістю, титрованою та активною кислотністю, газоутворенням за повний період бродіння, розпливанням кульки тіста, збільшенням питомого об'єму тіста під час бродіння.

Ключові слова: гідрофільність, ферментативні препарати, б-амілаза, поверхнево-активні речовини, деформаційні характеристики, мікробіологічні процеси.

Б.М. ТАНАСІЙЧУК

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

Ю.Е. МЕШКОВ

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0002-2506-7020

## ПУТИ ПРОДЛЕННЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ХРАНЕНИЯ ХЛЕБА

В статье рассматриваются проблемы очерствения хлеба, имеющие большое социальное и экономическое значения. Очерствение хлеба обусловлено его высыханием и старением высокополимеров — крахмала и белка. В результате этих процессов снижается гидрофильность коллоидов хлеба, ухудшается способность мякиши к набуханию и поглощению воды. Факторами, которые влияют на очерствение, есть состав рецептуры, параметры технологического режима производства хлеба, структура пористости хлеба, условия хранения. Над удлинением продолжительности хранения хлебобулочных изделий работают много научных работников.

Известная практика удлинения срока хранения хлебобулочных изделий с применением ферментных препаратов, поверхностно-активных веществ, комплексных улучшителей качества. Наиболее широкое применение в производстве хлеба нашли улучшители с би-амилазой, активность которых зависит от происхождения. Результаты их применения разрознены. Сравнительной оценки влияния улучшителей нового поколения на процесс очерствения хлеба не проводилось.

Используя комплексные улучшители Мажимікс «Свежесть» с белой этикеткой, Мажимікс «Эффект» с желтой этикеткой (производство Франции), и ферментного препарата Новаміл (производства Дании), которые влияют на процесс очерствения хлебобулочных изделий, проводится сравнительная оценка для изучения технологических свойств улучшителей, и их влияние на процесс очерствения и качество хлеба; установление наиболее оптимального дозирования улучшителей и диапазонов, которые обеспечивают замедление процесса очерствения; исследование влияния

улучшителей на биохимические и микробиологические процессы в тесте, а также на его структурно-механические свойства.

Качество полуфабрикатов оценивается по показателям: влажностью, титрованной и активной кислотностью, газообразованием за полный период брожения, розпыливанием шарика теста, увеличением удельного объема теста во время брожения.

Ключевые слова: гідрофільність, ферментативные препараты, б-амилаза, поверхностно-активные вещества, деформационные характеристики, микробиологические процессы.

V.M. TANASIYCHUK  
Kherson State Agrarian and Economic University  
Yu.Ye. MIESHKOV  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-2506-7020

## WAYS TO EXTEND BREAD STORAGE DURATION

The article discusses the problems of bread grain, which are of great social and economic importance. The bread grain is caused by its drying and aging of high polymers — starch and protein. As a result of these processes, the hydrophilicity of bread colloids decreases, and the ability of the crumb to swell and absorb water decreases. Factors that influence the grain are the recipe composition, the parameters of the technological bread production regime, the structure of porosity of bread, storage conditions. Many scientists are working to extend the shelf life of bakery products.

It is a well-known practice of the shelf life of bakery products extension using enzyme preparations, surfactants, and complex quality improvers. Improvers with bi-amylase, the activity of which depends on the origin, are most widely used in the bread production. The results of their use are scattered. A comparative assessment of the influence of new generation improvers on the process of bread hardening was not carried out.

Using complex improvers Majimix "Freshness" with a white label, Majimix "Effect" with a yellow label (made in France), and Novamil enzyme preparation (made in Denmark), which affect the process of bakery products grain, a comparative assessment is carried out to study the technological properties of improvers, and their influence on the process of solidification and quality of bread; the establishment of the most optimal dosage of improvers and ranges that provide a slowdown of the grain process; study of the effect of improvers on biochemical and microbiological processes in the test, as well as on its structural and mechanical properties.

The quality of semi-finished products is assessed by indicators: humidity, titrated and active acidity, gas formation during the full period of fermentation, spattering of a dough ball, increase in the specific volume of dough during fermentation.

Keywords: hydrophilicity, enzymatic preparations, b-amylase, surfactants, deformation characteristics, microbiological processes.

### Постановка проблеми

Порівняльної оцінки впливу поліпшувачів нового покоління на процес черствіння хліба не проводилось. Черствіння хліба зумовлене його висиханням і старінням високополімерів — крохмалю та білка. В результаті цих процесів знижується гідрофільність колоїдів хліба, погіршується здатність м'якушки до набухання та поглинання води. Факторами, що впливають на черствіння, є склад рецептури, параметри технологічного режиму виробництва хліба, структура пористості хліба, умови зберігання.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Згідно з Законом України «Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини», «Харчова добавка — природна чи синтетична речовина, яка спеціально вводиться у харчовий продукт для надання йому бажаних властивостей».

До харчових добавок відносяться речовини, а також їх суміші, які самі по собі не споживаються в якості харчового продукту, а направлено вносяться в харчовий продукт для виконання певних функцій: покращання його структури, смаку, аромату, подовження терміну зберігання тощо. До харчових добавок не відносять речовини, які додають з метою підвищення харчової цінності продуктів харчування, наприклад вітаміни, макро і мікроелементи, амінокислоти [1, 2, 3].

Існує система цифрової кодифікації харчових добавок, яка включена в кодекс ВОЗ-ФАО (ВОЗ — Всесвітня організація охорони здоров'я, ФАО — Всесвітня продовольча і сільськогосподарська організація ООН) [3].

Кожній харчовій добавці присвоєний три - або чотиризначний номер з літерою Е, який застосовується в сполученні з назвою класів, що відображають групування харчових добавок за технологічними функціями [1, 2, 3].

Всі харчові добавки поділені на 23 класи: кислоти, регулятори кислотності, речовини, що запобігають злежуванню, грудкуванню, антиокисники, наповнювачі, барвники, консерванти, загусники,



желюючі речовини, стабілізатори, емульгатори, підсилювачі смаку та аромату, розрихлювачі, підсолоджувачі тощо [1,2].

Залежно від функціонального призначення і принципу дії харчові добавки, що застосовуються у хлібопекарському виробництві, вчені об'єднують у кілька груп [1,2, 3].

#### **Формулювання мети дослідження**

Метою роботи було проведення порівняльної оцінки впливу комплексних поліпшувачів на процес газоутворення, кислотність, формостійкість пшеничного тіста та черствіння хлібобулочних виробів.

#### **Викладення основного матеріалу дослідження**

При використанні харчових добавок повинна бути забезпечена відсутність токсичної, канцерогенної, мутагенної, алергенної чи іншої несприятливої для організму людини дії харчових продуктів при їх споживанні у загальноприйнятних кількостях [3].

На цей час у різних країнах світу у виробництві харчових продуктів застосовують більше 500 різних добавок, без врахування ароматизаторів і комбінованих добавок [1].

У хлібопекарському виробництві харчові добавки здебільшого використовують з метою покращання якості продукції при переробленні борошна з низькими хлібопекарськими властивостями, інтенсифікації технологічного процесу, для покращання структурно-механічних властивостей тіста, об'єму хліба, структури м'якшки, смаку, аромату, подовження терміну зберігання виробів [1].

У хлібопекарському виробництві багатьох країн використовують комплексні поліпшувачі якості, до складу яких входить декілька харчових добавок різного напрямку дії, у результаті чого вони мають поліфункціональні властивості. Вибір виду поліпшувача і його дозування залежить від хлібопекарських властивостей борошна, способу та режиму приготування тіста, його рецептури. Кількість поліпшувача, яку необхідно внести в опару чи тісто, уточнюють шляхом проведення пробних випікань [1, 2].

Комплексні хлібопекарські поліпшувачі (КХП) — це композиційні добавки поліфункціональної дії, до складу яких входять у певному співвідношенні декілька інгредієнтів різного принципу дії. Вміст окремих інгредієнтів у КХП, їх співвідношення обумовлюються цільовим технологічним призначенням того чи іншого КХП.

До складу КХП входять у різній кількості ферментні препарати, окислювачі (аскорбінова кислота, пероксид кальцію або ін.), відновники (L-цистеїн, тіосульфат натрію тощо), гідроколоїди (модифікований крохмаль, суха клейковина тощо), поверхнево-активні речовини (моно і дигліцериди жирних кислот, лецитин або ін.), органічні кислоти (лимонна, яблучна, молочна або ін.), мінеральні солі для живлення дріжджів або як консервуючі засоби, що запобігають псуванню продукції (пропіонат натрію, ацетат калію чи кальцію, сорбінова кислота або її солі). Окремі види комплексних поліпшувачів містять наповнювач - екструдоване або звичайне пшеничне борошно, соєве борошно, висівки та ін [1,2,4].

Комплексні поліпшувачі виробляють здебільшого у вигляді порошків або паст. Дозують їх у кількості від 0,1 до 3,0% до маси борошна. Дозу поліпшувача уточнюють пробним випіканням [1, 2, 3].

Завдяки синергічному ефекту складових частин комплексних препаратів є можливість скоротити дозування кожного окремого компоненту приблизно вдвічі порівняно із загально прийнятим [2, 3, 4].

На цей час на українському ринку зарубіжні фірми пропонують велику кількість КХП різної дії.

Фірма «Пакмая» (Туреччина) пропонує декілька КХП серії Ека. В їх складі містяться амілолітичні ферменти, поверхнево-активні речовини, органічні кислоти, вітаміни, мінеральні солі тощо. Так, КХП Ека-Пріма рекомендується застосовувати при переробленні борошна слабкого по силі, КХП Ека-Матик призначається для прискорених технологій [1].

Фірма «Ірекс» (Німеччина) пропонує КХП для здобних виробів, виробів із замороженого тіста та ін.

В національному університеті харчових технологій розроблені комплексні поліпшувачі Ново-альфа та Ново-екстра. До складу Ново-альфи входять глюкооксидаза, ксиланаза та аскорбінова кислота; Ново-екстра, окрім вказаних складових, містить емульгатор. Ці поліпшувачі рекомендується вносити при виготовленні хлібних виробів з борошна зі слабкою клейковиною і підвищеною автолітичною активністю.

Вибір поліпшувача залежить від його функціональних властивостей, виду та якості борошна, що переробляється, рецептури виробів.

Французька фірма «Лесафр» у рекламній літературі пропонує комплексні хлібопекарські поліпшувачі серії «Мажимікс» для хлібобулочних виробів.

Дані види поліпшувачів пропонується застосовувати для хліба пшеничного, батону, здобы, круасанів, хліба з суміші житнього та пшеничного борошна. Поліпшувач дозується в кількості 1- 3% на 100кг борошна залежно від бажаного терміну зберігання готової продукції, мають порошковидну консистенцію білого кольору та додається безпосередньо у борошно і перемішується.

Поліпшувачі нового покоління складаються з поверхнево активних речовин; моно та дигліцеридів жирних кислот; стабілізатора; карбонату кальцію; ферментів: амілаз. Є можливість використовувати їх як самостійно - для надання додаткової еластичності і пружності м'якушки; покращенню газоутворюючої та газотримуючої здатності тіста; він сприяє збільшенню об'єму готової продукції та подовженню свіжості готової продукції, так і комплексно - у поєднанні з класичними поліпшувачами при потребі покращення формостійкості, об'єму і т.д.

Серед сучасних хлібопекарських поліпшувачів, що пропонують на світовому ринку, є ферментні препарати високого ступеню очищення данської фірми "Novozyme". Застосування різних за принципом дії ферментних препаратів є одним із засобів інтенсифікації технологічного процесу регулювання властивостей тіста та поліпшення органолептичних і фізикохімічних показників якості хлібобулочних виробів, в тому числі подовження їх терміну зберігання.

Ферментні препарати фірми "Novozyme" застосовують в хлібопекарській промисловості ряду країн Європи, Америці окремо і в комплексі в якості Мультиензимних композицій в залежності від їх властивостей, принципу дії препаратів і їх ефективності.

Дані ферментні препарати є порошками світло-коричневого кольору. Вони не потребують спеціальної підготовки для використання. Достатньо змішати їх з борошном, що призначене для замісу тіста або розчинити у воді у співвідношенні 1:10...1:15. Зберігати розчини ферментних препаратів доцільно при температурі 0...2°C не більше однієї доби. Термін зберігання ферментних препаратів 12 місяців при температурі плюс 5...25°C. Після цього терміну зберігання, зниження активності при температурі 25°C складає 1% в місяць.

Для гальмування процесу черствіння хліба рекомендується ферментний препарат б-амілази Новаміл. Ферментний препарат Новаміл, який є очищеною мальтогенною б-амілазою бактеріального походження продується штамом *Bacillus subtilis*, отриманим генно-інженерним методом. Новаміл гідролізує пшеничний крохмаль з утворенням певної кількості мальтози та декстринів різної молекулярної маси. Є дані, що при цьому уповільнюється процес ретроградації крохмалю. Це має сприяти подовженню свіжості м'якушки хліба. Температурний оптимум дії Новамілу 54...75°C. Таким чином, він малоактивний у тісті, активний у перший період випікання та інактивується в останній фазі випікання. Дозування Новамілу складає 6 - 50г на 100кг борошна. Його рекомендується застосовувати при переробленні борошна будь-якої якості для широкого асортименту виробів.

Відомо, що проводились дослідження по використанню ферментного препарату Новаміл при виробництві хлібобулочних виробів з пшеничного та житньо-пшеничного борошна [5].

Проблема зберігання свіжості хлібобулочних виробів є актуальною для всіх підприємств, які виробляють хліб. Черствіння хліба спричиняє фінансові втрати як виробникам, так і споживачам.

В процесі зберігання змінюються показники якості хліба, які суттєво знижують його споживчу цінність.

Існують різні шляхи сповільнення процесу черствіння хліба при зберіганні: впровадження прогресивних технологій приготування тіста, використання різних видів харчових добавок, хлібопекарських поліпшувачів, застосування пакувальних матеріалів.

Технологічний процес приготування хліба повинен забезпечити високу якість продукції. Хліб, який має великий об'єм, добре розвинену пористість, сухий еластичний м'якуш, краще зберігає свіжість. Сповільнюють процес черствіння технологічні прийоми, при використанні яких підвищується ступінь набухання колоїдів борошна, поглиблюється ферментативний гідроліз крохмалю в процесі приготування тіста. Повільніше черствіє хліб, виготовлений на великих або густих опарах, на рідких дріжджах. Ефективними в цьому відношенні є також посилені механічна обробка тіста, оптимальні режими вистоювання і випікання хліба, дотримання норм зволоження пекарної камери [6].

Загальновідомо, що свіжість хліба з житнього борошна зберігається довше, ніж хліба з пшеничного борошна того ж виходу. Тому хліб з суміші житнього і пшеничного борошна (житньо-пшеничний з обойного борошна, Український, Дарницький, ризький та ін.) черствіє повільніше, ніж хліб з одного пшеничного борошна. В зв'язку з цим в багатьох країнах світу, в тому числі і в нашій країні, широко виробляється змішаний житньо-пшеничний або пшенично-житній хліб різних видів. В багатьох країнах для дрібноштучних виробів з сортового пшеничного борошна рекомендується додавати з метою подовження терміну їх свіжості 2...3% житнього борошна.

Краще зберігають свіжість вироби, виготовлені з високобілкового борошна або з додаванням білків. Ефективним є додавання соєвого або горохового борошна, молочної сироватки. Білки роблять структуру хліба міцнішою, підсилюють гідратаційні зв'язки. Це уповільнює втрату вологи при зберіганні хліба.

Одним з ефективних способів затримання черствіння є додавання в тісто гідрофільних колоїдів, наприклад протинів целюлози. В практиці міжнародних виробників є дані, які дозволяють рекомендувати застосування Na-карбоксиметилцелюлози в кількості до 2% маси борошна для поліпшення якості хлібобулочних виробів і збереження їх свіжості. Можливе додавання препаратів

метилцелюлози для зберігання свіжості булочних виробів. В США з цією метою використовують ефіри целюлози.

Сповільнюють черствіння хліба, підвищуючи його гідрофільні властивості солодові і ферментні препарати, мальтозна і глюкозна патока, препарати клейстеризованого крохмалю, декстрини.

Проводились дослідження впливу жирних продуктів, декстрину кукурудзяного харчового, харчових емульгаторів і одночасне внесення в тісто декстрину кукурудзяного харчового і цукру-піску на збереження свіжості хліба з пшеничного борошна. Аналіз отриманих даних показав, що найкращі результати отримані при одночасному внесенні в тісто 1% декстрину кукурудзяного харчового і 2% цукру-піску до маси борошна. Автори вважають, що сповільнення процесу черствіння хліба з пшеничного борошна вищого сорту, виготовленого з додаванням декстрину кукурудзяного харчового і цукру-піску пов'язано зі зниженням швидкості ретроградації амілопектинової фракції крохмалю, оскільки короткі полісахаридні ланцюжки декстрину і дисахариду перешкоджають її агрегації.

Значно сповільнюється процес черствіння готової продукції при пакуванні виробів [7]. Пакування хліба не тільки поліпшує естетичний вигляд, а і захищає хліб від мікробіологічного псування, подовжує термін його свіжості, знижує усихання виробів.

Для пакування хліба використовують різні види паперу, полімерні плівки, комбіновані пакувальні матеріали. Вони повинні мати низьку паро, волого, газопроникність, яка характеризує їх герметичні властивості, достатню механічну міцність. При пакуванні виробів в парафінований папір і лакувальний целофан помітно зменшувалось усихання хліба, вологість знижувалася за рахунок усихання скоринки і верхніх прошарків м'якушки не так сильно, як в хлібі без упаковки. Тобто пакування хліба в парафінований, вологостійкий папір, лакувальний целофан і поліетиленову плівку значно зменшує усихання хліба, сповільнює черствіння виробів.

Досліджувались впливи різних пакувальних матеріалів на збереження свіжості хліба з суміші пшеничного і житнього борошна. Використовували полівінілову термоусадкову плівку, в яку хліб пакували вручну, і поліпропіленову плівку, в яку хліб пакували за допомогою пакувального автомату. В ході роботи встановили можливість застосування поліпропіленової і полівінілової термоусадкової плівок для збереження свіжості і показників якості житньо-пшеничного хліба в процесі зберігання. Проте саме полівінілова термоусадкова плівка забезпечує найкращі показники якості і свіжості хліба при зберіганні.

Деякі дослідники вважають [2, 8], що розвиток і ріст плісень можливі при температурі приблизно від 5 до 50°C. З огляду на це, зберігання хліба і хлібобулочних виробів в замороженому стані виключає можливість їх пліснявіння. Було встановлено, що хліб, охолоджений зразу після випікання, повинен швидко заморожуватись в камерах при температурі від -18 до -30°C і потім зберігатися при температурі від -15 до -20°C. При зберіганні замороженого хліба протягом декількох діб втрати на усихання різко знижуються і хліб після дефростації зберігається практично свіжим.

Значна увага питанням заморожування дрібноштучних хлібобулочних виробів приділяється в Чехії, Німеччині, Польщі і інших країнах [1].

Широко досліджуються можливості пов'язані з застосуванням для боротьби з пліснявінням хліба хімічних консервантів. Зрозуміло, що мова може йти лише про застосування консервантів дозволених для внесення в хліб відповідними органами.

В особливих умовах зберігання може бути хліб, який здатен відповідати нормам споживчої характеристики протягом 1...6 місяців. Тому розробка способів консервування хліба зі звичайною вологістю для тривалого зберігання має важливе значення. З цією метою був розроблений спосіб приготування хліба тривалого терміну зберігання з застосуванням теплової стерилізації. Хліб упаковували в пергамент, кашировану алюмінієву фольгу і крафт-папір і стерилізували при температурі 105...110°C 3 години. Далі хліб доупаковували в поліетиленову плівку і крафт - папір. Готові пакети з хлібом просочували сумішшю парафіну - 80% і вазеліну -20%. Для консервування використовували житній хліб. Хлібні консерви витримували зберігання протягом 6 місяців в умовах звичайного продовольчого складу.

Багато вчених досліджували консервування хліба іонізуючим опроміненням, ультрафіолетовою радіацією, інфрачервоним опроміненням, дією інертних газів.

В Німеччині для виготовлення хліба тривалого терміну зберігання пропонується поверхню виробів обробляти рідким консервантом, після чого піддавати вироби тепловій обробці в мікрохвильовому полі [9].

### Висновки

Задача подовження тривалості зберігання хлібобулочних виробів вирішується шляхом застосування комплексних хлібопекарських поліпшувачів, поверхнево-активних речовин, ферментних препаратів. Проведений аналіз показав, що в готових виробах з застосуванням поліпшувачів нового покоління підвищується газоутворення на 8%, збільшується питомий об'єм пшеничного тіста на 30% і питомий об'єм житньо-пшеничного тіста на 15%, уповільнюється черствіння пшеничних виробів на 100 год., здобних на 52 год., житньо-пшеничних на 70 год.

**Список використаної літератури**

1. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Под ред. Пучковой Л.И. – СПб: Профессия, 2002. – 416 с.
2. Матвеева И.В., Белявская И.Г. Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в производстве мучных изделий. – М.: Телер, 1998. – 104 с.
3. Санітарні правила і норми по застосуванню харчових добавок, №222 від 23.07.96 р. – Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 1996. – 57 с.
4. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва. – К.: ТОВ «Руслана», 1998. – 413 с.
5. Савчук Н.І. Удосконалення технології хліба з борошна зі зниженими властивостями шляхом використання поліпшувачів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.18.01/НУХТ – К., 2002. – 20 с.
6. Дробот В.І. Повышение качества хлебоулучных изделий. – К.: Техника, 1984. – 190 с.
7. Гавва О.О., Масло М.А. Особливості пакування харчових продуктів // Упаковка. — 2000. - №3. – С. 35-37.
8. Полякова С.П., Поландова Р.Д. Взаимосвязь между степенью обсемененности муки спорами бактерий и микробиологической устойчивостью хлебоулучных изделий при хранении // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. - № 4. – С. 12 – 14.
9. Пат. 19505239 Германия, МКИ В 65 В 55/18. Verfahren zum Vrepacken eines Gntes / P.Pfizenmaier. - № 18505239; Заявл. 16.02.95; Опубл. 22.08.96.

**References**

1. Auerman L.Y. Technology of baking production / Ed. Puchkova L.I. - St. P: Profession, 2002. - 416 p.
2. Matveeva I.V., Belyavskaya I.G. Food additives and baking improvers in the production of flour products. - M.: Teler, 1998. - 104 p.
3. Sanitary rules and regulations on the congestion of grub supplements, No. 222, July 23, 1996 p. - Kyiv: Ministry of Health Protection of Ukraine, 1996. - 57 p.
4. Drobot V.I. Dovidnik from technology of hlebopekarsky virobntzva. - K. : TOV Ruslana, 1998. - 413 p.
5. Savchuk N.I. Udoskonalennya technological breadth is good with lower power authorities in the honor of the policeman: Abstract. dis ... candidate .. technical .. sciences: 05.18.01 / NUHT - K., 2002. - 20 p.
6. Drobot V.I. Improving the quality of bakery products. - K. : Technique, 1984. - 190 p.
7. Gavva O.O., Oil M.A. Peculiarities of packaging of grubby products // Packaging. — 2000. - №. 3. - P. 35-37.
8. Polyakova S.P., Polandova R.D. The relationship between the degree of contamination of flour with bacterial spores and microbiological stability of bakery products during storage // Storage and processing of agricultural raw materials. - 2002. - №. 4. - P. 12 - 14.
9. Pat. 19505239 Germany, MKI V 65 V 55/18. Verfahren zum Vrepacken eines Gntes / P. Pfizenmaier. - №. 18505239; Claim 02.16.95; Publ. 08/22/96.

