

ISSN 2786-4588 (Print)  
ISSN 2786-4596 (Online)

Міністерство освіти і науки України  
Херсонський державний аграрно-економічний університет



# Таврійський науковий вісник

Технічні науки

Випуск 2



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2022

ISSN 2786-4588 (Print)  
ISSN 2786-4596 (Online)

*Рекомендовано до друку вченою радою Херсонського державного аграрно-економічного університету  
(протокол № 7 від 27.01.2022 року)*

Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 2. 66 с.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International  
(Республіка Польща)

Свідоцтво про державну реєстрацію: Серія КВ № 24810-14750ПР від 31.05.2021 року.

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України від 29.06.2021 № 735 (додаток 4)  
журнал внесений до переліку фахових видань України категорії «Б» (спеціальності:  
122 – Комп'ютерні науки та інформаційні технології; 124 – Системний аналіз; 181 – Харчові  
технології; 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології).

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення  
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

#### **Редакційна колегія:**

**Дзюндзя О.В.** – доцент кафедри інженерії харчового виробництва Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент – головний редактор; **Антоненко А.В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного бізнесу ПВНЗ «Київський університет культури», к.т.н., доцент; **Балихіна Г.А.** – провідний науковий співробітник відділення землеробства, меліорації та механізації апарату Президії НААН, к.т.н.; **Березовський Ю.В.** – доцент кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., доцент; **Бровенко Т.В.** – доцент кафедри готельно-ресторанного і туристичного бізнесу Київського національного університету культури і мистецтв, к.т.н., доцент; **Вороненко М.О.** – доцент кафедри інформатики і комп'ютерних наук Херсонського національного технічного університету, к.т.н., доцент; **Гончаренко А.В.** – професор кафедри підтримання льотної придатності повітряних суден Національного авіаційного університету, д.т.н., професор; **Гопеснко В.** – проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи» Університету прикладних наук ISMA, Dr.sc.ing., професор (Рига, Латвійська Республіка); **Горальчук А.Б.** – професор кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії Харківського державного університету харчування та торгівлі, д.т.н., професор; **Димова Г.О.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н.; **Коваленко О.О.** – завідувач кафедри біоінженерії і води Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор; **Ковальчук П.І.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., професор; **Кузьмич Л.В.** – головний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, д.т.н., доцент; **Кузьміна Т.О.** – професор кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Лобода О.М.** – доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент; **Марасанов В.В.** – член спеціалізованої Вченої ради ДФ 67.052.003 Херсонського національного технічного університету, д.т.н., професор; **Матяш Т.В.** – старший науковий співробітник, завідувач відділу інформаційних технологій та маркетингу інновацій Інституту водних проблем і меліорації НААН, к.т.н.; **Отрош Ю.А.** – начальник кафедри пожежної, профілактики в населених пунктах факультету пожежної безпеки Національного університету цивільного захисту України, д.т.н., професор; **Пневматіос Н.** – доцент кафедри будівництва Університету Західної Аттики, к.т.н., доцент (Афіни, Греція); **Романенко Р.П.** – доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін Київського національного торговельно-економічного університету, к.т.н.; **Степанчиков Д.М.** – доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики Херсонського національного технічного університету, к.ф.-м.н., доцент; **Сурьянінов М.Г.** – завідувач кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури, д.т.н., професор; **Ткаченко О.Б.** – професор, завідувачка кафедри технології вина та сенсорного аналізу Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., доцент; **Турченко В.О.** – професор кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування, д.т.н., доцент.

---

# КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

УДК 004.8

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.1>

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ МЕТОДОМ ЕВОЛЮЦІЙНОГО ПОШУКУ

---

*Димова Г. О.* – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри менеджменту та інформаційних технологій  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-5294-1756

Складання розкладу представляє собою надзвичайно трудомісткий та складний процес, який полягає у встановленні послідовності зустрічей викладачів і здобувачів вищої освіти у заздалегідь заданий проміжок часу, з урахуванням задоволення низки обмежень різного характеру. Беручи до уваги той факт, що в більшості українських вищих навчальних закладах складання розкладу відбувається вручну, при цьому, у зв'язку з надзвичайною складністю урахування всіх обмежень, велику увагу приділяють автоматизації складання розкладу. Проте процесу автоматизації передують розробка правильного математичного алгоритму, на основі якого створюватиметься система. Він є ядром всієї системи, тому перш ніж сідати за проектування та розробку програмного продукту, потрібно скласти правильну математичну модель та метод (алгоритм) для системи. Це є надзвичайно складним процесом, оскільки потрібно враховувати безліч чинників та факторів.

В статті розглядається використання еволюційного алгоритму в процесі розробки математичної моделі для складання розкладу у вищому навчальному закладі. Висуваються обов'язкові обмеження та бажані вимоги до розкладу в університеті. Описується початкова інформація основних математичних множин, які характеризують математичну модель ВНЗ: множина груп здобувачів, множина аудиторій, множина дисциплін, множина викладачів, множина навчальних пар. Описуються основні сутності, необхідні для складання будь-якого розкладу в університеті. Наводяться і математично обґрунтовуються різні обмежуючі обов'язкові та бажані умови достовірності математичної моделі розкладу для вищого навчального закладу, що розробляється. Поставлена задача для подальшої реалізації еволюційного пошуку оптимального розкладу з використанням генетичного алгоритму.

**Ключові слова:** навчальний заклад, навчальний процес, Big Data технології, алгоритм еволюційного пошуку, математична модель розкладу, генетичний алгоритм.

*Dymova H. O. Development of a class scheduling model using the evolutionary search method*  
Scheduling is an extremely time-consuming and complex process, which consists in establishing a sequence of meetings between teachers and students in a predetermined period of time, taking into account the satisfaction of a number of restrictions of a different nature. Taking

---

*into account the fact that in most Ukrainian universities scheduling is done manually, at the same time, due to the extreme complexity of taking into account all restrictions, much attention is paid to automation of scheduling. However, the automation process is preceded by the development of the correct mathematical algorithm, on the basis of which the system will be created. It is the core of the entire system, so before you sit down to design and develop a software product, you need to create the correct mathematical model and method (algorithm) for the system. This is an extremely complex process as there are many causes and factors to consider.*

*The article discusses the use of an evolutionary algorithm in the process of developing a mathematical model for scheduling at a university. Mandatory restrictions and desirable requirements for the schedule at the university are put forward. The initial information of the main mathematical sets characterizing the mathematical model of the university is described: a set of groups of students, a set of audiences, a set of disciplines, a set of teachers, a set of study pairs. The main entities necessary for compiling any schedule at the university are described. Various limiting obligatory and desirable conditions for the reliability of the mathematical model of the developed timetable of a higher educational institution are given and mathematically substantiated. A task has been set for the further implementation of the evolutionary search for the optimal decomposition using a genetic algorithm.*

**Key words:** *educational institution, educational process, Big Data technologies, evolutionary search algorithm, mathematical model of the schedule, genetic algorithm.*

Створення оптимального розкладу університету є актуальною проблемою дуже давно. Розклад є невід'ємною частиною під час планування навчального процесу, оскільки без нього не може функціонувати жодний навчальний заклад. Створення розкладу та організація навчального процесу займає багато часу для людини, оскільки необхідно враховувати безліч різних факторів, якими можуть виступати комфортні умови навчання здобувачів вищої освіти, зручний час проведення занять для викладачів, ресурси університету тощо. Підходи до розв'язання задач з настільки великою кількістю параметрів, що враховуються, можна віднести до Big Data технологій, а за складністю генерація розкладу відноситься до класу NP-повних задач [1]. Сучасні технології дозволяють автоматизувати та прискорити цей процес у тисячі разів. Це стало можливим з появою евристичних методів, одним з яких є алгоритм еволюційного пошуку, що розглядається у статті. Для таких алгоритмів є сильна залежність під конкретний навчальний заклад, що дозволяє створити універсальну систему. Ці алгоритми допомагають не тільки автоматизувати створення розкладу, а й створити оптимальний розклад з урахуванням багатьох переваг.

Існує багато класичних методів розв'язання задачі складання розкладу: метод імітації випалювання, алгоритм розфарбування графів, імітаційне моделювання [2]. Метод імітації випалювання такий, що процедура пошуку глобального розв'язку імітує фізичний процес відпалу, який часто використовується, коли пошук наближеного глобального оптимуму важливіший, ніж пошук точного локального оптимуму за встановлений проміжок часу [3]. Алгоритм розфарбування графу, що створений жадібним алгоритмом, який проходить вершини графу в деякій визначеній послідовності та призначає кожній вершині перший доступний колір [4]. Незважаючи на зовнішню простоту метод імітації випалювання та алгоритм розфарбування графів, можуть виявитися цілком ефективними для складання лише невеликих розкладів. При реалізації алгоритму, що базується на принципах імітаційного моделювання, обмежується можливість застосування розробленої системи в інших вищих навчальних закладах (ВНЗ), крім того, знадобиться вносити істотні зміни в алгоритм при незначних внутрішніх змінах у ВНЗ [2]. Застосування методів еволюційного пошуку приводить до одержання гарних результатів, однак має місце висока обчислювальна трудомісткість і відносна неефективність на заключних етапах еволюції [5].

Метою роботи є розробка математичної моделі складання розкладу з використанням алгоритму еволюційного пошуку.

Розглянемо навчальний заклад, в якому виділяються наступні групи об'єктів:

- множина груп здобувачів  $G$ ;
- множина аудиторій  $A$ ;
- множина дисциплін  $D$ ;
- множина викладачів  $T$ ;
- множина навчальних пар  $C$  (тимчасових інтервалів проведення занять).

Якщо в зазначеній групі  $G$  проводяться заняття в аудиторії  $A$  з дисципліни  $D$ , викладач  $T$ , під час навчальної пари  $C$ , то функція приймає значення рівне 1, в протилежному випадку – 0.

Нехай необхідно визначити

$$\begin{aligned} a &= (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_N) \\ c &= (c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_N) \\ t &= (t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N) \end{aligned} \quad (1)$$

де  $N$  – кількість блоків занять;

$a_i \in A$  – код аудиторії, назначений блоку занять  $z_i \in Z$ ;

$c_i \in C$  – код навчальної пари, призначений першого заняття з блоку занять  $z_i \in Z$ ;

$t_i \in T$  – код викладача, назначений блоку занять  $z_i \in Z$ .

До розкладу пред'являється множина вимог і обмежень. Умовно, весь ряд обмежень розбивається на обов'язкові і бажані обмеження. До обов'язкових відносяться:

- відсутність накладок різного характеру;
- відсутність вікон;
- відповідність типу проведеного заняття аудиторії проведення;
- обмеження на обсяг занять, які проводяться щодня;
- обов'язкове проведення всіх занять, запланованих робочим навчальним планом.

Бажані (неосновні) вимоги представляються в наступному вигляді:

– забезпечення комфортності умов навчання, а саме мінімізація переходів поміж аудиторіями або корпусами, підбір аудиторії, максимально наближених до типу проведених занять, тощо;

– побажання викладацького складу;

– рівномірність навантаження здобувачів вищої освіти протягом всього семестру, а також конкретного навчального дня.

Обов'язкові обмеження, що накладаються на розклад, описуються наступним чином:

Обмеження, яке гарантує відсутність накладок для аудиторій, представляються виразом:

$$\begin{aligned} \forall (a_i, c_j): a_i \in A, c_j \in C (\exists! z_k: (a_i = a_k) \wedge (z_k \in Z^{c_j})) \vee (\neg \exists z_k \\ : (a_i = a) \wedge (z_k \in Z^{c_j})) \end{aligned} \quad (2)$$

де  $Z^{c_j}$  – множина блоків занять, що проводяться під час пари  $c_j$ .

Цей вираз можна пояснити так: для кожної впорядкованої двійки елементів, а саме аудиторія і пара, для аудиторії існує або єдиний блок занять з множини  $Z$ , що означає проведення заняття цього блоку в цій аудиторії в момент даної пари, або відсутність блоку заняття, яке вказує на те, що аудиторія вільна.

2. Обмеження, що гарантує відсутність накладок для викладачів, визначається наступним чином:

$$\forall (t_i, c_j): t \in T, c_j \in C (\exists! z_k: (t_i = t_k) \wedge (z_k \in Z^{c_j})) \vee (\neg \exists z_k : (t_i = t_k) \wedge (z_k \in Z^{c_j})) \quad (3)$$

де  $Z^{c_j}$  – множина блоків занять, що проводяться під час пари  $c_k$ .

Вираз (3) можна пояснити так: існує або єдиний блок занять, які проводить даний викладач під час заданої пари, або цього блоку не існує взагалі.

3. Обмеження, яке забезпечує відсутність накладок для навчальних груп

$$\forall (g_n, c_j): g_n \in G, c_k \in C \sum z_i^e \leq 1, i \in Z^{g_n} \cap Z^{c_j} \quad (4)$$

де  $Z^{g_n}$  – множина блоків занять, в яких присутня група  $g_n$ ;

$Z^{c_j}$  – множина блоків занять, що проводяться під час пари  $c_k$ .

Це обмеження пояснюється так: для кожної пари елементів, таких як група і пара, сума компонентів  $z_i^e$  вектора  $Z_i$  блоків із множини  $Z^{g_i} \cap Z^{c_k}$  не перевищує одиницю [6, 7]. Тобто під час конкретної пари група знаходиться на одному занятті, або проводиться заняття тільки у одній з підгруп, або у обох, або занять немає взагалі.

4. Відповідність типу аудиторії проведеному заняттю описується виразом:

$$\forall z_i \in Z a_i \in A^{z_i^a} \quad (5)$$

тобто для кожного блоку заняття  $z_i$ ,  $z_i \in Z$  аудиторія вибирається з допустимої підмножини аудиторій, код цієї підмножини зберігає компонент  $z_i^a$ .

5. Обмеження, що накладається на кількість навчальних пар, що проводяться протягом одного навчального дня, виглядає наступним чином

$$\forall (b_\tau, g_n): b_\tau \in B, g_n \in G \sum z_i^e \leq N_{max}, i \in I_{g_n}^{b_\tau} \quad (6)$$

де  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$  – множина навчальних днів.

Кожен елемент описаної множини, визначається так:

$$b_\tau = \{c_j \in C: c_j^a = b_\tau\}$$

Вираз (6) означає, що для кожної пари елементів: група і день, число проведених пар не перевищує максимально допустимого –  $N_{max}$ .

6. Обмеження відсутності вікон для навчальних груп, тобто для кожної пари елементів: день і група, кількість пар, що проводяться в цій групі в поточний день має дорівнювати величині:

$$\forall (b_\tau, g_n): b_\tau \in B, g_n \in G \left( \sum_{i \in I_{g_n}^{b_\tau}} z_i^e = c\_max\_number_{g_n}^{b_\tau} - c\_min\_number_{g_n}^{b_\tau} + 1 \right) \wedge (\forall c: c\_min_{g_n}^{b_\tau} \leq c \leq c\_max_{g_n}^{b_\tau} \sum_{i: z_i \in Z^{g_n} \wedge c_j^a = c} z_i^e = 1), \quad (7)$$

де  $c\_max\_number_{g_n}^{b_\tau} - c\_min\_number_{g_n}^{b_\tau} + 1$ , також відсутність вікон у груп;

$c\_max\_number_{g_n}^{b_\tau}$  – максимальний номер пари протягом дня  $b_\tau$ , для групи  $g_n$ ;

$c\_min\_number_{g_n}^{b_\tau}$  – мінімальний номер пари протягом дня  $b_\tau$ , для групи  $g_n$ ;

$I_{g_n}^{b_\tau} = \{i: (z_i \in Z^{g_n}) \wedge (c_j^d = b_\tau)\}$  – множина номерів блоків занять, що проводяться для групи  $g_n$  під час дня  $b_\tau$ .

Потрібно знайти такий варіант вибору векторів  $\alpha, c, t$ , яке задовольняє обмеженням (2) – (7), а також мінімізує значення критерію втрати якості  $K$ . Критерій якості ґрунтується на бажаних вимогах і має такий вигляд:

$$K = \varphi(\alpha, c, t) = \sum_{i=1}^N p_i \omega_i(\alpha, c, t), \quad (8)$$

де  $p_i$  – значення штрафного коефіцієнта за невиконання  $i$ -ї вимоги;  
 $\omega_i$  – оцінка ступеня невиконання  $i$ -ї бажаної вимоги.

До найбільш значимих бажаних вимог відносяться:

1. Побаження викладацького складу.

Для формулювання даної вимоги розглядаються дві матриці. Перша матриця називається матрицею заборон і виглядає наступним чином:

$$M_{\text{заборон}} = \begin{cases} 1, \text{ заборона проведення заняття} \\ \text{для } i - \text{го викладача} \\ \text{під час } k - \text{ї пари} \\ 0, \text{ відсутність заборони} \end{cases} \quad (9)$$

Друга матриця – матриця зайнятості формується наступним чином:

$$M_{\text{зайнятості}} = \begin{cases} 1, \text{ проведення заняття} \\ \text{для } i - \text{го викладача} \\ \text{під час } k - \text{ї пари} \\ 0, \text{ відсутність заняття} \end{cases} \quad (10)$$

Тому вираз, враховуючи (9) – (10), має вигляд

$$\sum_{t_i \in T} \sum_{c_j \in C} (M_{\text{заборон}} \wedge M_{\text{зайнятості}}) \rightarrow \min, \quad (11)$$

і є вимогою врахування побажань.

2. Обмеження, що враховує мінімізацію кількості вікон у викладачів.

$$\sum \sum (c\_max_{p_i}^{b_\tau} - c\_min_{p_i}^{b_\tau}) - N_{\text{блоків}} \rightarrow \min, \quad (12)$$

де  $c\_max_{p_i}^{b_\tau}$  – максимальний номер пари в день  $b_\tau$  у викладача  $t_p$

$c\_min_{p_i}^{b_\tau}$  – мінімальний номер пари в день  $b_\tau$  у викладача  $t_i$ .

3. Бажана вимога рівномірності занять:

$$D_n^{\text{cp}} = \frac{1}{N_{\text{днів}}} \sum_{b_\tau} (M_n^{\text{cp}} - |I_{g_n}^{b_\tau}|)^2. \quad (13)$$

4. Якщо середнє відхилення кількості занять для групи  $g_n$  має вигляд:

$$M_n^{\text{cp}} = \frac{1}{N_{\text{днів}}} \sum_{b_\tau} |I_{g_n}^{b_\tau}|,$$

звідси, вимога виглядає так:

$$\sum_{n=1, N_{\text{груп}}} D_n^{\text{CP}} \rightarrow \min. \quad (14)$$

На підставі описаних вимог будується цільова функція на основі мінімізації штрафних показників. Кожне порушення обмеження або бажаної вимоги збільшує значення цільової функції відповідно до коефіцієнта значимості вимоги. В результаті цільова функція в загальному вигляді описується формулою:

$$F_{\text{ц}} = \sum_{i=1..N_{\text{кількість обмежень}}} og_i * k_{og_i} + K \quad (15)$$

де  $K$  – критерій якості, що описується виразом (8).

Кожне порушення обмеження (15) збільшує значення цільової функції у відповідності до коефіцієнту значимості вимоги  $k_{og_i}$ .

Якщо обмеження не виконуються або не виконуються бажані вимоги, розклад вважається конфліктним [8].

В статті проаналізовано існуючі методи розв'язання задачі складання розкладу занять у вищих навчальних закладах та виявлено найефективніший метод. Розроблено математичну модель складання розкладу методом еволюційного пошуку. На підставі побудованої моделі (1) – (7) розкладу надалі буде проводитися реалізація еволюційного пошуку оптимального розкладу з використанням генетичного алгоритму.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Теорія розкладів. 2022. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Теорія\\_розкладів](https://uk.wikipedia.org/wiki/Теорія_розкладів) (дата звернення 20.03.22).
2. Розклад занять. 2022. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Розклад\\_занять](https://uk.wikipedia.org/wiki/Розклад_занять) (дата звернення 20.03.22).
3. Алгоритм імітації відпаду. 2021. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Алгоритм\\_імітації\\_відпаду](https://uk.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_імітації_відпаду) (дата звернення 21.03.22).
4. Жадібне розфарбовування. 2021. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Жадібне\\_розфарбовування](https://uk.wikipedia.org/wiki/Жадібне_розфарбовування) (дата звернення 21.03.22).
5. Еволюційний алгоритм. 2021. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Еволюційний\\_алгоритм](https://uk.wikipedia.org/wiki/Еволюційний_алгоритм) (дата звернення 21.03.22).
6. Кисіль В.В., Драч І.В., Кисіль Т.М. Модель задачі складання та оптимізації розкладу занять за умови задоволення об'єктивних та суб'єктивних вимог навчального закладу. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2019. Том 30 (69) Ч. 1. № 6. С. 65–70.
7. Бойко О.М. Еволюційна технологія розв'язування задачі складання розкладів навчальних занять. *Штучний інтелект*. 2006. Вип. № 3. С. 341–348.
8. Снитюк В.Є., Сіпко Є.Н. Аспекти формування цільової функції в задачі складання розкладу занять у вищих навчальних закладах на основі суб'єктивних переваг. *Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси і системи*. 2013. Вип. № 2. С. 98–104.

#### REFERENCES:

1. Teoriya rozkladiv [Schedule theory]. (2022). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Теорія\\_розкладів](https://uk.wikipedia.org/wiki/Теорія_розкладів) (date of the application 20.03.22) [in Ukrainian].
2. Rozklad zanyat' [Class Schedule]. (2022). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Розклад\\_занять](https://uk.wikipedia.org/wiki/Розклад_занять) (date of the application 20.03.22) [in Ukrainian].



3. Alhorytm imitatsiyi vidpalu [Simulated annealing algorithm]. (2021). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Алгоритм\\_імітації\\_відпалу](https://uk.wikipedia.org/wiki/Алгоритм_імітації_відпалу) (date of the application 21.03.22) [in Ukrainian].
4. Zhadibne rozfarbovuvannya [Greedy coloring graph]. (2021). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Жадібне\\_розфарбовування](https://uk.wikipedia.org/wiki/Жадібне_розфарбовування) (date of the application 21.03.22) [in Ukrainian].
5. Evolyutsiynyy alhorytm [Evolutionary algorithm]. (2021). URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Еволюційний\\_алгоритм](https://uk.wikipedia.org/wiki/Еволюційний_алгоритм) (date of the application 21.03.22) [in Ukrainian].
6. Kysil' V.V., Drach I.V., Kysil' T.M. (2019). Model' zadachi skladannya ta optymizatsiyi rozkladu zanyat' za umovy zadovolennya ob'yektyvnykh ta sub'yektyvnykh vymoh navchal'noho zakladu [The model of the task of compiling and optimizing the class schedule, subject to the satisfaction of the objective and subjective requirements of the educational institution]. *Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadsky. Series: technical sciences*. Vol. 30 (69) Ch. 1 No. 6. 65–70 [in Ukrainian].
7. Boyko O.M. (2006). Evolyutsiyana tekhnolohiya rozv'yazuvannya zadachi skladannya rozkladiv navchal'nykh zanyat' [Evolutionary technology for solving the problem of scheduling training sessions]. *Artificial intelligence*. Vol. No. 3. 341–348 [in Ukrainian].
8. Snytyuk V.YE., Sipko YE.N. (2013). Aspekty formuvannya tsil'ovoyi funktsiyi v zadachi skladannya rozkladu zanyat' u vyshchyykh navchal'nykh zakladakh na osnovi sub'yektyvnykh perevah [Aspects of formation of the objective function in the problem of scheduling classes in universities based on subjective advantages]. *Automation. Automation. Electrotechnical complexes and systems*. Vol. No. 2. 98–104 [in Ukrainian].