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

UDC 629.765

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.17>

S.I. VLADOV

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs

ORCID: 0000-0001-8009-5254

K.G. KOTLIAROV

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs

ORCID: 0000-0002-6097-9084

S.A. HRYBANOVA

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs

ORCID: 0000-0001-5831-2363

O.V. HUSAROVA

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs

ORCID: 0000-0002-9823-0044

I.G. DEREVYANKO

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs

ORCID: 0000-0003-0116-1378

S.D. GVOZDIK

Kremenchuk Flight College of  
Kharkiv National University of Internal Affairs

ORCID: 0000-0002-5754-2949

**NEURO-MECHANICAL METHODS OF CONTROL AND DIAGNOSTICS  
OF THE TECHNICAL STATE OF AIRCRAFT ENGINE  
TV3-117 IN FILM REGIONS**

*The subject of the study in the article is the modes of operation of the aircraft engine TV3-117 and methods of their control and diagnostics. The purpose of the work is to develop methods of control and diagnostics of the technical condition of the aircraft engine TV3-117 on the basis of neural network technologies in real time. The following tasks are solved: substantiation of the preconditions of the use of neural networks in the task of control and diagnostics of the technical condition of the aircraft engine TV3-117, construction of the generalized neural network and the choice of the algorithm for its training, the solution of the task of controlling the parameters of the technical condition of the aircraft engine TV3-117 with the use of neural networks. The following methods are used: methods of probability theory and mathematical statistics, methods of neuroinformatics, methods of the theory of information systems and data processing. The following results were obtained: The feasibility of using neural networks in the task of controlling and diagnosing the technical condition of the aircraft engine TV3-117 was substantiated. The expediency of developing neural networks based on the NN Predictive Controller. The expediency of using the gradient method of teaching neural networks is substantiated, as well as the method of training a neuro-regulator based on a neuro-modulator with the use of the method of reverse error propagation. The expediency of using the gradient method of teaching neural networks is substantiated, as well as the method of training a neuro-regulator based on a neuro-modulator with the use of the method of reverse error propagation. The solution of the task of controlling the parameters of the technical condition of the aircraft engine TB3-117, which confirms the expediency of using neural networks in the task of control and diagnostics of the technical condition of the aircraft engine TV3-117, is obtained. Conclusions: The application of neural network technologies is effective in solving a wide range of poorly formalized tasks, one of which is the task of controlling the technical condition of the aircraft engine TV3-117. The advantage of neural networks in their application in the tasks of control and diagnostics of the technical condition of the aircraft engine TV3-117 is the possibility of working with small training samples, the appointment of soft tolerances, using the experience of experts to assess the technical condition of the aircraft engine TV3-117, which is important in the condition's information incompleteness.*

*Keywords: engine, neural network, technical condition, control and diagnosis.*

С.І. ВЛАДОВ  
Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0001-8009-5254

К.Г. КОТЛЯРОВ  
Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0002-6097-9084

С.А. ГРИБАНОВА  
Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0001-5831-2363

О.В. ГУСАРОВА  
Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0002-9823-0044

І.Г. ДЕРЕВ'ЯНКО  
Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0003-0116-1378

С.Д. ГВОЗДІК  
Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ  
ORCID: 0000-0002-5754-2949

#### НЕЙРОМЕРЕЖЕВІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ТВ3-117 У ПОЛЬОТНИХ РЕЖИМАХ

*Предметом дослідження в статті є режими роботи авіаційного двигуна ТВ3-117 та методи їх контролю і діагностики. Мета роботи – розробка методів контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 на основі нейромережесих технологій у режимі реального часу. В статті вирішуються наступні завдання: обґрунтування передумов застосування нейронних мереж у задачі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, побудова узагальненої нейронної мережі та вибір алгоритму її навчання, розв'язок задачі контролю параметрів технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 із застосуванням нейронних мереж. Використовуються такі методи: методи теорії ймовірностей і математичної статистики, методи нейроінформатики, методи теорії інформаційних систем та обробки даних. Отримано наступні результати: Обґрунтовано доцільність застосування нейронних мереж у задачі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. Обґрунтовано доцільність розробки нейронних мереж на базі на базі нейрорегулятора NN Predictive Controller. Обґрунтовано доцільність застосування градієнтного методу навчання нейронних мереж, а також розроблено метод навчання нейрорегулятора на основі нейромодулятора із застосуванням методу зворотного поширення помилки. Отримано розв'язок задачі контролю параметрів технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, який підтверджує доцільність застосування нейронних мереж у задачі контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. Висновки: Застосування нейромережесих технологій є ефективним при розв'язку широкого кола погано формалізованих задач, однією з яких є задача контролю технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117. Перевагою нейронних мереж при їх застосуванні у задачах контролю і діагностики технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117 є можливість роботи з малими навчальними вибірками, призначенням м'яких допусків, використанням досвіду експертів для оцінки технічного стану авіаційного двигуна ТВ3-117, що є важливим в умовах неповноти інформації.*

*Ключові слова: авіаційний двигун, нейронна мережа, технічний стан, контроль і діагностика.*

С.И. ВЛАДОВ  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0001-8009-5254

К.Г. КОТЛЯРОВ  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0002-6097-9084

С.А. ГРИБАНОВА  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0001-5831-2363

О.В. ГУСАРОВА  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0002-9823-0044

И.Г. ДЕРЕВЯНКО  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0003-0116-1378

С.Д. ГВОЗДИК  
Кременчугский летный колледж  
Харьковского национального университета внутренних дел  
ORCID: 0000-0002-5754-2949

### НЕЙРОСЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ТВ3-117 В ПОЛЕТНЫХ РЕЖИМАХ

*Предметом исследования в статье являются режимы работы авиационного двигателя ТВ3-117 и методы их контроля и диагностики. Цель работы – разработка методов контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117 на основе нейросетевых технологий в режиме реального времени. В статье решаются следующие задачи: обоснование предпосылок применения нейронных сетей в задаче контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117, построение обобщенной нейронной сети и выбор алгоритма ее обучения, решение задачи контроля параметров технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117 с применением нейронных сетей. Используются следующие методы: методы теории вероятностей и математической статистики, методы нейроинформатики, методы теории информационных систем и обработки данных. Получены следующие результаты: Обоснована целесообразность применения нейронных сетей в задаче контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117. Обоснована целесообразность разработки нейронных сетей на базе на базе нейрорегулятора NN Predictive Controller. Обосновано целесообразность применения градиентного метода обучения нейронных сетей, а также разработан метод обучения нейрорегулятора на основе нейромодулятора с применением метода обратного распространения ошибки. Получено решение задачи контроля параметров технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117, подтверждающее целесообразность применения нейронных сетей в задаче контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117. Выводы: Применение нейросетевых технологий является эффективным при решении широкого круга плохо формализованных задач, одной из которых является задача контроля технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117. Преимуществом нейронных сетей при их применении в задачах контроля и диагностики технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117 является возможность работы с малыми учебными выборками, назначением мягких допусков, использованием опыта экспертов для оценки технического состояния авиационного двигателя ТВ3-117, что является важным в условиях неполноты информации.*

*Ключевые слова: авиационный двигатель, нейронная сеть, техническое состояние, контроль и диагностика.*

#### **Problem statement**

Operation of the aircraft engine TV3-117 takes place with the continuous change of the technical state of attachments, units and parts due to inevitable aging processes, characterized by a constant change in their properties in general in the direction of deterioration. This happens under the influence of internal and external factors, either having a rather strict deterministic, or a random unpredictable manifestation. In conditions of increased load on the attachments and units of the engine, increasing the safety of its operation is achieved on the basis of using the management strategy of operation in actual technical condition. This involves using along

with classical approaches and new intellectual methods that allow efficiently and qualitatively to carry out the process of control and diagnostics of the technical condition of the aircraft engine TV3-117 taking into account the incompleteness of measured information, noise measurements, the presence of constructive, parametric and expert uncertainty in evaluating its parameters. The basis for the operation of the aircraft engine TV3-117 is the subordination of the objectives of the operation of its on-board information technology control and operation management purposes for the operation of the aircraft engine, which defines the rules and procedures for processing comprehensive information in accordance with the conditions of its operation.

Despite the considerable amount of research in this field [1–3], information technology for control and diagnostics of the technical condition of aviation engines is not perfect for a number of reasons: on the one hand, weak information “link”, lack of elements of “intelligence”, allowing to rapidly, efficiently and effectively support responsible decision-making and, as a consequence, reduce the total time spent on maintenance of aviation engines; on the other hand, the unsteadiness of physical processes in the aviation engine, the complexity of their mathematical description, the dependence of its technical characteristics on external conditions of work, the limited composition of the measured parameters, their technological spread, etc. These factors lead to the need to automate the decision-making process on the technical condition of the aircraft engine under uncertainty.

The main directions determining the efficiency of on-board information technology for control and diagnostics of the technical condition of aviation engines should be considered intellectualization of information processing processes involving neural network methods that are capable of improving the quality of on-board algorithms for monitoring and diagnosing the technical condition of aviation engines under the influence of the above-mentioned factors of uncertainty.

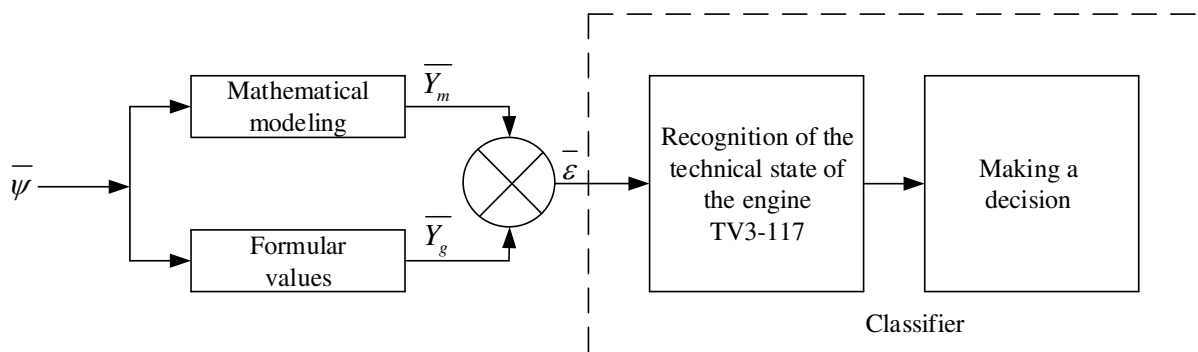
Thus, the creation of on-board information technology for monitoring and diagnosing the technical condition of the aircraft engine TV3-117 involves the development of appropriate methods, techniques, algorithmic and software that can improve the efficiency and quality of the solution of tasks of control and management of the operation of the aircraft engine TV3-117.

**Recent research and publications analysis**

At present, the problems of information diagnostics of aviation technology are actively engaged scientists of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, among which one should highlight the work of Professor Oleg Mashoshin [4–6], in which different methods of determining the malfunction of aviation equipment, including aviation engines. Much attention was paid to the methods of diagnostics of aviation technology from the standpoint of informativeness and information provision processes of its diagnosis. It is also worth noting the work of Professor Serhii Gernakov (Ufa State Aviation Technical University) [7–9], devoted to the control and diagnostics of the technical state of aviation gas turbine engines on the basis of intelligent data analysis. But their work is devoted to the development of information systems for controlling the technical condition of aviation engines in conditions of bench testing only. Thus, the development of the on-board control system for the technical condition of the aircraft engine TV3-117 (including local tasks) is relevant.

**Materials and results**

The basis of the ideology of the information system for monitoring and diagnosing the technical condition of the engine TV3-117 is the use of the FDI (Fault Detection and Identification) method, which is based on a comparison of the results of measurements of gas-dynamic indicators in real-time with formular [10] (fig. 1).



**Fig. 1. Realization of FDI-method**

In fig. 1 is indicated:  $\bar{\psi}$  – vector of control effects;  $\bar{Y}_m$  – vector of parameters obtained on the basis of mathematical modeling of gas-dynamic processes in real time;  $\bar{Y}_g$  – vector of formular values of gas-dynamic indicators;  $\bar{\varepsilon} = \bar{Y}_g - \bar{Y}_m$  – non-binding, obtained in the process of component comparison of vectors  $\bar{Y}_g$  and  $\bar{Y}_m$ .



Implementation of the FDI-method allows to take into account as much as possible the individual features of the aviation engine TV3-117 by using a mathematical model that adapts to the individual characteristics of the latter, obtained during its operation. When using neural networks to solve the problems of controlling and diagnosing the state of the aviation engine TV3-117, available information is presented to the neural network in the form of ready-made solutions (tasks), on the basis of which the process of its training (learning) is carried out. When assessing the quality of the network's network, its input is the data from the test sample, on the basis of which it calculates the vector of deviations (the difference between the output of the neural network and the desired characteristics).

In addition, neural networks have a number of undeniable advantages:

- they are able to solve problems poorly formalized by traditional mathematical methods, including control and diagnostics of the technical state of the engine TV3-117 and the classification of its information-identification features by classes of functional states;
- the solution of these tasks is possible in real time due to the high speed of the neural network, which is especially important for the onboard system;
- given the diversity of connections in the neural network, its reliable work is possible even after damage some of them;
- in the process of its work, the neural network is able to learn itself in accordance with the variable parameters in the process of operation of the engine.

Creation of an on-board system for monitoring and diagnosing the technical state of the engine on the basis of neural network technologies, the structural-logic scheme of which is shown in fig. 2, includes the following steps:

- identification of systems and units, and aviation engine TV3-117, i.e. the creation of a neural network (which includes the choice of its type and architecture), the input values of which are the functional parameters of the engine, recorded by the sensors, and the output – the parameters that determine its condition, with the possibility self-training and correction of their parameters in the process of exploitation of a particular unit;
- creation of a training sample for the neural network on the basis of statistical information on the functional parameters of the engine in all modes of operation and the most likely failures of operation experience (for already operated engines) or bench test results (for those engines being developed or upgraded);
- training of the neural network using the training sample;
- verification of the adequacy and correctness of the created and trained neural network by modeling the operating modes and failures of engines not included in the training sample;
- hardware implementation of the developed neural network in electronic circuits, integrated into the system of automatic control of the engine.

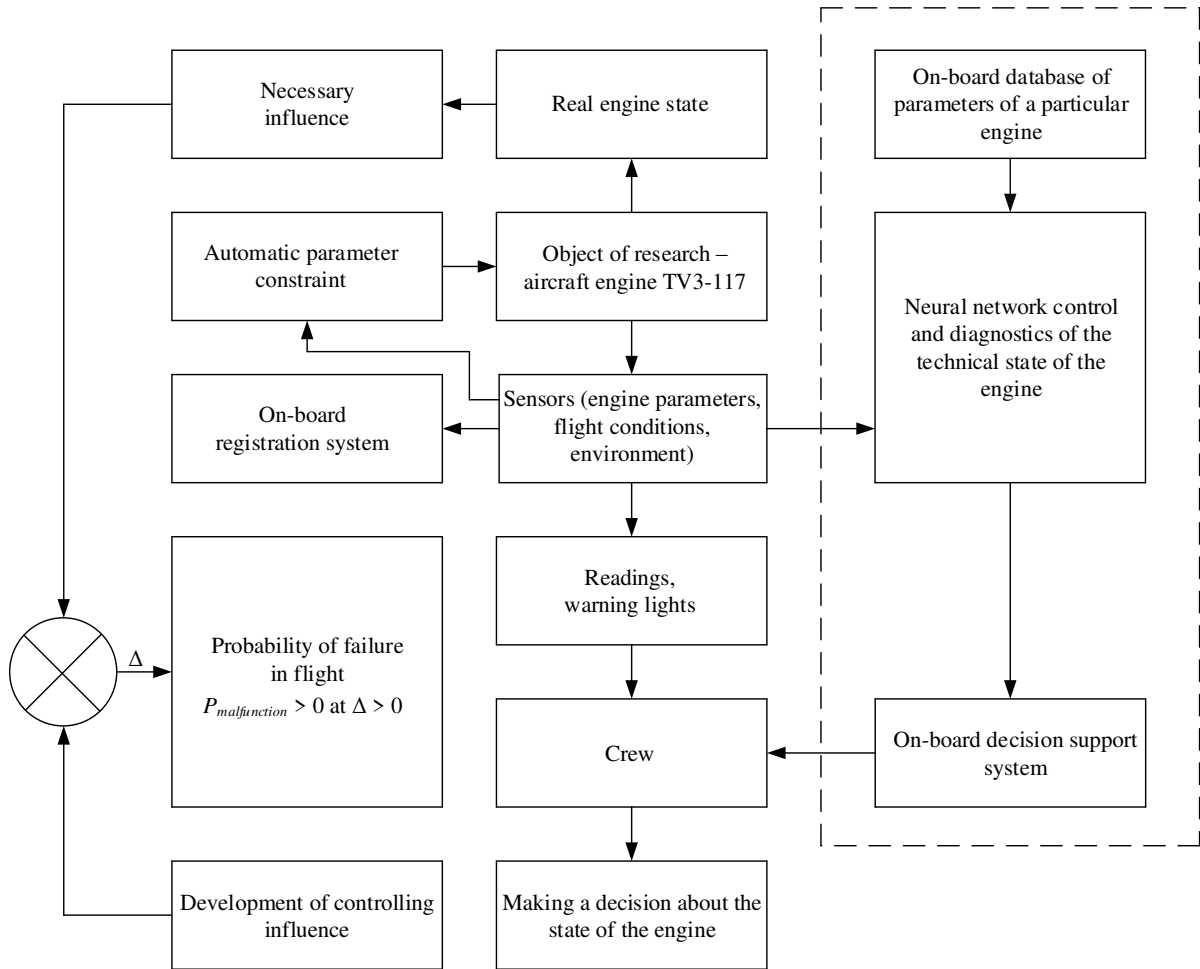
Proceeding from the fact that the parameters of the technical condition of the aircraft engine TV3-117 are as follows: air pressure at the engine inlet ( $x_1$ ), air temperature at the inlet to the engine ( $x_2$ ), fan speed ( $x_3$ ), compressor air pressure ( $x_4$ ), compressor rotation frequency ( $x_5$ ), the temperature of the gas behind the turbine ( $x_6$ ), the gas pressure behind the turbine ( $x_7$ ), the oil level in the oil system ( $x_8$ ), the presence of chips in oil ( $x_9$ ), fuel combustion in the combustion chamber ( $x_{10}$ ), temperature fuel at the inlet to the engine ( $x_{11}$ ), fuel pressure at the inlet to the engine ( $x_{12}$ ), oil temperature at the engine inlet ( $x_{13}$ ), oil pressure on the entrance of the engine ( $x_{14}$ ), the diameter of the critical intersection of the nozzle ( $x_{15}$ ), the vibration of the engine housing ( $x_{16}$ ), engine propagation ( $x_{17}$ ) [11], it is assumed that these parameters form a multilayered neural network with  $n = 17$  inputs and one output (fig. 3). Each  $i$ -th neuron of the first layer ( $i = 1, 2, \dots, m = 17$ ) has  $n = 17$  inputs, which are written with weights  $w_{1i}, w_{2i}, \dots, w_{ni}$ .

By inputting any numbers  $x_1, x_2, \dots, x_{17}$ , we get at the output the value of some function  $Y = F(x_1, x_2, \dots, x_{17})$ , which is the answer (response) of the network. It is known that the response of the network depends both on the input signal and on the values of its internal parameters – the weights of the neurons, that is:

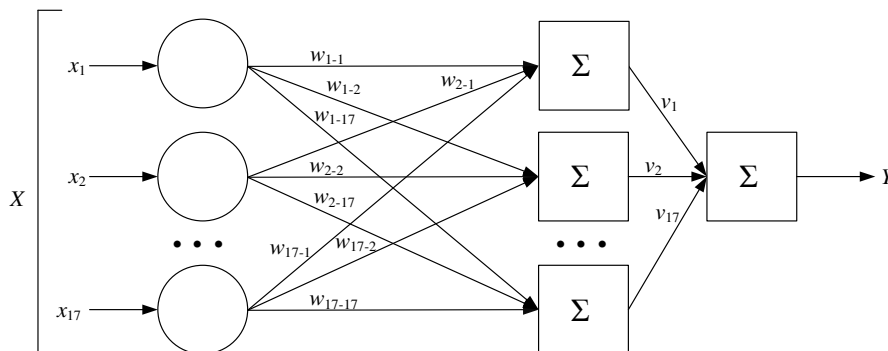
$$F(x_1, x_2, \dots, x_{17}) = \sum_{i=1}^{m=17} v_i \sigma \left( \sum_{j=0}^{n=17} x_j w_{ji} \right); \quad (1)$$

where  $F(x_1, x_2, \dots, x_{17})$  is any continuous function defined on a bounded set;  $\sigma(s) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha s}}$  – sigmoidal function.

Applying Kolmogorov's theorem  $F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{2n+1} g_i \left( \sum_{j=1}^n h_{ij}(x_j) \right)$ , where  $g_i$  and  $h_{ij}$  – are continuous functions, and  $h_{ij}$  does not depend on the function  $F$ , for 17 variables, it is found that for the implementation of the function 17 variables are sufficient operations of summation and composition of the function of one variable.



**Fig. 2. Structural-logical scheme of the control and diagnostics system of aircraft engine TV3-117 technical condition in flight modes**



**Fig. 3. Structure of the generalized neural network**

In the work, the synthesis of the neural network system was carried out using the application package Neural Network Toolbox MATLAB system, which implemented three neuro regulators: NN Predictive Controller Forecast; Regulator based on autoregressive model with sliding middle NRAMA-L2 Controller; Regulator based on reference model Model Reference Controller.

NN Predictive Controller is most effective in solving the problem. The controller uses the model of the managed object as a neural network in order to predict its future behavior. In addition, the controller calculates a control signal that optimizes the behavior of the object at a predetermined interval of time. Consequently, the design of a neuro-regulator consists of two stages: the stage of identification of the controlled object and the stage of the synthesis of the control law. At the first stage, a model of a controlled object is developed in the form of a neural network, which is used in the next step for the synthesis of the regulator [12].

Fig. 4 shows a structural diagram of the proposed neural network system for monitoring and diagnostics of the technical condition of the aircraft engine TV3-117, developed in Simulink. This structure includes a subsystem control unit and a NN Predictive Controller, as well as generators of a standard random variable amplitude generator Random Reference, a chart construction block.

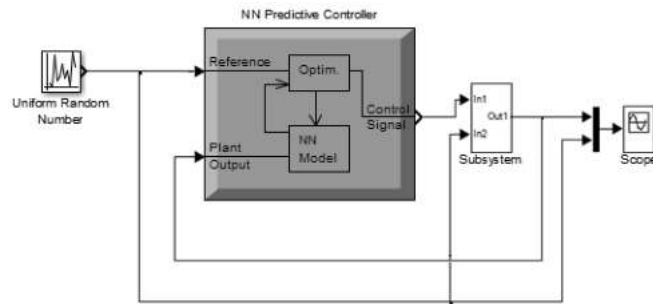


Fig. 4. Scheme of control system based on NN Predictive Controller

Scheme of the model of the control object is shown in fig. 5 and the structural scheme of the neuro regulator NN Predictive Controller – in fig. 6.

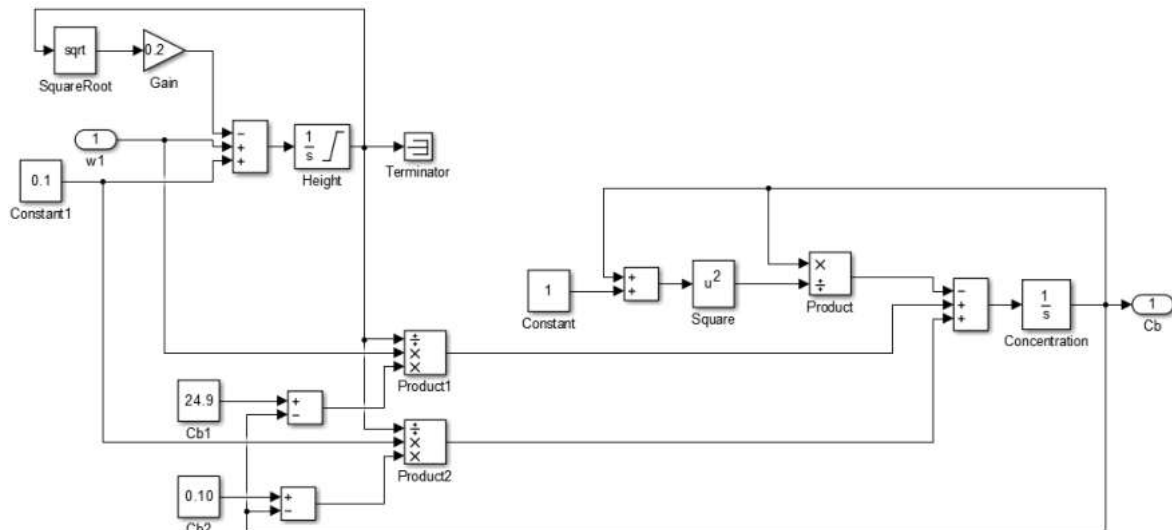


Fig. 5. Schematic of the management model (subsystem)

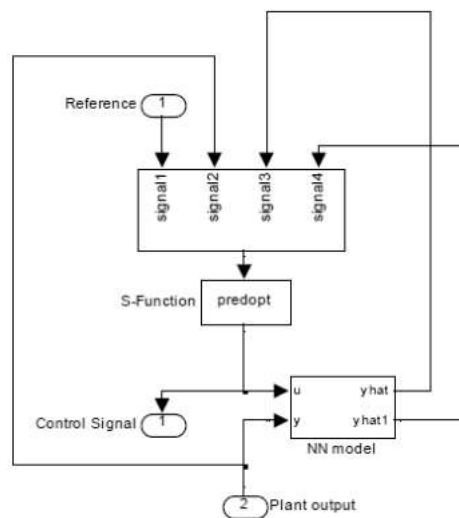


Fig. 6. Structural scheme of the NN Predictive Controller neuroregulator [12]

The feature of this system is that, before installing a separate neuro-regulator, the identification of the controlled object, namely, the aviation engine TV3-117, is carried out, that is, the construction of its neural network model is underway. The identification procedure allows constructing a neural network that will simulate engine dynamics and is used by the S-function to calculate the optimal control signal on the engine. The training sequence generation program generates training data by influencing a number of random stepped signals on the simulink model of the controlled object (engine). After the network is established, the process of its learning begins. The input vectors are represented as numerical sample arrays, which corresponds to a group representation of the data.

After the construction of the neural network model is completed, the Neural Network Predictive Controller returns to the window (Fig. 4) and the optimization parameters are set:

1. Const Horizon ( $N_2$ ) – the upper limit of summation with the quality indicator  $N_2$ , the lower limit  $N_1$  is fixed and equal to 1;
2. Control Horizon ( $N_u$ ) – the upper limit of summation when evaluating power management  $N_u$ ;
3. Control Weighting Factor ( $\rho$ ) – the weight factor for power management;
4. Search parameter ( $\alpha$ ) – jne-dimensional search parameter setting the threshold for quality reduction;
5. Minimization Routine – select a one-dimensional search procedure;
6. Iterations Per Sample Time – the number of iterations per 1 bit of discretion.

When identifying an engine, the most important issue is the choice of the number of neurons of the hidden layer  $S$ . With a small number of neurons, the network cannot perform the task, but with a large observed phenomenon of retraining and increasing the volume of computing.

Since the most important property of neural networks is their ability to study on the basis of data on the aircraft engine TV3-117 and, as a result of training to increase its functionality, it is proposed to apply the adaptive step of training the neural network, which is realized in the form of a gradient method [13], in which the weight change is described by dependence:

$$\overrightarrow{w_{k+1}} = \overrightarrow{w_k} + \eta_k \overrightarrow{p_k}; \quad (2)$$

where  $\eta_k$  – is the step size for the  $k$ -th iteration, and the vector  $p_k$  specifies the direction of motion and is calculated by the formula:

$$\overrightarrow{p_k} = \overrightarrow{g_k} + \sum_{i=1}^{\min(k-1, m)} \beta_i \overrightarrow{g_{k-1}}; \quad (3)$$

where vector  $g_j$  specifies the direction of the anti-gradient on the  $j$ -th iteration;  $\beta_i$  – coefficient which determines the weight of the  $i$ -th gradient;  $m$  defines the number of memorable gradients;  $k$  – serial number of the current iteration.

The gradient learning method for (3) is obtained for  $m = 0$ , and the methods of the combined gradients, which are most often used in the training of neural networks, are obtained by summing all previous directions (при  $m = \infty$ ). The general algorithm of the adaptive method is [13]:

1. Beginning;
2. Select a starting point with some coordinates ( $x_0; y_0; \dots$ );
3. Verification of the stop criterion (number of iterations, mean square error, etc.);
4. Calculation of the anti-gradient at the current point  $\overrightarrow{g_j}$  (at the first iteration of the starting point);
5. Enter the current direction to the stack directions;
6. Calculating the vector direction by (3);
7. Moving the calculated  $p_k$  to a new point;
8. Returning to step 2. If the stop criterion is positive, then finish the algorithm, if not – go to step 3;
9. End of the algorithm. We have a point close to the minimum of the function.

This training method minimizes human interference in the training of neural networks, which makes it attractive, since not every user of neural network technologies has knowledge of optimization techniques. In addition, the method is flexible and tailored to the learning sample by learning.

The training of the same neural network with a constant step is carried out with the help of the Hebb's rule, which consists in the fact that learning occurs as a result of strengthening the binding force (synaptic weight) between simultaneously active neurons. Proceeding from this, often used in the network of communication intensified, which explains the phenomenon of learning through repetition and addiction. The Hebb's teaching rule is written as follows [14, pp. 39–40]:

$$w_{ij}(t + 1) = w_{ij}(t) + x_i y_j; \quad (4)$$

it is assumed that  $w_{ij}(0) = 0$ , where  $t$  – time;  $x_i$  and  $y_j$  are respectively the initial value of the  $i$ -th and  $j$ -th neurons.

The continuous training of the neural network is also implemented through the Rosenblatt training (learning perceptron), which is characterized by the fact that the weighting coefficients of the neural network change only if the initial response of the network  $y$  does not coincide with the reference  $d$  and contains the learning speed  $a$  and not changes weight coefficients if the output signals of the network coincide with the reference ones. The Rosenblatt training rule in general form has the form [14, pp. 42–45]:

$$W(t + 1) = W(t) - a(y - t)X = W(t) + a(t - y)X. \tag{5}$$

For the solution of the problem of recognition or approximation of functions of multilayer direct propagation networks, weighting coefficients must be corrected. This correction is based on known methods of training neural networks, which consist of three types [15–17]:

1. Teaching with a teacher. Put a set of training vectors – input values and desired results of the neural network. Weights in the process of learning are selected in such a way that the results obtained are as close as possible to the desired results.

2. Training with evaluation. Initially, the desired vector of output signals is not given, but according to the results of the neural network receives a positive or negative rating.

3. Exercise without a teacher. A set of input data vectors is established that are processed on the basis of self-organization laws, which leads the neural network to a state in which it is capable of solving tasks.

The circuit of the neural network control with the emulator and the controller is shown in fig. 7. In this case, the neuro regulator learns on the reverse pattern of the control object, and the neuromodulator learns from the real model of the control object (engine).

The neurocontroller is trained on the basis of a neuromodulator, which learns by the method of reverse error propagation. To teach a neuro-emulator, a multilayered direct-propagation network with randomly selected weights and a training set consisting of the pairs of the network input – the desired output  $\{X, D\}$ , as well as the output value of the network  $Y$ , are determined.

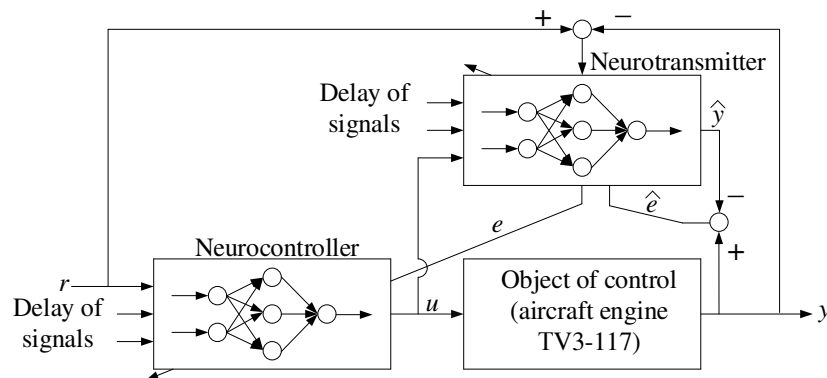


Fig. 7. The scheme of neural network control with the emulator and controller

The task of training the neuroregulator is to select weighting factors to minimize some target function – the sum of squares of network errors on examples from the training set, that is

$$E(w) = \sum_{j,p} (y_{j,p}^{(N)} - d_{j,p})^2; \tag{6}$$

where  $y_{j,p}^{(N)}$  – the real output of the  $N$ -th output layer of the network for the  $p$ -th neuron in the  $j$ -th study example,  $d_{j,p}$  is the desired output.

To find the minimum and determine the weight coefficients that are included in the  $y_{j,p}^{(N)}(x)$  function of the method of fastest descent [18], in which at each step of the training change the weight coefficients in accordance with the expression:

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(n)}}; \tag{7}$$

where  $w_{ij}^{(n)}$  is the weighting factor that convenes the  $j$ -th neuron  $n$ -th layer and  $i$ -th neuron  $(n-1)$  layer,  $\eta$  is the learning speed parameter.

To do this, the obtained weighting coefficients of the network need to determine the partial derivatives of the target function  $E$ :

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(n)}} = \frac{\partial E}{\partial y_j^{(n)}} \frac{\partial y_j^{(n)}}{\partial s_j^{(n)}} \frac{\partial s_j^{(n)}}{\partial w_{ij}^{(n)}}; \quad (8)$$

where  $y_j^{(n)}$  – output,  $s_j^{(n)}$  – sum of inputs of  $j$ -th neuron of  $n$ -th layer. Knowing the activation function can be calculated  $\frac{\partial y_j^{(n)}}{\partial s_j^{(n)}}$ . For sigmoidal function  $\frac{\partial y_j^{(n)}}{\partial s_j^{(n)}}$  will be equal to:

$$\frac{\partial y_j^{(n)}}{\partial s_j^{(n)}} = \alpha y_j^{(n)} (1 - y_j^{(n)}). \quad (9)$$

Output of  $i$ -th neuron  $(n-1)$ -th layer  $\frac{\partial s_j^{(n)}}{\partial w_{ij}^{(n)}}$  can be represented as:

$$\frac{\partial s_j^{(n)}}{\partial w_{ij}^{(n)}} = y_j^{(n-1)}. \quad (10)$$

Thus, by differentiating (8)  $y_j^{(N)}$  with respect to (10) and Kolmogorov's theorem, we calculate the partial derivatives of the objective function by the weights of the initial layer neurons:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(n)}} = (y_j^{(N)} - d_j) \frac{\partial y_j^{(N)}}{\partial s_j^{(N)}} y_j^{(N-1)}. \quad (11)$$

Entering in (11) substitution  $\delta_j^{(n)} = \frac{\partial E}{\partial y_j^{(n)}} \frac{\partial y_j^{(n)}}{\partial s_j^{(n)}}$ , we obtain the value of neurons in the output layer:

$$\delta_j^{(N)} = (y_j^{(N)} - d_j) \frac{\partial y_j^{(N)}}{\partial s_j^{(N)}}. \quad (12)$$

To find  $\alpha y_j^{(n)}$  of the weight coefficients of the neurons of the inner layers, we represent (8) in the following form:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j^{(n)}} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k^{(n+1)}} \frac{\partial y_k^{(n+1)}}{\partial s_k^{(n+1)}} \frac{\partial s_k^{(n+1)}}{\partial y_j^{(n)}} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k^{(n+1)}} \frac{\partial y_k^{(n+1)}}{\partial s_k^{(n+1)}} w_{jk}^{(n+1)}. \quad (13)$$

Note that  $\delta_k^{(n+1)} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k^{(n+1)}} \frac{\partial y_k^{(n+1)}}{\partial s_k^{(n+1)}}$ , what allows (6) to express the values  $\delta_j^{(n)}$  of  $n$ -th layer neurons by means of neurons  $(n+1)$ -th  $\delta_k^{(n+1)}$  layer. The value  $\delta_j^{(n)}$  for all neurons of all layers can be obtained through the recursive formula for the last layer  $\delta_j^{(N)}$ :

$$\delta_j^{(n)} = \left( \sum_k \delta_k^{(n+1)} w_{jk}^{(n+1)} \right) \frac{dy_j}{ds_j}. \quad (14)$$

Thus, (7) for the correction of weight coefficients takes the form of:

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \delta_j^{(n)} y_j^{(n-1)}. \tag{15}$$

Teaching a neuroregulator with the help of the algorithm of re-distribution occurs in several stages:

1. Assigning arbitrary initial values of the weight coefficients of the neural network and obtaining the values of the target function at given values.

2. The input of the neural network is provided by the vector of the training set, and then the values at the output of the neural network are calculated, which form the vector of memory from the values of each neuron.

3. Calculate the values  $\delta_j^{(N)}$  of the neurons in the original layer for (12), and the recursive formula (14) calculates the values  $\delta_j^{(n)}$  with the help of neurons  $(n+1)$ -th  $\delta_k^{(n+1)}$  layer, and then after (15) the weight of the neural network changes.

4. Adjustment of weighting coefficients of the network:  $w_{ij}^{(n)} = -w_{ij}^{(n)} + \Delta w_{ij}^{(n)}$ .

5. The target function for (6) is calculated, and if it is relatively small, we can assume that the neural network has successfully passed the training procedure. Otherwise, we proceed to step 2.

Let's consider the solution of the task of controlling the technical condition of the aircraft engine TV3-117 with the use of neural network technologies [19]. It is believed that all possible states of the engine can be divided into two classes  $S_o$  and  $\overline{S_o}$ , which combine some states close to each other according to certain integral indicators. Here, the  $S_o$  class includes all the proper states of the engine, and the class  $\overline{S_o}$  combines all the faulty states that are characterized by the presence of at least one defect in its work. It is necessary by the results of a limited number of measurements of the vector of the initial parameters of the engine  $Y(t_i)$ ,  $t_i \in T$  (where  $t_i$  – discrete moments of time;  $T$  – interval of observation), to make a decision on the belonging of the engine to one of the specified classes of states.

The solution of this problem in general is reduced to finding a separate function (hypersurface) in the space of controlled parameters of the engine. To solve this problem we apply an approach based on the construction of this decisive rule with the help of a neural network.

The basis of the proposed method is the construction of reference (averaged) model of the engine obtained by the results of flight (or bench) tests of the engine, which is stored in the neural network basis as its information "portrait". In the process of controlling the technical condition of the aviation engine the measurement of its parameters is carried out; Then the metric describes the difference in the characteristics of a particular (individual) engine and reference (neural network) engine model, and the size of this metric is made decision about the actual state of the engine under investigation.

The idea of the investigated algorithm for controlling the technical state of the engine is as follows: the engine state is a point in the space of controlled parameters  $y_1, y_2, \dots, y_n$  (in this work,  $n = 4$ ). To assess the engine's efficiency, that is, the conformity of its characteristics to the requirements, it is necessary to calculate the distance from this point to the reference point corresponding to the reference (normal) engine. If this distance is zero, the technical state of the engine coincides with the reference; the larger the value of the specified distance, the greater the difference between the characteristics of the controlled and reference engines.

As estimates of the metric distance (metric), known in the literature on mathematical statistics and cluster analysis, one can distinguish the following:

1. The Euclidean metric:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^{ref})^2}; \tag{16}$$

where  $y_i$  – measured value of the  $i$ -th parameter of the engine;  $y_i^{ref}$  – reference value of this parameter, calculated using the neural network.

2. Metropolitan Chebyshev:

$$d = \max |y_i - y_i^{ref}|. \tag{17}$$

The physical meaning of the metric (16) consists in the fact that it characterizes the mean square deviation in the exits space between the object and its reference model, and the metric (17) characterizes the greatest deviation between these outputs.

Let's consider the features of the solution of the task of controlling the technical condition of the aircraft engine TV3-117. As the initial data are considered such as, data obtained during the flight test of the engine at various temperature values  $T_0$ ,  $K$  and pressure  $P_0$ , mm of mercury environment. Table 1 shows the parameters of the reference (well-known service) engine, which are brought to relative (dimensionless) values;  $\bar{T}_0 = 1$  and  $\bar{P}_0 = 1$  correspond to the parameters  $T_0 = 288 K$  and  $P_0 = 760$  mm of mercury.

Table 1

**Parameters of the reference engine**

$\bar{T}_0$	$\bar{P}_0$	$\bar{n}$	$\bar{T}_3^*$	$\bar{P}_2^*$
1,000	0,951	0,867	0,749	0,255
1,012	1,011	0,894	0,787	0,305
1,005	0,974	0,930	0,809	0,312
1,026	0,974	1,000	0,894	0,353
1,000	0,990	0,858	0,743	0,271
1,022	0,973	0,798	0,721	0,209

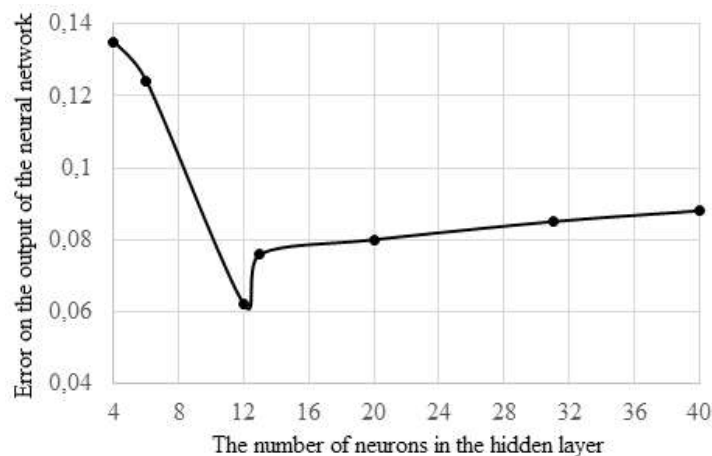
Table 2 shows the data of engine flight tests, which are further processed by the neural network and the results of their processing, the last decision on the results of control of the aircraft engine is made.

Table 2

**A fragment of the engine TV3-117 test data, analyzed using a neural network**

№	$\bar{T}_0$	$\bar{P}_0$	$\bar{n}$	$\bar{T}_3^*$	$\bar{P}_2^*$
1	1,029	0,993	0,827	0,766	0,238
2	1,029	0,995	0,826	0,766	0,239
3	1,022	0,997	0,816	0,748	0,234
4	1,015	0,980	0,819	0,743	0,230
5	1,040	1,041	0,829	0,755	0,250
6	1,008	1,023	0,797	0,740	0,240
7	1,000	1,016	0,796	0,712	0,237
8	0,995	1,015	0,805	0,711	0,243
9	1,000	1,031	0,825	0,726	0,262
10	1,000	0,997	0,844	0,743	0,272

The results of the conducted research show that in order to construct a standard model based on the neural network, the structure of the neural network, the three-layer perceptron (fig. 8), which has two inputs (values of environmental parameters –  $T_0$  and  $P_0$ ), optimal for complexity is required, 12 neurons in the hidden layer and 3 neurons at its output.



**Fig. 8. Graph of the dependence of the error of training the neural network on the number of neurons in the hidden layer**



When solving a given problem, the calculation of the metric distance for (16) and (17) as a function of the development of aviation engine, in order to assess the degree of performance of its performance compared with the reference engine, throughout the test time.

The received schedule of change of the metric distance  $d$  depending on the progress of the aircraft engine TV3-117 is shown in fig. 9, where 1 is the Euclidean distance calculated by (16); 2 – Chebyshev distance, calculated in accordance with (17).

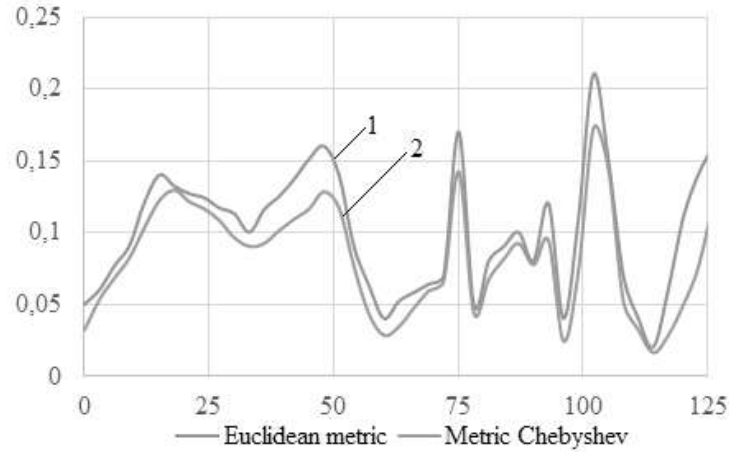


Fig. 9. Results of control of technical condition of aircraft engine TV3-117

The decision-making process on the technical state of the engine as a result of controlling its parameters can be carried out on the basis of fuzzy logic, while the functions of accessory (fig. 10) are appointed expertly;  $R$  – the decision on the serviceability of the engine is issued in the form of coefficients of confidence.