УДК 378:004

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.2>

## ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГРАМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Сікора О. В.** – кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри інформатики та інформаційних систем  
Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка  
ORCID ID: 0000-0002-4043-778X

**Вдовичин Т. Я.** – кандидат педагогічних наук,  
доцент кафедри інформатики та інформаційних систем  
Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка  
ORCID ID: 0000-0002-7605-3833

**Козут У. П.** – кандидат педагогічних наук,  
доцент кафедри інформатики та інформаційних систем  
Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка  
ORCID ID: 0000-0002-2861-2274

Людство постійно обмінювалося інформацією як між членами сім'ї та родини, так і відбувалася передача інформації між поколіннями. Передача відомостей, цікавих фактів, знань, історії було і залишається важливим елементом в житті людини, тому давна інформаційні системи (ІС) посідають важливу роль в суспільстві. Основна їх мета – це видача інформації, що потрібна для розвитку та керування суспільством, її ресурсами, зберігання і обміну важливою інформацією.

Найдавнішими і найбільш відомими є бібліотечні інформаційні системи. Саме за допомогою них є можливість збирати архіви книг, створювати каталоги різного призначення, видаляти непотрібні книги, додавати нові, знаходити необхідну літературу за автором, або за роком видання тощо. ІС вирішують розв'язання проблем технічної підготовки підприємства, керують матеріальними, трудовими і фінансовими ресурсами, ведуть бухгалтерські розрахунки, сприяють побудові перспективного плану розвитку фірми та проводять маркетингові дослідження.

Сьогодні розробляються ІС різного виду, призначення, з великою кількістю функціональних можливостей. Швидкому розвитку ІС сприяли великі перетворення та досягнення в комп'ютерній галузі та використання інформаційно-комунікаційних технологій при їх створенні.

Стаття присвячена технологіям розробки автоматизованої ІС у візуальному програмному середовищі. Для розробки програмного продукту обрано об'єктно-орієнтоване середовище системи Delphi, яке призначене для вирішення будь-яких завдань прикладного спрямування. З використанням готових об'єктів, властивостей, методів та написаних програмних кодів для опрацювання подій, можна створювати потрібні додатки за мінімальний час.

У статті продемонстровано програмну розробку ІС, яка виконує основні функції станції технічного обслуговування: перегляд списку послуг, реєстрацію клієнтів станції, перелік запчастин, які можна придбати та інші.

**Ключові слова:** інформаційна система, програмний продукт, візуальне середовище програмування, станція технічного обслуговування.

**Sikora O. V., Vdovychyn T. Ya., Kohut Y. P. Information systems programming technologies**  
Mankind has been constantly exchanging information between family members and families, and information has been passed down between generations. The transfer of information, interesting facts, knowledge, history has been and remains an important element in human life, so information systems (IS) have long played an important role in society. Their main purpose is to provide information needed for the development and management of society, its resources, storage and exchange of important information.

*The oldest and most famous are library information systems. It is with their help it is possible to collect archives of books, create catalogs for various purposes, delete unnecessary books, add new ones, find the necessary literature by author, or by year of publication, and so on. IP solves the problems of technical preparation of the enterprise, manages material, labor and financial resources, conducts accounting calculations, contributes to the construction of a long-term development plan of the company and conducts marketing research.*

*Today, IPs of various types and purposes are being developed, with a large number of functionalities. The rapid development of IP has been facilitated by major transformations and advances in the computer industry and the use of information and communication technologies in their creation.*

*The article is devoted to the technologies of automated IS development in the visual software environment. For the development of the software product, the visual environment of the Delphi system was chosen, which is designed to solve any application problems. Using ready-made objects, properties, methods and written program codes for event handling, you can create the necessary applications in a minimum of time.*

*The article demonstrates the software development of the IS, which performs the main functions of the service station: viewing the list of services, registration of customers of the station, a list of spare parts that can be purchased and others.*

**Key words:** *information system, software product, visual programming environment, maintenance station.*

**Постановка проблеми.** Відповідно до потреб організацій, фірм та певних користувачів сьогодні створюються найрізноманітніші інформаційні системи з великими функціональними можливостями. Вони складаються з великої кількості блоків, які об'єднані в єдине ціле і дозволяють проводити збір, обробку, зберігання та видачу інформаційних ресурсів. ІС можуть допомагати вирішувати різноманітні задачі, сприяти аналізу проблемних ситуацій та створювати нові продукти. На ринку є багато таких систем, однак обрати ту, яка має потрібний набір функціональних задач та задовольняє «ціна-якість» є нелегко. Тоді приходится модифікувати систему або розробляти нову. Для створення таких ІС залучаються ІТ-фахівці, але ціна такої роботи є доволі високою.

Сьогодні усі сфери людського життя охоплюють інформаційно-комунікаційні технології. З кожним днем вони все більше проникають у людську діяльність. Не можливо уявити жодного офісу, підприємства, фірми, школи, бібліотеки, ЗВО без використання інформаційних технологій (ІТ).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато праць відомих вчених присвячено проектуванню та впровадженню автоматизованих ІС. Серед них: В. Вдовін [1], В. Пономаренко, І. Золотарьова, Р. Бутова [6], О. Виноградова [2] тощо. Щодо проблем впровадження ІС на підприємствах, то вони розкриті в роботах авторів: І. Вольвач [4], К. Харіна [7], В. Авраменко, А. Авраменко [8]. Теоретичні основи програмної розробки додатків в середовищі візуального програмування Delphi розкрили в своїх працях такі вчені як: В. Фаронов [3], Н. Культин, А. Архангельский [4], В. Рубанцев, С. Федотова, С. Попов, Ю. Ревіч та інші.

**Постановка завдання** – об'єктно-орієнтований підхід до проектування автоматизованих ІС на прикладі створення додатку для станції технічного обслуговування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Автоматизована інформаційна система являє собою сукупність інформаційних даних, програмного забезпечення, технічних засобів, людських ресурсів, стандартних процедур для збору, опрацювання та видачі інформаційних даних в певній формі, яку вимагає замовник, організація чи підприємство. Розробка, створення та наповнення ІС сьогодні неможливе без ІТ. Особливістю роботи ІС є наявність в процесі виконання певних завдань людського ресурсу, який задає режим роботи ІС, перенаправляє потоки інформаційних даних, виводить інформаційні ресурси в заданій формі в певному

форматі та підтримує систему в активному стані. ІС служить взаємозв'язком між джерелом та отримувачем інформації. Одне і теж повідомлення може давати багато інформації одному одержувачу і мало або зовсім ніякої інформації іншому. Практично усі можливості ІС реалізуються через їх функціональні можливості.

В основу створення будь-якої автоматизованої ІС лежить принцип декомпозиції, коли саму систему розчленовують на окремі складові і, при необхідності, формують єдину ІС, що здатна опрацьовувати інформаційні ресурси. Кожна ІС характеризується великою кількістю інформації та зв'язків між нею, що говорить про її складність. Для коректного впровадження створеної системи необхідно, щоб структурованість самої системи була логічною та оптимальною. Основним чинником створення, розроблення та впровадження ІС є потреба фірми, організації, конкретного користувача та матеріальні ресурси, які для цього необхідні.

ІС можна поділити на елементи, які є придатні для виконання окремих функцій з нею, з неможливістю розділити на більш дрібніші об'єкти. Основна ціль декомпозиції ІС – це розділення всієї системи на окремі об'єкти, що дозволяє зменшити складність ІС, а тим самим сприяє аналізу, побудові, застосуванню та удосконаленню системи керування. Бажано при процесі декомпозиції розділяти елементи так, щоб вони піддавалися якійсь кваліфікації, наприклад, звернути увагу на природну декомпозицію. При можливості необхідно проводити декомпозицію багато разів і бажано по різних векторах.

Кожна ІС характеризується своєю надійністю та ефективністю. Надійність ІС визначається здатністю не змінювати параметри системи на визначений період, що дозволяє виконувати закладені в систему функціональні можливості при певних умовах та режимах. Ефективність системи визначається різницею між результатами, що повертає функціонування цієї системи і тими сумарними затратами, які вкладені в підготовку, розробку, впровадження та функціонування ІС. Важливим елементом ефективності ІС є тривалість часу, протягом якого система вирішує певну задачу і повертає кінцевий варіант. До сумарних затрат ресурсів зараховують матеріальні, людські, фінансові, часові та ін.

Створення будь-якої ІС займає довготривалий час, при цьому необхідно вирішити попередньо дуже багато питань підготовчого характеру, а саме: потоки даних, взаємозв'язки, створення потрібної документації, визначення функцій ІС, формулювання критеріїв, погодження зі спеціалістами різних категорій тощо. ІС за весь життєвий цикл проходить три етапи: початковий, функціональний та кінцевий. Кожна ІС характеризується своєю структурою, яка висвітлює її внутрішній стан та зв'язки, що функціонують між її елементами. Виділяють функціональні, технічні, організаційні, документальні, алгоритмічні, програмні та інформаційні структури [3].

Програмна структура характеризується програмними модулями, що є елементами структури, а зв'язки характеризуються потоками інформаційних масивів. Мова Delphi є оригінальною та універсальною мовою створення програмних продуктів, тому що в цьому середовищі можна створювати програми для рішення задач з різних галузей науки та повсякденного життя, розробляти ІС, створювати ігрові програми та багато інших. Зокрема, засобами мови Delphi можна продемонструвати створення додатку для станції технічного обслуговування (СТО).

Програмний продукт для обслуговування СТО складається з головної форми (рис. 1), за допомогою якої можна вибрати режими реєстрації клієнта, продажу запчастин автомобіля, перегляду послуг, ознайомлення з графіком роботи станції та дізнатися всі можливості та переваги СТО.



Рис. 1. Головна форма

Вибір режиму можна задати за допомогою компоненти Button, однак при проектуванні даної ІС це реалізовано за допомогою компоненти Label, оскільки в Delphi мітки також використовуються для реалізації в програмі команд, за допомогою процесора події OnClick цього компонента. Один і той же обробник може обробляти події кількох компонентів Label чи Button, а також компонентів інших типів. Для визначення компоненти, в якому потрібно обробляти команди, використовується вбудована змінна Sender типу TObject, що позначає об'єкт, який викликає дану подію (рис. 2).

```
procedure TForm2.Label2Click(Sender: TObject);  
const  
  filename0='STO.htm';  
var  
  url:widestring;  
begin  
  url:=extractfiledir(application.exename)+'\' +filename0;  
  form4.webbrowser1.navigate(url);  
  Form4.show;  
end;
```

Рис. 2. Програмний код відображення файлу у форматі htm

Для реєстрації клієнта розробленої ІС, створено форму, зображену на рис. 3, на якій знаходяться три компоненти DBCedit для введення даних, чотири компоненти

Рис. 3. Форма реєстрації клієнта

Label для відображення міток на формі, компонент DBComboBox та компонент Button. Використання DBComboBox економить місце на формі, його список рядків розкривається при натисканні мишкою на випадаючому списку, що знаходиться в правому кінці рядка введення.

Якщо база даних містить одну таблицю, наприклад, клієнтів станції СТО, то додаток роботи повинне містити один об'єкт Table і один об'єкт DataSource. Аналогом компонента Table є ADOTable, який забезпечує доступ до таблиці за допомогою механізму ADO. Після введення даних клієнта, запис в таблицю задається опрацюванням події OnClick кнопки «ОК» (рис. 4).

```

if (DBEdit1.Text='') and (DBEdit2.Text='') and (DBEdit3.Text='') then
    MessageDlg('Введіть Прізвище, Ім'я і телефон ', mtInformation, [mbOk], 0 );

if (DBEdit1.Text='') and (DBEdit2.Text<>'') and (DBEdit3.Text<>'') then
    MessageDlg('Введіть Прізвище ', mtInformation, [mbOk], 0 );
if (DBEdit1.Text<>'') and (DBEdit2.Text='') and (DBEdit3.Text<>'') then
    MessageDlg('Введіть Ім'я ', mtInformation, [mbOk], 0 );
if (DBEdit1.Text<>'') and (DBEdit2.Text<>'') and (DBEdit3.Text<>'') then
begin
    Form7.Show;
    Form7.ADOTable1.Post;

end;

```

Рис. 4. Програмний код події OnClick кнопки «Ок»

Всі зареєстровані клієнти СТО фіксуються в базі даних, вміст якої подано на рис. 5.

Код	Прізвище	Ім'я	Телефон	Марка машини
1	Скора	Оксана	0984578177	Suzuki
7	Ковба	Ростислав	0664878945	Mitsubishi
8	Павлів	Ірина	0664587812	Mazda
9	Жидик	Володимир	0984567814	Peugeot
10	Дорошенко	Микола	0674125623	Skoda
11	Попович	Ігор	0661234578	Fiat
12	Кравець	Назарій	0978512345	Mitsubishi

Рис. 5. База даних клієнтів

За допомогою цієї форми можна вставляти записи в базу даних (ADOTable1.Insert;) та видаляти активні записи (ADOTable1.Delete;).

Для вибору послуг клієнта СТО створено форму, зображену на рис. 6, на якій знаходяться компоненти DBGrid, три компоненти BitBtn, компонент DBNavigator.

Компонент DBNavigator був доданий на форму для переміщення по записах таблиці. Цей компонент також має властивість DataSource, в якій потрібно вказувати, якою таблицею керувати. З його допомогою можна не тільки переміщатися по записах, а й додавати нові («+»), видаляти існуючі («-»). При редагуванні стають активними кнопки  (прийняти зміни) та  (відмінити зміни).

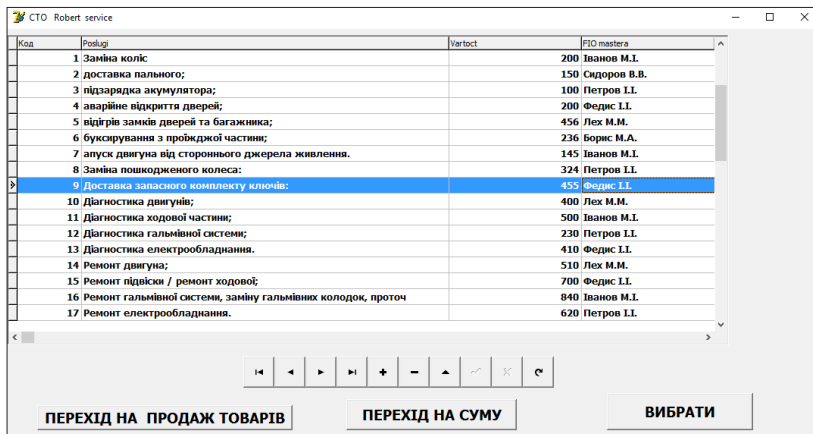


Рис. 6. Вікно вибору послуг

Після вибору послуг, клієнт має можливість перейти на форму продажу запчастин (рис. 7), або на вікно суми оплати за вибрані послуги та товар (рис. 9).

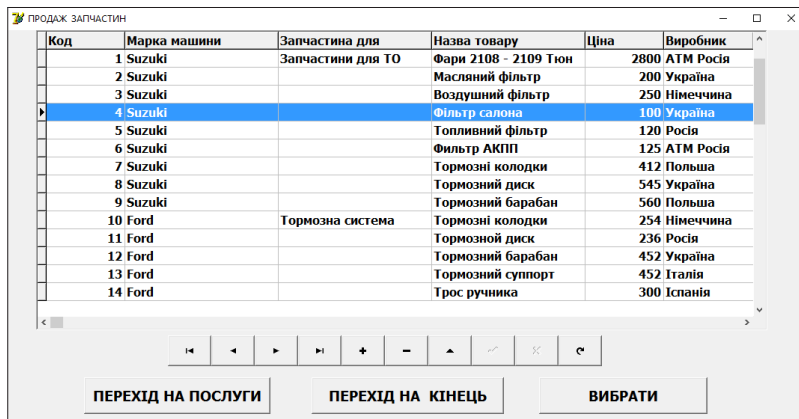


Рис. 7. Вікно вибору запчастин

Список вибраних послуг та товарів для автомобіля можна сформувати в окремому вікні (фрагмент програмного коду поданий на рис. 8).

```

begin
  with Form8.DBGrid1.DataSource.DataSet do
  begin
    form9.StringGrid2.ColCount:= FieldCount;
    form9.StringGrid2.RowCount:= form9.StringGrid2.RowCount+1;
    for i := 0 to Fields.Count-1 do
      form9.StringGrid2.Cells[i, form9.StringGrid2.RowCount-1]:= Fields[i].AsString;
    end;
    k:=k+1; Edit1.Text:=IntToStr(k);
  end;
end;

```

Рис. 8. Програмний код формування таблиці вибраних запчастин

На рис. 10 подано програмний код, який дозволяє обчислити суму вибраних послуг та товару до оплати:

The screenshot shows a Delphi application window titled "ПОСЛУГИ-ЗАПЧАСТИНИ" (SERVICES-PARTS). It contains two tables and a summary section.

**ВИБРАНІ ПОСЛУГИ (Selected Services):**

1	Заміна коліс	200	Іванов М.І.
2	доставка пального;	150	Сидоров В.В.
3	підзарядка акумулятор	100	Петров І.І.

**ВИБРАНІ ЗАПЧАСТИНИ ДЛЯ АВТО (Selected Car Parts):**

1	Suzuki	Запчастини для Фар	2108 - 21072800	АТМ Росія
4	Suzuki	Фільтр салона	100	Україна
10	Ford	Тормозна система	Тормозні колоди	254 Німеччина
26	KIA	Підвіска и Руль	Амортизатор	452 Україна

**СУМА ДО ОПЛАТИ (Total Amount to Pay):** 4056 грн.

Рис. 9. Вікно вибраних послуг, запчастин та суми до оплати

```

begin
  S1:=0; S2:=0;
  if Form5.DBEdit1.text='' then l1:=0 else l1:=StrToInt(Form5.DBEdit1.text);
  For i := 1 To l1 Do
    S1 := S1 + StrToFloat(Form9.StringGrid1.Cells[2,i]);
  if Form8.DBEdit1.text='' then l2:=0 else l2:=StrToInt(Form8.DBEdit1.text);
  For i := 1 To l2 Do
    S2 := S2 + StrToFloat(Form9.StringGrid2.Cells[4,i]);
  Form9.DBEdit1.Text:=' '+FloatToStr(S1+S2)+' грн.';
end;

```

Рис. 10. Програмний код обчислення суми до оплати

Отже, можна зробити висновок, що розробка автоматизованої ІС у візуальному програмному середовищі Delphi дає можливість реалізувати широкий спектр прикладних задач. Середовище Delphi має великий набір інструментів (об'єктів, властивостей, методів та кодів), що дозволяє створювати потрібні додатки при мінімальних часових витратах.

**Висновок.** Сьогодні особливе місце займає робота із замовниками та постачальниками. Знання методології та програмних засобів дозволяють за допомогою ІС за мінімальний час і без великих зусиль керувати цими процесами. Такі компанії, які в своїй роботі використовують інформаційно-комунікаційні технології, програмне забезпечення отримують конкурентні переваги, бізнес-процеси стають прозорими і зрозумілими для контролю та управління, поліпшується інвестиційна привабливість.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Шурупов А.А. Предметно-ориентированные экономические информационные системы : учеб. пособие. Изд.-торг. корпорация «Дашков и К°», 2009. 388 с.
2. Виноградова О.В. Вплив інформаційно-технологічного фактору на конкурентоспроможність українських послуг на світовому ринку. *Актуальні проблеми міжнародних відносин: зб. наук. праць*. 2003. Ч. 1. С.167–169.
3. Фаронов В.В. Программирование баз данных в Delphi 7. Учебный курс. Питер, 2006. 459 с.
4. Вольвач І.Ю. Проблеми оцінки ефективності використання інформаційних систем в управлінні підприємствами. *Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины*. 2010. № 16. С. 164–166.



5. Архангельский А.Я. Программирование в Delphi 7. Москва, 2003. 568 с.
6. Інформаційні системи в економіці: навчальний посібник / Пономаренко В.С., Золотарьова І.О., Бутова Р.К. та ін. Харків: Видавництво ХНЕУ, 2011. 176 с.
7. Харіна К.В. Застосування інформаційних систем у бухгалтерському обліку. Дніпропетровськ: ПДАБА. 2008. № 16. 90 с.
8. Проектування інформаційних систем: навчальний посібник / В.С. Авраменко, А.С. Авраменко. Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

#### REFERENCES:

1. Vdovin, V.M., Surkova, L.E., & Shurupov, A.A. (2009). *Predmetno-oriyentirovannyye ekonomicheskyye informatsionnyye sistemy*: textbook allowance. Publishing house «Dashkov & Co» Corporation [in Russian].
2. Vinogradova, O.V. (2003). Vplyv informatsiyno-tehnolohichnoho faktoru na konkurentospromozhnist' ukrayins'kykh posluh na svitovomu rynku [Influence of information and technological factor on the competitiveness of Ukrainian services on the world market]. *Current issues of international relations: Coll. Science. work. Part 1*. 167–169 [in Ukrainian].
3. Faronov, V.V. (2006). *Programmirovaniye baz dannykh v Delphi 7*. Training course [in Russian].
4. Volvach, I.Yu. (2010). Problemy otsinky efektyvnosti vykorystannya informatsiynykh system v upravlinni pidpryyemstvamy [Problems of evaluating the effectiveness of information systems in enterprise management]. *Problems of light and textile industry of Ukraine*, 16, 164–166 [in Ukrainian].
5. Arkhangelsky, A.Ya. (2003). *Programmirovaniye v Delphi 7*. Moscow [in Russian].
6. Ponomarenko, V.S., Zolotareva, I.O., & Butova, R.K. Et al (2011). *Informatsiyni systemy v ekonomitsi*: a textbook. Kharkiv: KhNEU Publishing House [in Ukrainian].
7. Harina, K.V. (2008). *Zastosuvannya informatsiynykh system u bukhgalters'komu obliku*. Dnepropetrovsk: PDABA [in Ukrainian].
8. Avramenko, V.S., & Avramenko, A.C. (2017). *Proektuvannya informatsiynykh system* : a textbook . Cherkasy : Cherkasy National University. B. Khmelnytsky [in Ukrainian].

---

# ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

## FOOD TECHNOLOGY

УДК 664.694

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.3>

### РОЗШИРЕННЯ АСОРТИМЕНТУ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ З В-КАРОТИНОМ

---

**Болгова Н. В.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри технологій та безпеки харчових продуктів  
Сумського національного аграрного університету  
ORCID ID: 0000-0002-0201-0769  
Scopus Author ID: 57217302672

**Самілик М. М.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технологій та безпеки харчових продуктів  
Сумського національного аграрного університету  
ORCID ID: 0000-0002-4826-2080  
Scopus Author ID: 57217312425

**Саєчук Н. В.** – студентка магістратури  
факультету харчових технологій  
Сумського національного аграрного університету  
ORCID ID: 0000-0003-4595-9533

Враховуючи популярність макаронних виробів, їх виробляють у великій кількості в кожній країні світу. Виробники стикаються з проблемою утримання ринків збуту. Для цього розробляються нові рецепти з натуральними харчовими добавками та барвниками. Тому, на нашу думку, актуальним є питання розробки рецептури макаронних виробів з  $\beta$ -каротином. Аналізуючи результати наукових досліджень вчених різних країн, можна відзначити, що найбільш популярними харчовими добавками, які використовуються в макаронній промисловості, є бобові, овочі, фрукти, ягоди, водорості. Поряд з рослинними компонентами використовується тваринний білковий компонент і гідробіонти. Нашим завданням було розробити рецептуру макаронних виробів з додаванням порошку  $\beta$ -каротину, провести їх органолептичну оцінку та визначити фізико-хімічні показники. Для вирішення поставлених завдань нами було обрано як добавку порошок  $\beta$ -каротину виробництва Китай з вмістом провітаміну А 12%. Перший зразок був контролем, другий містив 10% порошку  $\beta$ -каротину, а третій 13 В цілому, варіації сенсорного профілю є незначними для представлених макаронних виробів. Додавання порошку  $\beta$ -каротину позитивно вплинуло на цей показник. Зразок №3 мав більш виражений жовтий відтінок порівняно з іншими зразками. Поряд із сенсорними показниками значення мають і фізико-хімічні. Оскільки другий зразок децю

---

поступався першому і третій в оцінці органолептичних показників, його не використовували для дослідження фізико-хімічних показників. Аналізуючи отримані результати, слід зазначити, що заміна порошком  $\beta$ -каротину в рецептурі пшеничного борошна істотно вплинула на міцність готового продукту. Показник зменшився вдвічі. Подібні результати отримали й інші дослідники. Різні добавки впливають на показник міцності по-різному в залежності від взаємодії між білками, крохмалем і волокнами на мікроскопічному та молекулярному рівнях. Враховуючи результати описаних досліджень, зазначимо, що розроблена рецептура макаронних виробів з 13% порошку  $\beta$ -каротину позитивно впливала на органолептичні та фізико-хімічні показники готового продукту. Враховуючи зниження міцності вироблених макаронних виробів, доцільно додатково ввести в рецептуру яйце, визначити вміст вітамінів і оцінити ринковий потенціал запропонованого продукту.