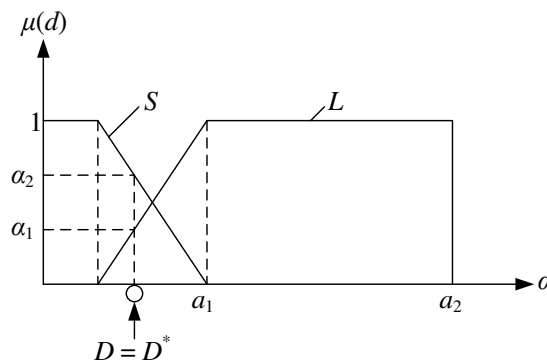


Fig. 10. Functions of the belonging of the linguistic variable  $D$

The decisive rule, on the basis of which the decision is made on the correctness of the engine, has the following form:

$$R = \begin{cases} S_o, & \text{if } d = S(\text{Small}); \\ S_o, & \text{if } d = L(\text{Large}). \end{cases} \quad (18)$$

The final decision on the technical condition of the aircraft engine is taken by the expert taking into account the values of the confidence coefficients (for example, in fig. 10, the value of  $\alpha_1$  means the confidence coefficient of implementing rule 1 in (18);  $\alpha_2$  is the same value for the 2nd rule).

**Conclusions**

Thus, based on the obtained results, we can make the following conclusions:

1. The application of neural network technologies is effective in solving a wide range of poorly formalized tasks, one of which is the task of controlling the technical condition of the aircraft engine TV3-117.
2. The advantage of neural networks in their application in the tasks of control and diagnostics of the technical condition of the aircraft engine TV3-117 is the ability to work with small training samples, the

appointment of soft tolerances, using the experience of experts to assess the technical condition of the aircraft engine TV3-117, which is important in conditions of incompleteness of information.

#### References

1. S. Kiakojoori and K. Khorasani, "Dynamic neural networks for gas turbine engine degradation prediction, health monitoring and prognosis", *Neural Computing & Applications*, vol. 27, no. 8, 2016, pp. 2151–2192.
2. E. L. Ntantis, "Diagnostic Methods for an Aircraft Engine Performance", *Journal of Engineering Science and Technology*, review 8(4), 2015, pp. 64–72.
3. A. M. Pashayev, D. D. Askerov, C. Ardil, R. A. Sadiqov and P. S. "Abdullayev Complex Condition Monitoring System of Aircraft Gas Turbine Engine", *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 11, 2007, pp. 689–695.
4. O. Mashoshin and G. Zontov, "Diagnostics of aviation gas turbine engine on the presence of harmful impurities in the air conditioning system", *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, no 205, 2014, pp. 44–48.
5. O. Mashoshin, "Assessment of the diagnostic value of information in solving problems in the field of aircraft operation", *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, no 219, 2015, pp. 53–56.
6. O. Mashoshin, M. Karmyzov and V. Makarov, "Algorithm for estimating the vibration state of gas turbine engines using elements of the theory of mathematical statistics", *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, no 135, 2008, pp. 28–33.
7. S. Gernakov, "Determination of the trend of aircraft engine parameters by an active expert system", *Aviation industry*, no. 4, 2004, pp. 24–28.
8. S. Gernakov, "Application of expert systems with neural networks of knowledge to diagnostics and control of aircraft engine devices", *Information Technology*, no. 12, 2000, pp. 37–44.
9. S. Gernakov, "Active expert system for diagnostics and control of GTE parameters", *Information Technology*, no. 2, 2001, pp. 34–39.
10. Y. Shmelov, S. Vladov, A. Khebda and K. Kotlyarov, "Application of the rules of urban logic in the problem of identification of the technical state of the aviation engine TV3-117", *Scientific notes of V. I. Vernadsky Taurida National University, Series Technical Sciences*, vol. 30 (69), no. 3, 2018, pp. 34–40.
11. Y. Shmelov, S. Vladov, S. Boiko, Y. Klimova and S. Vyshnevskiy, "Diagnostics of the state of the Mi-8MTV helicopter using neural networks", *Herald of Khmelnytskyi national university: Technical sciences*, no. 3, 2018, pp. 165–170.
12. T. Vasylets, O. Varfolomiiev, R. Tiutiun, Yu. Alforov and A. Vlasov, "Synthesis of the NN Predictive Controller for the three-mass electromechanical system", *Information Processing Systems*, no. 3 (149), 2017, pp. 88–95.
13. S. Vladov and Y. Klimova, "Application of adaptive neural network training method for diagnostics of the engine of the Mi-8MTV helicopter", *The International Theoretical and Practical Conference "Participating in European Scientific, Scientific and Engineering and Innovation Programs and the Integration of Ukraine with the European Research Space"*, 16–18 May, Kharkiv, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", part 1, p. 14.
14. V. Govovko, *Neural networks: training, organization and application* 4th ed., Moscow, Publishing house "IPRZHR", 2001, 256 p.
15. D. Shanin, V. Pshikhopov and M. Medvedev, "Neural network adaptive controller for the task of helicopter model control through global feedback", *News of South Federal University. Technical science*, no. 11 (88), 2008, pp. 107–110.
16. D. Shanin, V. Pshikhopov, V. Chikin and M. Medvedev, "Application of a neural network adaptive controller to control an object with uncertainty", *News of South Federal University. Technical science*, no. 7 (84), 2008, pp. 136–140.
17. D. Shanin, V. Pshikhopov and M. Medvedev, "Construction of neural network regulators for the synthesis of adaptive control systems", *Information-measuring and control systems*, no. 3, vol. 6, 2008, pp. 48–52.
18. Y. Shmelov, S. Vladov, Y. Klimova and M. Kirukhina, "Expert system for identification of the technical state of the aircraft engine TV3-117 in flight modes", *System Analysis & Intelligent Computing: IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*, 08–12 October 2018, Kiev, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", pp. 77–82.
19. Y. Shmelov, S. Vladov, A. Kryshan and S. Gvozdik, "Application of neural network technologies in the technical state control system of the aircraft engine TV3-117 in flight modes", *Radiotekhnika*, no. 194, 2018, pp. 147–154.

УДК 004.6

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.18>

С.В. ЛЕПА

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-2066-2998

## РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ DSA ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТА ПЕРЕВІРКИ ЕЛЕКТРОННОГО ЦИФРОВОГО ПІДПISУ

У роботі розглянутий і реалізований алгоритм DSA для створення й перевірки електронному цифровому підпису, проведені дослідження швидкості виконання дій по створенню ключової пари, підпису і її перевірки.

Для реалізації алгоритму створення використана мова програмування Java, яка має велику кількість різних бібліотек для роботи із криптографією.

Програма складається із двох модулів. Один створює цифровий електронний підпис, а другий модуль забезпечує її перевірку.

Програма має два варіанта роботи. Перший варіант передбачає створення ключової пари (відкритий та закритий ключ) для користувача та підписання документу за допомогою закритого ключа. Також програма реалізовує механізм перевірки автентичності підпису (чи був змінений документ після підписання).

Другий варіант передбачає наявність у користувача ключової пари, у цьому випадку програма використовує закритий ключ користувача (на відміну від генерування ключів у першому варіанті).

Було проведено 10000 симуляцій для дослідження швидкості створення та перевірки цифровому підпису.

Час на створення підпису при використанні хеш функції SHA-1 при довжині ключа 512 біт – 409 мс, при довжині 1024 біт – 480 мс. А при використанні хеш функції SHA-2 та довжині ключа у 2048 біт – 351 мс. Така динаміка часу, що при збільшенні довжини ключа та з тим надійності підпис створюється швидше, пов'язана перш за все з використанням більш сучасного алгоритму хешування.

За результатами дослідження спостерігається лінійна залежність, яка показує що зі збільшенням довжини ключа збільшується час який необхідний на виконання операцій з підпису документа та її перевірки. Так, при довжині ключа у 512 біт для того аби поставити підпис під документом необхідно 4 мс, для перевірки – 8 мс. При розмірі ключа 1024 біт для підпису необхідно 8 мс, для перевірки підпису – 18 мс. Якщо розмір ключа 2048 біт, час який знадобиться на підпис документа 13 мс, для перевірки цього підпису – 33 мс.

Ключові слова: DSA, підпис, хеш- функція, ключ, java.

Е.В. ЛЕПА

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0002-2066-2998

## РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА DSA ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ПРОВЕРКИ ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ

В работе рассмотрен и реализован алгоритм DSA для создания и проверки электронной цифровой подписи, проведены исследования скорости выполнения действий по созданию ключевой пары, подписи и ее проверки.

Для реализации алгоритма использован язык программирования java, которая имеет большое количество разных библиотек для работы с криптографией.

Программа состоит из двух модулей. Один модуль создает цифровую электронную подпись, а второй модуль обеспечивает ее проверку.

Программа имеет два варианта работы. Первый вариант предусматривает создание ключевой пары (открытый и закрытый ключ) для пользователя и подписания документа с помощью закрытого ключа. Также программа реализовывает механизм проверки автентичности подписи (был ли измененный документ после подписания).

Второй вариант предусматривает наличие у пользователя ключевой пары, в этом случае программа использует закрытый ключ пользователя (в отличие от генерирования ключей в первом варианте).

Было проведено 10000 симуляций для исследования скорости создания и проверки цифровой подписи.

*Время на создание подписи при использовании хеш- функции SHA-1 при длине ключа 512 бит – 409 мс, при длине 1024 бит – 480 мс. При использовании хеш- функции SHA-2 и длины ключа в 2048 бит – 351 мс. При увеличении длины ключа и с той же надежностью подпись создается быстрее. Это связано прежде всего с использованием более современного алгоритма хеширования.*

*По результатам эксперимента наблюдается линейная зависимость, которая показывает, что с увеличением длины ключа увеличивается время необходимое для выполнения операций по подписи документа и ее проверки. Так, при длине ключа в 512 бит чтобы поставить подпись под документом необходимо 4 мс, для проверки – 8 мс. При размере ключа 1024 бит для подписи необходимо 8 мс, для проверки подписи – 18 мс. Если размер ключа 2048 бит, время который понадобится на подпись документа 13 мс, для проверки этой подписи – 33 мс.*

*Ключевые слова: DSA, подпись, хеш- функция, ключ, java.*

E.V. LEPA  
Kherson National Technical University  
ORCID: 0000-0002-2066-2998

### IMPLEMENTATION AND RESEARCH OF THE DSA ALGORITHM FOR CREATION AND VERIFICATION OF A DIGITAL ELECTRONIC SIGNATURE

*The paper considers and implements the DSA algorithm for creating and verifying a digital electronic signature, investigates the speed of actions to create a key pair, signature and its verification.*

*To implement the algorithm, the java programming language was used, which has a large number of different libraries for working with cryptography.*

*The program consists of two modules. One module creates a digital electronic signature, and the second module provides its verification.*

*The program has two working options. The first option involves creating a key pair (public and private key) for the user and signing the document using the private key. The program also implements a mechanism for verifying the authenticity of a signature (whether there was a changed document after signing).*

*The second option provides for the user to have a key pair, in this case the program uses the user's private key (as opposed to generating keys in the first option).*

*10,000 simulations were conducted to examine the speed of creating and verifying a digital signature.*

*The time to create a signature when using the SHA-1 hash function with a key length of 512 bits is 409 ms, with a length of 1024 bits - 480 ms. When using the SHA-2 hash function and a key length of 2048 bits - 351 ms. By increasing the key length and with the same reliability, the signature is created faster. This is primarily due to the use of a more modern hashing algorithm.*

*According to the results of the experiment, a linear relationship is observed, which shows that with an increase in the length of the key, the time required for performing operations to sign the document and verify it increases. So, with a key length of 512 bits, it takes 4 ms to sign a document, and 8 ms for verification. With a key size of 1024 bits, 8 ms is required for signature, 18 ms for signature verification. If the key size is 2048 bits, the time it takes to sign the document is 13 ms, to verify this signature - 33 ms.*

*Keywords: DSA, signature, hash function, key, java.*

### Постановка проблеми

Поява і стрімкий розвиток комп'ютерних мереж забезпечила ефективні засоби передачі даних і швидкий доступ до інформації як для окремих особистостей, так і для великих організацій, що призвело до появи електронного документообігу. Однак відомо, що локальні і глобальні комп'ютерні мережі (втім, як і інші засоби передачі інформації) можуть представляти загрозу для безпеки даних, особливо при відсутності належних заходів захисту від несанкціонованого доступу.

Для вирішення проблеми захисту при використанні електронного документообігу (захист від несанкціонованого копіювання, модифікації та підробки інформації) необхідно використовувати сучасні методи захисту. Одним із поширених методів такого захисту є електронний цифровий підпис (ЕЦП). У загальному випадку, ЕЦП – це блок інформації, який додається до файлу даних автором та захищає файл від несанкціонованої модифікації і вказує на власника підпису.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Порівняльний аналіз методів і алгоритмів створення й перевірки електронному цифровому підпису показав, що одними з найпоширеніших є алгоритми DSA и RSA з використанням відкритого ключа, які засновані на обчислювальній складності взяття логарифмів в кінцевих полях. Тільки один суб'єкт може створити хеш-значення повідомлення, але будь-хто може перевірити її коректність.

Алгоритм DSA, має, як і RSA, теоретико-числовий характер, і заснований на криптографічній системі Ель-Гамала у варіанті Шнорра. Його надійність заснована на практичній нерозв'язності певного

окремого випадку завдання обчислення дискретного логарифма. Сучасні методи вирішення цього завдання мають приблизно ту ж ефективність, що і методи розв'язання задачі факторизації. В зв'язку з цим пропонується використовувати ключі довжиною від 512 до 1024 біт з тими ж характеристиками надійності, що і в системі RSA. Довжина підпису в системі DSA менше, ніж в RSA, і становить 320 біт.

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи було реалізація алгоритма DSA для створення цифрового підпису, підписання документу та перевірки автентичності підпису тестування роботи програми на конкретних прикладах, дослідження швидкості процесу створення та перевірки підпису залежно від довжини ключа.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Для підписування повідомлень необхідна пара ключів - відкритий і закритий. При цьому закритий ключ повинен бути відомий тільки тому, хто підписує повідомлення, а відкритий - будь-кому, хто бажає перевірити справжність повідомлення. Також загальнодоступними є параметри самого алгоритму.

1) Вибір хеш-функції  $H(x)$ . Для використання алгоритму необхідно, щоб повідомлення, що підписується, було числом. Хеш-функція повинна перетворити будь-яке повідомлення в число.

2) Вибір великого простого числа  $q$ , розмірність якого в бітах збігається з розмірністю в бітах значень хеш-функції  $H(x)$

3) Вибір простого числа  $p$ , такого, що  $(p-1)$  ділиться на  $q$ . Розмірність  $p$  задає криптостійкість системи. Раніше рекомендувалася довжина в 1024 біта. В даний момент для систем, які повинні бути стійкими до 2010 (2030) року, рекомендується довжина в 2048 (3072) біта.

4) Вибір числа  $g$  такого, що його мультиплікативний порядок по модулю  $p$  дорівнює  $q$ . Для його обчислення можна скористатися формулою

$$g = h^{(p-1)/q} \bmod p, \quad (1)$$

де  $h$  - деяке довільне число,  $h \in (1; p-1)$  таке, що  $g \neq 1$ . У більшості випадків значення  $h = 2$  задовольняє цій вимозі.

Підпис повідомлення виконується за наступним алгоритмом:

1) Вибір випадкового числа  $k \in (0; q)$

2) Обчислення

$$r = (g^k \bmod p) \bmod q \quad (2)$$

3) Обчислення

$$s = (k^{-1}(H(m) + x * r)) \bmod q \quad (3)$$

4) Вибір іншого  $k$ , якщо виявилось, що  $r = 0$  або  $s = 0$

Підписом є пара чисел  $(r, s)$

Перевірка підпису виконується за наступним алгоритмом:

1) Обчислення

$$w = s^{-1} \bmod q \quad (4)$$

2) Обчислення

$$u_1 = (H(m) * w) \bmod q \quad (5)$$

3) Обчислення

$$u_2 = (r * w) \bmod q \quad (6)$$

4) Обчислення

$$v = ((g^{u_1} * g^{u_2}) \bmod p) \bmod q \quad (7)$$

Підпис вірний, якщо  $v = r$

У зв'язку з тим, що на мові програмування Java є велика кількість зручних бібліотек для роботи з криптографією, кросплатформеність середовища та попередній досвід роботи з нею для реалізації

програми для розробки програми створення та перевірки електронного цифрового підпису була обрана мова java.

Програма має декілька варіантів роботи. Перший варіант передбачає створення ключової пари (відкритий та закритий ключ) для користувача та підписання документа за допомогою закритого ключа. Також програма реалізує механізм перевірки автентичності підпису (чи був змінений документ після підписання). Другий варіант передбачає наявність у користувача ключової пари, у цьому випадку програма використовує закритий ключ користувача (на відміну від генерування ключів у першому варіанті).

Файл README.txt з текстом, який треба підписати, зображено на рис. 1.



Рис. 1. Зміст тестового файлу

Після запуску програми вибирається варіант роботи з генеруванням ключової пари (рис. 2).

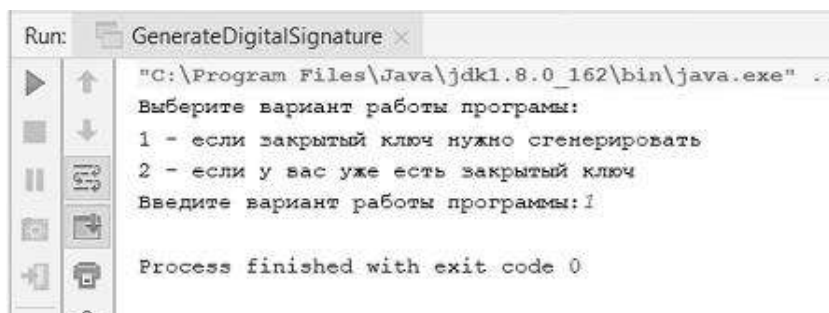


Рис. 2. Діалогове вікно програми

В результаті буде створено 3 файли з відкритим ключем, таємним ключем та з підписом для тестового файлу.

Вигляд створеного підпису представлено на рис. 3.

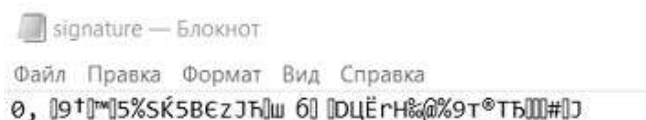


Рис. 3. Зміст файлу з підписом

Перевірка підпису буде виконано за допомогою відповідного модулю програми. Для цього треба вказати шлях до вихідного файлу, підпису та відкритого ключа (рис. 4).

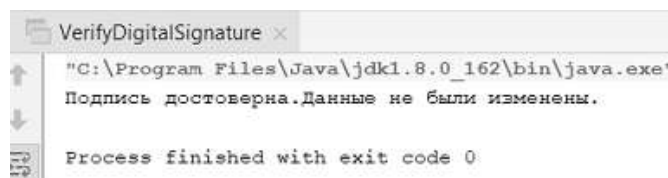


Рис. 4. Діалогове вікно програми після перевірки підпису

Підпис буде достовірний.

Хай буде змінено дані у текстовому файлі, як зображено на рис. 5. Та проведена повторна перевірка.



Рис. 5. Змінений зміст тестового файлу

Повторна перевірка підпису дає результати, представлені на рис. 6.

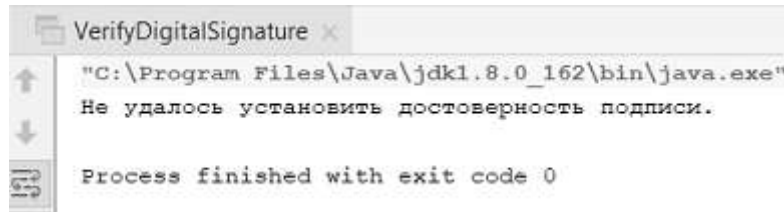


Рис. 6. Результат перевірки цифрового підпису після внесення змін у файл

Після зміни даних у файлі достовірність підпису була порушена.

Для дослідження швидкості та якісних характеристик алгоритмів створення та перевірки цифрового підпису, було розроблено окрема програма.

Для проведення дослідів використаємо System.nanoTime() та контрольні точки, які розставлені по ходу виконання програми. nanoTime() дає наносекундно точний час відносно деякої довільної точки. Повертає поточне значення найбільш точного доступного системного таймера в наносекундах.

Для того аби дізнатись який час необхідний на виконання тієї чи іншої ділянки коду, зробимо дві контрольні точки, де будемо вимірювати час (перед початком блоку коду та після нього). Для того аби дізнатись скільки часу знадобилось на виконання ділянки коду віднімемо від значення часу у кінцевій точці значення у початковій, та конвертуємо значення з наносекунд у мілісекунди.

Вимірювання будемо проводити на системі з Intel Core i7 (7<sup>th</sup> gen), Nvidia GeForce GT960M та 12gb RAM, тому кількісні показники можуть відрізнятися але загальний принцип та залежності у алгоритмах ЕЦП зберігаються.

Дослідимо залежність швидкості виконання дій з створення ключової пари, виконання підпису документу та перевірки підпису. Розмір документу візьмемо у 100 байт (аби у подальшому перевірити залежність швидкодії від розміру документу). Для більшої точності результатів виконаємо 10000 симуляцій, як результат візьмемо середнє значення упродовж симуляцій.

Виконаємо дослід побудови цифрового електронного підпису для алгоритму DSA, результати якого представлено у табл.1 та рис. 7.

Таблиця 1

Залежність часу на виконання операцій від розміру ключа DSA

Алгоритм	Розмір ключа (біт)	Час необхідний на генерування підпису (мс)	Час необхідний на підписання документу (мс)	Час необхідний на перевірку підпису (мс)
DSA	512	409	4	8
DSA	1024	480	8	18
DSA	2048	351	13	33

Час на створення підпису при використанні хеш-функції SHA-1 при довжині ключа 512 біт – 409 мс, при довжині 1024 біт – 480 мс. А при використанні хеш-функції SHA-2 та довжини ключа у 2048 біт – 351 мс. Така динаміка часу, що при збільшенні довжини ключа та з тим надійності підпис створюється швидше, пов'язана перш за все з використанням більш сучасного алгоритму хешування.

Залежність часу від розміру ключа DSA представлено на рис. 8.