**Ключові слова:** макарони,  $\beta$ -каротин, борошно, органолептика, фізико-хімічні показники.

***Bolgova N. V., Samilyk M. M., Savchuk N. V. Expanding the range of pasta with  $\beta$ -carotene***

Given the popularity of pasta, they are produced in large quantities in every country in the world. Manufacturers face the problem of maintaining markets. To do this, new recipes are being developed with natural food additives and dyes. Therefore, in our opinion, the issue of developing a recipe for pasta with  $\beta$ -carotene is relevant. Analyzing the results of scientific research by scientists from different countries, it can be noted that the most popular food additives used in the pasta industry are legumes, vegetables, fruits, berries, algae. Along with plant components, animal protein component and aquatic organisms are used. Our task was to develop a recipe for pasta with the addition of  $\beta$ -carotene powder, conduct their organoleptic evaluation and determine the physico-chemical parameters. To solve these problems, we chose as an additive  $\beta$ -carotene powder made in China with a provitamin A content of 12%. The first sample was a control, the second contained 10%  $\beta$ -carotene powder, and the third 13. In general, variations in the sensory profile are insignificant for the presented pasta. The addition of  $\beta$ -carotene powder had a positive effect on this indicator. Sample № 3 had a more pronounced yellow hue compared to other samples. Along with sensory indicators, physicochemical ones are also important. As the second sample was slightly inferior to the first and third in the assessment of organoleptic parameters, it was not used to study physicochemical parameters. Analyzing the results, it should be noted that the replacement of  $\beta$ -carotene powder in the recipe of wheat flour significantly affected the strength of the finished product. The figure has halved. Similar results were obtained by other researchers. Different additives affect the strength index differently depending on the interaction between proteins, starch and fibers at the microscopic and molecular levels. Taking into account the results of the described studies, it should be noted that the developed formulation of pasta with 13%  $\beta$ -carotene powder had a positive effect on the organoleptic and physicochemical parameters of the finished product. Given the decrease in the strength of the produced pasta, it is advisable to additionally introduce an egg into the recipe, determine the content of vitamins and assess the market potential of the proposed product.

**Key words:** pasta,  $\beta$ -carotene, flour, organoleptics, physicochemical parameters.

**Вступ.** Аналізуючи результати наукових досліджень вчених з різних країн можна зазначити, що найбільш популярними харчовими добавками, що використовуються у макаронній галузі, є бобові, овочі, фрукти, ягоди, водорості. Поряд з рослинними компонентами також використовують тваринну білкову складову та гідробіонти.

**Постановка проблеми.** Враховуючи харчові вподобання українців можемо зазначити, що макаронні вироби займають у їх раціоні не останнє місце. Це пояснюється рядом причин. По-перше, макаронні вироби прості у приготуванні, по-друге – мають високу харчову цінність, по-третє – смачні, різноманітні за смаками та формами. Враховуючи таку популярність макаронів їх виробляють у великій кількості в кожній країні світу. Перед виробниками гостро постає питання утримання ринків збуту продукції. З цією метою розробляються нові рецептури з натуральними харчовими добавками та барвниками [1-3]. Саме тому, на наш погляд, актуально стоїть питання розробки рецептури макаронів з  $\beta$ -каротином.

**Мета статті.** Зважаючи на представлені дослідження мало вивчено використання підготовленого порошку  $\beta$ -каротину у технології виробництва макаронів.

Нашою метою було розробити рецептуру макаронних виробів з додаванням порошку  $\beta$ -каротину, провести їх органолептичну оцінку та визначити фізико-хімічні показники.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження групи науковців були направлені на комплексне збагачення макаронних виробів м'ясними продуктами (15%), бобовими та рослинними ізолятами (7,5–10%). В результаті продукт задовільнив добову потребу у білках на 13,4% [4].

Таким чином, збагачені макарони можна віднести до продуктів для здорового харчування, які здатні знижувати рівень глюкози та холестерину в крові, нормалізувати перистальтику кишечника, посилювати ферментацію в товстій кишці та інше [5–9]. Поряд з цим, багато біологічноактивних сполук, які містяться у фруктах та овочах, а саме каротиноїди та поліфеноли, відомі своїми антиоксидантними та протизапальними властивостями [10–11]. Слід зазначити, що харчові добавки можуть бути багаті мінералами, вітамінами, жирними кислотами та білками, підвищуючи поживну цінність макаронних виробів [6, 2–15].

**Виклад основного матеріалу.** Для вирішення поставлених завдань нами було обрано як добавку порошок  $\beta$ -каротину виробництва Китай (Ltd, Xinchang Pharmaceutical Factory) з вмістом провітаміну А 12%. Перший зразок був контрольним, другий містив 10% порошку  $\beta$ -каротину, а третій – 13% (табл. 1).

Таблиця 1

## Рецептура макаронів, %

Складові компоненти	Зразок		
	1	2	3
Борошно пшеничне	76	66	63
Вода	24	24	24
$\beta$ -каротин	-	10	13
Всього	100	100	100

Обраний відсоток заміни пшеничного борошна на порошок  $\beta$ -каротину було обрано спираючись на аналіз останніх досліджень.

Колір, поверхня, смак і запах є важливими органолептичними характеристик макаронних виробів [12, 16, 17]. Непрофесійна група дегустаторів проводила оцінку органолептичних характеристик макаронних виробів на основі даних таблиці 2. Аналіз отриманих даних дає змогу побудувати профілограми (рис. 1). В цілому, варіації сенсорного профілю є незначними для представлених макаронних виробів.

Одним з важливих параметрів, що визначає якість макаронних виробів, є характерний жовтий колір, зумовлений вмістом каротиноїдів у манній крупі з твердих сортів пшениці. Колір відіграє суттєву роль у виборі споживачів. Додавання порошку  $\beta$ -каротину позитивно відзначилося на даному показнику. Зразок № 3 мав більш виражений відтінок жовтого порівняно з іншими зразками.

Поряд з сенсорними показниками важливі і фізико-хімічні [16]. Оскільки, другий зразок дещо поступився при оцінці органолептичних показників першому та третьому, для дослідження фізико-хімічних показників його не використовували (табл. 3).

Аналізуючи отримані результати слід зазначити, що заміна у рецептурі пшеничного борошна на порошок  $\beta$ -каротину суттєво вплинула на міцність готового

Таблиця 2

**Органолептичні показники макаронів**

Показник	Характеристика
Колір	Однотонний з кремовим або жовтим відтінком, відповідний добавкам, відповідний сорту борошна, без слідів непромісу.
Поверхня	Гладенька, дозволено незначну шоркість.
Смак і запах	Властивий цьому виду, без сторонніх смаків та запахів.
Стан виробів після варіння	Зварені до готовності вироби зберігають форму, не злипаються, не утворюють грудочки.

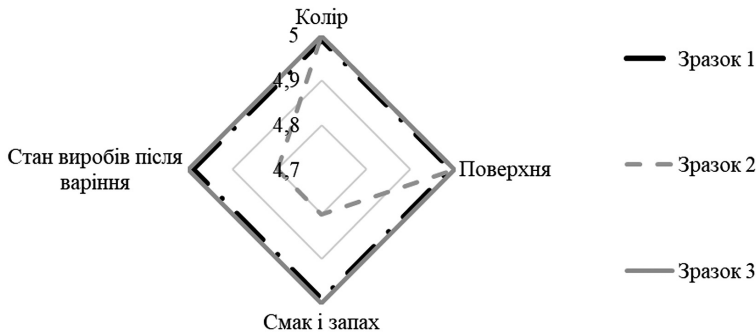


Рис. 1. Профілограма органолептичних показників макаронів

Таблиця 3

**Результати фізико-хімічних показників готових макаронних виробів,  $M \pm m$** 

Показник	Зразок	
	1	3
Вологість, %	12,5±0,01	12,5±0,05
Кислотність, град.	4,0±0,57	4,0±0,57
Міцність макаронів (Н)	4,0±0,18	1,9±0,20

продукту. Вона знизилася у два рази. Схожі результати були отримані й іншими дослідниками [18-20]. Різні добавки по-різному впливають на показник міцності в залежності від взаємодії між білками, крохмалем і волокнами на мікроскопічному і молекулярному рівнях.

**Висновки і пропозиції.** Враховуючи результати описаних досліджень зауважимо, що розроблена рецептура макаронів з 13% порошку  $\beta$ -каротину позитивно вплинуло на органолептичні показники. Фізико-хімічні показники готового продукту відповідали вимогам нормативної документації. Враховуючи зниження міцності розроблених макаронів доцільно в подальшому ввести у рецептуру яйце, визначити вміст вітамінів та провести оцінку ринкового потенціалу запропонованого продукту.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Fuad T., Prabhasankar P. Role of ingredients in pasta product quality: a review on recent developments. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2010. Vol. 50, № 8. P. 787–798. <https://doi.org/10.1080/10408390903001693>

2. Li M., Zhu K.-X., Guo X.-N., Brij, K., Zhou H.-M. Natural Additives in Wheat-Based Pasta and Noodle Products: Opportunities for Enhanced Nutritional and Functional Properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2014. Vol. 13, № 4. P. 347–357. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12066>
3. Bianchi F., Tolve R., Rainero G., Bordiga M., Brennan C.S., Simonato B. Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agro-industrial by-products: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2021. № 56. P. 4356–4366. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15168>
4. Osipova G.A., Berezina N.A., Seregina T.V., Hmeleva E.V., Nikitin I.A., Zavalishin I.V. Research of Effect of Protein-Containing Additives on Pasta Quality and Biological Value. *Advances in Engineering Research. International scientific and practical conference "AgroSMART – Smart solutions for agriculture" (AgroSMART 2018)*. 2018. P. 262–268. <https://doi.org/10.2991/agrosmart-18.2018.51>
5. Simonato B., Trevisan S., Tolve R., Favatia F., Pasinib G. Pasta fortification with olive pomace: Effects on the technological characteristics and nutritional properties. *LWT*. 2019. № 114. P. 108368. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108368>
6. Porto Dalla Costa A., Cruz Silveira Thys R., De Oliveira Rios A., Hickmann Flôres S. Carrot flour from minimally processed residue as substitute of  $\beta$ -carotene commercial in dry pasta prepared with common wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Food Quality*. 2016. № 39. P. 590–598. <https://doi.org/10.1111/jfq.12253>
7. Bo-Ra Kim, Suna Kim, Gui-Seck Bae, Moon Baek Chang, BoKyung Moon. Quality characteristics of common wheat fresh noodle with insoluble dietary fiber from kimchi by-product. *LWT – Food Science and Technology*. 2017. № 85. P. 240–245. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.027>
8. Padalino L., Conte A., Lecce L., Likyova D., Sicari V., Maria Pellicanò T. et al. Functional pasta with tomato by-product as a source of antioxidant compounds and dietary fibre. *Czech J. Food Sci.* 2017. № 35. P. 48–56. <https://doi.org/10.17221/171/2016-CJFS>
9. Tolve R., Pasini G., Vignale F., Favati F., Simonato B. Effect of grape pomace addition on the technological, sensory, and nutritional properties of durum wheat pasta. *Foods*. 2020. Vol. 9. № 3. P. 354. <https://doi.org/10.3390/foods9030354>
10. Rigacci S. Olive oil phenols as promising Alzheimer's Disease. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2015. № 863. P. 1–20. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18365-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18365-7_1)
11. Gorzynik-Debicka M., Przychodzen P., Cappello F., Kuban-Jankowska A., Marino Gammazza A., Knap N. et al. Potential Health Benefits of Olive Oil and Plant Polyphenols. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018. Vol. 19. № 3. P. 686. <https://doi.org/10.3390/ijms19030686>
12. Kowalczewski P., Lewandowicz G., Makowska A., Knoll I., Błaszczak W., Białas W., Kubiak P. Pasta fortified with potato juice: structure, quality, and consumer acceptance. *Journal of Food Science*. 2015. № 80(6). P. 1377–1382. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12906>
13. Pan W.C., Liu Y.M., Shiao S.Y. Effect of okara and vital gluten on physico-chemical properties of noodle. *Czech Journal of Food Sciences*. 2018. № 36. P. 301–306. <https://doi.org/10.17221/329/2017-CJFS>
14. Kamble D.B., Singh R., Rani S., Pratap D. Physicochemical properties, in vitro digestibility and structural attributes of okara-enriched functional pasta. *J Food Process Preserv.* 2019. № 43(12). P. e14232. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14232>
15. Sule S., Oneh A.J., Agba I.M. Effect of carrot powder incorporation on the quality of pasta. *MOJ Food Process Technol.* 2019. № 7(3). P. 99–103. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2019.07.00227>
16. Marinelli V., Padalino L., Nardiello D., Del Nobile M.A., Conte A. New approach to enrich pasta with polyphenols from grape marc. *Journal of Chemistry*. 2015. P. 1–8. <https://doi.org/10.1155/2015/734578>

17. Bustos M.C., Perez G.T., Leon A.E. Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients. *RSC Advances*. 2015. Vol. 5. № 39. P. 30780–30792. <https://doi.org/10.1039/C4RA11857J>
  18. Rakhesh N., Fellows C.M., Sissons M. Evaluation of the technological and sensory properties of durum wheat spaghetti enriched with different dietary fibres. *J. Sci. Food Agric.* 2015. Vol. 95. № 1. P. 2–11. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6723>
  19. Kullaya Limroongreungrat, Yao-Wen Huang. Pasta products made from sweetpotato fortified with soy protein. *LWT – Food Science and Technology*. 2007. Vol. 40. № 2. P. 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.09.012>
  20. Teterycz D., Sobota A., Zarzycki P., Latoch A. Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *J Food Sci Technol*. 2020. № 57. P. 301–309. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04061-5>
-

УДК 547.973:54.056(045)

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.4>

## ВИДІЛЕННЯ АНТОЦΙΑНІВ (ПІГМЕНТІВ) МЕТОДОМ ОПТИМАЛЬНОГО ПІДБОРУ ЕКСТРАКЦІЇ КЛІТОРІЇ ТРІЙЧАСТОЇ (*CLITORIA TERNATEA*)

**Крижак Л. М.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри туризму та готельно-ресторанної справи  
Вінницького торговельно-економічного інституту Державного торговельно-  
економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-4882-897X

Харчові барвники належать до групи харчових добавок. З метою покращення зовнішнього вигляду продуктів харчування багато століть використовували натуральні барвники. Але у XX столітті з'явилися стійкі штучні барвники, які поступово почали витісняти натуральні. Перевагами їх застосування є дешевизна, малі дозування, стійкість до дії температури, світла, зміни рН середовища, отримання різноманітних відтінків шляхом змішування. Також більшість штучних харчових барвників містять азосполуки, а таких барвників немає в переліку дозволених харчових добавок в Україні. Проте асортимент природних барвників дуже малий, отже, виникає необхідність в пошуку перспективних натуральних аналогів з рослинної сировини.

В роботі показано перспективна доцільність використання у харчовій промисловості в якості барвника – кліторії трійчастої (*Clitoria ternatea* L.) Особливе місце серед біологічно активних речовин в рослинній сировині кліторії трійчастої, займають антоціанові барвники фенольної природи, які відносяться до біофлавоноїдів. Вони обумовлюють забарвлення квітів від блакитного до синього кольору. Антоціани квітів (*Clitoria ternatea* L.), що легко розчиняються у воді, можна використовувати як синій харчовий барвник у кислих та нейтральних харчових продуктах, з метою відновлення і підвищення інтенсивності природного забарвлення, фарбування безколірних продуктів та надання їм привабливого товарного вигляду.

На основі проведених досліджень виявлено оптимальні умови вилучення пігменту рослинного походження з кліторії трійчастої методом екстракції. Найбільш оптимальний режим вилучення речовин відбувається за температури 73,1 °С, часу 45 хвилин, гідромодулі 1:303. Відповідно, ґрунтуючись на трьох різних методиках, можна виробити свій власний оптимальний метод екстракції, враховуючи такі фактори, як температура, час, гідромодуль.

**Ключові слова:** харчовий барвник, кліторія трійчаста, антоціани, синій чай анчан, екстракція.

### **Kryzhak L. M. Isolation of Anthocyanins (pigments) by the method of optimal selection of *clitoria ternatea* extraction**

Food dyes belong to the group of food additives. Natural dyes have been used for centuries to improve the appearance of food. But in the twentieth century, stable artificial dyes appeared, which gradually began to displace natural ones. The advantages of their use are cheapness, small dosages, resistance to temperature, light, changes in pH, obtaining different shades by mixing. Moreover, most artificial food dyes contain azo compounds, such dyes are not on the list of permitted food additives in Ukraine. However, the range of natural dyes is very small, so there is a need to find promising natural analogues of vegetable raw materials.

The paper shows the long-term feasibility of use in the food industry as a dye – *clitoria ternatea* (*Clitoria ternatea* L.) A special place among the biologically active substances in the plant material of *clitoria ternatea*, occupy anthocyanin dyes of phenolic nature, which belong to bioflavonoids. They determine the color of flowers from light blue to dark blue. Anthocyanins of flowers (*Clitoria ternatea* L.), easily soluble in water and can be used as a dark blue food coloring in acidic and neutral foods, to restore and increase the intensity of natural color; coloring colorless products and give them an attractive appearance.

On the basis of the conducted researches the optimum conditions of extraction of a pigment of a vegetable origin from a clitoral ternary by an extraction method are revealed. The most



*optimal mode of extraction of substances occurs at a temperature of 73.1 °C, time 45 minutes, hydraulic modules 1: 303. Accordingly, based on three different methods, you can develop your own optimal method of extraction, taking into account such factors as temperature, time, hydromodule.*

**Key words:** food coloring, clitoral triplet, anthocyanins, blue anchan tea, extraction.

**Вступ.** Харчові барвники відіграють важливу роль у харчовій промисловості, змінюючи або надаючи кольори продуктам харчування, щоб підвищити привабливість для покупця та сенсорну прийнятність. Їх поділяються на штучні та натуральні залежно від їхнього походження. Штучні харчові барвники – це хімічні речовини, що походять з похідних кам'яновугільних смоли, і більшість з них містять азосполуки [1]. Натуральні харчові барвники складаються з пігментів, таких як антоціани, каротиноїди, хлорофіл тощо, які добувають в основному з рослин та мікроорганізмів [2].

Попит на харчові продукти з натуральними барвниками збільшився, оскільки вважається, що споживання синтетичних барвників спричиняє алергію, харчову непереносимість, гіперактивність, дратівливість та порушення сну у дітей [3].

Антоціани є найбільшою групою водорозчинних пігментів, вони володіють антибактеріальні, антипроліферативні, гіпоглікемічні властивості, та належать до флавоноїдів, підкласу сімейства поліфенолів, надають привабливий помаранчевий, червоний, пурпурний, фіолетовий та синій колір фруктам, овочам та квітам. У природі виявлено понад 700 антоціанів, які відіграють життєво важливу роль у запиленні та захисті клітин рослин від ультрафіолетового (УФ) випромінювання [4].

За результатами пошуково – дослідної роботи слід зауважити, що застосування антоціанів в якості харчового барвника забезпечить споживача рядом переваг для людського організму. Сині антоціани зазвичай містяться у синіх квітках та деяких фруктах. Кліторія трійчаста є одним з джерел антоціанів, що містять поліацильовані антоціани стабільного синього кольору [5; 6].

*Clitoria ternatea L.* квітка блакитного кольору, в сухому вигляді є багатим джерелом поліацильованих антоціанів, і їх вища стабільність порівняно з неацильованими антоціанами забезпечує перевагу при використанні як натуральний харчовий барвник [7].

Таким чином, антоціани квітів кліторії трійчастої можна використовувати як синій барвник у кислих та нейтральних харчових системах.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день вибір натуральних синіх харчових барвників вкрай обмежений. Харчова промисловість вкладає значні кошти у пошук натуральних замінників, але поки що безуспішно.

У зв'язку з прогресивними тенденціями використання натуральних пігментів у харчових продуктах виробники та науковці вклали значні зусилля та кошти у розробку натуральних барвників, шляхом мікробної ферментації [8]. Незважаючи на безліч варіантів від жовтого до пурпурного, натуральні сині барвники залишаються невиявлені.

В даний час тільки три синтетичні сині пігменти схвалені в Європі як харчові добавки. Діамантовий синій FCF (E 133) (отриманий з нафтохімії), індигокармін (E 132) (синтетичне похідне індиго) та патентований синій V (131). Однак доступний лише один природний пігмент – фікоціанін, отриманий зі «Спіруліни», який складається із суміші трьох видів ціанобактерії, а саме *Arthrospira platensis*, *Arthrospira fusiformis* та *Arthrospira maxima*.

Незважаючи на велику різноманітність пігментів, що синтезуються рослинами, небагато квітів або плодів мають синій колір. В якості рослинної сировини було

обрано кліторію трійчасту (*Clitoria ternatea*), яка є одним із джерел антоціанів, що містять поліацильовані антоціани стабільного синього кольору [9]. Сушені квітки *Clitoria ternatea* традиційно використовуються як трав'яний чай у Південно-Східній Азії і, таким чином, мають історію безпечного вживання для здоров'я людини [10].

Тому, перспективним напрямком є застосування її в харчовій промисловості, що дозволить скласти конкуренцію продуктам в склад яких входять хімічно синтезовані харчові барвники.

**Метою статті** є дослідження оптимального методу підбору екстракції гарячою водою висушених подрібнених квітів *Clitoria ternatea*, який є успішним для отримання пігментів – антоціанів. Отриманий пігмент в подальшому будуть використані в якості харчового барвника або функціонального харчового інгредієнта, та надавати споживачам цілий ряд переваг для здоров'я.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковим дослідженням щодо пошуку сировини та розроблення технологій виробництва натуральних антоціанових барвників присвячені роботи багатьох учених: Abidin Z., Manah N., Hadi A., Saugi N., Fuad F., Mazni N., Thuy N., Minh V., Ben T., Nguyen M., Ha H., Tai N., Hock Eng Khoo, Azrina Azlan, Jeyaraj E., Lim Y., Choo W. та ін. [5; 6; 8; 11; 12] займалися вивченням натуральних та синтетичних антоціанових барвників, їхніх фізико-хімічних характеристик та впливу на організм.

**Виклад основного матеріалу.** Екстракція – перший важливий крок у вилученні активних інгредієнтів з рослинної сировини. Метою вибору відповідного методу екстракції є отримання максимального виходу та високу концентрацію сполук – антоціанів. Оскільки антоціани чутливі до тепла, світла, кислот і лугів, вибір відповідного методу екстракції для отримання максимальної кількості антоціанів без розпаду має вирішальне значення [12].

Вибір розчинника проводили на основі подальшого використання екстракту у харчовій промисловості, завданням стало використання безпечних органічних розчинників. В ряді проведених досліджень зарубіжними науковцями Pham et al., Jaafar et al., Shen et al. [13 – 15], використовувалася водно-спиртова екстракція [тобто 37 % етанол, 50 % етанол, 50 % метанол] для вилучення антоціанів з квітів кліторії трійчастої. Тим не менш, FDA [16] віднесло метанол до класу 2 розчинників, які мають токсичність, а етанол — до розчинників класу 3, використання яких має обмежуватися належною виробничою практикою. Дистильована вода є найкращим розчинником для проведення процесу екстракції антоціанів, оскільки воду можна розглядати як нетоксичний розчинник.

Враховуючи вище викладене можна стверджувати, що водна екстракція є найоптимальніший варіант для подальших досліджень.

**Вилучення антоціанів методом екстракції.** Методи екстракції пігментів з *Clitoria ternatea*, були відібрані з трьох опрацьованих, методом відбору, зарубіжних наукових праць (таблиця 1).

Для екстрагування використовували сировину – сухі квіти Butterfly pea flower tea Anchan, урожай 2021 року, виробник ТОВ «Е-Фекторі», Україна. Квіти подрібнювали до розміру часток 1–3 мм з метою кращого виходу пігменту в водний розчин.

Експериментально підібрані три методи були виконані на практиці. Усі досліді повторювали тричі, проводили статистичну обробку результатів. Після закінчення екстрагування суспензії проводили центрифугування протягом 15 хвилин, з метою відділення твердої фракції яка змішана з невеликою кількістю дистильованої води і віджата для виділення додаткової кількості антоціанів в екстракт.

Таблиця 1

**Результати вилучення пігменту – антоціанів при різних режимах екстрагування**

<b>Відібрані варіанти</b>	<b>Методика вилучення антоціанів</b>
I метод вилучення (гідромодуль 1:10)	Холодна екстракція антоціанів: 10 г порошку кліторії замочували 100 мл води і залишали на 24 години при 25 °С [17]
II метод (гідромодуль 1:37)	Тепла екстракція антоціанів за температури 54 °С. Для цього 2,7 г порошку кліторії замочували в 100 мл води і залишали екстрагуватися в термостаті на 74 хвилини при 54 °С [18]
III метод (гідромодуль 1:333)	Гаряча екстракція антоціанів за температури 59,6 °С. Для цього 3 г порошку кліторії замочували в 100 мл води і залишали екстрагуватися в термостаті на 37 хвилин при 59,6 °С [19]

Одержані лабораторні зразки поміщали в сушильну шафу, та піддавалися сушінню до утворення твердого сухого залишку при температурі 60 °С протягом 11 годин. Після закінчення сушіння чашки Петрі із сухим залишком зважували на цифрових ювелірних вагах, марки МН-200. Вихід антоціанів розраховували шляхом розподілу сухої маси зібраного екстракту на масу вихідного зразка, помножений на 100 %. Отримані результати екстрагування занесені в таблицю 2.

Дані результати в таблиці 2 показано, що із запропонованих методів вилучення пігментів, гаряча екстракція є найоптимальнішою (за часом, гідромодулем і виходом антоціанів).

За результатами проведених досліджень, були отримані числові значення, виходу пігменту (антоціанів) від температури, часу екстракції та гідромодуля.

На рисунку 1 можна простежити, що зі збільшенням температури підвищується вихід антоціанів. Планується проведення додаткових експериментів з інтервалом температури від 40 °С до 80 °С (з кроком 5 °С).

На рисунку 2 помітно, що зі збільшенням часу екстракції можливе зниження виходу пігменту.

На рисунку 3 також можна побачити, що гідромодуль (а саме об'єм розчинника) впливає на вихід антоціанів при екстракції з твердої фази в розчин. Чим більший об'єм розчинника, тим більше антоціанів може дифундувати.

Відповідно, ґрунтуючись на трьох різних методиках, можна виробити свій власний оптимальний метод екстракції, з врахуванням таких факторів, як температура, час, гідромодуль. За допомогою алгебраїчних підрахунків і екстраполювання прямої на графічній залежності виявлено, що найбільш оптимальний вихід

Таблиця 2

**Результати вилучення антоціанів при різних режимах екстрагування**

<b>Показники</b>	<b>I метод</b>	<b>II метод</b>	<b>III метод</b>
Температура екстрагування, оС	25	54	59,6
Час екстрагування, хв	1440	74	37
Значення гідромодуля	1:10	1:37	1:333
Кількість сухої сировини, г	5,875	1,625	0,222
Вихід антоціанів, %	58,75	60,12	73,26

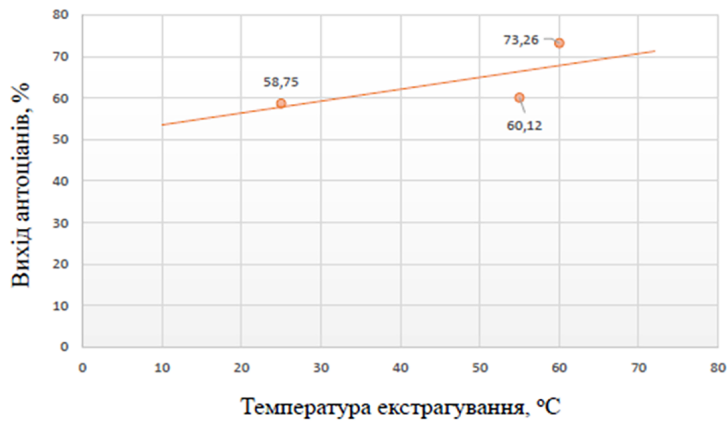


Рис. 1. Залежність виходу пігменту від температури

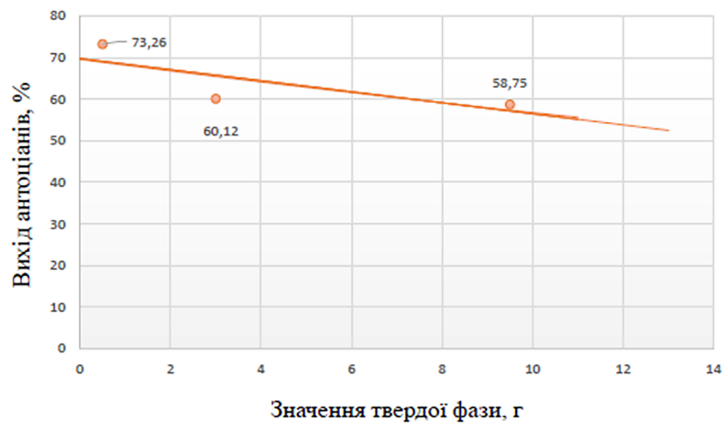


Рис. 2. Залежність виходу пігментів від часу

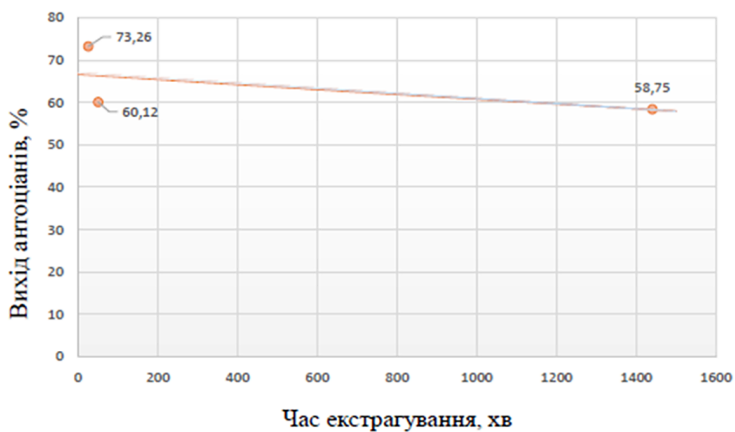


Рис. 3. Залежність виходу пігментів від гідромодуля

екстракції (до 70 %) буде здійснюватися при температурі 73,1 °С, часу 45 хвилини, гідромодулі 1:303.

**Висновок.** На підставі проведених аналітичних досліджень встановлено, що кліторія трійчаста є одним із джерел антоціанів, що містять поліацильовані антоціани стабільного синього кольору. Оскільки кількість доступних синіх харчових барвників обмежена, антоціани квітів кліторії будуть гарною альтернативою для використання як натуральний синій харчовий барвник. Найбільш оптимальний режим вилучення речовин з сухих квітів кліторії трійчастої відбувається за температури 73,1 °С, часу 45 хвилини, гідромодулі 1:303.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Dilrukshi P. G. T., Munasinghe H., Silva A. B. G., De Silva P. G. S. M. Identification of synthetic food colours in selected confectioneries and beverages in jaffna District, Sri Lanka. *J. Food Qual.* 2019.
2. Sen T., Barrow C. J., Deshmukh S. K. Microbial pigments in the food industry – challenges and the way forward. *Front. Nutr.* 6:7. 2019.
3. Feketea G., Tsabouri S. Common food colorants and allergic reactions in children: myth or reality? *Food Chem.* 2017. P. 578–588.
4. Salacheep S., Kasemsiri P., Pongsa U., Okhawilai M., Chindaprasirt P., Hiziroglu S. Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and bioactive compounds from butterfly pea petals using Taguchi method and Grey relational analysis. *J. Food Sci. Technol.* 2020. Vol. 57. P. 3720–3730.
5. Abidin Z. H. Z., Manah N. S. A., Hadi A. N., Saugi N. S., Fuad F. A., Mazni N. A., et al. The colour stability of natural blue dye extracted from *Clitoria ternatea L.* *Pigment Resin Technol.* 2019. Vol. 48. P. 265–271.
6. Thuy N. M., Minh V. Q., Ben T. C., Thi Nguyen M. T., Ha H. T. N., Tai N. V. Identification of anthocyanin compounds in butterfly pea flowers (*Clitoria ternatea L.*) by ultra performance liquid chromatography/ultraviolet coupled to mass spectrometry. *Molecules.* 2021.
7. Marpaung A. M., Lee M., Kartawiria I. S. The development of butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower powder drink by co-crystallization. *Indone Food Sci. Technol. J.* 2020. Vol. 3. P. 34–37.
8. Microbial Pigments in the Food Industry—Challenges and the Way Forward Tanuka Sen, Colin J. Barrow, and Sunil Kumar Deshmukh 2019; 6: 7. DOI: 10.3389/fnut.2019.00007
9. Крижак Л. Антоціани із квітів *Clitoria ternatea*. *Вісник Хмельницького національного університету. Хмельницький*, 2022. № 1(305) С. 270–273.
10. Houghton A. Appelhagen I. Martin C. Natural Blues: Structure Meets Function in Anthocyanins. 2021. 10(4), 726; DOI: org/10.3390/plants10040726
11. Khoo, Hock Eng & Azlan, Azrina & Tang, Sou & Lim, See. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients. *Food & Nutrition Research.* 2017. No. 61. 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779
12. Jeyaraj E. J., Lim Y. Y., Choo W. S. Extraction methods of butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower and biological activities of its phytochemicals. *J. Food Sci. Technol.* 2020. Vol. 58. P. 2054–2067.
13. Pham T. N., Nguyen D. C., Lam T. D., Van Thinh P., Le X. T., Nguyen D. V. V., et al. “Extraction of anthocyanins from Butterfly pea (*Clitoria ternatea L.* Flowers). International Conference on Mechanical Engineering. (Bristol: Iop Publishing Ltd). 2019.
14. Jaafar N. F., Ramli M. E., Salleh R. M. Optimum extraction condition of *Clitoria ternatea* flower on antioxidant activities, total phenolic, total flavonoid and total anthocyanin contents. *Trop. Life Sci. Res.* 2020. Vol. 31. 1–17.
15. Shen Y., Ardoin R., Osorio L. F., Cardona J., López Prado A. S., Osorio L. F., et al. Effects of different solvents on total phenolic and total anthocyanin contents of

*Clitoria ternatea* L. petal and their anti-cholesterol oxidation capabilities. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2019.

16. Chemat F., Abert Vian M., Ravi H. K., Khadhraoui B., Hilali S., Perino S., et al. Review of alternative solvents for green extraction. *Molecules.* 2019.

17. APA Hassan, N. D., Muhamad, I. I., & Sarmidi, M. R. The Effect of Copigmentation on the Stability of Butterfly Pea Anthocyanins. *Key Engineering Materials.* 2013. P. 245–249. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.594-595.245>

18. Baskaran, A., Mudalib, S. K. A. Optimization of aqueous extraction of blue dye from butterfly pea flower. *Journal of Physics Conference Series.* November 2019. DOI:10.1088/1742-6596/1358/1/012001. URL: [https://www.researchgate.net/publication/337130513\\_Optimization\\_of\\_aqueous\\_extraction\\_of\\_blue\\_dye\\_from\\_butterfly\\_pea\\_flower](https://www.researchgate.net/publication/337130513_Optimization_of_aqueous_extraction_of_blue_dye_from_butterfly_pea_flower)

### REFERENCES:

1. Dilrukshi P. G. T., Munasinghe H., Silva A. B. G., De Silva P. G. S. M. (2019). Identification of synthetic food colours in selected confectioneries and beverages in jaffna District. *J. Food Qual.* [Sri Lanka].

2. Sen T., Barrow C. J., Deshmukh S. K. (2019). Microbial pigments in the food industry – challenges and the way forward. *Front. Nutr.* 6:7.

3. Feketea G., Tsabouri S. (2017). Common food colorants and allergic reactions in children: myth or reality? *Food Chem.* P. 578–588.

4. Salacheep S., Kasemsiri P., Pongsa U., Okhawilai M., Chindaprasirt P., Hiziroglu S. (2020). Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and bioactive compounds from butterfly pea petals using Taguchi method and Grey relational analysis. *J. Food Sci. Technol.* Vol. 57. P. 3720–3730.

5. Abidin Z. H. Z., Manah N. S. A., Hadi A. N., Saugi N. S., Fuad F. A., Mazni N. A., et al. (2019). The colour stability of natural blue dye extracted from *Clitoria ternatea* L. in poly Pigment Resin Technol. Vol. 48. P. 265–271.

6. Thuy N. M., Minh V. Q., Ben T. C., Thi Nguyen M. T., Ha H. T. N., Tai N. V. (2021). Identification of anthocyanin compounds in butterfly pea flowers (*Clitoria ternatea* L.) by ultra performance liquid chromatography/ultraviolet coupled to mass spectrometry. *Molecules.*

7. Marpaung A. M., Lee M., Kartawiria I. S. (2020). The development of butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower powder drink by co-crystallization. *Indone Food Sci. Technol. J.* Vol. 3. P. 34–37.

8. Microbial Pigments in the Food Industry—Challenges and the Way Forward Tanuka Sen, Colin J. (2019). Barrow, and Sunil Kumar Deshmukh; 6: 7. DOI: 10.3389/fnut.2019.00007

9. Kryzhak L. (2022). Antotsiany iz kvitiv *Clitoria ternatea*. [Antocyanes from *Clitoria ternatea* flowers]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Khmelnytskyi.* № 1(305) C. 270-273 [in Ukrainian].

10. Houghton A. Appelhagen I. Martin C. (2021). Natural Blues: Structure Meets Function in Anthocyanins. 10 (4), 726; DOI: [org/10.3390/plants10040726](https://doi.org/10.3390/plants10040726)

11. Khoo, Hock Eng & Azlan, Azrina & Tang, Sou & Lim, See. (2017). Anthocyanins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients. *Food & Nutrition Research.* No. 61. 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779

12. Jeyaraj E. J., Lim Y. Y., Choo W. S. (2020). Extraction methods of butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower and biological activities of its phytochemicals. *J. Food Sci. Technol.* Vol. 58. P. 2054–2067.

13. Pham T. N., Nguyen D. C., Lam T. D., Van Thinh P., Le X. T., Nguyen D. V. V., et al. (2019). “Extraction of anthocyanins from Butterfly pea (*Clitoria ternatea* L. Flowers). *International Conference on Mechanical Engineering.* (Bristol: Iop Publishing Ltd).

14. Jaafar N. F., Ramli M. E., Salleh R. M. (2020). Optimum extraction condition of *Clitoria ternatea* flower on antioxidant activities, total phenolic, total flavonoid and total anthocyanin contents. *Trop. Life Sci. Res.* Vol. 31. 1–17.
  15. Shen Y., Ardoin R., Osorio L. F., Cardona J., López Prado A. S., Osorio L. F., et al. (2019). Effects of different solvents on total phenolic and total anthocyanin contents of *Clitoria ternatea* L. petal and their anti-cholesterol oxidation capabilities. *Int. J. Food Sci. Technol.*
  16. Chemat F., Abert Vian M., Ravi H. K., Khadhraoui B., Hilali S., Perino S., et al. (2019). Review of alternative solvents for green extraction. *Molecules.*
  17. APA Hassan, N. D., Muhamad, I. I., & Sarmidi, M. R. (2013). The Effect of Copigmentation on the Stability of Butterfly Pea Anthocyanins. *Key Engineering Materials.* P. 245–249. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.594-595.245>
  18. Baskaran, A., Mudalib, S. K. A. (2019). Optimization of aqueous extraction of blue dye from butterfly pea flower. *Journal of Physics Conference Series.* November DOI:10.1088/1742-6596/1358/1/012001. URL: [https://www.researchgate.net/publication/337130513\\_Optimization\\_of\\_aqueous\\_extraction\\_of\\_blue\\_dye\\_from\\_butterfly\\_pea\\_flower](https://www.researchgate.net/publication/337130513_Optimization_of_aqueous_extraction_of_blue_dye_from_butterfly_pea_flower)
-

УДК 664.6.37

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.5>

## ВИВЧЕННЯ ТОВАРОЗНАВЧОЇ ОЦІНКИ ТА ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Новікова Н. В.** – кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри інженерії харчового виробництва  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-3324-965X

**Прусасє І. В.** – студент магістратури  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-6594-5828

Метою роботи є наукове обґрунтування і розробка нових видів борошняних кондитерських виробів функціонального призначення і їх асортименту з метою формування здорового харчування населення. Розроблення і впровадження нових продуктів харчування дозволить удосконалити існуючі раціони харчування завдяки їх збалансованості за основними поживними речовинами та енергією. Для проведення експертизи кондитерських виробів при додаванні шроту олійних культур до технології пісочного тіста розроблені модельні композиції сумішей зі шротів. Переробка насіння льону, розторопші, пшениці призводить до утворення вторинних продуктів — шротів. Шроти мають цінний хімічний склад, перш за все, вони містять значну кількість харчових волокон, білків, вітамінів, мінеральних речовин, вуглеводів. Тому вони є перспективними для використання у технологіях харчових функціональних продуктів. Шляхом досліджень встановлено, що при композиції шротів льону, розторопші та пшениці яка становить 25 % покращується хімічний склад пісочного напівфабрикату за вмістом клітковини, калію, кальцію, йоду, вітамінів. найбільше у печиві пісочному зростає вміст білка, селену, клітковини, кальцію, йоду, але при цьому знижується органолептична оцінка печива, зокрема відбувається зміна кольору печива та погіршується його поверхня, з'являється багато тріщин. Тому найбільш оптимальним є використання у пісочному тісті 20% композиції шротів. При цьому збільшилася вміст таких нутрієнтів як білок – у 2,3 раза, клітковина – у 5,9 раза, кальцій – у 13,1 раза, вітамін Е – у 6,62 раза. В порівнянні з контролем у дослідному зразку печива 3 було суттєве відчуття вмісту композиції шроту, та спостерігалася значна зміна кольору готового виробу, натомість зразки 1 та 2 характеризувалися помірним відчуттям композиції шротів, які в цілому не вплинули на смакові властивості печива, а відповідно вміст харчових нутрієнтів на рівні 15% та 20% суттєво не вплинуло на зовнішній вигляд розроблених нових виробів.

**Ключові слова:** напівфабрикати, шпинат, пельмені, хімічний склад, дослідні зразки, функціональні продукти.

### *Novikova N. V., Prusaiev I. V. Study of commodity evaluation and nutritional value of functional flour confectionery*

*The purpose of the work is the scientific substantiation and development of new types of flour confectionery products for functional purposes and their range in order to form a healthy diet. The development and implementation of new foods will improve existing diets due to their balance of essential nutrients and energy. Model compositions of meal mixtures have been developed for the examination of confectionery products when adding oilseed meal to shortcrust pastry technology. Processing of flax seeds, milk thistle, wheat leads to the formation of by-products – meal. Meals have a valuable chemical composition, above all, they contain a significant amount of dietary fiber, protein, vitamins, minerals, carbohydrates. Therefore, they are promising for use in food technology functional products. Studies have shown that the composition of meal of flax, milk thistle and wheat, which is 25% improves the chemical composition of the sand*



*semi-finished product in terms of fiber, potassium, calcium, iodine, vitamins. The content of protein, selenium, fiber, calcium, iodine increases the most in shortbread cookies, but the organoleptic evaluation of cookies decreases, in particular, the color of cookies changes and its surface deteriorates, many cracks appear. Therefore, it is most optimal to use 20% of the meal composition in shortcrust pastry. At the same time, the content of such nutrients as protein increased by 2.3 times, fiber by 5.9 times, calcium by 13.1 times, and vitamin E by 6.62 times. Compared with the control in the experimental sample of cookies 3 there was a significant feeling of the content of meal composition, and there was a significant change in color of the finished product, while samples 1 and 2 were characterized by moderate perception of meal composition, which did not affect the taste of cookies at the level of 15% and 20% did not significantly affect the appearance of the developed new products.*

**Key words:** semi-finished products, chemical composition, prototypes, functional products.

**Вступ.** Дослідження технології борошняних кондитерських виробів є актуальною проблемою, враховуючи наукові дані щодо неповоцінності розробленості та вдосконалення існуючих технологій. Розроблення і впровадження нових продуктів харчування дозволить удосконалити існуючі раціони харчування завдяки їх збалансованості за основними поживними речовинами та енергією.

**Постановка проблеми.** Світовий та вітчизняний досвід свідчить, що ефективнішим і доцільним з економічної, соціальної, гігієнічної та технологічної точок зору заходом кардинального вирішення проблеми недостатності есенціальних речовин в організмі є розробка й налагодження виробництва збагачених дефіцитними нутрієнтами продуктів харчування до рівня фізіологічних потреб людини. При цьому недоцільно збагачувати продукт лише одним, найбільш дефіцитним нутрієнтом. Тому рекомендується збільшити вміст у раціоні некрохмалистих вуглеводів і, навпаки, зменшити кількість легкозасвоюваних цукрів. Застосування у харчуванні складних вуглеводів обумовлено їхніми властивостями, зокрема підсилювати перистальтику кишечника та комплексоутворюючою здатністю. Вони формують з іонами водню та кальцію гелеподібні структури, які впливають на швидкість всмоктування речовин у тонкому кишківнику та тривалість транзиту через шлунково – кишковий тракт. У зв'язку із цим постало завдання зменшення калорійності і наряду із цим підвищення біологічної цінності виробів. Його можна вирішити за рахунок використання нетрадиційної рослинної сировини а також розробки технологій, які передбачають раціональну заміну основних видів сировини. Використання добавок дозволить створити нові вироби з підвищеним вмістом біологічно активних речовин.

**Мета дослідження.** Проведення товарознавчої оцінки борошняних кондитерських виробів функціонального призначення, вивчення їх органолептичних властивостей та хімічного складу готового продукту.