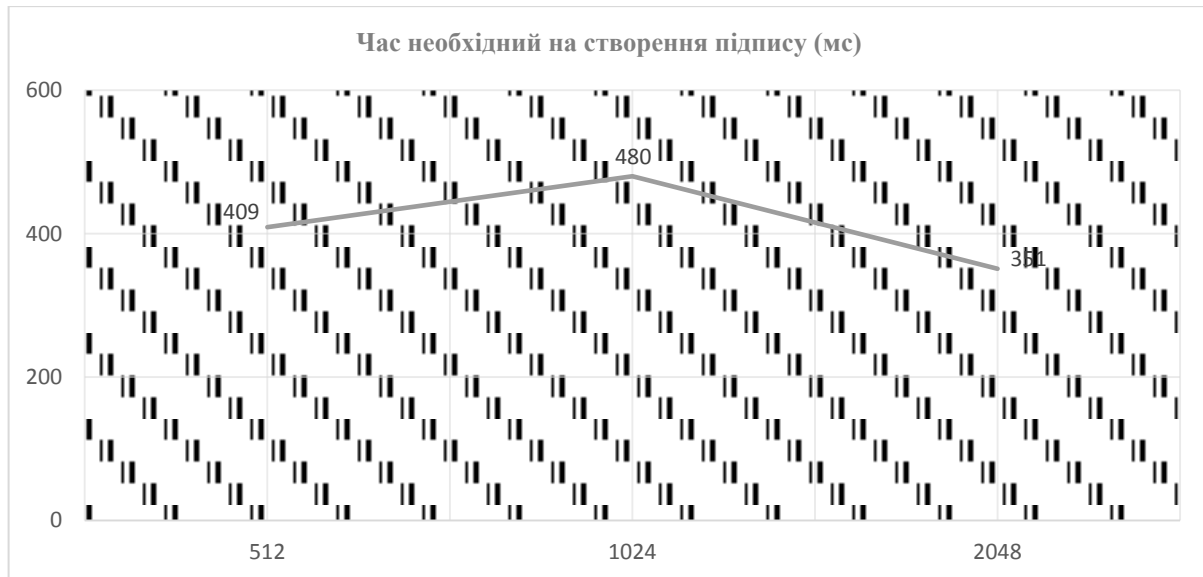


Рис. 7. Залежність часу на створення підпису від розміру ключа DSA

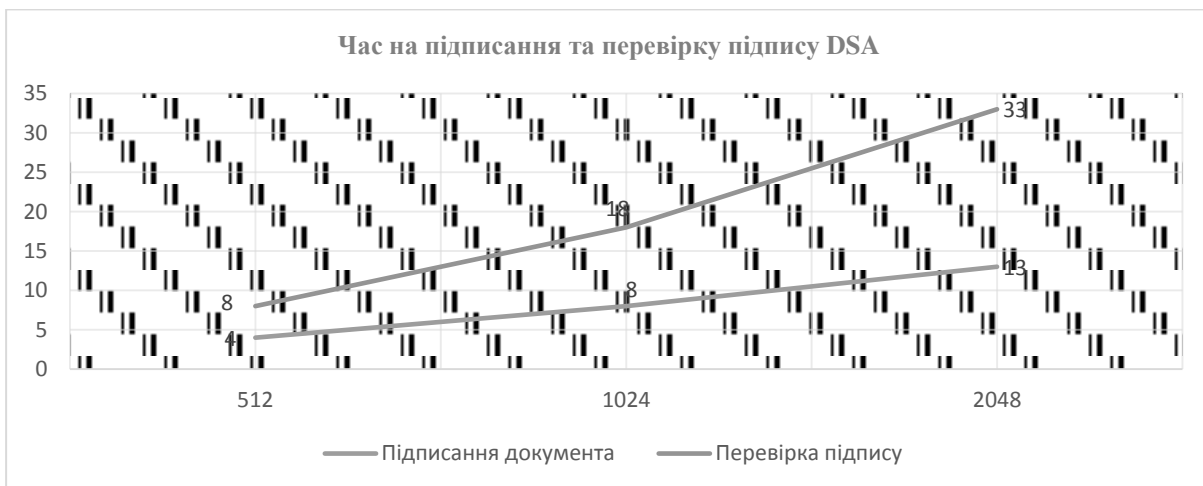


Рис. 8. Залежність часу на підписання документа та перевірку підпису від розміру ключа DSA

За результатами дослідження зроблено висновок про лінійну залежність, яка показує що зі збільшенням довжини ключа збільшується час який необхідний на виконання операцій з підпису документа та перевірки цього підпису. Так, при довжині ключа у 512 біт для того аби поставити підпис під документом необхідно 4 мс, для перевірки – 8 мс. При розмірі ключа 1024 біт для підпису необхідно 8 мс, для перевірки підпису – 18 мс. Якщо розмір ключа 2048 біт, час який знадобиться на підпис документа 13 мс, для перевірки цього підпису – 33 мс.

#### Висновки

На мові програмування java розроблено програму, яка дозволяє генерувати ключові пари за алгоритмом DSA, виконувати підписання та перевірку підписаних цифровим підписом файлів. Роботу програми перевірено на тестових прикладах. Розроблена програма для визначення якісних характеристик алгоритмів створення та перевірки електронного цифрового підпису, знайдені залежності часу на створення підпису та часу на підписання документа і перевірку підпису від розміру ключа за алгоритмом DSA.



**Список використаної літератури**

1. Відомості про алгоритми ЕЦП. URL: [http://cryptowiki.net/index.php?title=Алгоритмы\\_ЭЦП](http://cryptowiki.net/index.php?title=Алгоритмы_ЭЦП) (дата звернення: 23.12.2019).
2. Электронно-цифровая подпись : алгоритм DSA. URL: [http://www.volpi.ru/umkd/zki/examples/ds/ecp\\_dsa.html](http://www.volpi.ru/umkd/zki/examples/ds/ecp_dsa.html) (дата звернення: 23.12.2019).
3. Мова програмування Java : Введення в Java. URL: <https://metanit.com/java/tutorial/1.1.php> (дата звернення: 23.12.2019).
4. Ігочкіна Є.В., Аналіз алгоритмів цифрового підпису. URL: <http://www.security.ase.md/publ/ru/pubru86/> (дата звернення: 23.12.2019).
5. Керівництво по мові програмування Java. URL: <https://metanit.com/java/tutorial/> (дата звернення: 23.12.2019).
6. Ткач Ю.М., Електронний цифровий підпис. URL: <http://uchil.net/?cm=167737> (дата звернення: 23.12.2019).

**References**

1. Vidomosti pro alhorytmy ETsP. (Information about EDS algorithms) Available at: [http://cryptowiki.net/index.php?title=Алгоритмы\\_ЭЦП](http://cryptowiki.net/index.php?title=Алгоритмы_ЭЦП) (accessed 23 December 2019).
2. Elektronno-tsifrovaya podpis : algoritm DSA (Digital Signature: DSA Algorithm) Available at: [http://www.volpi.ru/umkd/zki/examples/ds/ecp\\_dsa.html](http://www.volpi.ru/umkd/zki/examples/ds/ecp_dsa.html) (accessed 23 December 2019).
3. Mova prohramuvannia Java : Vvedennia v Java (Java programming language: Introduction to Java) Available at: <https://metanit.com/java/tutorial/1.1.php> (accessed 23 December 2019).
4. Ihochkina Ye.V., Analiz alhorytmiv tsyfrovoho pidpysu (Analysis of digital signature algorithms) Available at: <http://www.security.ase.md/publ/ru/pubru86/> (accessed 23 December 2019).
5. Kerivnytstvo po movi prohramuvannia Java (Java Programming Language Guide) Available at: <https://metanit.com/java/tutorial/> (accessed 23 December 2019).
6. Tkach Yu.M., Elektronnyi tsyfrovyi pidpys (Electronic digital signature) Available at: <http://uchil.net/?cm=167737> (accessed 23 December 2019).

УДК 004.986

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.1.1.19>

В.Г. ШЕРСТЮК

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-9096-2582

І.В. ДОРОВСЬКА

Європейський університет

ORCID: 0000-0001-5990-0992

Р.М. ЛЕВКІВСЬКИЙ

Херсонська державна морська академія

ORCID: 0000-0001-9280-8098

В.М. ГУСЄВ

Херсонська державна морська академія

ORCID: 0000-0001-7775-2276

## ОЦІНКА ПОДІБНОСТІ СИТУАЦІЙ В СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ: ПРОСТОРОВІ МІРИ

*У статті розглянуто питання оцінки просторової подібності ситуацій в сценарно-прецедентних системах управління великими групами безпілотних апаратів. Досліджено існуючі підходи обчислювальної геометрії до визначення мір просторової подібності, проведено аналіз їх особливостей. Запропоновано теоретичний підхід до оцінювання просторової подібності, що заснований на поданні просторових конфігурацій у вигляді шаблонів та застосуванні мір несхожості, які визначають ступінь їх розбіжності, зворотний до ступеня подібності. Запропоновано дискретизовану просторову модель, основою якої є куля з нескінченим радіусом та кутова система координат. На основі просторової моделі побудовано нелінійну м'яку топологію відкритої кулі, яку застосовано для подальшого визначення несхожості шляхом вимірювання метричної відстані між топологією шаблону та топологією зразка. Використано метод оцінки об'єму симетричної різниці шаблонів. Запропонований метод є інваріантним до можливих перетворень шаблонів за допомогою обертання або масштабування, що зберігають об'єм. Враховано наявність зон, що розбивають просторову конфігурацію відповідно до ступеня впливу з міркувань безпеки руху. Враховано часткову просторову схожість щодо вкладених або підпорядкованих частин просторової конфігурації. Запропонований метод може використовуватися для визначення ступеня подібності просторових шаблонів, поданих у вигляді топологій, безвідносно до конкретного класу цих топологій, використовуючи операції віднімання топологій. Результати дослідження дозволяють використовувати сценарно-прецедентний підхід при вирішенні важкоформалізованих задач управління великими групами безпілотних апаратів.*

*Ключові слова: міра подібності, просторова подібність, просторова модель, м'яка топологія, шаблон, об'єм симетричної різниці.*

В.Г. ШЕРСТЮК

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-9096-2582

І.В. ДОРОВСЬКА

Європейський університет

ORCID: 0000-0001-5990-0992

Р.М. ЛЕВКІВСЬКИЙ

Херсонська державна морська академія

ORCID: 0000-0001-9280-8098

В.М. ГУСЄВ

Херсонська державна морська академія

ORCID: 0000-0001-7775-2276

## ОЦЕНКА ПОДОБИЯ СИТУАЦИЙ В СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ: ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ МЕРЫ

*В статье рассмотрены вопросы оценки пространственного подобия ситуаций в сценарно-прецедентных системах управления большими группами беспилотных аппаратов. Исследованы существующие подходы вычислительной геометрии к определению мер пространственного подобия, проведен анализ их особенностей. Предложен теоретический подход к оценке пространственного подобия, основанный на представлении пространственных конфигураций в виде шаблонов и применении мер несхожести, определяющих степень их отличия, обратную степени подобия. Предложена дискретизированная пространственная модель, в основе которой лежит шар с бесконечным радиусом и*

угловая система координат. На основе пространственной модели построена нелинейная мягкая топология открытого шара, которая применяется для дальнейшего определения несхожести измерением метрического расстояния между топологией шаблона и топологией образца. Использован метод оценки объема симметричной разницы шаблонов. Предложенный метод является инвариантным к возможным преобразованиям шаблонов с помощью вращения или масштабирования, которые сохраняют объем. Учтено наличие зон, которые разбивают пространственную конфигурацию в соответствии со степенью воздействия на безопасность движения. Учтено частичное пространственное подобие по вложенным или подчиненным частям пространственной конфигурации. Предложенный метод может использоваться для определения степени подобия пространственных шаблонов, представленных в виде топологий безотносительно конкретного класса этих топологий, используя операции их вычитания. Результаты исследования позволяют использовать сценарно-прецедентный подход при решении трудноформализуемых задач управления большими группами беспилотных аппаратов.

*Ключевые слова:* мера подобия, пространственное подобие, пространственная модель, мягкая топология, шаблон, объем симметричной разности.

V.G. SHERSTJUK

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0002-9096-2582

I.V. DOROVSKA

European University

ORCID: 0000-0001-5990-0992

R.N. LEVKIVSKYI

Kherson State Maritime Academy

ORCID: 0000-0001-9280-8098

V.N. GUSEV

Kherson State Maritime Academy

ORCID: 0000-0001-7775-2276

#### ASSESSMENT OF SITUATION SIMILARITY IN SCENARIO-CASE CONTROL SYSTEMS: SPATIAL MEASURES

*This paper discusses the issues of assessing the spatial similarity of situations in scenario-case control systems for large groups of unmanned vehicles. The existing computational geometry approaches to the determination of spatial similarity measures are investigated, and their features are analyzed. A theoretical approach to the spatial similarity assessment is proposed, based on the representation of spatial configurations in the form of patterns and the application of dissimilarity measures that determine their divergence degree opposed to the similarity degree. A discretized spatial model is proposed, which is based on a sphere with an infinite radius and an angular coordinate system. Based on the spatial model, a nonlinear soft open-ball topology is constructed, which is used to further determination of the dissimilarity by measuring the metric distance between the pattern topology and the sample topology. The method of estimating the volume of the symmetric difference is used. The proposed method is invariant to possible transformations of patterns by rotation or scaling, which keep their volume. The presence of zones breaking down the spatial configuration in accordance with the degree of impact to the safety conditions is considered. Partial spatial similarity is taken into account for certain nested or subordinate parts of the spatial configuration. The proposed method can be used to determine the similarity degree of spatial patterns presented in the form of topologies regardless of the specific topology classes using the operations of their subtraction. The results of the research make it possible to use a scenario-case approach in solving hard control tasks for large groups of unmanned vehicles.*

*Keywords:* similarity measure, spatial similarity, spatial model, soft topology, pattern, volume of symmetric difference.

#### Постановка проблеми

Прогрес останніх років у сферах створення та застосування безпілотних апаратів призвів до їх використання не тільки поодиноці, але і у складі великих груп для вирішення низки важливих задач реального часу. Для їх вирішення почали використовувати гетерогенні групи (ансамблі) безпілотних апаратів, які мають не тільки різний розмір, функціональне призначення та ролі, а й різні середовища руху. Наприклад, до вирішення задачі інтелектуального, або смарт-рибальства, можуть спільно використовуватися групи безпілотних літальних апаратів для пошуку рибних зграй, групи безпілотних підводних апаратів для ідентифікації риб в зграях, їх спрямування та супроводження, групи безпілотних катерів у якості носіїв риболовних знарядь тощо. Надалі будемо розглядати будь-які безпілотні апарати (БА) як рухомі об'єкти (РО) безвідносно їх середовища руху.

Зрозуміло, що одночасне використання множини БА різного призначення, які функціонально доповнюють друг друга, дозволяє значно ефективніше вирішувати їх спільне завдання. Кожен із БА у спільному виконанні певної місії має грати свою певну роль, маючи власний сценарій та відпрацьовуючи його у складі великої команди [1]. Однак, виконання місії передбачає і спільний одночасний рух у певному обмеженому просторі, що є відкритим для будь-яких інших РО (пілотованих або непілотованих), які можуть збурювати не тільки рух одного або декількох БА, а і виконання їх місії. Наприклад, при здійсненні смарт-рибальства вторгнення сторонніх РО може вимагати зміни траєкторій руху всієї групи БА, що не є простою задачею через вимоги безпечного руху, дистанції впевненого зв'язку, використання рибальських знарядь тощо. Взагалі, задача динамічного управління траєкторіями ансамблю БА є доволі складною, оскільки БА мають певні відмінності в законах і особливостях руху, який до того ж є обмеженим у просторі та схильним до впливу динамічних і ситуаційних збурень різної природи.

Недосконалість моделей РО та обмеженість моделей управління ними, значний простір рішень, суттєвий вплив факторів невизначеності та багато інших факторів стримують використання традиційних методів управління. Велика кількість БА, що одночасно рухаються, та складність формалізації знань унеможливають також використання методів, заснованих на алгоритмах перебору. Це спричиняє необхідність застосування інтуїтивно-евристичних підходів, заснованих на принципах прийняття рішень в схожих ситуаціях на основі накопиченого досвіду та логіки «здорового глузду», до яких відносять і сценарно-прецедентний підхід [2]. Цей підхід значною мірою ґрунтується на знаходженні подібних ситуацій, які мали місце в минулому, утворюючи прецедент, який збережено в базі прецедентів. За такого підходу, для керування рухом ансамблю БА має бути визначена певна функція подібності, що використовується для пошуку прецедентів та враховує при цьому просторовий аспект ситуації. Проте, міри просторової подібності опрацьовані недостатньо, а проблема їх використання для сценарно-прецедентного керування рухом БА є ще далекою від свого вичерпного рішення. Отже, актуальною задачею є дослідження мір і функцій просторової подібності, що можуть бути ефективно використані для пошуку прецедентів у сценарно-прецедентних системах керування рухом БА.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Більшість із запропонованих на цей час мір просторової подібності стали результатом досліджень різних аспектів руху. Це пов'язано з тим, що траєкторія будь-якого об'єкту розглядається як послідовність впорядкованих за часом координат точок [3] або як множина точок, що складають статичну геометричну форму без врахування часового виміру [4]. Виходячи з цього, для визначення просторової подібності зазвичай використовують геометричні методи.

Геометричні методи працюють з кінцевими множинами точок або багатокутниками, які можуть бути отримані на підставі векторного подання об'єктів [5]. При розробці переважної більшості алгоритмів пошуку просторової подібності використовуються методи обчислювальної геометрії, в першу чергу методи співставлення фігур, що вимірюють відстань між двома фігурами безвідносно їх можливих перетворень на кшталт обертання або масштабування. Для обчислення відстані між фігурами в обчислювальній геометрії використовуються різні міри геометричної подібності, базовими з яких є міри, засновані на співставленні, на обчисленні симетричної різниці, на метриках «найвужчої» відстані, відстані Хаусдорфа та відстані Фреше [6]. Переважна більшість досліджень просторових функцій подібності зосереджені на розробці ефективних алгоритмів для прискорення обчислення саме цих базових мір.

Розглянемо дві множини точок  $A$  і  $B$ , що утворюють дві геометричні фігури, які надалі будемо розглядати як певні геометричні шаблони. Міру подібності будемо розглядати як функцією, що присвоює кожній парі шаблонів невід'ємне дійсне число. Типовим алгоритмом знаходження міри подібності двох шаблонів є алгоритм пошуку деякого геометричного перетворення  $g$ , такого що  $g(A)=B$  [7].

Міри, засновані на співставленні, розглядають  $A$  і  $B$  як кінцеві підмножини  $\check{Y}^k$ , а групу перетворень  $G$  як таку, що складається з Евклідових ізометрій на  $\check{Y}^k$ . Тоді дискретну метрику  $C$  визначають як

$$C(A, B) = \begin{cases} 0 & \text{якщо } A=B \\ 1 & \text{у іншому разі} \end{cases}.$$

Точне співставлення  $A$  і  $B$  у межах групи  $G$  може бути зведено до обчислення мінімального значення  $C(g_i(A), B)$  з усіх перетворень  $g_i \in G$ . Результат суміщення  $A$  і  $B$  проектується на одиничну сферу в  $\check{Y}^k$ , а кожна проєктована точка позначається міткою її відстані від початкової точки. Алгоритм працює шляхом співставлення відповідних помічених точок підмножин  $A$  і  $B$  [8], і знаходить збіг лише в тому випадку, коли  $A$  і  $B$  за допомогою низки геометричних перетворень можуть бути зведені до тотожності, тому його практичне використання є доволі обмеженим.

Відстань найвужчого місця між двома кінцевими множинами точок, що мають рівне кардинальне число, є мінімумом з усіх бієкцій між цими множинами за максимальною відстанню між кожними двома точками, які пов'язані бієкцією [9]. Нехай  $A$  і  $B$  – кінцеві підмножини певного простору  $X$  з метрикою  $\rho$ , які мають однакові кардинальні числа. Нехай  $F(A, B)$  – множина всіх бієкцій від  $A$  до  $B$ . Тоді для будь-яких  $a \in A$ ,  $b \in B$  найвужчу відстань  $b_\rho$  щодо  $\rho$  визначають як  $b_\rho(A, B) = \min_{f \in F(A, B)} \max_{a \in A} \rho(f(a), a)$ . Приблизний збіг може бути встановлений лише якщо між точками  $A$  і  $B$  існує бієкція [10].

Відстань Хаусдорфа є найбільш дослідженою мірою подібності в обчислювальній геометрії [11]. Для двох компактних множин точок  $A$  і  $B$ , що утворюють дві геометричні фігури (або криві), відстань Хаусдорфа на основі метрики  $\rho$  визначають як  $D_H^\rho(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \rho(a, b)$ . Якщо  $\rho$  є евклідовою метрикою, відстань Хаусдорфа відповідає максимуму мінімальних евклідових відстаней між кожною з точок множини  $A$  до відповідної точки множини  $B$ , тож односторонню відстань Хаусдорфа від  $A$  до  $B$  обчислюють як  $D_H^\rho(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$ , де  $\|\cdot\|$  – евклідова метрика. Двостороння відстань Хаусдорфа визначається як найбільша з двох односторонніх, тобто  $D_H(A, B) = \max(D_H^\rho(A, B), D_H^\rho(B, A))$ . Алгоритм є неефективним, якщо  $A$  й  $B$  є суцільними кривими або складаються з відрізків ліній. Відстань Хаусдорфа не враховує інформацію про впорядкування кривих та є занадто чутливою до шуму, оскільки значення відстані визначається точкою "найгіршого узгодження".

Відстань Фреше є мірою подібності між двома кривими, яка не залежить від їх параметризації. Криву розглядають як неперервну функцію від інтервалу  $[0, 1]$  в топологічний простір  $X$ . Нехай  $X$  – простір з метрикою  $\rho$ , а  $Hom$  – сукупність гомоморфізмів з  $[0, 1]$  на себе, таких що  $\sigma, \tau \in Hom$  якщо  $\sigma, \tau: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ . Відстань Фреше між двома кривими  $\alpha$  і  $\beta$ , такими що  $\alpha, \beta: [0, 1] \rightarrow \check{Y}^k$ , визначається на підставі  $\rho$  як  $D_F(\alpha, \beta) = \inf_{\sigma, \tau \in Hom} \max_{t \in [0, 1]} \rho(\alpha(\sigma(t)) - \beta(\tau(t)))$ . Відстань Фреше є інтуїтивно більш зрозумілою, ніж попередні міри. Вона є кращою за відстань Хаусдорфа з точки зору визначення подібності фігур, оскільки враховує впорядкування точок, пройдених кривими.

Міра симетричної різниці може розглядатися як міра подібності щодо певного зразка [12]. Він визначається на колекції вимірюваних підмножин Лебега з  $\check{Y}^k$ , де симетрична різниця  $A \Delta B$  двох множин  $A$  і  $B$  обчислюється як об'єднання двох різниць множин, відповідно  $A - B$  та  $B - A$ . Нехай  $k$ -розмірний об'єм підмножини  $P \subseteq \check{Y}^k$  є  $\text{vol}(P)$ , тоді об'єм симетричної різниці визначається як  $s(A, B) = \text{vol}(A \Delta B)$ , та є метрикою на колекції компактних підмножин  $\check{Y}^k$ , що дорівнюють внутрішньому замиканню. Симетрична різниця дає доволі надійну міру подібності, оскільки додавання малих шумових областей практично не впливає на неї. Алгоритми мінімізації обсягу симетричної різниці ефективні лише для опуклих випадків.

Отже, кожна з існуючих мір просторової подібності має свої переваги та одночасно і суттєві обмеження, що стримує їх практичне використання у сценарно-прецедентних системах, де РО утворюють геометричні шаблони, подані точками, що відповідають позиціям РО у просторі на момент розгляду. Вони не мають бути тотожними до прецедентів, утворювати криві або будь-які геометричні фігури, мати опуклості тощо. Але, використання інструментальних засобів спостереження за навігаційною ситуацією спричиняє шумові ефекти, які потрібно враховувати. Таким чином, потрібно комбінувати, наприклад, міру симетричної різниці та відстань Хаусдорфа таким чином, щоб отримати ефективну просторову міру подібності, малочутливу до можливих шумів.