**Аналіз останніх досліджень.** Вивченню проблем застосування нетрадиційної сировини рослинного походження були присвячені роботи професорів: А.М. Дорохович, В.І. Дробот, І.В. Сирохмана, Л.І. Карнаушенко, Г.М. Лисюк, М.І. Пересічний та ін. [1]. Аналіз наукових розробок, досвід вітчизняних і зарубіжних підприємств свідчить про те, що різна нетрадиційна сировина використовується переважно для виробництва, пряників, вафель, крекерів і печива [3].

Дідук І. В. пропонує у кондитерських виробах використовувати для підвищення вмісту білка, мінеральних речовин та вітамінів зародки пшениці. Розроблена технологія виробництва здобного печива, пряників, вафель з обсмаженими зародковими пластівцями [4]. Паростки насіння злакових ячменю, вівса, пшениці, борошно ячмінного солоду, солодові екстракти використовують для підвищення харчової цінності печива, кексів, пряників.

В працях Машир Н. в якості білково-вітамінної добавки запропоновано використовувати обліпиховий шрот та інші нетрадиційні види сировини [6].

Також в роботах Чайки І., доведена доцільність створення на основі амаранту та продуктів його переробки борошняних кондитерських виробів. Борошно на основі насіння амаранту надає пряникам приємний смак, а печиву – рівномірну пористість та здатність до намокання [7].

Недостатньо вивчено багатофакторний вплив різних добавок на формування харчової, біологічної, лікувально-профілактичної цінності та збереженості пісочного печива. Рецептура пісочного печива піддається регулюванню, що дає змогу на її основі створювати продукти харчування, які відповідають новим вимогам науки про харчування [2].

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Переробка насіння льону, розторопші, пшениці призводить до утворення вторинних продуктів – шротів. Шроти мають цінний хімічний склад, перш за все, вони містять значну кількість харчових волокон, білків, вітамінів, мінеральних речовин, вуглеводів. Тому вони є перспективними для використання у технологіях харчових функціональних продуктів.

Як свідчать дані табл. 1, у шротах, крім високого вмісту білка, спостерігається високий вміст заліза, вітамінів групи В і вітаміну Е, селену у шроті розторопші.

При додаванні шроту олійних культур до технології пісочного тіста розроблені модельні композиції сумішей зі шротів.

Шляхом досліджень встановлено, що при композиції шротів льону, розторопші та пшениці становить 25% покращується хімічний склад пісочного напівфабрикату за вмістом клітковини, калію, кальцію, йоду, вітамінів.

Таблиця 1

**Хімічний склад шротів (на 100 г)**

Показник	Шрот насіння льону	Шрот розторопші плямистої	Шрот зародків пшениці
Клітковина, г	27	12	35
Калій, мг	650	747	920
Кальцій, мг	217	367	1660
Магній, мг	210	319	420
Натрій, мг	85	160	200
Фосфор, мг	603	860	960
Залізо, мг	9	6,1	8
Йод, мкг	8,2	22,5	9
Кобальт, мкг	31,2	32	10
Марганець, мкг	200	8	10
Мідь, мкг	30	2,8	116
Вітамін А, мг	0,004	0,01	0,01
Вітамін С, мг	6	11,4	15
Вітамін В <sub>1</sub> , мг	1,8	1,84	0,3
Вітамін В <sub>2</sub> , мг	0,28	0,18	0,3
Вітамін В <sub>9</sub> , мг	375	1000	100
Вітамін Е, мг	17,3	30	0,4
Вітамін РР, мг	3,12	10,12	2

Як видно з табл. 2, найбільше у печиві пісочному (дослід 3) зростає вміст білка, селену, клітковини, кальцію, йоду, але при цьому знижується органолептична оцінка печива, зокрема відбувається зміна кольору печива та погіршується його поверхня, з'являється багато тріщин. Тому найбільш оптимальним є використання у пісочному тісті 20% композиції шротів (дослід 2). При цьому збільшився вміст таких нутрієнтів як білок – у 2,3 рази, клітковина – у 5,9 рази, кальцій – у 13,1 рази, вітамін Е – у 6,62 рази.

Загальна органолептична оцінка розроблених борошняних кондитерських виробів проводилася, виходячи з розробленої шкали органолептичної оцінки виробів.

Органолептична оцінка якості розроблених виробів наведена в таблиці 3.

В порівнянні з контролем у дослідному зразку печива 3 було суттєве відчуття вмісту композиції шроту, та спостерігалася значна зміна кольору готового виробу, натомість зразки 1 та 2 характеризувалися помірним відчуттям композиції шротів, які в цілому не вплинули на смакові властивості печива, а відповідно вміст харчових нутрієнтів на рівні 15% та 20% суттєво не вплинуло на зовнішній вигляд розроблених нових виробів.

Таблиця 2

**Хімічний склад печива з використанням різної кількості композиції зі шротів**

Показник	Контроль (печиво пісочне)	Дослід 1 (печиво пісочне з 15% шротів)	Дослід 2 (печиво пісочне з 20% шротів)	Дослід 3 (печиво пісочне з 25% шротів)
Органолептична оцінка	5,00	4,80	4,6	4,40
Білок, г	4,59	7,83	11,28	15,62
Клітковина, г	0,72	2,60	4,38	7,14
Кальцій, мг	15,30	105,63	186,18	274,53
Селен, мкг	0,04	6,74	13,12	18,79
Йод, мкг	0,40	1,68	3,14	4,53
Вітамін Е, мг	0,50	1,54	2,83	4,31

Таблиця 3

**Органолептична оцінка якості готових виробів**

Показники якості	Коефіцієнт важливості	Контроль (печиво пісочне)	Дослід 1 (печиво пісочне з 15% шротів)	Дослід 2 (печиво пісочне з 20% шротів)	Дослід 3 (печиво пісочне з 25% шротів)
Смак	0,2	5	5	5	4,5
Запах	0,2	4,9	4,9	4,8	4,5
Колір	0,2	5	4,9	5	5
Консистенція	0,2	5	5	5	5
Зовнішній вигляд	0,2	4,5	5	4,8	4,9
Загальна бальна оцінка	1	4,82	4,96	4,92	4,9

### Висновки і пропозиції

1. Обґрунтовано доцільність використання 20% рослинних порошків для створення борошняних виробів функціонального призначення.
2. Проведена оцінка якості готових виробів за органолептичними показниками підтвердила тенденцію до переваги за даною групою показників у зразках пельменів з вмістом порошку 15% та 20%.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дорохович А. М., Дорохович В. В., Лазоренко Н. П. Цукрозамінники нового покоління низької калорійності та глікемічності. *Продукты&ингредиенты*. 2011. № 6. С. 46–48.
2. Никифорова Т. А., Никифоров А. Е. Способ снижения калорийности сахарного печенья. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2016. № 6. С. 164–167.
3. Оболкина В. И. Продукты переработки солода и новые полуфабрикаты для мучных кондитерских изделий. *Кондитерское производство*. 2017. № 2. С. 16.
4. Дідук І. В. Вплив нетрадиційної сировини на підвищення харчової та біологічної цінності крекерів. *Вісник Львівської комерційної академії*. Львів : ЛКА, 2001. Вип. 4. С. 161–164.
5. Дорохович В. В. Доцільність застосування цукрозамінника нового покоління у технології кондитерських виробів. *Товари та ринки*. 2008. № 1. С. 73–77.
6. Машир Н. Нетрадиційна сировина в кондитерських výroбах знижує їх калорійність і подовжує термін свіжості. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. 2011. № 7. С. 18–20.
7. Чайка І. Борошно з гречки. Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. 2007. № 2. С. 45–46.

### REFERENCES:

1. Dorokhovych A. & Dorokhovych V. (2011). Tsukrozaminnykynovoho pokolinnya nyz'koyi kaloriynosti ta hlikemichnosti. [Sugar substitutes of the new generation of low caloric and glyceemic]. *Produkty&ynhredyenty* [Products & Ingredient]. № 6. P. 46–48.
2. Nikiforova T. & Nikiforov A. (2016). Sposob snizheniya kaloriynosti sakharnogo pechen'ya. [Methods of reducing the caloric content of sugar cookies]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University]. № 6. pp. 164–167.
3. Obolkina V (2017). Produkty pererabotki soloda i nove polufabrikaty dlya muchnikh konditers'kikh izdeliy [Malt processing products and new semi-finished products for flour confectionery]. *Konditerskoye proizvodstvo* [Confectionery production]. № 2. P. 16.
4. Diduk (2001). Vplyv netradytsiynoyi syrovyny na pidvyshchennya kharchovoyi ta biolohichnoyi tsinnosti krekeriv [Influence of non-traditional raw materials on increasing the nutritional and biological value of crackers]. *Visnyk Lvivs'koyi komertsiyanoi akademiyi* [Bulletin of the Lviv Commercial Academy]. Lviv: LKA, Issue 4. Pp. 161–164.
5. Dorokhovych V (2008). Dotsil'nist' zastosuvannya tsukrozaminnyka novoho pokolinnya u tekhnolohiyi kondyters'kykh vyrobiv [The expediency of using a new generation of sugar substitutes in the technology of confectionery]. *Tovary ta rynky* [Goods and markets]. № 1. pp. 73–77.
6. Mashir N. (2011). Netradytsiyna syrovyna v kondyters'kykh vyrobakh znyzhuje yikh kaloriynist' i podovzhuje termin svizhosti [Unconventional raw materials in confectionery reduces their caloric content and prolongs the shelf life]. *Khlibopekars'ka i kondyters'ka promyslovist' Ukrayiny* [Bakery and confectionery industry of Ukraine]. № 7. pp. 18–20.
7. Seagull I. (2007). Boroshno z hrechky [Buckwheat flour]. *Khlibopekars'ka i kondyters'ka promyslovist' Ukrayiny* [Bakery and confectionery industry of Ukraine]. № 2. pp. 45–46.

---

# ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

HYDRAULIC CONSTRUCTION,  
WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES

УДК 624.074.04

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.6>

---

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ КОРОТКОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО РЕЗЕРВУАРУ З ГНУЧКИМ ДНИЩЕМ НА ЖОРСТКІЙ ОСНОВІ

---

**Смел'янова Т. А.** – кандидат технічних наук,  
доцент кафедри будівництва, архітектури та дизайну  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0001-5191-8418  
Scopus-Author ID: 57211208602

**Ворона А. Р.** – студентка факультету архітектури та будівництва  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0003-3373-4003

*У статті представлено застосування метода розподілення моментів на основі поєднання моментної та безмоментної теорій, до розрахунку короткого циліндричного резервуару з гнучким днищем на жорсткій основі під дією гідростатичного або рівномірного навантаження.*

*Обґрунтовано, що наближений розрахунок коротких циліндричних резервуарів, як осесиметричних задач, зводиться до розрахунку балки – смужки на пружній основі зі змінним коефіцієнтом постелі. Показано, що для циліндра зусилля і деформації від крайового ефекту можуть бути представлені у вигляді функцій від рівномірно розподілених моментів і поперечних сил, що діють по краю оболонки. Доведено, що за допомогою пружних коефіцієнтів можна в простій формі виразити значення реакцій стінок циліндричних резервуарів, викликані різного вигляду навантаженнями за різних граничних умов.*

*Проаналізована можливість застосування методу розподілу моментів до розрахунку коротких циліндричних резервуарів з гнучким днищем на жорсткій основі під дією гідростатичного або рівномірного навантаження. Доведено, що урахування гнучкості днища при жорсткій основі призводить до більш раціонального проектування. На основі отриманої методики виконано практичний розрахунок циліндричного сталевого резервуару при гідростатичному навантаженні на масивній бетонній основі.*

*Розроблена комп'ютерна програма для розрахунку короткого циліндричного резервуару з гнучким днищем на жорсткій основі. Комп'ютерна програма містить алгоритм визначення зусиль, що виникають у місті сполучення стінки резервуару з днищем, побудований на запропонованій математичній моделі розподілення моментів.*

---

Програма призначена для дослідження несучої здатності коротких циліндричних резервуарів з плоским гнучким днищем на жорсткій основі, як оболонки обертання з урахуванням крайового ефекту, які працюють під дією гідростатичного або рівномірного навантаження, з урахуванням факторів геометричної і фізичної нелінійності.

**Ключові слова:** короткий циліндричний резервуар, гідростатичне навантаження, метод розподілення моментів, пружне заземлення стінки в днище, гнучке днище на жорсткій основі, крайовий ефект.

***Yemelianova T. A., Vorona A. R. Computer simulation of the carrying capacity of a short cylindrical tank with a flexible bottom on a rigid base***

The article presents the application of the method of moment distribution based on a combination of moment and moment less theories to the calculation of a short cylindrical tank with a flexible bottom on a rigid basis under the action of hydrostatic or uniform load.

The approximate calculation of short cylindrical tanks, as axisymmetric problems, is reduced to the calculation of beams – strips on an elastic basis with a variable modulus of the elastic foundation are substantiated. The forces and deformations for a cylinder from the edge effect can be represented as functions of uniformly distributed moments and transverse forces acting on the edge of the shell is shown. It is proved the values of the reactions of the walls of cylindrical tanks in a simple form caused by different types of loads under different boundary conditions it is possible to express with the help of elastic coefficients.

The possibility of applying the method of moment distribution to the calculation of short cylindrical tanks with a flexible bottom on a rigid basis under the action of hydrostatic or uniform load is analyzed. It is proved that taking into account the flexibility of the bottom with a rigid base leads to a more rational design. On the basis of the received technique the practical calculation of the cylindrical steel tank at hydrostatic loading on a massive concrete basis is executed.

A computer program has been developed to calculate a short cylindrical tank with a flexible bottom on a rigid base. The computer program contains an algorithm for determining the forces arising in the place of connection of the tank wall with the bottom, based on the proposed mathematical model of the distribution of moments.

The program is designed to study the load-bearing capacity of short cylindrical tanks with a flat flexible bottom on a rigid base, as shells rotating with the edge effect, operating under hydrostatic or uniform load, taking into account factors of geometric and physical nonlinearity.

**Key words:** short cylindrical tank, hydrostatic loading, method of distribution of moments, elastic clamping of a wall in the bottom, flexible bottom on a rigid basis, edge effect.

**Постановка проблеми.** Застосування коротких циліндричних резервуарів в будівництві отримало значний розвиток з тих пір, як були створені теоретичні основи для визначення їх несучої здатності, розроблені методи розрахунку виникаючих зусиль і створені технологічні передумови для поліпшення техніко-економічних показників [1, 2, 3].

Круглі в плані резервуари можна розглядати як циліндричні оболонки із застосуванням безмоментної теорії з врахуванням крайового ефекту в місцях сполучення стін з днищем [4, 5, 6]. Доведено, що запропонований метод розподілення моментів на основі поєднання моментної та безмоментної теорій, вживаний при розрахунку нерозрізних балок і рам, істотно спрощує розрахунок коротких циліндричних резервуарів [7, с. 51].

Розрахунок несучої здатності циліндричних резервуарів пов'язаний з великим об'ємом математичних розрахунків. Сучасні програмні комплекси розрахунку оболонки обертання, розраховані на вирішення широкого кола завдань, не можуть з достатнім ступенем точності проводити дослідження несучої здатності зазначених оболонки з урахуванням різних граничних умов [8, 9]. Тому розроблення комп'ютерних програм, які істотно спрощують розрахунок зазначених оболонки, є актуальною задачею.

**Мета дослідження.** Проаналізувати можливість застосування методу розподілення моментів до розрахунку коротких циліндричних резервуарів з гнучким днищем на жорсткій основі та розробити комп'ютерну програму для розрахунку

короткого циліндричного резервуару з гнучким днищем на жорсткій основі, яка містить алгоритм визначення зусиль, що виникають у місці сполучення стіни з днищем, побудований на запропонованій математичній моделі розподілення моментів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зусилля і деформації в довільній точці циліндричного резервуару можуть бути отримані складанням відповідних значень від безмоментного стану і від крайового ефекту (рис. 1).

Для циліндра зусилля і деформації від крайового ефекту можуть бути представлені у вигляді функцій від рівномірно розподілених моментів і поперечних сил, що діють по краю оболонки [10, 11]; ця залежність відома з теорії балки на пружній основі з постійним коефіцієнтом постелі, по краю якої діють момент і зосереджена сила.

Наближений розрахунок коротких циліндричних резервуарів, як осесиметричних задач, зводяться до розрахунку балки – смужки на пружній основі зі змінним коефіцієнтом постелі. За висотою резервуар розбивається на декілька не дуже коротких елементів – кільць та підбираються по кожній лінії перерізу («вузлу») замінуючі сферичні оболонки з відповідними  $\theta$  і  $R$ . Обчислюються їх характеристики. Моменти і зусилля визначаються шляхом розподілу моментів за лініями перерізів. При визначенні моментів, зусиль і деформацій між окремими лініями перерізів («вузлами») коефіцієнт постелі приймається постійним.

За допомогою пружних коефіцієнтів можна в простій формі виразити значення реакцій стінок циліндричних резервуарів, викликані різного вигляду навантаженнями за різних граничних умов [12].

В роботі [7] проаналізована можливість застосування зазначеного методу до розрахунку коротких циліндричних резервуарів, та перевірено, чи доцільно використовувати цей метод при розв'язанні задачі про напружений стан коротких резервуарів, шляхом порівняння теоретичних та експериментальних результатів, а також встановлені границі використання методу до розрахунку коротких циліндричних залізобетонних резервуарів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Робота днища наближається до схеми гнучкої плити на жорсткій основі, якщо воно, наприклад, виконане з листової сталі і резервуар покоїться на масивній (наприклад бетонній) основі. Вузловий момент може істотно відрізнятися від моменту затискання стінки і, як правило, має менше значення. Задача може бути вирішена заміною круглої плити короткою балкою на двох опорах, що розраховується засобами елементарної статyki [13].

Під дією гідростатичного тиску на стінку вузол повертається і днище відстає від жорсткої основи; з іншого боку, тиск рідини на дно прагне притиснути його до основи (рис. 2).

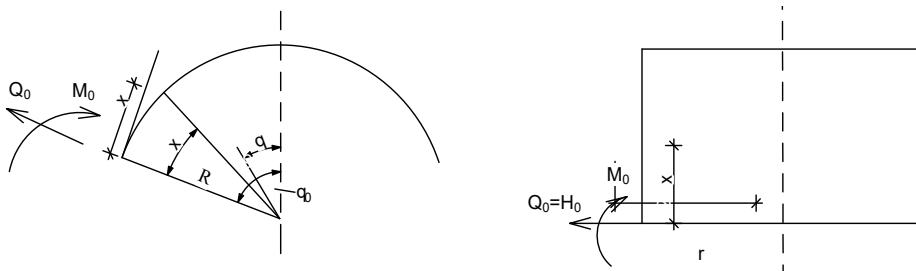


Рис. 1. Розрахункова схема для визначення зусиль і деформацій в довільній точці короткого резервуару

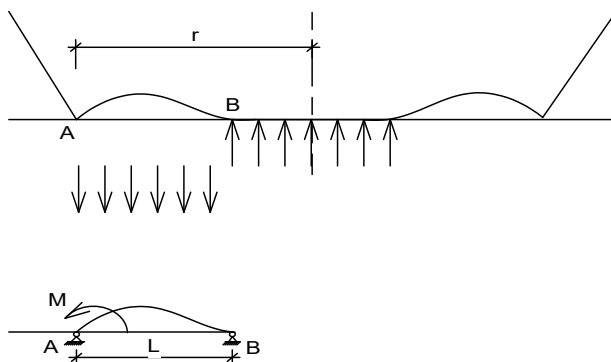


Рис. 2. Розрахункова схема напружено-деформованого стану днища

Невідому довжину ділянки відставання днища, яка замінюється балкою на двох опорах, а також величину вузлового моменту можна знайти з умови, що кут повороту опори В під дією рівномірно розподіленого навантаження  $p$  і моменту  $M$  у вузлу А рівний нулю. Замінімо жорсткість  $EI$  балки циліндричною жорсткістю

$$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)}.$$

Визначимо кути повороту балки як ділені на  $D$  «реакції» від епюри моментів:

$$"A" = \frac{1}{3}Ml - \frac{pl^3}{24}; \quad "B" = \frac{1}{6}Ml - \frac{pl^3}{24}.$$

З умови «В» = 0, отримуємо

$$l = 2\sqrt{\frac{M}{p}}. \quad (1)$$

Кут повороту

$$-\varphi = \frac{"A"}{D} = \frac{1}{D}\left(\frac{Ml}{3} - \frac{pl^3}{24}\right)$$

або, підставивши (1):

$$-\varphi = \frac{1}{3D}\sqrt{\frac{M^3}{p}}. \quad (2)$$

Умови спільності відповідно лінійній і кутовій деформації стінки і днища дозволяють скласти два рівняння для визначення  $M$  і  $H$  в нижньому вузлі стінки; нехтуючи лінійною деформацією днища, отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} \xi_{hCT}H + \xi_{mCT}M + \xi_{pCT} &= 0; \\ \varphi_{hCT}H + \varphi_{mCT}M + \varphi_{pCT} &= \varphi_{дн} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Значення  $\xi$  і  $\varphi$  визначені формулами [7, с. 44]:

$$\xi_h = \frac{2\alpha}{\beta}; \quad \varphi_h = \xi_m = \frac{2\alpha^2}{\beta}; \quad \varphi_m = \frac{4\alpha^3}{\beta}; \quad \xi_h = \frac{2\alpha}{\beta}; \quad \varphi_h = \xi_m = \frac{2\alpha^2}{\beta}. \quad (4)$$

Система рівняння (3) вирішується шляхом підбору.



На основі отриманої методики розрахунку короткого циліндричного резервуару з гнучким днищем на жорсткій основі, яка побудована на запропонованому методі поєднання моментної та безмоментної теорій, виконано практичний розрахунок циліндричного сталевого резервуару при гідростатичному навантаженні на масивній бетонній основі [14].

Розрахунок зусиль, що виникають у місці сполучення стіни з днищем (рис. 3), момент  $M$  і распор  $H$  в нижньому вузлу стінки, визначалися при зазначених вихідних даних:  $r = 6$  м;  $h = 10$  м;  $E = 210000$  кг/см<sup>2</sup>;  $\mu = 0,3$ ;  $\gamma = 1000$  кг/см<sup>3</sup> =  $1 \cdot 10^{-3}$  кг/см<sup>3</sup>;  $\delta_{ст} = 8$  мм;  $\delta_{дн} = 8$  мм.

Згідно [7, с. 44] коефіцієнт гнучкості та коефіцієнт постелі для стінки резервуара визначалися за формулами:

$$\alpha = \frac{1,29}{\sqrt{r \cdot \delta}} \quad \alpha = \frac{1,29}{\sqrt{600 \cdot 0,08}} = 5,888 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1};$$

$$\beta = \frac{E\delta}{r^2} = \frac{210000 \cdot 0,8}{6^2 \cdot 10^4} = 4,667 \text{ кг/см}^3$$

Пружні характеристики визначаємо за формулами (4).