#### Мета дослідження

РО будемо розглядати як певну геолокалізовану сутність, положення якої з часом змінюється. Будемо вважати, що кожний БА займає в певний момент часу певну позицію в заданому тривимірному просторі, що подається його декартовими  $(x, y, z)$  координатами. Рух БА за певний проміжок часу може бути поданий його траєкторією, тобто геопросторовим ланцюжком позицій БА, упорядкованих за часом.

Метою дослідження є побудова функції подібності, яка враховуватиме просторовий аспект ситуації, в тому числі множину РО, що утворюють просторову конфігурацію, та їх відносне розташування. Оскільки двох абсолютно однакових ситуацій ніколи не буває, потрібно обчислювати ступінь їх схожості  $\mu$ , що визначає, наскільки дві можливі ситуації  $S_1$  і  $S_2$  нагадують одна одну:  $F(S_1, S_2) \rightarrow \mu$ . В цій статті розглянемо просторову подібність ситуацій на основі методів обчислювальної геометрії. Для визначення ступеня схожості будемо використовувати зворотній йому ступінь несхожості, що визначається як вартість перетворення ситуації  $S_1$  в  $S_2$  (або навпаки), тобто як певна «відстань»  $D(S_1, S_2)$  між двома ситуаціями.

## Викладення основного матеріалу дослідження

Визначення псевдометричного простору. Розглянемо довільну множину  $S$ , міра подібності  $\rho$  на якій є функцією  $\rho: S \times S \rightarrow \mathbb{R}$ , що повертає значення  $\geq 0$  і має властивості: а)  $\forall x \in S \rho(x, x) = 0$ ; б)  $\forall x, y \in S, x \neq y \rho(x, y) > 0$ ; в)  $\forall x, y \in S, x \neq y \rho(x, y) = \rho(y, x)$ ; г)  $\forall x, y, z \in S \rho(x, z) \leq \rho(x, y) + \rho(y, z)$ ; д)  $\forall x, y, z \in S \rho(x, z) \leq \max(\rho(x, y), \rho(y, z))$ . Якщо функція задовольняє умовам а)-г), вона є метрикою. Якщо функція задовольняє лише умовам а), в), г), вона є псевдометрикою.

Пара  $(S, \rho)$  утворює метричний простір, якщо  $\rho$  є метрикою, і псевдометричний простір, якщо  $\rho$  є псевдометрикою. На Евклідовій площині, що утворюється будь-якими двома координатами  $k$ -вимірному простору,  $\rho(x, y) = |x - y|$  є псевдометрикою, що забезпечує структуру підлеглої множини. Псевдометричний простір є випадком більш загальних просторів, таких як топологічний простір [13], а відповідна топологія є псевдометричною топологією. Надалі будемо розглядати лише ті топологічні властивості, які індукуються псевдометриками.

Топологія, що індукується псевдометрикою, визначається наступним чином. У псевдометричному просторі  $(S, \rho)$  відкрита куля  $B_\rho(x, \varepsilon)$  з центром  $x$  і радіусом  $\varepsilon$  є множиною всіх елементів  $y \in S$ , для яких  $\rho(x, y) \leq \varepsilon$ . Колекція всіх відкритих куль є основою псевдометричної топології для  $(S, \rho)$ . Евклідова метрика індукує звичайну топологію на  $\mathbb{R}^k$ . Множина є відкритою у цій топології тоді і лише тоді, коли її можливо подати як об'єднання евклідових куль.

Розбиття множини  $S$  є сукупністю непересічних підмножин, об'єднання яких дорівнює  $S$ . Нехай  $\Sigma$  є таким розбиттям  $S$ , що не містить порожніх множин. Тоді псевдометрика  $\rho$  на  $\Sigma$  утворює міру подібності  $\rho^\Sigma$ , визначену на  $P, Q \in \Sigma$  як  $\rho^\Sigma(P, Q) = \inf \{ \rho(p, q) \mid p \in P, q \in Q \}$ . Розбиття множини є тісно пов'язаним з відношенням еквівалентності.

Відношення  $\mathfrak{R}$  є відношенням еквівалентності на  $\Sigma$ , якщо воно задовольняє наступним умовам: а)  $\forall x \in \Sigma (x, x) \in \mathfrak{R}$ ; б)  $\forall x, y \in \Sigma (x, y) \in \mathfrak{R} \leftrightarrow (y, x) \in \mathfrak{R}$ ; в)  $\forall x, y, z \in \Sigma (x, y) \in \mathfrak{R} \wedge (y, z) \in \mathfrak{R} \leftrightarrow (x, z) \in \mathfrak{R}$ . Клас еквівалентності  $x / \mathfrak{R}$ , визначений елементом  $x \in \Sigma$ , є сукупністю всіх  $y \in \Sigma$ , що задовольняють умові  $(x, y) \in \mathfrak{R}$ . Тож колекція всіх класів еквівалентності є розбиттям, яке складається з непорожніх множин.

Ідентифікація точок з нульовою відстанню призводить саме до відношення еквівалентності. З огляду на псевдометрику  $\rho$  на  $\Sigma$ , відповідне відношення еквівалентності  $I_\rho$  складається з усіх пар  $(x, y) \in \Sigma \times \Sigma$  для яких  $\rho(x, y) = 0$ . Позначимо як  $I_\Sigma$  розбиття  $\Sigma$ , що індуковане відношенням  $I_\rho$ . Тоді, якщо  $\rho$  – це псевдометрика, то міра подібності  $\rho^{I_\Sigma}$  є метрикою на  $I_\Sigma$ , а  $\rho^{I_\Sigma}$  є метричним фактором міри  $\rho$ .

Визначення псевдометричного простору шаблонів. Розглянемо особливий тип псевдометричного простору, в якому елементи є підмножинами заданого простору  $X$ .

Псевдометричний простір зразків є структурою  $(X, \mathcal{P}, \rho)$ , де  $X$  – топологічний простір,  $\mathcal{P}$  – сукупність підмножин  $X$ , а  $\rho$  – псевдометрика. Елементи  $\mathcal{P}$  називаються шаблонами, а колекція  $\mathcal{P}$  є колекцією шаблонів. Множина  $X$  є підлеглим (базовим) простором, тому якщо на ньому визначено певну метрику, вона є базовою метрикою, яку в загальному випадку позначають символом  $\wp$ .

Нехай  $(X, \wp)$  – певний псевдометричний простір, а  $\mathcal{P}$  – сукупність непустих замкнених підмножин  $X$ . Нехай  $N_\wp(P, \varepsilon)$  є об'єднанням усіх відкритих куль з радіусом  $\varepsilon$ , відцентрованих в точках з множини  $P$ , де кулі визначені відносно метрики  $\wp$ . Метрика Хаусдорфа  $D_{N_\wp}$  на  $\mathcal{P}$  з базовою метрикою  $\wp$  визначається як  $D_{N_\wp}(A, B) = \inf \{ \varepsilon > 0 \mid A \subseteq N_\wp(B, \varepsilon), B \subseteq N_\wp(A, \varepsilon) \}$ . Структура  $(X, \mathcal{P}, D_{N_\wp})$ , відповідно, є метричним простором шаблонів.

Розглянемо задачу визначення міри подібності, виходячи з наступних міркувань. В процесі руху множини РО утворюється певна просторова конфігурація (рис. 1), що є статичним описом ситуації  $S$ .

Така конфігурація у термінах даної роботи є геометричним шаблоном. Будемо вважати, що шаблон (просторова конфігурація) може бути поданий у вигляді певної топології у просторі спільного руху РО. Сховище прецедентів містить певну множину просторових зразків, які також можуть бути подані як шаблони. Отже, пошук релевантного прецеденту для ситуації  $S$  може проводитись на підставі функції, що приймає два описи просторової конфігурації у вигляді шаблонів та повертає ступінь їх подібності.

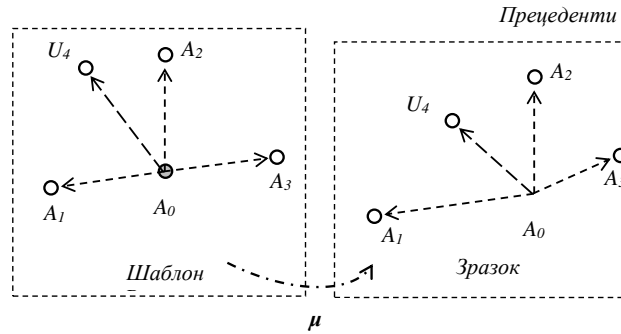


Рис. 1. Визначення просторової подібності шаблонів

Побудова просторової моделі. Розглянемо тривимірний лінійний рівномірний простір  $C$ . Нехай  $Y$  – множина певних елементів, а  $T$  – множина відрізків часу  $t$ , впорядкованих відношенням повного порядку  $<_T$  з початковим відрізком  $t_0$ . Запровадимо в  $C$  норму  $\|y\|_C = \min_{t \in [0, T]} (y(t))$ , де  $y \in Y$ ,  $t \in T$  та відповідну їй метрику  $\xi_C(y_1, y_2) = \|y_1 - y_2\|$ , таку що: а)  $\xi_C(y_1, y_2) = \|y_1 - y_2\| = 0 \Leftrightarrow y_1 = y_2$ ; б)  $\xi_C(y_1, y_2) = \|y_1 - y_2\| = \|y_2 - y_1\| = \xi_C(y_2, y_1)$ ; в)  $\xi_C(y_1, y_2) = \|y_1 - y_2\| = \|(y_1 - z) - (z - y_2)\|$ ,  $\|y_1 - z\| + \|z - y_2\| = \xi_C(y_2, y_1)$ ; г)  $\xi_C(y_1, y_2) = \xi_C(y_1 + a, y_2 + a)$ ; д)  $\xi_C(\lambda y_1, \lambda y_2) = |\lambda| \cdot \xi_C(y_1, y_2)$ .

Визначимо базис  $e_1, e_2, e_3$  в просторі  $C$  так, щоб метрика  $\xi_C$  залишалась рівномірною. Отже, декомпозиція вектору  $v = \alpha_1 e_1 + \alpha_2 e_2 + \alpha_3 e_3$  дає координати  $v(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$  певної точки простору  $C$ , що дає опис позиції РО. Наразі, ми отримуємо безперервну просторову модель на рівні точок. В системі координат саме цієї моделі ми отримуємо інформацію спостереження за рухом РО. Однак, безперервну просторову модель доволі складно використати для визначення функцій просторової подібності через її високу обчислювальну складність, для зменшення якої просторову модель потрібно дискретизувати.

Використовуючи метрику  $\xi_C$ , накладемо метричну сітку координатних ліній розміром  $\delta = \Delta\alpha_1 = \Delta\alpha_2 = \Delta\alpha_3$  на простір  $C$  з початковою точкою  $(\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = 0)$  так, щоб координатні лінії утворили множину  $D$  ізометричних кубічних комірок  $d$  розміром  $\delta \times \delta \times \delta$ . Отже, отримуємо простір, дискретизований решіткою  $D = \{d_{xyz}\}$ , комірки якої  $d_{xyz}$  є найменшими однорідними просторовими об'єктами, координати яких  $x, y, z$  відповідають  $e_1, e_2, e_3$ .

Побудова топології відкритого кола. Виберемо позицію спостерігача та наділимо її властивостями початку координат. Побудуємо навколо цієї позиції кулю  $V \subseteq C$  з нескінченим радіусом та визначимо кутову систему координат, як показано на рис. 2. Відповідно, координати певного РО  $A$  можуть бути визначені як  $Crd(A) = (\beta_1, \beta_2, r)$ , де  $\beta_1$  – широта,  $\beta_2$  – довгота,  $r$  – відстань від початку системи координат до позиції РО.

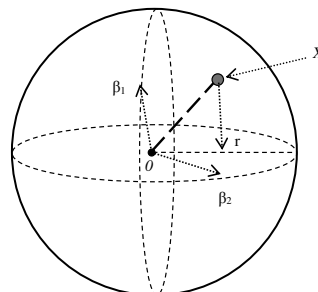


Рис. 2. Кутові координати на кулі з нескінченим радіусом

Створимо метрику  $\xi_B$  в системі кутових координат з властивостями, подібними до  $\xi_C$ , за допомогою ізометричної бієкції  $\chi: \xi_C \rightarrow \xi_B$ . Таким чином,  $\chi: v(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) \rightarrow Crd(\beta_1, \beta_2, r)$ , тобто ми можемо перейти від координат простору спостереження  $C$  до кутових координат в побудованій нами кулі  $V$ .

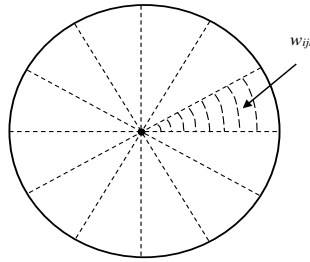


Рис. 3. Дискретизація кулі з нескінченим радіусом

Побудуємо дискретну модель кулі, використовуючи метрику  $\xi_B$  та відображення  $\varphi$ , накладемо кутову сітку координатних ліній з рівними кутами та рівними відрізками радіусу кулі  $\phi = \Delta\beta_1, \Delta\beta_2, \Delta r$  на кулю  $V$  з початковою точкою  $Crd(0,0,0)$  так, щоб координатні лінії утворили множину  $W$  комірок  $w$  (рис. 3).

Отже, ми отримали дискретизовану кулю  $W = \{w_{ijk}\}$ , комірки якої  $w_{ijk}$  є найменшими секторами кулі  $V$  з кутовими координатами  $i, j, k$ . Комірки є однорідними об'єктами щодо їх внутрішнього наповнення. Очевидно, що дискретизація кулі  $V$  множиною комірок  $W$  утворює топологічний простір  $\mathcal{T}_V^W = (V, Def(W))$ , якщо комірки кожної з пар  $(w_i, w_m)$  є внутрішньо однорідними та непересічними, тобто  $\forall l, m w_l \cap w_m = \emptyset$ , а їх об'єднання повністю покриває кулю  $V$ , так що  $V = \cup_{w_i \in W} w_i$ . Отримана топологія  $Def(W)$  є нелінійною, оскільки чим далі від центру кулі, тим більшим є об'єм кожної наступної комірки.

Побудова м'якої топології відкритого кола. Нехай  $Y = \{y_i\}_{i=0}^k$  – множина з  $k+1$  можливих станів комірок  $w_{ijk} \in W$ . Наприклад, стан  $y_0$  відповідає «пустій» комірці, що не містить ніяких об'єктів,  $y_1$  – комірці, що містить певну перепону для руху,  $y_2$  – комірці, що є цільовою для руху БА,  $y_3$  – комірці, що містить «свій» РО, тобто такий, який належить до власної групи БА, та  $y_4$  – комірці, що містить «чужий» РО, який не належить до власної групи БА. Таким чином, підмножина станів  $\{y_1, y_2, y_3, y_4\} \in Y$  відносить відповідні комірки до категорії «зайнятих», а  $y_0 \in Y$  – до категорії «вільних для руху».

Будемо вважати, що множина  $W$  є універсальною, а множина  $Y$  є множиною параметрів. Пара  $(Y, Y)$  утворює м'яку множину комірок на  $W$ , якщо  $\Upsilon$  є відображенням  $Y$  на множину всіх підмножин множини  $W$ ,  $\Upsilon: y_i \rightarrow 2^W$  [14]. Іншими словами, м'яка множина є параметризованим сімейством підмножин множини комірок  $W$ . Певна множина  $(Y, y_i)$ ,  $y_i \in Y$  з цього сімейства може розглядатися як множина  $y_i$ -апроксимованих елементів м'якої множини [15], або  $y_i$ -елементом м'якої множини, позначеним як  $\Upsilon_i$ . Таким чином, універсальна множина  $W$  може бути подана м'якою множиною  $(Y, Y)$ , що є об'єднанням всіх  $k$  своїх  $y_i$ -елементів, де  $\Upsilon = \cup \{\Upsilon_i\}_{i=1}^k$ , таких що утворюють безліч пар  $\Upsilon_i = \{(\Upsilon, y_i): y_i \in Y, (\Upsilon, y_i) \in 2^W\}$ . М'яку множину асоціюють з множиною класів еквівалентності, що індуковані відношенням нерозрізненості. Ми можемо визначити відношення  $y_i$ -нерозрізненості на множині комірок  $W$  як  $(\forall y_i \in Y) \mathfrak{R}_W^{y_i} = \{(w_m, w_n) \in W \times W \mid y_i(w_m) = y_i(w_n)\}$ . Кожний  $y_i$ -елемент м'якої множини  $\Upsilon_i$  є розбиттям множини комірок  $W$  на класи еквівалентності, наведені відношенням  $y_i$ -нерозрізненості  $\mathfrak{R}_W^{y_i}$ . Іншими словами, параметризоване сімейство підмножин множини  $W$ , яке утворює  $y_i$ -елемент множини  $\Upsilon_i$ , є фактор-множиною  $W / \mathfrak{R}_W^{y_i}$ , що складається з усіх класів еквівалентності множини  $W$ , індукованих відношенням  $\mathfrak{R}_W^{y_i}$ . Тоді пара  $apr_w = (W, \mathfrak{R}_W^{y_i})$  утворює простір апроксимації [16].

Нехай порожня множина  $\emptyset$ , універсальна множина  $W$  та елементи  $W / \mathfrak{R}_W^{y_i}$  є елементарними множинами, кінцеве об'єднання одного або більше з яких є складеною множиною. Якщо сімейство всіх складених множин є  $Def(apr_w)$ , то простір апроксимації однозначно визначає топологічний простір  $\mathcal{T}_W^{\mathfrak{R}_W^{y_i}} = (W, Def(apr_w))$ . Відомо, що  $Def(apr_w)$  є топологією на  $W$ , якщо його підмножини задовольняють



умовам [17]: а)  $\emptyset \in \text{Def}(apr_w)$ ,  $A \in \text{Def}(apr_w)$ , б)  $A, B \in \text{Def}(apr_w) \Rightarrow A \cap B \in \text{Def}(apr_w)$ , в)  $A, B \in \text{Def}(apr_w) \Rightarrow A \cup B \in \text{Def}(apr_w)$ . Тож  $\text{Def}(apr_w)$  є сімейством відкритих множин,  $\mathcal{T}_w^{\mathfrak{R}_w^y} = (W, \text{Def}(apr_w))$  – топологічним простором, а  $A, B \in W$  – точками цього топологічного простору.

Відображення  $\Upsilon$  у визначеній нами інтерпретації однозначно відносить кожному комірці універсальної множини  $W$  до певного  $y_i$ -елементу м'якої множини  $(Y, Y)$ . Якщо результати спостереження містять певну невизначеність, її можливо інтерпретувати через «впевненість» в тому, що комірка є вільною, або містить перешкоду чи РО. Для цього функцію  $\Upsilon$  можливо подати як нечітку, так що  $\tilde{\Upsilon}: y_i \rightarrow [0, 1]$ , де ступінь впевненості має область значень на інтервалі  $[0, 1]$ . Відповідно, маємо послабити відношення  $\mathfrak{R}_w^y$  до  $\tilde{\mathfrak{R}}_w^y$ , використовуючи відношення толерантності замість відношення еквівалентності. Тоді ми замість м'якої множини отримаємо нечітку м'яку множину комірок  $(\tilde{Y}, Y)$ . Надалі, задавши певний поріг відсікання  $\tau \in [0, 1]$ , ми зможемо відсікти з розгляду всі ті комірки  $w \in W$ , щодо яких ступінь впевненості є нижчим за заданий поріг  $\tau$ , тобто  $\Upsilon_\tau(y_i) = \{w \in W : (\tilde{Y}, y_i)(w) \geq \tau\}$  [18]. Таким чином, кожний  $y_i$ -елемент  $(Y_\tau, y_i)$  м'якої множини складається лише з тих комірок  $w \in W$ , для яких ступінь впевненості в тому, що їх стан є  $y_i \in Y$ , перевищує поріг  $\tau$ . Відповідно, ми отримуємо простір апроксимації  $apr_w = (W, \tilde{\mathfrak{R}}_w^y)$  та нечітку м'яку топологію, яку й будемо використовувати для визначення просторової подібності. Це дасть нам можливість відфільтрувати шуми, створені під час спостереження.

Наразі, просторова конфігурація РО (шаблон), що описує поточну ситуацію  $S$ , може бути подана у вигляді нечіткої м'якої топології  $\mathcal{T}_s$ . Прецеденти, що накопичені у сховищі прецедентів (шаблони-зразки), можуть бути подані у вигляді безлічі м'яких топологій  $\{\mathcal{T}_i\}_{i=1}^N$ . Отже, нам необхідно знайти ступінь несхожості у вигляді метричної відстані (дистанції) між двома топологіями – описом геометричного шаблону просторової конфігурації та описом певного зразка  $\mathcal{T}_i$  зі сховища прецедентів.

Обчислення подібності двох топологій. Традиційні міри подібності, на кшталт відстані Фреше та метрики Хаусдорфа, визначаються на базовому просторі. Як наслідок, ці міри є інваріантними лише тоді, коли інваріантна базова метрика  $\varphi$ . Однак, у нашому випадку співвідношення шаблонів залежить від просторового масштабу, простіше – від розміру комірок. Більше того, шаблони, що становлять прецеденти, могли бути збережені в іншому масштабі та під іншим кутом розгляду, тоді для їх використання треба попередньо виконати масштабування та/або обертання шаблону. Для того, щоб міра подібності була інваріантна до подібних перетворень, будемо використовувати міри, засновані на обчисленні симетричної різниці топологій, що є інваріантними щодо дифеоморфізмів, які зберігають об'єм.

Відомо, що поняття довжини в одному вимірі, площі в двох вимірах та об'єму в трьох вимірах можна узагальнити до довільних розмірів:  $k$ -розмірний об'єм  $\text{vol}(P)$  підмножини  $P \in \check{Y}^k$  визначається як  $k$ -вимірна міра Лебега [19]. Це визначення  $k$ -мірного об'єму для  $k$ -простих в  $\check{Y}^k$  збігається з визначенням об'єму як детермінанта  $k$ -векторів.

Симетрична різниця  $A \Delta B$  двох множин комірок  $A$  і  $B$  є об'єднанням множини всіх комірок у  $A$ , які не є в  $B$ , та множини всіх точок у  $B$ , які не є у  $A$ , тобто

$$A \Delta B = (A - B) \cup (B - A). \tag{1}$$

Нехай  $K^+(\mathcal{T}_s)$  – сукупність компактних підмножин  $\mathcal{T}_s$  з ненульовим об'ємом. Об'єм симетричної різниці для множин  $A \in K^+(\mathcal{T}_s)$  та  $B \in K^+(\mathcal{T}_s)$  може бути визначений як  $\rho(A, B) = \text{vol}(A \Delta B)$ , а її нормалізований варіант – як

$$\rho^*(A, B) = \text{vol}(A \Delta B) / \text{vol}(A \cup B). \tag{2}$$

Визначений на колекції компактних множин  $K(\mathcal{T}_s)$ , об'єм симетричної різниці не має властивості позитивності, а симетрична різниця двох топологій теж є топологією, що має кінцевий об'єм та зберігає нерівність  $|\text{vol}(A) - \text{vol}(B)| \leq \text{vol}(A \Delta B)$  [20].