Для приблизної оцінки  $M$  і  $H$  визначимо їх значення для випадку затискання низу стінки [7, с. 44]:

$$\overline{M}_{cm} = \gamma \frac{\alpha h - 1}{2\alpha^3} = 141,8 \approx 142 \text{ кгсм/см}$$

$$\overline{H}_{cm} = -\gamma \frac{2\alpha h - 1}{2\alpha^2} = -16,8 \text{ кгсм/см}$$

Для днища по формулі (2):

$$-\varphi = \frac{1}{3D} \sqrt{\frac{M_3}{p}} = 0,3385 \cdot 10^{-5} \sqrt{M^3},$$

$$\text{де } \frac{1}{3D} = \frac{4(1-\mu^2)}{E\delta^3} = \frac{4 \cdot 0,91}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 8^3} = 0,3385 \cdot 10^{-5}, \quad p = 10000 \text{ кг/м}^2.$$

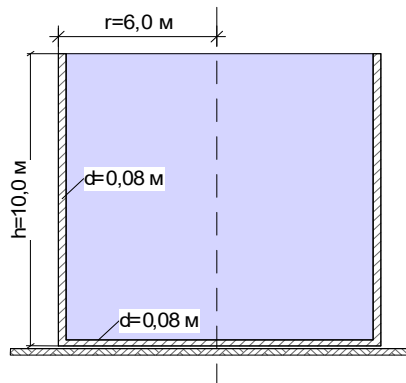


Рис. 3. Схема циліндричного резервуара з гнучким днищем на жорсткій основі

Підставимо знайдені значення в (3)

$$2,523 \cdot 10^{-2} H + 0,149 \cdot 10^{-2} M + 21,429 \cdot 10^{-2} = 0.$$

Звідси  $H = -0,059$ ,  $M = -8,493$ .

Підставимо в друге рівняння системи (3)

$$-0,879 \cdot 10^{-4} M - 126,54 \cdot 10^{-4} + 1,75 \cdot 10^{-4} M + 0,03385 \cdot 10^{-4} \sqrt{M^3} + 2,14 \cdot 10^{-4} = 0$$

$$\text{або } 0,871M + 0,03385\sqrt{M^3} = 124,4.$$

Визначаємо  $M$  шляхом підбору. Відомо, що  $M < 142$ . Почнемо підбір із значення  $M = 100$  кг см/см.

$$M = 100 \cdot 87,1 + 33,9 = 121;$$

$$M = 102 \cdot 88,8 + 34,9 = 123,7;$$

$$M = 103 \cdot 89,7 + 35,4 = 125,1;$$

$$M = 102,5 \cdot 89,3 + 35,1 = 124,4.$$

Звідси витікає, що  $M = 102,5$  кг см/см.

$$H = -0,059 \cdot 102,5 - 8,49 = -14,54 \text{ кг/см.}$$

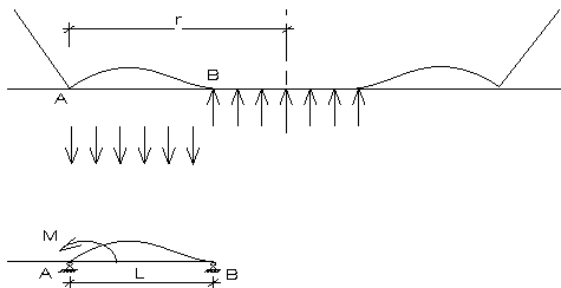
Згідно виразу (1)

$$l = 2\sqrt{\frac{M}{p}} = 2\sqrt{\frac{102,5}{1}} = 20,5 \text{ см.}$$

В комп'ютерному середовищі Wolfram Mathematica 11.0 [15] розроблена комп'ютерна програма для розрахунку резервуару з гнучким днищем на жорсткій основі, що містить алгоритм визначення зусиль, що виникають у місті сполучення стіни з днищем, побудований на запропонованій математичній моделі.

Програма призначена для дослідження несучої здатності коротких циліндричних резервуарів з плоским гнучким днищем на жорсткій основі, як оболонок обертання з урахуванням крайового ефекту, які працюють під дією гідростатичного або рівномірного навантаження, з урахуванням факторів геометричної і фізичної нелінійності.

**Програма для розрахунку резервуара з плоским гнучким днищем на жорсткій основі**



Позначено :  $h$  - висота циліндричної частини резервуару ;

$x_k$  - відстань від верхнього краю резервуару до рухоного вузла ;  $\gamma$  - питома вага води ;

$E$  - модуль пружності І роду сталі ;  $\delta_k$  - товщина стінки циліндричної частини резервуару ;

$r$  - радіус циліндричної частини резервуару ;  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона ;

$I$  - згинальна жорсткість кільцевої частини резервуару;  
 $F$  - приведена площа перерізу кільцевої частини резервуару;  
 $\delta_y$  - товщина стінки конусної частини резервуару;  $r_y$  - радіус конусної частини резервуару;  
 $\theta$  - кут між радіусом  $r$  та дотичною до меридіану в рухоному вузлі;  
 $x_y$  - відстань від вершини конусу резервуару до рухоного вузла;  
 $h_y$  - висота усіченої частини конуса;  
 $q$  - власна вага конусної частини резервуару.

### Частина I. Наближений розрахунок моментів заземлення та згинальних жорсткостей :

$J = \{h \rightarrow 1000, y \rightarrow 1 \times 10^{-3}, E \rightarrow 2.1 \times 10^6, \delta_c \rightarrow 8 \times 10^{-1}, \delta_n \rightarrow 8 \times 10^{-1}, r \rightarrow 600, \mu \rightarrow 0.3, p \rightarrow 1\};$

$B = \text{ReplaceAll}[\{\beta \rightarrow \frac{E \delta_c}{r^2}, \alpha \rightarrow \frac{1.29}{\sqrt{r \delta_c}}\}, J]; B = \text{ReplaceAll}[\{\alpha^2, \alpha^3, \alpha^4\}, B];$

$W = \text{ReplaceAll}[\{\xi_n \rightarrow \frac{2 \alpha}{\beta}, \xi_m \rightarrow \frac{2 \alpha^2}{\beta}, \xi_p \rightarrow \frac{y h}{\beta}\}, J]; z = \text{ReplaceAll}[W, B];$

$Z = \text{ReplaceAll}[\{\phi_n \rightarrow \frac{2 \alpha^2}{\beta}, \phi_m \rightarrow \frac{4 \alpha^3}{\beta}, \phi_p \rightarrow \frac{y}{\beta}\}, B]; u = \text{ReplaceAll}[Z, J];$

$U = \text{ReplaceAll}[\{\bar{M}_{CT} \rightarrow y \times \frac{(\alpha h - 1)}{2 \alpha^3}, \bar{H}_{CT} \rightarrow -y \times \frac{(2 \alpha h - 1)}{2 \alpha^2}\}, J]; G = \text{ReplaceAll}[U, B];$

$\Gamma = \text{ReplaceAll}[d \rightarrow \frac{4(1 - \mu^2)}{E \delta_n^3}, J]; r = \text{ReplaceAll}[\theta \rightarrow d \sqrt{\frac{M^3}{p}}, \Gamma];$

$B = \text{ReplaceAll}[\xi_n H + \xi_m M + \xi_p = 0, z]; \mathcal{B} = \text{Solve}[B, H]; W = \text{Simplify}[\mathcal{B}];$

$y = \text{ReplaceAll}[\phi_n H + \phi_m M + \phi_p + \theta = 0, u]; V = \text{ReplaceAll}[y, r]; Y = \text{ReplaceAll}[V, J];$

$w = \text{ReplaceAll}[Y, W]; f = \text{Simplify}[w]; \{G, f, \mathcal{B}\}$

$\{\{\bar{M}_{CT} \rightarrow 141.773, \bar{H}_{CT} \rightarrow -16.8394\},$

$\{25.8415 M + 1. \sqrt{M^3} = 3663.62\}, \{(H \rightarrow 39.6285 (-0.214286 - 0.0014858 M))\}\}$

$B = \text{ReplaceAll}[\xi_n H + \xi_m M + \xi_p = 0, z]; \mathcal{B} = \text{Solve}[B, H]; W = \text{Simplify}[\mathcal{B}];$

$y = \text{ReplaceAll}[\phi_n H + \phi_m M + \phi_p + \theta = 0, u]; V = \text{ReplaceAll}[y, r]; Y = \text{ReplaceAll}[V, J];$

$w = \text{ReplaceAll}[Y, W]; f = \text{Simplify}[w]; \{G, f, \mathcal{B}\}$

$\{\{\bar{M}_{CT} \rightarrow 141.773, \bar{H}_{CT} \rightarrow -16.8394\},$

$\{25.8415 M + 1. \sqrt{M^3} = 3663.62\}, \{(H \rightarrow 39.6285 (-0.214286 - 0.0014858 M))\}\}$

### Частина II. Визначення моменту $M$ методом підбору

$\text{Do}[\text{Print}[25.84153822523533` M + 0.9999999999999999` \sqrt{M^3} - 3663.6242594197674`, M],$

$\{M, 101.942, 101.943, 0.0001\}]$

-0.015198101.942

### Частина III. Визначення моментів $M$ і $H$ та невідомої довжини отставання днища

$J = \{M \rightarrow 101.942, h \rightarrow 1000, y \rightarrow 1 \times 10^{-3}, E \rightarrow 2.1 \times 10^6, \delta_c \rightarrow 8 \times 10^{-1}, \delta_n \rightarrow 8 \times 10^{-1},$

$r \rightarrow 600, \mu \rightarrow 0.3, p \rightarrow 1\};$

$q =$

$\text{ReplaceAll}[H \rightarrow 39.62850545257016` (-0.21428571428571427` - 0.0014858035714285713` M),$

$J]; q = \text{ReplaceAll}[1 \rightarrow 2 \sqrt{\frac{M}{p}}, J]; i = \text{ReplaceAll}[M \rightarrow M, J]; \{i, q, q\}$

$\{M \rightarrow 101.942, H \rightarrow -14.4942, 1 \rightarrow 20.1933\}$

**Висновки і пропозиції.** Проаналізована можливість застосування методу розподілення моментів до розрахунку коротких циліндричних резервуарів з гнучким днищем на жорсткій основі: при наближеному розрахунку циліндричних резервуарів як осесиметричних задач, останні зводяться до розрахунку балки – смужки на пружній основі зі змінним коефіцієнтом постелі; зусилля і деформації в довільній точці циліндричного резервуару можуть бути отримані складанням відповідних значень від безмоментного стану і від крайового ефекту; урахування гнучкості днища при жорсткій основі призводить до більш раціонального проектування; зменшення товщини днища хоча і приводить до зменшення вузлового моменту, але викликає збільшення згинального напруження.

Розроблена комп'ютерна програма для розрахунку короткого циліндричного резервуару з гнучким днищем на жорсткій основі, яка містить алгоритм визначення зусиль, що виникають у місті сполучення стіни з днищем, побудований на запропонованій математичній моделі розподілення моментів. Комп'ютерна програма містить мінімальний обсяг вихідної інформації, необхідний для вирішення задачі, що дозволяє активно використовувати розроблену програму в практиці проектування зазначених циліндричних резервуарів.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бессонов В.С. Вертикальный резервуар большой емкости. *Известия ВУЗов. Строительство и архитектура*. 1983. № 2. С. 5–8.
2. Кулахметьев Р.Р. Предельные состояния и срок службы резервуаров. *Промышленное и гражданское строительство*. 2003. № 6. С. 28–30.
3. Соболев Ю.В., Купрейшвили С.М. Проектирование металлических вертикальных цилиндрических резервуаров минимальной массы. *Строительная механика и расчет сооружений*. 1986. № 1. С. 17–20.
4. Кабриц С.А., Михайловский Е.И., Товстик П.Е., Черных К.Ф., Шамина В.А. Общая нелинейная теория упругих оболочек / Под ред. Черных К.Ф., Кабрица С.А. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002. 388 с.
5. Никиреев В.М., Шадурский В.Л. Практические методы расчета оболочек. Москва: Издательство литературы по строительству. 1966. 270 с.
6. Грудев И. Д. Нелинейный краевой эффект в вертикальном цилиндрическом резервуаре. *Промышленное и гражданское строительство*. 1999. № 5. С. 23–24.
7. Ємел'янова Т.А., Лобанова Т.Ю. Експериментальне дослідження параметрів напруженого стану коротких циліндричних залізобетонних резервуарів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2021. Вип. 1. С. 42–53.
8. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа. Киев : Изд-во «Сталь». 2002. 600 с.
9. Ємел'янова Т.А. Розробка комп'ютерної програми для дослідження напруженого стану в точці тіла. *Будівельні матеріали, конструкції та споруди третього тисячоліття: зб. наук. пр.* Херсон : ХДАЕУ, Вип. 2. 2020. С. 30–34.
10. Нехаев Г.А. К вопросу о расчете сопряжения стенки с днищем вертикального цилиндрического резервуара. *Известия Тульского государственного университета. Серия «Технология, механика и долговечность строительных материалов, конструкций и сооружений»*. 2002. № 3. С. 127–131.
11. Еленицкий Э.Я. Расчет узла сопряжения стенки и днища вертикальных цилиндрических стальных резервуаров. *Строительная механика и расчет сооружений*. 2007. № 4. С. 2–7.
12. Ємел'янова Т.А. Особливості розрахунку циліндричних резервуарів при різних умовах обпирання стінки. *Будівельні матеріали, конструкції та споруди третього тисячоліття: зб. наук. пр.* Херсон : ХДАЕУ, Вип. 3. 2021. С. 8–12.

13. Ворона А., Ємел'янова Т. Математичне моделювання напружено-деформованого стану короткого циліндричного резервуару з гнучким днищем на жорсткій основі. *Сучасна наука: стан та перспективи розвитку: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених з нагоди Дня працівника сільського господарства*. Херсон: ХДАЕУ, 2021. С. 297–299.

14. Ємел'янова Т.А., Ворона А.Р. Методика розрахунку циліндричного резервуару з плоским гнучким днищем на жорсткій основі. *Гідротехнічне будівництво: минуле, сьогодення, майбутнє: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених «Гідротехнічне будівництво: минуле, сьогодення, майбутнє»*. Херсон : ХДАЕУ, 2021. Вип. 4. С. 18–22.

15. Дьяконов В. П. *Mathematica 5.1/5.2/6. Программирование и математические вычисления*. Москва : ДМК-Пресс, 2008. 576 с.

#### REFERENCES:

1. Bessonov, V.S. (1983). Vertikal'nyy rezervuar bol'shoy yemkosti [Large capacity vertical tank]. *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Proceedings of universities. Construction and architecture], no. 2, 5–8. [in Russian].

2. Kulakhmet'yev, R.R. (2003). Predel'nyye sostoyaniya i srok sluzhby rezervuarov [Limit states and service life of tanks]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and civil construction], no. 6, 28–30. [in Russian].

3. Sobolev, Yu. V., Kupreyshvili, S.M. (1986). Proyektirovaniye metallicheskiykh vertikal'nykh tsilindricheskikh rezervuarov minimal'noy massy [Design of metal vertical cylindrical tanks of minimum weight]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural mechanics and calculation of structures], no 1, 17–20 [in Russian].

4. Kabrits, S.A., Mikhaylovskiy, Ye.I., Tovstik, P.Ye., Chernykh, K.F. and Shamina, V.A. (2002). *Obshchaya nelineynaya teoriya uprugikh obolochek* [General nonlinear theory of elastic shells]. St. Petersburg : Publishing house S.-Peterb. University [in Russian].

5. Nikireyev, V.M., Shadurskiy, V.L. (1966). *Prakticheskiye metody rascheta obolochek* [Practical methods for calculating shells]. Moskva. Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu. [in Russian].

6. Grudev, I.D. (1999). Nelineynyy krayevoy effekt v vertikal'nom tsilindricheskom rezervuare [Nonlinear edge effect in a vertical cylindrical tank]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and civil construction], no. 5, 23–24 [in Russian].

7. Yemel'yanova, T.A., Lobanova, T.YU. (2021). Eksperymental'ne doslidzhennya parametriv napruzhenoho stanu korotkykh tsylindrychnykh zalizobetonnykh rezervuariv [Experimental study of stress parameters of short cylindrical reinforced concrete tanks]. *Tavriys'kyi naukovyy visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky* [Taurian Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences], no. 1, 42–53 [in Ukrainian].

8. Perel'muter, A.V., Slivker, V.I. (2002). Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnosti ikh analiza [Calculation models of structures and the possibility of their analysis]. Kyiv, Stal' [in Russian].

9. Yemel'yanova, T.A. (2020). Rozrobka komp'yuternoyi prohramy dlya doslidzhennya napruzhenoho stanu v tochtsi tila [Development of a computer program for the study of stress in the body]. *Budivel'ni materialy, konstruktsiyi ta sporudy tret'oho tysyacholittya* [Building materials, structures and structures of the third millennium], no. 2, 30–34 [in Ukrainian].

10. Nekhayev, G.A. (2002). K voprosu o raschete sopryazheniya stenki s dnishchem vertikal'nogo tsilindricheskogo rezervuara [On the issue of calculating the interface between the wall and the bottom of a vertical cylindrical tank]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Tekhnologiya, mekhanika i dolgovechnost' stroitel'nykh materialov, konstruktsiy i sooruzheniy»* [News of the Tula State University.

Series "Technology, mechanics and durability of building materials, structures and structures"], no. 3, 127–131. [in Russian].

11. Yelenitskiy, E.Ya. (2007). Raschet uzla sopryazheniya stenki i dnishcha vertikal'nykh tsilindricheskikh stal'nykh rezervuarov [Calculation of the junction of the wall and bottom of vertical cylindrical steel tanks]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy* [Structural mechanics and calculation of structures.], no. 4, 2–7. [in Russian].

12. Yemel'yanova, T.A. (2021). Osoblyvosti rozrakhunku tsylindrychnykh rezervuariv pry riznykh umovakh obpyrannya stinky [Features of calculation of cylindrical tanks under different conditions of wall support]. *Budivel'ni materialy, konstruktsiyi ta sporudy tret'oho tysyacholittya* [Building materials, structures and structures of the third millennium], no. 3, 8–12. [in Ukrainian].

13. Vorona, A., Yemel'yanova, T. (2021). Matematychno modelyuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu korotkoho tsylindrychnoho rezervuaru z hnuchkym dnyshchem na zhorstkiy osnovi [Mathematical modeling of the stress-strain state of a short cylindrical tank with a flexible bottom on a rigid base]. *Suchasna nauka: stan ta perspektyvy rozvytku* [Modern science: state and prospects of development]. 297–299 [in Ukrainian].

14. Yemel'yanova T.A., Vorona A.R. (2021). Metodyka rozrakhunku tsylindrychnoho rezervuaru z ploskym hnuchkym dnyshchem na zhorstkiy osnovi [Method of calculating a cylindrical tank with a flat flexible bottom on a rigid base]. *Hidrotekhnichne budivnytstvo: mynule, s'ohodennya, maybutnye* [Hydraulic construction: past, present, future], no. 4, 18–22. [in Ukrainian].

15. D'yakonov, V. P. (2008). *Mathematica 5.1/5.2/6. Programmirovaniye i matematicheskiye vychisleniya* [Programming and mathematical calculations]. Moscow, DMK-Press [in Russian].

УДК 626.81/84;631.67:633.18

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.7>

## ТЕХНІЧНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РИСОВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

**Морозов В. В.** – кандидат сільськогосподарських наук, професор,  
професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-2594-883X

**Морозов О. В.** – доктор сільськогосподарських наук, професор,  
професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-5617-0813

**Корнбергер В. Г.** – кандидат сільськогосподарських наук, начальник відділу  
технологій  
Державного підприємства «Дослідне господарство Інституту рису Національної  
академії аграрних наук України»  
ORCID ID: 0000-0003-1909-8290

**Дудченко К. В.** – кандидат сільськогосподарських наук, завідувачка лабораторії  
гідротехніки, меліорації та агро меліоративного моніторингу  
Інституту рису Національної академії аграрних наук України  
ORCID ID: 0000-0001-5567-7690

В статті представлені результати багаторічних досліджень, що спрямовані на технічне вдосконалення та підвищення ефективності рисових зрошувальних систем в Південному регіоні України.

Метою дослідження було визначити технічну, економічну та еколого-меліоративну ефективність в процесі багаторічного функціонування першої в світовій гідромеліоративній науці і практиці рисової зрошувальної системи зі зворотнім циклом водокористування – закритої чекової зрошувальної системи (ЗЧЗС-М) конструкції відомого вітчизняного вченого-гідротехніка, к.т.н. Маковського В.Й.

Актуальною проблемою при вирощуванні рису на півдні України є те, що даний технологічний процес вимагає значних обсягів зрошувальної води. Із значного водоподачою постає питання – великих обсягів непродуктивних технологічних скидів води (які можуть перевищувати 50% водоподачі), а це, в свою чергу, негативно впливає на екологічну ситуацію в регіоні та економічну ефективність РЗС.

Схема функціонування ЗЧЗС-М відрізняється від відомих схем РЗС тим, що з метою зниження капітальних та енергетичних витрат, дільничні та розподільчі трубопроводи, що поєднують функції подачі та скидання води з двох суміжних ділянок, в кінцевих точках об'єднані насосною станцією, а дренажно-колекторна мережа виконує функцію відводу тільки дренажного стоку.

Дослідженнями визначено основні технологічні показники роботи ЗЧЗС-М в експлуатаційний період (виробничий режим): зрошувальні норми рису – 13–14 тис. м<sup>3</sup>/га, супутніх сільськогосподарських культур – 2,4 тис. м<sup>3</sup>/га; дренажний стік – 2,5–3,0 тис. м<sup>3</sup>/га; режим ґрунтових вод у не вегетаційний період – напівгідроморфний, у вегетаційний – гідроморфний, що є характерним для рисових зрошувальних систем із сприятливим еколого-меліоративним станом. ЗЧЗС-М забезпечує зниження рівня ґрунтових вод на початку вегетаційного періоду до глибини 1,8–2,2 м, відносно стабільну мінералізацію ґрунтових вод 2,1–2,6 г/дм<sup>3</sup> і тип їх хімічного складу – сульфатно-гідрокарбонатний, магнієво-натрієвий. Накопичення запасів солей в зоні аерації за період 1990–2021 рр.

не визначено. Загальна засоленість ґрунтів зони аерації не перевищувала 0,2 %, тип засолення ґрунтів хлоридно-сульфатний суттєво не змінився. ЗЧЗС-М забезпечує оперативне управління еколого-меліоративним режимом агроландшафтів, в період чергу, ґрунтів.

В процесі багаторічних виробничих досліджень була відпрацьована технологія функціонування ЗЧЗС-М. Установлений високий рівень технічної, економічної та еколого-меліоративної ефективності ЗЧЗС-М дозволяє рекомендувати її при реконструкції рисових зрошувальних систем на слабодренованих і безстічних землях приморських низовин в Південному регіоні України.

**Ключові слова:** рисові зрошувальні системи, технічне удосконалення, ресурсозбереження, закрита чекова зрошувальна система, ефективність.

### **Morozov V. V., Morozov O. V., Kornberger V. G., Dudchenko K. V. Technical improvement of the design of rice irrigation systems**

The article presents the results of many years of research aimed at technical improvement and efficiency of rice irrigation systems in the Southern region of Ukraine.

The aim of the study was to determine the technical, economic and environmental reclamation efficiency in the long-term operation of the world's first in irrigation science and practice of rice irrigation system with reverse cycle of water use – closed check irrigation system (ZCHZS-M) design of a famous domestic scientist. Makovsky V.Y.

An urgent problem in rice cultivation in the south of Ukraine is that this technological process requires significant amounts of irrigation water. Significant water supply raises the issue of large volumes of unproductive technological discharges of water (which may exceed 50% of water supply), which, in turn, negatively affects the environmental situation in the region and the economic efficiency of the RZS.

The scheme of operation of ZCHZS-M differs from the known schemes of RZS that in order to reduce capital and energy costs, precinct and distribution pipelines, combining the functions of supply and discharge of water from two adjacent areas, are eventually connected by a pumping station and drainage. the collector network performs the function of drainage only.