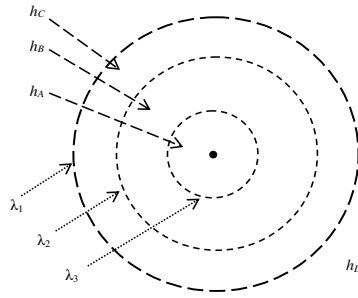


Рис. 4. Визначення просторових зон

Врахування просторових зон. Задамо множину граничних значень  $\lambda = \{\lambda_0, \dots, \lambda_m\}$ , так що для кожної пари РО  $(A, B)$   $\xi_B(A, B) = \|Crd(A) - Crd(B)\| \rightarrow \lambda$ . На підставі граничних значень ми маємо обмежити кулю з нескінченим радіусом, подавши її як систему з  $m+1$  вкладених куль  $V_m, \dots, V_0$  з радіусами від  $\lambda_m$  до  $\lambda_0$  з одним спільним центром у початку координат. Використовуючи таку систему вкладених куль, ми зможемо враховувати певні просторові зони, які визначаються умовами спільного руху РО. Наприклад, виходячи з параметрів руху РО, умовами уникнення зіткнень можуть бути визначені заборонені  $h_A$ , небезпечні  $h_B$ , обмежені  $h_C$  та вільні (необмежені)  $h_D$ , зони, що обмежені відповідними кулями з граничними лініями  $B_3, B_2, B_1$ , які відповідають граничним значенням  $\lambda_3, \lambda_2, \lambda_1, \lambda_0$  (рис. 4) [21].

Просторові зони мають певний вплив на подібність ситуацій в контексті просторової конфігурації. Частина кулі  $V$ , що лежить за межами зони  $h_D$  та відповідної граничної лінії  $\lambda_0$ , може бути взагалі винесена за межі розгляду для зниження обчислювальної складності, тобто всі елементи топології, що знаходяться далі від центру кулі ніж  $\lambda_0$ , можуть не враховуватися при підрахунку подібності. Для інших зон потрібно забезпечити зворотню пропорційність ступеня подібності від радіусу клітинки, бо по мірі того як об'єм клітинок збільшується по мірі їх віддалення від центру кулі за рахунок збільшення геометричних розмірів клітинок, їх вплив на оцінку ситуації (в т.ч. просторової конфігурації), навпаки, повинен зменшуватися, бо чим далі один РО знаходиться від іншого РО, тим меншу небезпеку він становить для останнього. Найбільший вплив на подібність ситуацій повинні мати клітинки, що належать до зони  $h_A$ , бо наявність РО в цій зоні створює критичну небезпеку, дещо менше – клітинки, що належать до зони  $h_B$ , ще менше – клітинки зони  $h_C$ , та майже не мають впливу клітинки зони  $h_D$ . Отже, необхідно враховувати цю залежність ступеня подібності від конфігурації просторових зон.

Вище ми параметризували сімейство  $y_i$ -підмножин множини  $W$ , яке утворює м'яку або нечітку м'яку множину комірок, що пов'язана з розбиттям комірок на класи еквівалентності за їх категорією. Для врахування розподілу комірок по відповідних зонах кулі  $V$ , необхідно виконати розбиття множини комірок  $W$  на зони відповідно до вкладених куль з радіусами  $\lambda_i$ . Проте,  $\lambda_i$ -апроксимація множини комірок  $W$  є більш складною, оскільки існує певна невизначеність щодо реальних радіусів куль, що спричиняється впливом цілої низки неконтрольованих факторів [21].

Для врахування такої невизначеності зручно використовувати наближені множини (rough sets), що звичайно подаються як сукупність нижнього наближення, тобто підмножини комірок, що однозначно належать множині, верхнього наближення, тобто підмножини комірок, які можливо належать цій множині, та граничної області, тобто підмножини комірок, ступінь належності яких цій множині невідома. Відповідно, щоб побудувати  $\lambda_i$ -апроксимацію м'якої множини комірок, нам слід розмити чіткі межі  $\lambda_i$ -куль, визначивши їх нижні і верхні наближення [22].

Нехай  $(Y, Y)$  є м'якою множиною на  $W$ ,  $Y = \cup \{Y_i\}_{i=1}^k$ , що утворена об'єднанням всіх  $k$  своїх  $y_i$ -елементів  $Y_i = \{(Y, y_i) : y_i \in Y, (Y, y_i) \in 2^W\}$ . Нехай  $\mathfrak{R}_W^{\lambda_i}$  є відношенням  $\lambda_i$ -нерозривненості на множині комірок  $W$ , таке що  $(\forall \lambda_i)_{i=0}^m \mathfrak{R}_W^{\lambda_i} = \{(w_m, w_n) \in W \times W \mid w_m \in V_i, w_n \in V_i\}$ . Тоді можемо побудувати  $\lambda_i$ -апроксимацію кожного  $y_i$ -елементу множини  $(Y, Y)$ . Отже, для всіх комірок  $w \in W$ , що належать до  $y_i$ -елемента множини  $(Y, Y)$ , нижнє наближення  $\lambda_j$ -елементу підмножини  $Y_i$  визначається як  $\underline{Y}_{ji} = \{Y_{ji}(w, \lambda_j) \in \mid w \in Y_i \vee \mathfrak{R}_W^{\lambda_j}(w) \subseteq Y_{ji}(w)\}$ , а верхнє наближення, відповідно,

$\overline{\Upsilon_{ji}} = \left\{ \Upsilon_{ji}(w, \lambda_j) \mid w \in \Upsilon_i \vee (\mathfrak{R}_w^{\lambda_j} \cap \Upsilon_{ji}(w, \lambda_j) \neq \emptyset) \right\}$ . У випадку, якщо  $\underline{\Upsilon_{ji}} = \overline{\Upsilon_{ji}}$ ,  $\lambda_j$ -елемент підмножини  $\Upsilon_i$  є чіткою множиною, а якщо ні, то наближеною множиною. Відповідно, кожен  $y_i$ -елемент множини  $(\Upsilon, Y)$  може бути подано у вигляді  $\hat{\Upsilon}_i = \left\{ \left( \underline{\Upsilon_{ji}}, \overline{\Upsilon_{ji}} \right)_{j=0}^m, \lambda \right\}$ , а власне м'яка множина комірок як  $\left( \bigcup_{i=1}^k \left\{ \left( \underline{\Upsilon_{ji}}, \overline{\Upsilon_{ji}} \right)_{j=0}^m, \lambda \right\}, Y \right)$ .

Нехай  $apr_w = (W, \mathfrak{R}_w^\lambda)$  – простір апроксимації, утворений відношенням нерозрізненості  $\mathfrak{R}_w^\lambda$ , що має властивості відношення толерантності. Тоді наближена топологія  $\tilde{\mathcal{T}}_w^{\mathfrak{R}_w^\lambda} = (W, Def(apr_w))$  є розбиттям  $y_i$ -елементів множини  $(\Upsilon, Y)$  на апроксимовані підмножини комірок  $\Upsilon_{ji}$ , що є  $\lambda_j$ -елементами  $y_i$ -елементів множини  $((\Upsilon, \lambda), Y)$ . Отже, ми отримали наближену апроксимацію м'якої множини у формі наближеної м'якої множини. Якщо ж ми виконуємо  $y_i$ -апроксимацію нечіткою м'якою множиною комірок  $(\tilde{\Upsilon}, Y)$ , отримаємо наближено-нечітку м'яку множину  $\left( \left( \tilde{\Upsilon}, Y \right), \lambda \right)$  клітинок, де кожний  $\lambda_j$ -елемент буде подано наближеною множиною комірок  $(\tilde{\Upsilon}, \lambda_j)$ , які містяться у кулі  $V_j$ , яку в свою чергу розбито на  $y_i$ -елементи множини  $((\Upsilon, \lambda), Y)$ , кожен з яких містить комірки, що відносяться до певної категорії  $y_i \in Y$ . Звісно, кожен елемент  $\Upsilon_{ji}$  утворює топологію  $\mathcal{T}_{ji}$ . Відповідно, топологія шаблону просторової конфігурації є розбиттям  $\mathcal{T}_s = \bigcup_{j=0}^m \left( \bigcup_{i=0}^k \mathcal{T}_{jis} \right)$ , а топологія шаблону зразка – розбиттям  $\mathcal{T}_l = \bigcup_{j=0}^m \left( \bigcup_{i=0}^k \mathcal{T}_{jil} \right)$ .

Оскільки з точки зору подібності просторових конфігурацій нас цікавлять лише ті комірки, що відносяться до категорії «зайнятих», то ми маємо відкинути всі  $y_0$ -елементи, що відносяться до категорії «вільні». Нас не цікавлять також ті частини топології кулі, що лежать за межами радіусу  $\lambda_0$ , тож всі  $\lambda_0$ -елементи також відкидаємо. Отже, для визначення подібності будемо враховувати редуковані топології  $\mathcal{T}_s^* = \bigcup_{j=1}^m \left( \bigcup_{i=1}^k \mathcal{T}_{jis} \right)$  та  $\mathcal{T}_l^* = \bigcup_{j=1}^m \left( \bigcup_{i=1}^k \mathcal{T}_{jil} \right)$ .

Обчислення різниці двох топологій може бути виконано поелементно:

$$\mathcal{T}_s^* - \mathcal{T}_l^* = \bigcup_{j=1}^m \left( \bigcup_{i=1}^k \left( \mathcal{T}_{jis} - \mathcal{T}_{jil} \right) \right). \tag{3}$$

Проте, для врахування різного ступеня впливу заданих просторових зон на етапі визначення об'єму різниці треба ввести коефіцієнти  $\varphi_1, \dots, \varphi_m$ , що відповідатимуть зонам  $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ ,

$$\text{vol}(\mathcal{T}_s^* - \mathcal{T}_l^*) = \bigoplus_{j=1}^m \varphi_j \left( \bigoplus_{i=1}^k \text{vol}(\mathcal{T}_{jis} - \mathcal{T}_{jil}) \right). \tag{4}$$

Тож розбивши топологію кожного шаблону на частини, ми обчислюємо об'єм різниці окремо за кожною з них, враховуючи коефіцієнти просторових зон. Такий спосіб може бути застосований до топологій різних типів – м'яких, нечітких м'яких, наближених м'яких, та наближено-нечітких м'яких.

Враховуючи зворотний характер міри подібності до міри різниці, просторову подібність шаблонів на основі об'єму симетричної різниці топологій, використовуючи (2), обчислюється наступним чином:

$$\mu(\mathcal{T}_s^*, \mathcal{T}_l^*) = \text{vol}(\mathcal{T}_s^* \cup \mathcal{T}_l^*) / \left( \text{vol}(\mathcal{T}_s^* \Delta \mathcal{T}_l^*) \right), \tag{5}$$

де обсяг симетричної різниці двох топологій  $\text{vol}(\mathcal{T}_s^* \Delta \mathcal{T}_l^*)$  може бути визначений на підставі (1) з підстановкою (4).

Формула (5) може використовуватися для визначення ступеня подібності просторових шаблонів, поданих у вигляді топологій, безвідносно до конкретного класу цих топологій.

### Висновки

1. Розглянуто питання оцінки просторової подібності ситуацій в сценарно-прецедентних системах управління великими групами безпілотних апаратів. Досліджено існуючі підходи обчислювальної геометрії до визначення мір просторової подібності, проведено аналіз їх особливостей та визначено шляхи розробки міри подібності просторових конфігурацій.

2. Запропоновано теоретичний підхід до оцінювання просторової подібності, що заснований на поданні просторових конфігурацій у вигляді геометричних шаблонів та застосуванні мір несхожості, які визначають ступінь їх розбіжності, зворотний до ступеня подібності та можуть бути подані на основі обчислення об'єму симетричної різниці між двома топологіями.

3. Запропоновано дискретизовану просторову модель, основою якої є куля з нескінченим радіусом та кутова система координат. На основі цієї моделі побудовано нелінійну м'яку топологію відкритої кулі, яку застосовано для подальшого визначення несхожості вимірюванням об'єму симетричної різниці між топологією шаблону та топологією зразка. На основі м'якої топології може бути побудовано нечітку м'яку топологію.

4. Запропонований метод оцінки об'єму симетричної різниці між двома топологіями є інваріантним до можливих перетворень шаблонів за допомогою обертання або масштабування, що зберігають об'єм. Запропонований метод може використовуватися для визначення ступеня подібності просторових шаблонів, поданих у вигляді топологій, безвідносно до конкретного класу цих топологій. Враховано часткову просторову схожість щодо певних вкладених або підпорядкованих частин просторової конфігурації.

5. Враховано наявність визначених умовами спільного руху групи безпілотних апаратів зон, що розбивають просторову конфігурацію відповідно до ступеня їх впливу на безпеку руху. Виконано відповідне розбиття топологій за допомогою відношення нерозрізненості клітинок у межах визначених просторових зон.

Результати дослідження дозволяють ефективно використовувати сценарно-прецедентний підхід при вирішенні важкоформалізованих задач управління великими групами безпілотних апаратів.

#### Список використаної літератури

1. Sherstjuk V. Scenario-Case Coordinated Control of Heterogeneous Ensembles of Unmanned Aerial Vehicles. Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments: Proc. of the 2015 IEEE 3rd Int. Conf. Kyiv, 2015. Pp. 275–279.
2. Шерстюк В.Г. Сценарно-прецедентное управление эргатическими динамическими объектамиЖ монографія. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013. 407 p.
3. Spaccapietra S., Parent C., Damiani M., De Macedo J., Porto F., Vangenot C. A conceptual view on trajectories. Data & Knowledge Engineering. 2008. No. 1, Vol. 65. Pp. 126–146.
4. Etienne L., Devogele T., Bouju A. Spatio-temporal trajectory analysis of mobile objects following the same itinerary. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2012. Vol. 38, Part II. Pp 86–91.
5. Moreno F., Arangoa F. Conceptual Trajectory Multidimensional Model: An Application to Public Transportation. Dyna. 2011. No. 166, Vol.78. Pp. 142–149.
6. Dodge S., Laube P., Weibel R. Movement similarity assessment using symbolic representation of trajectories. Int. Journal of Geographical Information Science. 2012. No. 9, Vol. 26. Pp. 1563–1588.
7. Muhtar N., Cahyono E., Arman, Ransi N., Rofianto D. Pattern similarities of vector matrices. Journal of Physics: Conference Series. 2019. No. 6, Vol. 1341. Pp. 062011.
8. Alsaade F., Fouda Y., Khan A. R. Efficient cellular automata algorithm for template matching. Journal of Artificial Intelligence. 2012. No. 3, Vol. 5. Pp. 122–129.
9. Alsaade F., Fouda Y. Template matching based on SAD and pyramid. International Journal of computer science and information security. 2012. No. 4, Vol. 10. Pp. 11–16.
10. Grasl T., Economou A. Spatial Similarity Metrics. In: Computer-Aided Architectural Design Futures / Dong A., Moere A.V., Gero J.S. Springer, 2007.
11. Frontiera P., Larson R., Radke J. A comparison of geometric approaches to assessing spatial similarity for GIR. International Journal of Geographical Information Science. 2008. No. 3, Vol. 22. Pp. 337–360.
12. Chehreghan A., Abbaspour R.A. Assessment of spatial similarity degree between polylines on multi-scale, multi-source maps. Geocarto international. 2017. No. 5, Vol. 32. Pp. 471–487.
13. Alt H. The Computational Geometry of Comparing Shapes. Efficient Algorithms / Albers S., Alt H., Näher S. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2009. Vol. 5760. Pp. 235–248.
14. Molodtsov D. Soft Set Theory – first results. Computers and Mathematics with Applications. 1999. Vol. 37. Pp. 19–31.
15. Maji P. K., Roy A. R., Iswas R. B. An application of soft sets in a decision-making problem. Computers and Mathematics with Applications. 2002. No. 8-9, Vol. 44. Pp. 1077–1083.
16. Feng F., Li Y., Leoreanu-Fotea V. Application of level soft sets in decision making based on interval-valued fuzzy soft sets. Computers and Mathematics with Applications. 2010. Vol. 60. Pp. 1756–1767.
17. Varol B., Aygun H. Fuzzy soft topology. Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics. 2012. No. 3, Vol. 41. Pp. 407–419.
18. Mahanta J., Das P.K. Fuzzy soft topological spaces. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. 2017. No.

- 1, Vol. 32. Pp. 443–450.
19. Hong D., Wang J., Gardner R. Measure Theory. Real Analysis with an Introduction to Wavelets and Applications. Academic Press, 2005. Pp. 33–63.
  20. Sonke W., van Kreveld M., Ophelders T., Speckmann B., Verbeek K. Volume-based similarity of linear features on terrains. Advances in Geographic Information Systems: Proc. of the 26th ACM SIGSPATIAL International Conference. New York, 2018. Pp. 444–447.
  21. Zharikova M., Sherstjuk V. Case-based Approach to Intelligent Safety Domains Assessment for Joint Motion of Vehicles Ensembles. Methods and Systems of Navigation and Motion Control: Proceedings of the 4th International Conference. Kyiv, 2016. Pp. 245–250.
  22. Skowron A., Dutta S. Rough sets: past, present, and future. Nat. Computing. 2018. Vol. 17. Pp. 855–876.

#### References

1. Sherstjuk V. Scenario-Case Coordinated Control of Heterogeneous Ensembles of Unmanned Aerial Vehicles. Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments: Proceedings of the 2015 IEEE 3rd International Conference, Kyiv, 2015, pp. 275–279. doi: 10.1109/APUAVD.2015.7346620.
2. Sherstjuk V.G. Sczenarno-preczedentnoe upravlenie ergaticheskimi dinamicheskimi ob`ektami [Scenario-case control of ergatic dynamic objects]. Saarbrücken: Lambert Academic Publ., 2013. 407 p.
3. Spaccapietra S., Parent C., Damiani M., De Macedo J., Porto F., Vangenot C. A conceptual view on trajectories. Data & Knowledge Engineering, 2008, vol. 65, no. 1, pp. 126–146. doi: 10.1016/j.datak.2007.10.008.
4. Etienne L., Devogele T., Bouju A. Spatio-temporal trajectory analysis of mobile objects following the same itinerary. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2012, vol. 38, part II, pp 86–91.
5. Moreno F., Arangoa F. Conceptual Trajectory Multidimensional Model: An Application to Public Transportation. Dyna, 2011, vol.78, no. 166, pp. 142–149.
6. Dodge S., Laube P., Weibel R. Movement similarity assessment using symbolic representation of trajectories. Int. Journal of Geographical Information Science, 2012, vol. 26, no. 9, pp. 1563–1588. doi: 10.1080/13658816.2011.630003.
7. Muhtar N., Cahyono E., Arman, Ransi N., Rofianto D. Pattern similarities of vector matrices. Journal of Physics: Conference Series, 2019, vol. 1341, no. 6, pp. 062011. doi: 10.1088/1742-6596/1341/6/062011.
8. Alsaade F., Fouda Y., Khan A. R. Efficient cellular automata algorithm for template matching. Journal of Artificial Intelligence, 2012, vol. 5, no. 3, pp. 122–129. doi: 10.3923/jai.2012.122.129.
9. Alsaade F., Fouda Y. Template matching based on SAD and pyramid. International Journal of computer science and information security, 2012, vol. 10, no. 4, pp. 11–16.
10. Grasl T., Economou A. Spatial Similarity Metrics. Computer-Aided Architectural Design Futures. Springer, 2007. doi: 10.1007/978-1-4020-6528-6\_19.
11. Frontiera P., Larson R., Radke J. A comparison of geometric approaches to assessing spatial similarity for GIR. International Journal of Geographical Information Science, 2008, vol. 22, no. 3, pp. 337–360. doi: 10.1080/13658810701626293.
12. Chehreghan A., Abbaspour R.A. Assessment of spatial similarity degree between polylines on multi-scale, multi-source maps. Geocarto international, 2017, vol. 32, no. 5, pp. 471–487. doi: 10.1080/10106049.2016.1155659.
13. Alt H. The Computational Geometry of Comparing Shapes. Efficient Algorithms. Lecture Notes in Computer Science, vol. 5760, pp. 235–248. doi: 10.1007/978-3-642-03456-5\_16.
14. Molodtsov D. Soft Set Theory – first results. Computers and Mathematics with Applications, 1999, vol. 37, pp. 19–31. doi: 10.1016/S0898-1221(99)00056-5.
15. Maji P. K., Roy A. R., Iswas R. B. An application of soft sets in a decision-making problem. Computers and Mathematics with Applications, 2002, vol. 44, no. 8-9, pp. 1077–1083. doi: 10.1016/S0898-1221(02)00216-X.
16. Feng F., Li Y., Leoreanu-Fotea V. Application of level soft sets in decision making based on interval-valued fuzzy soft sets. Computers and Mathematics with Applications, 2010, vol. 60, pp. 1756–1767. doi: 10.1016/j.camwa.2010.07.006.
17. Varol B.P., Aygun H. Fuzzy soft topology. Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, 2012, vol. 41, no. 3, pp. 407–419.
18. Mahanta J., Das P.K. Fuzzy soft topological spaces. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 2017, vol. 32, no. 1, pp. 443–450. doi: 10.3233/JIFS-152165.
19. Hong D., Wang J., Gardner R. Measure Theory. Real Analysis with an Introduction to Wavelets and Applications. Academic Press, 2005, pp. 33–63. doi: 10.1016/B978-012354861-0/50002-6.