Research has identified the main technological indicators of ZCHZS-M in the operational period (production mode): irrigation rates of rice – 13–14 thousand m<sup>3</sup>/ha, related crops – 2,4 thousand m<sup>3</sup>/ha; drainage runoff – 2,5–3,0 thousand m<sup>3</sup>/ha; the regime of groundwater in the non-vegetation period is semi-hydromorphic, in the vegetation period it is hydromorphic, which is characteristic of rice irrigation systems with a favorable ecological and reclamation condition. ZCHZS-M provides a reduction in the level of groundwater at the beginning of the growing season to a depth of 1,8–2,2 m, relatively stable mineralization of groundwater 2,1–2,6 g/dm<sup>3</sup> and the type of their chemical composition – sulfate-bicarbonate, magnesium – sodium. The accumulation of salt reserves in the aeration zone for the period 1990–2021 has not been determined. The total salinity of the soils of the aeration zone did not exceed 0,2%, the type of salinity of chloride-sulfate soils did not change significantly. ZCHZS-M provides operational management of ecological and reclamation regime of agrolandscapes, first of all, soils.

In the course of many years of production research, the technology of operation of ZCHZS-M was tested. The established high level of technical, economic and ecological-ameliorative efficiency of ZCHZS-M allows to recommend it at reconstruction of rice irrigation systems on poorly drained and drainless lands of coastal lowlands in the Southern region of Ukraine.

**Key words:** rice irrigation systems, technical improvement, resource saving, closed check irrigation system, efficiency.

**Вступ.** На сьогоднішній день галузь рисосіяння в Україні розвивається шляхом удосконалення технологій вирощування рису, реконструкції і модернізації існуючих рисових зрошувальних систем (РЗС) з метою економії зрошувальної води та енергоресурсів, зменшення обсягів скидних вод, використання дренажно-скидних вод (ДСВ) для зрошення рису та інших супутніх культур, підвищення врожайності цих сільськогосподарських культур, збереження нормативного еколого-меліоративного стану земель. В умовах змін клімату в бік його посушливості рисові зрошувальні системи в Україні повинні стати надійним джерелом одержання високих і стабільних врожаїв рису на рівні кращого світового досвіду.

**Постановка проблеми.** Актуальною проблемою при вирощуванні рису на півдні України є те, що даний технологічний процес вимагає значних обсягів зрошувальної води. Із значною водоподачою постає питання великих обсягів



непродуктивних технологічних скидів води (які можуть перевищувати 50% водоподачі), а це, в свою чергу, негативно впливає на екологічну ситуацію в регіоні та економічну ефективність РЗС.

Аналіз даної проблеми показує, що для ефективного функціонування РЗС необхідна розробка і запровадження комплексу техніко-експлуатаційних завдань та заходів:

- реконструкції внутрішньогосподарської зрошувальної мережі;
- забезпечення РЗС необхідною кількістю водозабірних, водорегулюючих споруд інженерного типу;
- підвищення ККД системи за рахунок застосування різних сучасних типів протифільтраційних покриттів, в тому числі геомембран SOLMAXHDPE з поліетилену високої щільності з метою зменшення витрат води на фільтрацію;
- автоматизація процесу водорозподілу і водорегулювання на РЗС;
- здійснення капітального планування рисових чеків;
- удосконалення системи планування раціонального водокористування, водорозподілу та водовідведення з урахуванням реальної потреби у воді рисосіяючих сільськогосподарських підприємств;
- своєчасне очищення, ремонт зрошувальної мережі і гідротехнічних споруд, підтримка їх у належному технічному стані;
- узгодження роботи міжгосподарських та внутрішньогосподарських каналів, насосних станцій, поливної техніки, що сприяє скороченню скидів зі зрошувальної мережі;
- посилення контролю за використанням зрошувальної води.

Із узагальнення вищенаведених завдань та інженерних заходів витікає, що актуальним нині залишається питання технічного вдосконалення зрошувальних систем, оптимізація водоподачі, водорозподілу та водовідведення з метою раціонального використання водних ресурсів, зменшення непродуктивних скидів за умов ресурсозбереження та охорони навколишнього середовища.

**Метою дослідження** було визначити технічну, економічну та еколого-меліоративну ефективність в процесі багаторічного функціонування першої в світовій гідромеліоративній науці і практиці рисової зрошувальної системи зі зворотнім циклом водокористування – закритої чекової зрошувальної системи (ЗЧЗС-М) конструкції відомого вітчизняного вченого-гідротехніка, к.т.н. Маковського В.Й.

**Об'єкт досліджень** – процес багаторічного функціонування закритої чекової зрошувальної системи у виробничих умовах Краснознам'янської зрошувальної системи, її вплив на урожайність рису та еколого-меліоративний стан агроландшафту та оточуючого середовища.

**Матеріали та методи досліджень.** Були використані матеріали досліджень проблемної науково-дослідної лабораторії еколого-меліоративного моніторингу агроєкосистем сухостепової зони імені професора Д.Г.Шапошнікова ХДАЕУ, Інституту рису НААН, ДПДГ Інституту рису НААН. Використані методи досліджень: натурний польовий експеримент, спостереження, порівняння, аналіз та узагальнення фактичних даних. Типовість об'єкта досліджень для зони рисосіяння України встановлена методом районування території.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у розвиток та технічне вдосконалення рисових зрошувальних систем з метою зниження негативного впливу РЗС на навколишнє середовище, підвищення їх технічної, економічної та екологічної ефективності і надійності зробили класики вітчизняної гідромеліоративної науки: Д.Г. Шапошников, Л.В. Скрипчинська, Б.І. Лактіонов,

О.О. Титков, І.С. Жовтоног, А.О. Лимар, та ін. [1, 2, 4]. В сучасних наукових і виробничих дослідженнях та публікаціях А.М. Рокочинського, В.О. Турченко, Г.В. Новікової, Т.М. Кириєнко, А.А. Ванцовського, С.А. Балюка, В.А. Сташука, В.Й. Маковського, Д.П. Хіміч, В.О. Ушкаренка, В.В. Морозова, В.Г. Корнбергера, В.В. Дудченка, Р.А. Вожегової, Л.М. Грановської, С.О. Кольцова, О.В. Морозова, С.Г. Вожегова, Ю.М. Грищенко, С.М. Козишкурта, С.М. Кропивка, П.І. Мендуся, Є.Г. Герасимова, Н.А. Фроленкової, К.В. Дудченко та інших вчених висвітлені різні варіанти вирішення таких актуальних проблем і задач [1–7]:

- вдосконалення конструкцій і параметрів рисових зрошувальних систем;
- розробка і впровадження сучасних ресурсозберігаючих, природоохоронних технологій вирощування рису;
- розробка і впровадження еколого-агроекологічного моніторингу на РЗС;
- раціональне використання зрошувальної води на РЗС;
- підвищення технічної, економічної та екологічної ефективності рисових зрошувальних систем.

В питаннях вдосконалення конструкцій РЗС слід уділити окрему увагу науково-технічним розробкам к.т.н. В.Й.Маковського, а саме:

- розробка та впровадження автоматизованих чекових гідротехнічних споруд, що забезпечують підтримку заданих рівнів води в чеках та знижують технічні витрати води;
- реконструкція рисових зрошувальних систем на закриті чекові системи зі зворотнім використанням дренажно-скидних вод для зрошення сільськогосподарських культур;
- впровадження безгербіцидної технології вирощування рису та інших сільськогосподарських культур сівозміни в умовах закритих чекових систем.

Маковським В.Й. розроблені принципи дії та конструкція першої у світовій гідротехнічній практиці закритої чекової зрошувальної системи (ЗЧЗС-М) зі зворотнім циклом водокористування, яка була побудована в межах землекористування Дослідної станції рису УААН (нині Інститут рису НААН України) у 1989 році на площі 432 га. З 1990 року на ЗЧЗС-М вченими дослідної станції рису УААН та проблемної науково-дослідної лабораторії еколого-меліоративного моніторингу агроєкосистем сухосте пової зони Херсонського сільськогосподарського інституту (нині Херсонський державний аграрно-економічний університет) почав функціонувати комплекс дослідно-виробничих досліджень (керівник досліджень – професор Морозов В.В.), спрямованих на вивчення всіх аспектів роботи цієї принципово нової гідромеліоративної системи, її працездатності, екологічної, економічної та меліоративної ефективності, і в першу чергу, відповідності режиму зрошення на системі біологічним потребам сільськогосподарської культури рису та реалізації сучасних технологій її обробітку й хімічного захисту рослин. Одним з ключових питань даного комплексу досліджень є визначення ефективності функціонування ЗЧЗС-М впродовж багаторічного періоду. В 2021 році виконалось 30 років експлуатації даної гідротехнічної системи. За цей період були накопичені наукові і виробничі дані, які стали основою даної публікації.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Дослідження проведені в умовах закритої чекової зрошувальної системи конструкції В.Й. Маковського, яка складається з карт Кубанського типу з мінімальною кількістю автоматизованих вузлів водорозподілу (рисунок). Вся рисова зрошувальна система закрыта і виконана із залізобетонних труб діаметром 800 мм і азбестоцементних труб діаметром

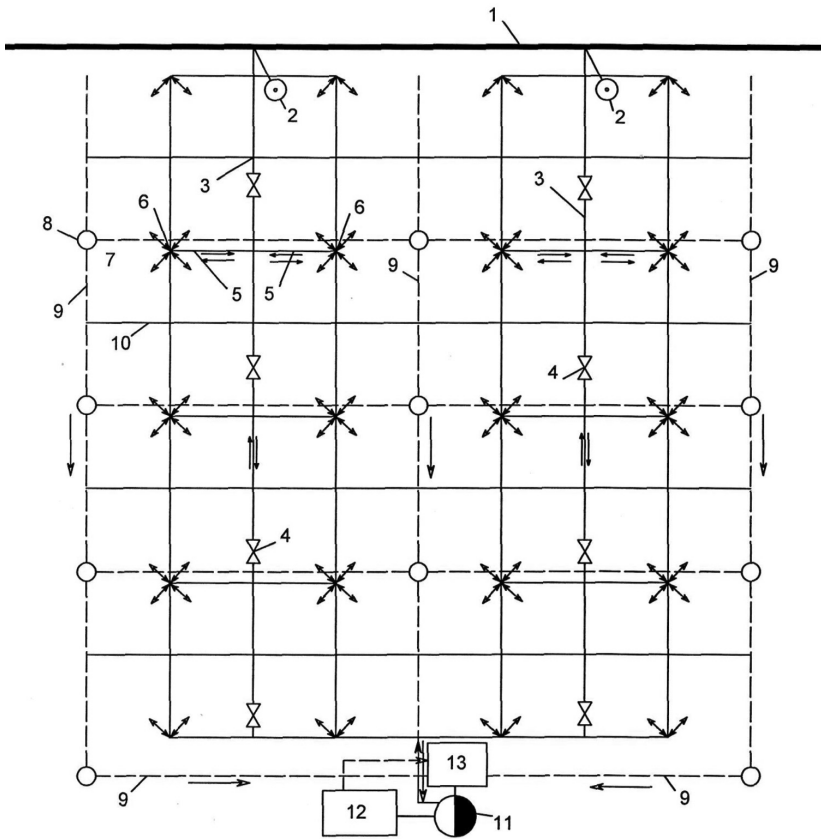


Рисунок. Схема закритої чекової зрошувальної системи конструкції В.І. Маковського зі зворотнім циклом водокористування (ЗЧЗС-М):  
 1, 3 – розподільчий канал; 2, 6 – засувки водовипусків; 4 – дискові засувки; 5 – діляничні зрошувачі; 7 – закрита дренажна мережа;  
 8 – оглядовий колодязь; 9 – закрита колекторно-дренажна мережа;  
 10 – чекові валики; 11 – насосна станція; 12 – ставок детоксикації;  
 13 – буферний ставок.

550 мм за винятком міжгосподарського відкритого каналу Х-13-Р. Польові закриті зрошувачі функціонують в подвійному режимі: водоподачі і водовідведення. Колекторно-дренажна мережа, за винятком огорожувального скиду ОС-2, закрита. Матеріал колекторів – залізобетонні труби діаметром 100 і 150 мм.

Для профілактичних ремонтів і замірів стоку в гирлі дрен розміщені дренажні оглядові колодязі. Міждрена відстань на ділянці ЗЧЗС-М дорівнює 400–450 м, середня глибина закладення дрен 2,5 м.

Закрита чекова зрошувальна система включає в себе, окрім водопідвідної, водовідвідної і дренажної мереж, також насосну станцію. ЗЧЗС-М відрізняється від подібних аналогів як в Україні, так і в світовій гідромеліоративній практиці тим, що з метою зниження капітальних витрат і поліпшення екологічного стану агроландшафту та морської акваторії водопідвідна мережа виконана закритою, а дренажна мережа забезпечена ставком детоксикації. При цьому водопідвідна

мережа закільтована і пов'язана через насосну станцію із ставком детоксикації. Система побудована і працює на площі 432 га. Принциповою відмінністю даної системи від решти аналогів є повне повторне використання дренажно-скидних вод для зрошення на даній сівозміні.

Автором ЗЧЗС-М передбачена можливість запровадження водо- і енергозберігаючих технологій водокористування, а також безгербіцидної та малогербіцидної технології, що забезпечує виробництво екологічно чистої сільськогосподарської продукції. ЗЧЗС-М розташована в природно-господарських умовах, які є типовими для безстічних і слабодренованих земель сухосте повітряної зони України.

Схема функціонування ЗЧЗС-М відрізняється від відомих схем РЗС тим, що з метою зниження капітальних та енергетичних витрат, дільничні та розподільчі трубопроводи, що поєднують функції подачі та скидання води з двох суміжних ділянок, в кінцевих точках об'єднані насосною станцією, а дренажно-колекторна мережа виконує функцію відводу тільки дренажного стоку.

Розподіл дренажного стоку і скидної води дозволяє зменшити об'єм ставка детоксикації та розрахункові діаметри закритої дренажно-колекторної мережі. Вода, пройшовши греблю ставка детоксикації, потрапляє в буферний ставок для підготовки і повторного використання. Для збагачення води киснем і рівномірного розподілу дренажного стоку по фронту ставка детоксикації влаштовані аератори. Для подачі води в чек і скидання води з чека на системі передбачено чековий водовипуск. З чека в чек вода подається по лоткових водовипусках.

Ставок детоксикації призначений для прийому і витримування в ньому дренажних вод. Термін витримки дренажних вод залежить від застосовуваної групи гербіцидів. Таким чином, ставки працюють в циклічному режимі. З метою зменшення площі, що відводиться під ставок, зниження вартості і спрощення експлуатації передбачена робота ставка детоксикації в безперервному режимі.

При вирощуванні рису за безгербіцидною технологією ставок необхідний на період освоєння проектною сівозміною, а в подальшому він може використовуватися як нагульний і зимувальний при риборозведенні. При малогербіцидній технології вирощування сільськогосподарських культур рисової сівозміни перед початком обробітку ґрунту гербіцидами ставок детоксикації має бути заповнений водою до розрахункового рівня, тобто до верхньої межі водозливного порогу водовипуску ВДД-2-600. Заповнення ставка детоксикації проводиться на початку вегетаційного періоду дренажним і скидним стоком, а також, в разі необхідності, і зрошувальною водою з міжгосподарського каналу. До складу гідроспоруд ставка детоксикації входять 8 аераторів та водовипуск ВДД-2-600. Аератор являє собою двуплечовий сталевий трубопровід діаметром 426 мм, до якого підключені насадки «Н-01» у кількості 13 шт. До системи аераторів подається тільки дренажний стік за допомогою дренажної групи насосів насосної станції. Облицювання укосу дамби ставка детоксикації виконано плитами ППК-60-15 по піщаній підготовці товщиною 5 см. Аератори призначені для збагачення води киснем і рівномірного розподілу дренажного стоку за фронтом ставка детоксикації. Розрахункові витрати одного аератора 200 л/с. Обсяг ставка детоксикації 212 тис.м<sup>3</sup>. Водовипуск призначений для підтримки заданих рівнів води у верхньому буфері; пропуску води як в прямому, так в і зворотному напрямку водопровідного тракту.

Буферний ставок призначений для часткової акумуляції скидного стоку і змішування дренажної води зі зрошувальною. Об'єм буферного ставка розрахований на одночасне прийняття обсягу скидного стоку з однієї поливної ділянки. Буферний ставок побудований в комплексі зі ставком детоксикації. З насосною станцією

буферний ставок з'єднується водовипуском ВДД-1-600. Об'єм буферного ставка дорівнює 38 тис.м<sup>3</sup>.

На чеках, для спостереження за зміною засоленості ґрунтів, обладнано ряд сольових стаціонарів (СС), СС-1, СС-3, СС-5, СС-7, СС-9. Сольові стаціонари розміщені в центрі рисових чеків. В якості контрольного обраний сольовий стаціонар СС-10 за межами ЗЧЗС-М, який розміщений в межах землекористування Інституту рису НААН в умовах звичайної рисової зрошувальної системи, побудованої в 1982 році. В межах кожного сольового стаціонару облаштовується ґрунтова свердловина для спостережень за динамікою рівня ґрунтових вод. Спостереження за рівнем ґрунтових вод проводилися у вегетаційний період щодавно, а в невегетаційний період – один раз на місяць.

Ефективність роботи ЗЧЗС-М визначалася порівнянням фактичних показників, що характеризують гідрогеолого-меліоративних стан ґрунтів з їх гранично-допустимими концентраціями (ГДК), а також з проектними показниками гідрогеолого-меліоративного та екологічного стану ґрунтів, які повинна забезпечувати функціонування закритої чекової зрошувальної системи.

На ділянці ЗЧЗС-М впроваджується комплекс заходів, спрямованих на виробництво зерна рису за екологічно чистими, безгербіцидними і малогербіцидними технологіями відповідно до «Рекомендацій з вирощування рису», розробленими науковими співробітниками Інституту рису НААН та ХДАЕУ.

При вирощуванні рису на ЗЧЗС-М найважливішим завданням щодо підготовки ґрунту для запровадження безпестицидної і малопестицидної технологій було створення оптимальних умов росту і розвитку рослин рису протягом вегетаційного періоду (знищення бур'янів, вирівнювання поверхні чеків, глибина загортання насіння до 2,0 см, отримання своєчасних і дружних сходів).

За безпестицидною технологією вирощування рису необхідною умовою є дотримання високої якості вирівнювання поверхні чеків. За такою технологією вирощування рису висіваються ранньо- і середньостиглі сорти культури рису, посів яких скорочує вегетаційний період на 15–20 днів, зменшує зрошувальні норми, покращує якість товарного зерна.

Дотримання розробленої технології вирощування рису забезпечує в умовах закритої чекової зрошувальної системи:

- зниження водоподачі на 1 га сівозмінної площі;
- забезпечення всіх нормативних показників еколого-агромеліоративного стану земель і родючості ґрунтів;
- виключення застосування пестицидів та гербіцидів;
- зниження доз мінеральних добрив, в основному азотних (на 30-50%);
- одноразове внесення добрив перед посівом тільки наземним способом.

Дослідження показали, що в роботі ЗЧЗС-М можливо виділити два характерних періоди:

I період – меліоративний, для якого характерними є 1991–1995 рр. В цей період освоєння на ЗЧЗС-М відбувалося розсолення ґрунтів, вимивання солей з ґрунту в підґрунтові води та винос їх з дренажним стоком.

II період – експлуатаційний. Цей період продовжується з 1995 р. до нинішнього часу (2021 р.).

В I період для покращення еколого-агромеліоративного стану ґрунтів була введена сівозміна з насичення основною культурою рис 35%. У II період сівозміну було змінено: насичення основною культурою рис – 62%. Склад культур не змінився, за виключенням соняшнику, який вирощувався у I періоді.

Зменшення засоленості та покращення загального стану ґрунтів у II періоді відобразилося на урожайності рису. За даними Інституту рису НААН та ДПДГ Інституту рису НААН у першому періоді середня урожайність рису складала 3,66 т/га. На початок 2000-х років цей показник підвищився в середньому на 3,15 т/га і середня урожайність рису на ЗЧЗС-М досягла 6,81 т/га, а в 2011 р. – 7,00 т/га, в 2012 р. – 7,20 т/га, в 2013 р. – 7,50 т/га. Результати виробничих досліджень показали, що ЗЧЗС-М працює впродовж 30 років (1991–2021 рр.), в основному в проектному режимі. В період 2010–2020 рр. урожайність рису на ЗЧЗС-М збільшилась в середньому до 8,0 т/га, а в 2021 р. – до 93 т/га. На звичайних РЗС в ці періоди урожайність рису досягала 6,5–7,5 т/га. Також було вдосконалено сівозміну, збільшилась насиченість основною культурою рис (у 1,77 рази), що значно підвищило економічну ефективність ЗЧЗС-М та інтенсивність техногенного навантаження на агроecosистему. В цілому на ЗЧЗС-М спостерігається загальна тенденція збільшення урожайності рису порівняно з іншими РЗС Інституту рису. На дослідних стаціонарах ЗЧЗС-М відмічалась урожайність рису 10,0 т/га і більше. Урожайність є інтегруючим показником економічної та еколого-агромеліоративної ефективності всіх гідромеліоративних систем, в тому числі і рисових.

Дослідженнями визначено основні технологічні показники роботи ЗЧЗС-М в експлуатаційний період (виробничий режим): зрошувальні норми рису – 13–14 тис. м<sup>3</sup>/га, супутніх сільськогосподарських культур – 2,4 тис. м<sup>3</sup>/га; дренажний стік – 2,5–3,0 тис. м<sup>3</sup>/га; режим ґрунтових вод у не вегетаційний період – напів-гідроморфний, у вегетаційний – гідроморфний, що є характерним для рисових зрошувальних систем із сприятливим еколого-меліоративним станом. ЗЧЗС-М забезпечує зниження рівня ґрунтових вод на початку вегетаційного періоду до глибини 1,8–2,2 м, відносно стабільну мінералізацію ґрунтових вод 2,1–2,6 г/дм<sup>3</sup> і тип їх хімічного складу – сульфатно-гідрокарбонатний, магнієво-натрієвий. Накопичення запасів солей в зоні аерації за період 1990–2021 рр. не визначено. Загальна засоленість ґрунтів зони аерації не перевищувала 0,2%, тип засолення ґрунтів хлоридно-сульфатний суттєво не змінився. ЗЧЗС-М забезпечує оперативного управління еколого-меліоративним режимом агроландшафтів, в першу чергу, ґрунтів.

Закрита чекова зрошувальна система за 30 років її експлуатації показала, що на ній при відповідних технологіях вирощування рису є можливість забезпечити проектний еколого-меліоративний режим, потрібний для досягнення проектних урожаїв рису та супутніх сільськогосподарських культур. Одержано сертифікат на екологічно чисту сільськогосподарську продукцію, яка вирощується в умовах ЗЧЗС-М.

В основу обґрунтування еколого-економічної доцільності широкого впровадження ЗЧЗС-М покладені принципи, розроблені ІВПіМ НААН (П.І. Коваленко, Б.І. Чалий, А.І. Тищенко, 1991), методика еколого-економічної оцінки, яка використовується при екологічній експертизі проектів (М.А. Пустовойт та ін., 1986), а також галузеві методики визначення техніко-економічних показників (ТЕП) РЗС. В результаті комплексних багаторічних досліджень встановлено, що ТЕП ЗЧЗС-М має перевагу порівняно з еталоном – картою Кубанського типу, а також із картою Краснодарського типу. Основні ТЕП ЗЧЗС-М: коефіцієнт земельного використання (КЗВ) – 0,96; коефіцієнт корисної дії (ККД) – 0,96; коефіцієнт використання води (КВВ) – 0,83; строк окупності – 6,5–8,2 роки. На ЗЧЗС-М економія зрошувальної води порівняно з діючими РЗС у 2–2,5 рази більше, впровадження

цієї системи значно поліпшує еколого-агримеліоративний стан ландшафту та морської акваторії. Результати 30-річних досліджень свідчать про високий рівень технічної, економічної та еколого-меліоративної ефективності закритої чекової зрошувальної системи конструкції В.Й. Маковського і дозволяють впроваджувати її при реалізації Стратегії зрошення і дренажу в Україні до 2030 року.