20. Sonke W., van Kreveld M., Ophelders T., Speckmann B., Verbeek K. Volume-based similarity of linear features on terrains. *Advances in Geographic Information Systems: Proc. of the 26th ACM SIGSPATIAL International Conference*, New York, 2018, pp. 444–447. doi: 10.1145/3274895.3274937.
21. Zharikova M., Sherstjuk V. Case-based Approach to Intelligent Safety Domains Assessment for Joint Motion of Vehicles Ensembles. *Methods and Systems of Navigation and Motion Control: Proc. of the 4th International Conference*, Kyiv, 2016, pp. 245–250. doi: 10.1109/MSNMC.2016.7783153.
22. Skowron A., Dutta S. Rough sets: past, present, and future. *Natural Computing*, 2018, vol. 17, pp. 855–876. doi: 10.1007/s11047-018-9700-3.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

<b>Алієва Лейла Іграмотдіівна</b>	д.т.н., доцент кафедри обробки металів тиском Донбаської державної машинобудівної академії E-mail: leyliali2017@gmail.com
<b>Андропова Олена Валеріївна</b>	к.т.н., доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету E-mail: kev_ku@ukr.net
<b>Безсмертна Вікторія Ігорівна</b>	аспірант кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів Київського національного університету технологій та дизайну E-mail: vikkytoria2610@gmail.com
<b>Березовський Юрій Всеволодович</b>	к.т.н., доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: berezov.sky.ua@gmail.com
<b>Владов Сергій Ігорович</b>	к.т.н., викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: ser26101968@gmail.com
<b>Восвода Надія В'ячеславівна</b>	к.т.н., старший викладач кафедри інженерії харчового виробництва Херсонського державного аграрно-економічного університету E-mail: nadya.tuluchenko@ukr.net
<b>Галавська Людмила Євгеніївна</b>	д.т.н., професор, завідувач кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів Київського національного університету технологій та дизайну E-mail: galavska.ly@knutd.com.ua
<b>Гвоздік Станіслав Денисович</b>	викладач циклової комісії авіаційного транспорту Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: keps.nv.klk@gmail.com
<b>Грибанова Світлана Анатоліївна</b>	викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: fmi.nv.klk@gmail.com
<b>Грудкіна Наталія Сергіївна</b>	к.т.н., кафедра обробки металів тиском Донбаської державної машинобудівної академії E-mail: vm.grudkina@ukr.net
<b>Гусарова Оксана Василівна</b>	викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: o_v_gusarova@ukr.net
<b>Гусєв Віктор Миколайович</b>	к.т.н., доцент, начальник Морського коледжу Херсонської державної морської академії E-mail: v.n.gusev73@gmail.com
<b>Дерев'яно Іван Григорович</b>	викладач циклової комісії авіаційного транспорту Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: keps.nv.klk@gmail.com
<b>Дерябіна Інна Олексіївна</b>	викладач циклової комісії авіаційного транспорту Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: Inna_Deribina@ukr.net
<b>Дмитрик Оксана Михайлівна</b>	студент кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів Київського національного університету технологій та дизайну E-mail: oksano4ka971110@gmail.com
<b>Добровольська Світлана Ярославівна</b>	к.г.н., завідувач відділення економіки та туризму Галицького коледжу ім. В'ячеслава Чорновола E-mail: dobrovolskas32@gmail.com

<b>Доровська Ірина Володимирівна</b>	к.т.н., доцент Європейського університету Криворізької філії E-mail: irina.dora07@gmail.com
<b>Євтушенко Валентина Вікторівна</b>	к.т.н., доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: teacher472@ukr.net
<b>Смел'янова Тетяна Анатоліївна</b>	к.т.н., старший викладач кафедри фізики та загально інженерних дисциплін Херсонського державного аграрно-економічного університету E-mail: e.tatyana.2014@ukr.net
<b>Ільонюк Крістіна Сергіївна</b>	студент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: teacher472@ukr.net
<b>Калінський Євген Олександрович</b>	к.т.н., доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: kalinsky30@gmail.com
<b>Котляров Кирило Геннадійович</b>	викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: fmi.nv.klk@gmail.com
<b>Кузьміна Тетяна Олегівна</b>	д.т.н., професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: edenkuz@gmail.com
<b>Курак Владислав Володимирович</b>	к.т.н., доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету E-mail: vk_74@ukr.net
<b>Кухтин Микола Дмитрович</b>	д.вет.н., професор кафедри харчової біотехнології і хімії Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя E-mail: kuchtynnic@gmail.com
<b>Левківський Руслан Миколайович</b>	перший заступник начальника Морського коледжу Херсонської державної морської академії E-mail: levka.ru55555@gmail.com
<b>Лепа Євгеній Володимирович</b>	к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: e.lepa@rambler.ru
<b>Лялик Анастасія Тарасівна</b>	асистент кафедри харчової біотехнології і хімії Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя E-mail: pru.tern@gmail.com
<b>Мешков Юрій Євгенович</b>	к.т.н., доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу Херсонського національного технічного університету E-mail: mieshkovuyri@gmail.com
<b>Назаренко Надія Петрівна</b>	викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: fmi.nv.klk@gmail.com
<b>Новікова Наталя Володимирівна</b>	к.с.г.н., доцент кафедри інженерії харчових виробництв Херсонського державного аграрно-економічного університету E-mail: Novikova-NV@i.ua
<b>Пилипенко Людмила Миколаївна</b>	голова циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: fmi.nv.klk@gmail.com
<b>Повод Яків Олександрович</b>	аспірант кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: elornau@gmail.com



<b>Подгорних Надія Володимирівна</b>	викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: matvienkonadya@gmail.com
<b>Покотило Олег Степанович</b>	д.б.н., професор, завідувач кафедри харчової біотехнології і хімії Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя E-mail: pokotylo_oleg@ukr.net
<b>Похіл Кристина Євгенівна</b>	студент кафедри інженерії харчового виробництва Херсонського державного аграрно-економічного університету E-mail: isaeva2356750@gmail.com
<b>Путінцева Світлана Вікторівна</b>	к.т.н., доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: sputinceva07@gmail.com
<b>Руденко Ілля Андрійович</b>	аспірант кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету E-mail: teacher472@ukr.net
<b>Ряполова Ірина Олександрівна</b>	к.с.г.н., доцент кафедри інженерії харчових виробництв Херсонського державного аграрно-економічного університету E-mail: ryapolovairina111@gmail.com
<b>Сакара Олег Юрійович</b>	асистент кафедри фізики та загально інженерних дисциплін Херсонського державного аграрно-економічного університету E-mail: sakaraoleg@ukr.net
<b>Селіверстова Світлана Ростиславівна</b>	к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики Херсонської державної морської академії E-mail: ussr28031972@gmail.com
<b>Сокол Костянтин Ігорович</b>	студент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету, інженер приватного підприємства «СВІТОСИЛА» E-mail: kostya13sokol@gmail.com
<b>Танасійчук Богдан Миколайович</b>	студент кафедри харчових технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету E-mail: bogdan.tanasiychuk.1996@gmail.com
<b>Тутова Наталія Володимирівна</b>	викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: nataliatutova0859@gmail.com
<b>Фролов Олександр Миколайович</b>	к.т.н., доцент кафедри автоматики та електроустаткування Херсонської філії Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова E-mail: iskanderfrolov52@gmail.com
<b>Шерстюк Володимир Григорович</b>	д.т.н., професор, в.о. завідувача кафедри Програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету E-mail: vgsherstyuk@gmail.com
<b>Шмельов Юрій Миколайович</b>	к.т.н., заступник директора коледжу з навчальної роботи, викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ E-mail: nviddil.klk@gmail.com

**ПРАВИЛА ПРИЙОМУ СТАТЕЙ****ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ  
У НАУКОВИЙ ФАХОВИЙ ЖУРНАЛ «ВІСНИК ХЕРСОНСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»**

До журналу приймаються оригінальні статті, що не публікувалися в інших виданнях. **Обсяг рукопису** – від 5 до 10 повних сторінок. Статті публікуються українською, російською та англійською мовами.

**Обов'язкові елементи статті:**

- індекс УДК у верхньому лівому кутку листа (*Times New Roman, 12 nm*);
- ініціали та прізвище автора великими літерами у верхньому правому кутку сторінки (*Times New Roman, 12 nm*), із зазначенням місця роботи повністю справа (*Times New Roman, 8 nm*);
- ORCID у верхньому правому кутку сторінки (*Times New Roman, 10 nm*);
- назва статті великими літерами, по центру (*Times New Roman, 12 nm, жирний*); назва статті подається без використання вузькоспеціалізованих скорочень, крапка в кінці назви не ставиться;
- основний текст статті (*Times New Roman, 10 nm*).

**Основний текст статті повинен мати такі виділені елементи:**

- **постановка проблеми**
- **аналіз останніх досліджень і публікацій**
- **формулювання мети дослідження**
- **викладення основного матеріалу дослідження**
- **висновки**
- **список використаної літератури**

**Після назви статті обов'язково** надаються анотації **українською, російською та англійською мовами** (*Times New Roman, 10 nm, курсив*) (текст ідентичний, обсяг – не менше 1800 друкованих знаків, включаючи ключові слова), де вказується назва статті, ініціали та прізвище автора, характеристика основної проблеми, мети, узагальнених результатів та ключові слова.

Статті подаються у вигляді файла формату *doc* для *Word for Windows* у незаархівованому вигляді. Шрифт *Times New Roman*, розмір – 10, інтервал – одинарний, поля: зліва – 25 мм; справа – 25 мм; зверху – 25 мм; знизу – 25 мм, відступ першої строчки – 127 мм, сторінки не пронумеровані. Таблиці слід виконувати в *Excel* чи *Word*, рисунки потрібно подавати у чорно-білому варіанті, вони мають бути згруповані. Для набору формул використовувати лише редактор формул *Microsoft Equation 3.0*.

Шрифт у заголовках, текстах, рисунках повинен співпадати. Ілюстрації, діаграми, схеми, таблиці та формули оформлюються відповідно до Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника (Постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 №567).

Список літератури наводиться у порядку посилань у тексті згідно з *ДСТУ 8302:2015. «БІБЛІОГРАФІЧНЕ ПОСИЛАННЯ Загальні положення та правила складання»* і розміщується після основного тексту. Розмір шрифту – 10 пт. Посилання на літературні джерела в тексті подають у квадратних дужках.

Після списку літератури, через інтервал в один рядок, розташовують слово **References** та наводиться англomовний список літератури (стиль - **IEEE**) наведеного вище списку літератури.

Бібліографічний опис кожного джерела має, за наявності, супроводжуватися його ідентифікатором цифрового об'єкта (DOI – Digital Object Identifier), що наводиться через пробіл після бібліографічного опису джерела. DOI видань можна знайти на сайті:

<http://search.crossref.org/>

### **Вимоги щодо оформлення англomовного списку літератури**

#### **Опис статті з періодичних видань**

Sokol Ye.I., Gryb O.G., Shvets S.V. The structural and parametrical organization of elements of a power supply system in the conditions of network centrism. *Electrical engineering & electromechanics*, 2016, no.2, pp. 61-64. doi: 10.20998/2074-272X.2016.2.1.

*\*Прим. Коректний переклад назв журналів можна знайти на їх офіційних сайтах, де також у архіві, у більшості випадків, можна відшукати і необхідні статті із перекладом назв на англійську мову.*

#### **Опис статті з електронних журналів**

Dmitriev M.V. Ekраны odnofaznykh kabelei 6-500 kV. Oshibki pri vypolnenii skhem zazemleniia [6-500 kV single phase cables screens. Grounding circuit implementation mistakes]. *Novosti elektrotekhniki – Electrical Engineering News*, 2014, no.1(85). Available at: <http://www.news.elteh.ru/arh/2014/85/10.php> (Accessed 23 April 2014).

#### **Опис статті із збірника праць**

Shevchenko V.V. Puti povysheniia moshchnosti turbogeneratorov pri provedenii rabot po ikh reabilitatsii [The ways to increase turbogenerators power in the execution works during the rehabilitation]. *Sistemi obrobki informatsii. Zbirnik naukovikh prats'. Kharkivskii universitet povitrianih sil* [The systems of information processing. The collection of scientific works Kharkov Air Forces University], 2012, no.7(105), pp. 152-155.

#### **Опис матеріалів конференції**

Grechko O.M., Klymenko B.V., Bugaychuk V.M. Mathematical modeling of energy-efficient electromagnetic actuator for vacuum circuit-breaker. *Anotatsii dopovidei 8 Mizhn. nauk.-prakt. konf. "Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ia"* [Abstracts of 8th Int. Sci.-Pract. Conf. "Information technology: science, engineering, technology, education and health"]. Kharkov, 2004, p. 365.

**Небажано залишати тільки перекладну назву конференції.**

#### **Опис книги (монографії)**

Chalykh E.F. *Oborudovanie elektrodnykh zavodov* [Equipment of the Electrode Plants]. Moscow, Metallurgija Publ., 1990. 238 p.

#### **Опис перекладної книги**

Timoshenko S.P., Young D.H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Rus. ed.: Timoshenko S.P., Iang D.Kh., Uiver U. *Kolebaniia v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 472 p.).

**Опис Інтернет-ресурсу**

Bormosov V.A., Kostousova M.N., Petrenko A.F., Smol'skaja N.E. Perspektivy i sostojanie razrabotok raspredelitel'nyh transformatorov massovyh serij (Prospects and development state of mass series distribution transformers) Available at: [www.trans.-form.ru](http://www.trans.-form.ru) (accessed 13 September 2004).

**Опис дисертації (автореферату дисертації)**

Geraskin O.A. Vibrodiagnostika ushkodzen' rotoriv potuzhnikh asinkhronnikh dviguniv na osnovi pol'ovikh matematichnikh modelei. Diss. kand. techn. nauk [Damage rotor vibration monitoring power asynchronous motors based on the field mathematical models. Cand. tech. sci. diss.]. Kyiv, 2012. 226 p.

**Опис ГОСТу**

GOST 8.586.5-2005. Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkosti i gazov s pomoshch'iu standartnykh suzhaiushchikh ustroystv [State Standard 8.586.5-2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p.

**Опис патенту**

Klymenko B.V., Eres'ko O.V. Grechko O.M. Elektromagnitnyj pryvid [Electromagnetic actuator]. Patent UA, no.25222, 2007.

**Приклад оформлення рукопису для представлення в редколегію подано у додатку 1.**

**Статті, які не відповідають наведеним вимогам, до друку не приймаються.**

**До редколегії направляються:**

- **електронна копія** статті на e-mail: [vestnikkntu@gmail.com](mailto:vestnikkntu@gmail.com), назва файлу повинна відповідати прізвищу першого автора;
- **експертний висновок** щодо відсутності відомостей, заборонених для відкритого опублікування;
- **авторська довідка** за формою (додаток 2);
- **заява авторів** на опублікування статті (додаток 3).

Телефон редколегії (0552) 326907

Додаток 1

**ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РУКОПISУ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ У  
РЕДАКЦІЮ (ПОДАНО ФРАГМЕНТ СТАТТІ)**

УДК 667.021.1

В.С. КОРОЛЕНКО

Херсонський національний технічний університет  
ORCID: ...

І.Ф. БОНДАРЬ

Херсонський національний технічний університет  
ORCID: ...

С.О. ІВАНОВА

Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків  
ORCID: ...**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
ДЕФОРМУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ГІДРОПРЕСУВАННІ ТРУБЧАТИХ  
ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*У даній роботі розглянута кінцево-елементна модель процесу гідроекструзії трубчастих заготовок у середовищі високих гідростатичних тисків, необхідних для підвищення пластичності сталі 30ХН2МФА при холодному формоутворенні виробів. Результати моделювання показали можливість реалізувати процес при дії значного гідростатичного тиску (750 МПа) на вільну поверхню заготовки. При меншому тиску відбувається характерне руйнування ще на початкових етапах деформування на зовнішній поверхні заготовки. Дослідження ПДВ матриці з використанням методу кінцевих елементів підтвердило достатню міцність і надійність інструменту при отриманні прецизійних трубчастих виробів гідропресування з рухомою гладенькою оправкою. Натурні експерименти підтвердили адекватність комп'ютерного моделювання та ефективність запропонованого методу виготовлення високоточних довгомірних трубчастих виробів.*

.....

*Ключові слова: гідропресування, гідроекструзія, деформування, матриця, моделювання, міцність, надійність, руйнування.*

В.С. КОРОЛЕНКО

Херсонский национальный технический университет  
ORCID: ...

И.Ф. БОНДАРЬ

Херсонский национальный технический университет  
ORCID: ...

С.О. ИВАНОВА

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков  
ORCID: ...**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ГИДРОПРЕССОВАНИИ ТРУБЧАТЫХ  
ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*В данной работе рассмотрена конечно-элементная модель процесса гидроэкструзии трубчатых заготовок в среде высоких гидростатических давлений, необходимых для повышения пластичности стали 30ХН2МФА при холодном формообразовании изделий. Результаты моделирования показали возможность реализовать процесс при действии значительного гидростатического давления (750 МПа) на свободную поверхность заготовки. При меньшем давлении происходит характерное разрушение еще на начальных этапах деформирования на внешней поверхности заготовки. Исследование НДС матрицы с использованием метода конечных элементов подтвердило достаточную прочность и надежность инструмента при получении прецизионных трубчатых изделий гидропрессования с подвижной гладкой оправкой. Натурные эксперименты подтвердили адекватность*

компьютерного моделирования и эффективность предложенного метода изготовления высокоточных длинномерных трубчатых изделий.

.....

*Ключевые слова:* гидропрессование, гидроэкструзии, деформирование, матрица, моделирование, прочность, надежность, разрушение.

V.S. KOROLENKO  
Kherson National Technical University

ORCID: ...

I.F. BONDAR  
Kherson National Technical University

ORCID: ...

S.O. IVANOVA  
Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Kharkiv

ORCID: ...

### THE RESEARCH OF DEFLECTED MODE OF THE DEFORMING TOOL DURING THE HYDRAULIC FORGING OF TUBULAR BLANKS BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS

*In this work, the finite element model of the hydrostatic extrusion process of tubular blanks in the medium of high hydrostatic pressure that are necessary for increase ductility of steel 30HN2MFA during the cold forming products, was considered. The modelling results showed the possibility to realize a process with effect of considerable hydrostatic pressure (750 MPa) on the free surface of blank. There is characteristic destruction still on the initial stages of deformation on the external surface at less pressure.*

*The research of deflected mode of mould using the method finite elements confirmed accommodate strength and reliability of the tool in the receipt of precision tubular products by hydraulic forging with the smooth moving mandrel.*

*The full-scale experiments confirmed the adequacy of computer simulation and the efficiency of introduced method of manufacturing exacting long-measuring tubular products.*

.....

*Keywords:* hydraulic forging, hydrostatic extrusion, deformation, mould, modelling, strength, reliability, destruction.

#### Постановка проблеми

Товстостінні трубчасті вироби з прецизійними елементами внутрішнього профілю (6 ... 8 квалітет, при шорсткості 0.16 ... 0.64 мм) досить широко застосовуються в машинобудуванні, приладобудуванні та виробках спеціального призначення.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ефективність дії рідини під високим тиском на пластичність при механічних випробуваннях зразків і в процесах прямого видавлювання показана в роботах [1-3].

У зв'язку з цим, був запропонований перспективний метод отримання високоточних довгомірних трубчастих виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями методом гідропресування на гладкій оправці [4, 5].

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи було вивчення можливості отримання довгомірних трубчастих заготовок методами холодного пластичного деформування.

#### Викладення основного матеріалу дослідження

Розрахунок матриці проводили в умовах, наближених до реальних, при максимальних значеннях зусилля видавлювання  $P$  (630 кН) і гідростатичного тиску  $q$  (750 МПа), яке впливає на матрицю. Вихідні дані для розрахунку матриці наведено в табл. 1.

Таблиця 1

#### Задані вихідні дані для розрахунку матриці

№ з/п	Матеріал матриці	Модуль пружності, ГПа	Межа міцності, МПа	Твердість, HRC <sub>3</sub>
1	P18	228	2250	66
2	...	...	...	...

.....

$$\varphi = N_k \frac{\cos(2 \cdot l \cdot \omega)}{\sqrt{j \cdot Q \cdot \alpha_i}}, \quad (1)$$

де  $\varphi$  – ... ;

...

 $\alpha_i$  – .

.....

**Висновки**

1. За результатами чисельного експерименту були визначені необхідні параметри гідропресування, остаточною геометричною формою деформованої заготовки та її ПДВ.

2. Проведене моделювання показало, що даний процес можливо реалізувати із значним гідростатичним тиском на вільній поверхні заготовки (750 МПа), тоді як при меншому тиску відбувається характерне руйнування ще на початкових етапах деформування на зовнішній поверхні заготовки.

**Список використаної літератури**

1. Акофф Р. Л. Идеализированное проектирование : как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущего организации / Акофф Р. Л., Магидсон Д., Эддисон Г. Д. ; пер. с англ. Ф. П. Тарасенко. – Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007. – XLIII, 265 с.
2. Петров П. П. Активність молодих зірок сонячної маси : дис.... доктора фіз., -мат. наук : 01.03.02 / Петров Петро Петрович. – К., 2005. – 276 с.
3. Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж, науч. – исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.).
4. Бібліотека і доступність інформації у сучасному світі: електронні ресурси в науці, культурі та освіті (підсумки 10-ї Міжнар. конф. "Крим-2003") [Електронний ресурс] / Л. Й. Костенко, А. О. Чекмарьов, А. Г. Бровкін, І. А. Павлуша // Бібліотечний вісник – 2003. – № 4. – С. 43. – Режим доступу до журн. : [http : //www.nbuv.gov.ua/articles/2003/03klinko.htm](http://www.nbuv.gov.ua/articles/2003/03klinko.htm).

.....

**References**

.....

**Додаток 2****Авторська довідка**

**Бондарь  
Иван Федорович**

к.т.н., доцент кафедри фізики Херсонського національного  
технічного університету  
E-mail: bondar\_if@gmail.com

## Додаток 3

В редакцію наукового журналу  
«Вісник Херсонського національного  
технічного університету»

## ЗАЯВА

Прошу опублікувати у журналі «Вісник Херсонського національного технічного університету»  
(надалі – Журнал) мою статтю \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (надалі – Стаття)  
(назва статті)

в рубриці \_\_\_\_\_  
(назва рубрики)

Передаючи для опублікування Статтю, я (надалі – Автор) заявляю про таке.

1. Автор ознайомлений і згодний з видавничою політикою Журналу і етичними нормами для публікацій.
2. Автор ознайомлений з вимогами до оформлення статей у Журналі та іншими умовами щодо опублікування.
3. Автор є єдиним автором Статті.
4. Авторські права на Статтю не передавалися Автором раніше і не будуть передані у майбутньому третім особам.
5. Стаття не була раніше опублікована і не буде опублікована у будь-якому виданні до публікації її у Журналі.
6. Стаття не є компіляцією раніше опублікованих робіт Автора.
7. Публікація статті не порушує прав інтелектуальної власності інших осіб.
8. Стаття не містить відомостей, заборонених до відкритого друку згідно з чинним законодавством України, і публікація Статті не призведе до розголошення таємної або конфіденційної інформації, у тому числі такої, що містить державну або службову таємницю.
9. Автор дає згоду на публікацію та/або передачу третім особам таких його особових даних:
  - Прізвище, Ім'я та По-батькові;
  - Відомості про наукову кваліфікацію (науковий ступінь, вчене звання);
  - Відомості про місце роботи та посаду;
  - Контактні дані (адреса для листування, номери телефонів, номери факсів, електронні адреси тощо).

\_\_\_\_\_  
(Прізвище та ініціали автора)

\_\_\_\_\_  
(Особистий підпис автора)

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

*(Заповнюється та підписується всіма співавторами Статті,  
або одним зі співавторів від імені всіх за письмовим дорученням)*



**Рукописи для розгляду редколегією журналу приймаються (для попередньої експертизи)  
у навчально-науковий відділ Херсонського національного технічного університету**

**за адресою:**

**м. Херсон, Бериславське шосе, 24, каб. 413. Тел. (0552) 32-69-07.**

**E-mail: [vestnikkntu@gmail.com](mailto:vestnikkntu@gmail.com)**

**Редакційна колегія журналу «Вісник ХНТУ»**

# ВІСНИК

## Херсонського національного технічного університету

Відповідальний за випуск	головний редактор Литвиненко В.І. д.т.н., професор, завідувач кафедри інформатики і комп'ютерних наук
Макетування	Власенко А.Л.
Відповідальний секретар	Вольвач І.Ю. к.е.н., доцент, завідувач навчально-наукового відділу

Свідоцтво про державну реєстрацію засобу масової інформації –  
серія КВ № 17371-6141 от 17.12.2010

Підписано до друку 10.03.2020 р. Формат 60x84 /16 Папір ксерокс.  
Ум. друк. аркушів . Замовлення № . Тираж 100 прим.

Матеріали друкуються в авторській редакції. Відповідальність  
за достовірність даних, зазначених у статтях, несуть їх автори.

© Херсонський національний технічний університет 2020

---