Якщо виразити забір води на зрошення сільськогосподарських культур ЗЧЗС-М у відсотках, то забір води з каналу Х-13-Р становив 77–78%, забір води з дренажу та використання на повторне зрошення склав 22–22,5%. Подача води на зрошення становить 91–92%, а подача води в ставок детоксикації – 8–9% від загальної кількості усєї води, що брала участь в водообігу на ЗЧЗС-М. Зрошувальна норма рису за вегетаційний період становить 12 800–13 600 м<sup>3</sup>/га, в порівнянні з існуючою на звичайних рисових системах в даному регіоні – 25 000–30 000 м<sup>3</sup>/га. Це пов'язано насамперед з тим, що на ЗЧЗС-М відсутні технологічні скиди дренажної води в акваторію Чорного моря. Вся дренажна вода після попередньої підготовки в ставках детоксикації та подальшого розведення зі зрошувальною та скидною водою в буферному ставку використовується на повторне зрошення в межах даної системи. Економія поливної води, як свідчать дані багаторічних досліджень, складає 49–55%.

**Висновки і пропозиції.** Конструкція закритої чекової зрошувальної системи В.І. Маковського (ЗЧЗС-М) була розроблена, побудована і функціонує з метою підвищення урожайності рису і супутніх культур, економії забору зрошувальної води та зменшення скидів води за межі рисової зрошувальної системи, а також зменшення пестицидного і гербіцидного навантаження на ґрунти та сільськогосподарські культури, що вирощуються. Це одна з найважливіших переваг даної системи перед існуючими звичайними зрошувальними рисовими системами.

В процесі багаторічних виробничих досліджень була відпрацьована технологія функціонування ЗЧЗС-М. Установлений високий рівень технічної, економічної та еколого-меліоративної ефективності ЗЧЗС-М дозволяє рекомендувати її при реконструкції рисових зрошувальних систем на слабодренуваних і безстічних землях приморських низовин в Південному регіоні України.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Морозов В.В., Дудченко В.В., Корнбергер В.В. Природоохоронне нормоване водокористування при вирощуванні рису. Херсон, вид-во ХДУ, 2010. 249 с.
2. Титков А.А., Кольцов А.В. Эволюция рисовых ландшафтно-мелиоративных систем Украины. Симферополь : СОНАТ, 2007. 308 с.
3. Технологія нормованого водокористування при вирощуванні рису з врахуванням вимог ресурсо- та природо збереження в господарствах України / В.В. Дудченко, В.Г. Корнбергер, В.В. Морозов та ін. За ред. В.В. Морозова. Херсон, вид-во ХДУ, 2009. 103 с.
4. Рис в Україні: [колективна монографія] / за ред. д.т.н., професора, член-кор. НААНУ В.А. Сташука, д.т.н., професора А.М. Рокочинського, д.е.н., професора Л.М. Грановської. Херсон : Грінь Д.С., 2014. 976 с.
5. Рисові зрошувальні системи: використання дренажно-скидних вод : монографія / В.В. Дудченко, В.Г. Корнбергер, В.В. Морозов, О.В. Морозов, К.В. Дудченко. Херсон : ФОП Грінь Д.С., 2016. 212 с.
6. Сташук В.А., Рокочинський А.М., Мендусь П.І., Турченко В.О. та ін. (за ред. чл.-кор. НААН Сташука В.А., проф. Рокочинського А.М., доцента Мендуся П.І., доцента Турченюка В.О.) Рисові зрошувальні системи: Посібник для вищих навчальних закладів. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2018. 435 с.

7. Підвищення ефективності функціонування рисових зрошувальних систем України: науково-методичні рекомендації / за заг. ред. Сташука В.А., Вожегової Р.А., Дудченка В.В., Рокошинського А.М., Морозова В.В.). Вид. 2-ге, перероб. та доповн. [Електронне видання]. Київ – Херсон – Рівне : НУВГП, 2020. 203 с.

#### REFERENCES:

1. Morozov, V.V., Dudhenco, V.V., Kornberger, V.G. (2010). Prirodooxoronne normovane vodokoristuvannya pri vuroshyvani risy [Environmental standardized water use in rice cultivation]. Kherson : Vyd-vo KhDAEU [in Ukrainian].
2. Titcov, A.A., Colzov, A.V. (2007). Evolyzia pisovux landshaftno-meliorativnix sistem Ykraiyny [Evolution of rice landscape-reclamation systems of Ukraine]. Simferopol : Vyd-vo SONAT [in Ukrainian].
3. Tehnologia normopvanogo vodokoristyvania pri virishyvani risy z vraxuvaniem vymog resyrso – ta prirodozberezhenya v gospodarstvax Ykraiyny [Technology of standardized water use in rice cultivation, taking into account the requirements of resource and nature conservation in Ukrainian farms] / V.V.Dudhenco, V.V.Morozov, V.G. Kornberger and other. Za red. V.V. Morozova. Kherson : Vyd-vo KhDU [in Ukrainian].
4. Ris v Ykraine [kolektivna monografia] [Rice in Ukraine] / za red. V.A. Stashyka, A.M. Rokothinskogo, L.M. Granogskoy. Kherson : Vyd-vo Grin D.S. [in Ukrainian].
5. Risovi zroshyvalny systemy: vikoristanya drenagno-skidnyx vod [Rice irrigation systems: use of drainage and wastewater] : monografia / V.V. Dydhenko, V.G. Kornberger, V.V. Morozov and other. Vyd-vo Grin D.S. [in Ukrainian].
6. Stashyk, V.A., Rokothinskiy, A.M., Mendys, P.I., Turhenyk, V.O. ta in. (za red. Stashyka V.A., Rokothinskogo A.M., Mendysya P.I., Turhenyka V.O.). (2018). Pisovi sroshyvalny systemy [Rice irrigation systems] : posibnik dlya navhalnyx zakladiv. Kherson : Vyd-vo OLDI-PLYS [in Ukrainian].
7. Pidvishenya efektyvnosti fynkzionyvania risovix zroshyvalnyx sistem Ykraiyny [Improving the efficiency of rice irrigation systems in Ukraine]: naykovo-motodichni rekomendatziy / za red. Stashyka V.A., Vozhegovoy R.A., Rokothinskogo A.M., Morozova V.V. Vid. dryge perorobleno ta dopovnene [elektrone vidahia]. Kiev – Rivne – Kherson : Vyd-vo HYVGP [in Ukrainian].



---

# БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

---

## CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING

УДК 624.151.6

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.2.8>

### МЕТОД ПОПЕРЕДНЬОГО НАПРУЖЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЩО ПІДВИЩУЄ ЇХ МІЦНІСТЬ

---

**Чеканович М. Г.** – кандидат технічних наук,  
професор кафедри будівництва, архітектури та дизайну  
Херсонського державного аграрно-економічного університету  
ORCID ID: 0000-0002-9110-4109  
Scopus-Author ID: 57192938389&

*Проаналізовані відомі у міжнародній будівельній практиці технології попереднього напруження залізобетонних конструкцій. Такі технології базуються на способах попереднього напруження «на упори» та «на затверділий бетон». Застосування цих способів дозволяє підвищити жорсткість та тріщиностійкість залізобетонних конструкцій. Разом з тим, застосування вказаних способів практично не впливає на міцність бетону, а зрештою, і на міцність конструкцій.*

*Ущільнення бетону в конструкції представляється суттєвим резервом підвищення міцності бетону і конструкцій в цілому. Одним з ефективних способів ущільнення бетонної суміші є її пресування, особливо тривале пресування. Таким чином, за технологією виготовлення ми маємо силу попереднього обтиску і знаємо про ефект підвищення міцності бетону завдяки пресуванню.*

*В даній статті автором запропоновано поєднати два позитивних фактори – попереднє напруження арматури і тривале пресування бетону в один технологічний процес. В результаті автором створений метод попереднього напруження залізобетонних конструкцій з натягом арматури на свіжоукладену бетонну суміш. При цьому передача зусилля попереднього напруження здійснюється також на бетонну суміш. В результаті бетон твердне під тиском, збільшує свою щільність та, відповідно, міцність.*

*Виконані експериментальні дослідження результати яких засвідчили зміцнення бетону під тиском попереднього напруження в конструкції. При цьому помічено ефект збільшення напруження в арматурі при твердінні бетону у замкненому просторі.*

*Щільність бетону в зразках, виготовлених при обтискуванні зусиллями попередньої напруги свіжої суміші бетону, перевищила щільність бетону в зразках, виготовлених при обтискуванні затверділого бетону на чотири з половиною відсотки.*

*Виконана оцінка міцності бетону залізобетонних елементів з натягом арматури на свіжоукладену бетонну суміш. В результаті передачі сил попереднього напруження на бетонну суміш відбувається тривале її пресування, що збільшило міцність бетону конструкції на третину.*

**Ключові слова:** міцність, попереднє напруження, свіжоукладена бетонна суміш, пресування, щільність, спосіб на бетонну суміш.

---

***Chekanovych M. H. A method of prestressing reinforced concrete structures that increases their strength***

*The paper analyzes the technologies of prestressing reinforced concrete structures known in international construction practice. Such technologies are based on pretensioning and post-tensioning methods of prestressing (on hardened concrete). The use of these methods allows us to increase the rigidity and crack resistance of reinforced concrete structures. However, the use of these methods has little effect on the strength of concrete, and ultimately on the strength of structures.*

*The compaction of concrete in the structure is a significant reserve for increasing the strength of concrete and structures in general. One of the effective ways of concrete mix compaction is its pressing, especially long-term pressing. Thus, according to the manufacturing technology, we have the force of pre-compression and we know about the effect of increasing the strength of concrete due to pressing.*

*In this paper, the author proposes to combine two positive factors – prestressing of rebars and long-term pressing of concrete in one technological process. As a result, the author created a during-tensioning method of prestressing reinforced concrete structures when steel stress force is applied to freshly-placed concrete mix. In this case, the transfer of prestressing force is also carried out on the concrete mix. As a result, concrete hardens under pressure, increases its density and, consequently, strength.*

*Experimental studies have been performed, their results confirm the strengthening of concrete under prestressing pressure in the structure. The effect of increasing the stress in the rebars during hardening of concrete in an enclosed space was observed.*

*The density of concrete in the samples made with compressing fresh concrete mix by the forces of prestressing exceeded four and a half percent the density of concrete in the samples made with compressing hardened concrete.*

*The strength of concrete of reinforced concrete elements with rebar tensioning on freshly-placed concrete mix has been evaluated. As a result of the transfer of prestressing forces to the concrete mix its prolonged pressing takes place, which increases the strength of the concrete structure by a third.*

***Key words:*** strength, prestress, freshly-placed concrete mix, pressing, density, during-tensioning method.

**Вступ.** Хід розвитку в усіх сферах життєдіяльності країни вимагає по-новому переглянути традиційні технології виробництва. В галузі будівництва базою для виробництва попередньо напруженого бетону є перевірені довголітньою практикою способи попереднього напруження арматури «на упори» та «на бетон» [1–3]. Ці два способи передбачають передачу сил попереднього напруження арматури на бетон після того, як він набере достатню передаточну міцність. Технологія виробництва попередньо напруженого бетону за цими двома способами добре відпрацьована і забезпечує надійність та довговічність виготовлених конструкцій в експлуатації.

При цьому залишаються не використаними резерви міцності будівельних матеріалів, що дозволяють підвищити несучу здатність залізобетонних конструкцій за рахунок удосконалення технології їх виготовлення, поліпшення методів попереднього напруження конструкцій [3, 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як відомо, залізобетонні конструкції покращують свої показники жорсткості і тріщиностійкості при їх попередньому напруженні. Традиційне попереднє напруження за способами «на упори» – pretension та «на бетон» – post-tension практично не впливає на міцність бетону і залізобетонної конструкції в цілому [1–4]. В той же час відомо, що пресування бетонів дозволяє ущільнити його структуру і значно підвищити його міцність. Але застосування пресування потребує значних додаткових витрат енергії та технологічно складне [5].

Разом з тим указані вище способи мають ряд істотних недоліків, які закладені самою технологією виготовлення конструкцій. Такими недоліками є порівняно низькі показники щільності бетону та міцності конструкцій. Мається на увазі,

що міцність компонентів, які входять до складу бетону, наприклад щебню, піску, недовикористовується, а щільність їх у бетоні не можна підняти традиційними методами попереднього напруження.

До недоліків розглянутих способів слід додати також значні витрати часу, який потрібний для тверднення бетону, бо тільки після цього на нього буде передана попередня напруга арматури і можна готувати конструкцію до експлуатації.

**Постановка проблеми.** Оскільки відомі методи, технології попереднього напруження не впливають на міцність бетону, і зрештою на міцність конструкції з нього, а лише покращують жорсткість і тріщиностійкість, залишається не використаним резерв міцності будівельних матеріалів. У зв'язку з цим розробка методу попереднього напруження залізобетонних конструкцій, що дозволяє суттєво підвищити їх міцність за рахунок ефективного використання міцності будівельних матеріалів представляється перспективною у галузі будівництва [1–4].

Удосконалення технології, що значною мірою усуває зазначені недоліки, на наш погляд, дозволить підняти міцність та якість попередньо напружених конструкцій, а також знизити витрати часу на їх виготовлення повинно базуватися на новому методі попереднього напруження.

**Метою дослідження** є розробка основ методу попереднього напруження залізобетонних конструкцій, що підвищує їх міцність.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Одним з напрямків удосконалення технології виробництва попередньо напружених залізобетонних конструкцій є запропонований автором спосіб виготовлення, при якому натяг арматури та передача сил попередньої напруги здійснюються на обтиснену бетонну суміш до її затвердіння. Цей спосіб суміщає операції по натягу арматури та ущільненню бетону [6]. Крім того, в процесі натягу арматури свіжоукладена бетонна суміш піддається дії попереднього напруження внаслідок обтиснення, що призводить до витискання зайвої води, а також до більш щільного упакування компонентів бетону (щебню, піску, розчину) та забезпечує кращий контакт поверхні арматури з бетонною сумішшю. Ефект ущільнення бетону підсилюється динамічними діями на суміш. Після досягнення оптимальної щільності суміші динамічні дії закінчуються, попередню напругу арматури доводять до потрібної і тверднення бетону відбувається в обтисненому стані.

Все це дає змогу підвищити міцність і якість виготовлених конструкцій без значних матеріальних і енергетичних витрат, але при деякому ускладненні технології виробництва, яка під силу будь-якій будівельній організації.

З метою перевірки дієвості запропонованого способу та порівняння фізико-механічних параметрів зразків, виготовлених за запропонованим способом з традиційними, виготовленими шляхом натягу арматури на упори, нами були виготовлені в лабораторії дві серії зразків балок із попередньо напруженого бетону.

Перша серія «СМ» складалась з трьох зразків балок, виготовлених способом натягу арматури та передачі попередньої напруги на свіжоукладену бетонну суміш, друга «УП» – з трьох зразків тих же параметрів балок, які виготовлялись з натягом арматури на упори та передачею сил попередньої напруги на затверділий бетон після досягнення ним потрібної передатної міцності [7]. Усі шість зразків мали розміри 120 x 120 x 1150 мм і виготовлялись з одного замісу бетону класу С25/30. Склад бетону без домішок у перерахунку на 1 м<sup>3</sup> вміщував: цементу – 456 кг, щебню – 1312 кг, піску – 472 кг, води – 170 л. Для виготовлення зразків балок використовували: цемент марки 400 Ольшанського цементного заводу, в якому об'ємна частка добавки з гранульованого шлаку складала до 20%; пісок

кварцовий Ігнатпольського кар'єру Житомирської області з модулем крупності 2,65; щебінь гранітний з кар'єру «Трикратно» з розміром зерен до 20 мм марки 1000; воду питну; арматурну сталь класу Вр-II діаметром 5 мм.

Арматурний стержень розміщувався в центрі поперечною перелізу зразка по його поздовжній осі. Бетонну суміш готували в стандартному лабораторному бетонозмішувачі.

Форми для зразків (рис. 1) виготовляли зі сталі. Вони склалися з піддону, двох повздовжніх та двох торцевих бортів. Торцеві борти не прикріплювались до піддону, повздовжніх бортів та верхньої кришки. Між піддоном та бортами вкладали ущільнювач зі спеціального картону, а на пересувних торцях ставили гумові ущільнювачі.

Натяг арматури та передачу попередньої напруги на бетонну суміш виконували в такому порядку. В отвори, зроблені на торцях форми, просували арматуру, потім укладали бетонну суміш, яку ущільнювали вібратором, а тоді форму зверху закривали кришкою і механічним способом натягували арматуру відносно бетонної суміші безпосередньо через пересувці торцеві пластини при одночасній динамічній дії на суміш. Розміщені по торцях форми пересувні пластини зближались за рахунок передачі на них сил натягу арматури, бетонна суміш ущільнювалась, а крізь картонні ущільнювачі фільтрувалася і витікала зайва вода, при цьому наявність в ній цементу візуально встановити не вдалось.

Другу серію балок виготовляли загальноприйнятими методами.

Процес передачі зусилля від арматури на незатверділу бетонну суміш підтверджує те, що спочатку зусилля приймає на себе вода, завдяки чому була витиснута зайва її частина у суміші, а після цього зусилля передається на зерна щебню, які, при динамічній дії на бетон, переупаковувались, ущільнюючи бетонну суміш, і за рахунок цього рухались торцеві щити форми, обтискуючи бетон. Зменшення води в бетоні і краще ущільнення підвищують його міцність при тих самих складових компонентах бетону.

Протягом 28 діб зусилля в арматурних елементах підтримувалось постійним відносно бетону через рухомі торцеві борти форми. Напругу в арматурі контролювали силівимірювальними приладами ДПУ-5 та індикаторами з ціною поділок 0,01 мм. Температура в приміщенні, де знаходились зразки, підтримувалася 18...20 °С.

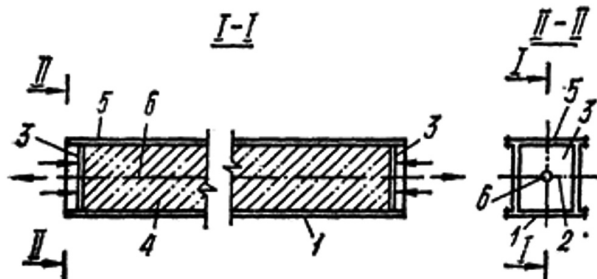


Рис. 1. Металева форма для виготовлення зразків з передачею зусиль попередньої напруги арматури на незатверділу бетонну суміш:

1 – металевий піддон; 2 – борт боковий; 3 – торцева рухома пластинка завтовшки 10 мм; 4 – бетонна суміш; 5 – верхня металева кришка; 6 – арматурний елемент діаметром 5 мм класу Вр-II

При твердненні бетону спостерігалось явище, коли на всіх трьох зразках було зареєстроване розсування торцевих бортів закритої форми. Воно інтенсивно проходило у перші шість діб, а на 28-у добу становило відповідно 0,52, 0,61 та 0,58 мм. Втрата попередньої напруги арматури в зразках був меншим порівняно з нормативним.

Розсування торцевих бортів можна пояснити, на наш погляд, набуханням бетону в закритій формі та іншими явищами, але це потребує додаткового дослідження. Дані результатів випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Дані випробувань зразків балок з бетону класу C25/30  
розміром 120 x 120 x 1150 м**

Марка зразка	Площа перерізу арматури, мм <sup>2</sup>	Об'ємна маса бетону зразків, кг/м <sup>3</sup>	Середня об'ємна маса в серії, кг/м <sup>3</sup>	Міцність бетону на 28-у добу, МПа		Напруження в бетоні від попереднього обтиску, МПа
				зразків	в серії	
1СМ	19,63	2470	2466	51,9	50,8	1,53
2СМ	19,63	2462		50,1		1,50
3СМ	19,63	2466		50,4		1,51
1УП	19,63	2360	2359	39,0	39,03	1,53
2УП	19,63	2368		39,6		1,52
3УП	19,63	2350		38,5		1,49

Як видно з таблиці, щільність бетону в зразках, виготовлених при обтискуванні зусиллями попередньої напруги свіжої суміші бетону, перевищує щільність бетону в зразках, виготовлених при обтискуванні затверділого бетону в середньому на 4,5 %, а його міцність — на 30 %.

Виконані експериментальні дослідження на зразках з центральним попереднім обтиском показали, що запропонований спосіб виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій «на бетонну суміш» може бути застосований в промисловості для виробництва підвісок аркових мостів, паль, стоянів, плит різних розмірів, залізничних шпал та інших подібних конструкцій. Обсяг виробництва таких конструкцій протягом одного року налічує декілька тисяч кубометрів.

**Висновки і пропозиції.** Проведені експериментальні дослідження довели, що запропонований метод виготовлення попередньо напружених залізобетонних конструкцій «на бетонну суміш» дозволяє на третину підняти міцність бетону, що сприяє зменшенню матеріаломісткості конструкцій. Такий спосіб може бути впроваджений в промислових умовах для виготовлення попередньо напружених подібних конструкцій, обсяг яких протягом одного року виготовлення налічує декілька тисяч кубометрів в Україні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Основные положения: ДБН В.2.6-98:2009. [Действ. от 2011-06-01]. К., 2011. 71 с. (Государственные строительные нормы Украины).
2. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования: ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [Действ. от 2011-06-01]. К., 2011. 166 с. (Национальный стандарт Украины).

3. Eurocode 2: Design of concrete structures. – Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30–82.
4. British Standards Institute, (2000), —Structural Use of Steelwork in Building, Part 1: Code of Practice for Design – Rolled and Welded Sections, BS 5950-1:2000.
5. Бабич Є., Жук Є. Вплив величини напруги початкового і тривалого і тривалого пресування на міцність бетону. *Будівельні матеріали і конструкції*. 1973. № 1. С. 36–37.
6. Способ предварительного напряжения арматуры железобетонных изделий: А. с. 1330284 СССР, МКИ Е 04 G 21/12. / М. Г. Чеканович. № 3992514/29-33; заявл. 19.12.85; опубл. 15.08.87, Бюл. № 30. 2 с.
7. Розрахунок будівельних конструкцій : навчальний посібник / М.Г. Чеканович, О.Є. Янін. Видання 2-ге, доповнене і перероблене. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 60–75.

#### REFERENCES:

1. DBN V.2.6-98:2009. (2011). *Betonnnye i zhelezobetonnye konstruksii iz tyazhelogo betona. Osnovnye polozheniya (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy)* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Basic provisions. (State building codes of Ukraine)]. Kyiv. 71 s. [in Russian]
2. DBN V.2.6-98:2009. (2011). *Betonnnye i zhelezobetonnye konstruksii iz tyazhelogo betona. Pravila proyektirovaniya: DSTU B V.2.6-156:2010 (Gosudarstvennyye stroitel'nyye normy Ukrainy)* [Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Basic provisions. (State building codes of Ukraine)]. Kyiv. 166 s. [in Russian]
3. Eurocode 2: *Design of concrete structures*. Part 1-1: General rules and rules for buildings, p. 30–82 [in English]
4. British Standards Institute, (2000). *Structural Use of Steelwork in Building*, Part 1: Code of Practice for Design – Rolled and Welded Sections, BS 5950-1:2000 [in English]
5. Babych Ye., Zhuk Ye. (1973). Vplyv velychyny napruhy pochatkovoho i tryvalooho i tryvalooho presuvannia na mitsnist betonu. [Influence of initial and long-term and long-term compressive stress on concrete strength]. *Budivelni materialy i konstruksii* [Building materials and structures]. № 1. S. 36–37 [in Ukrainian]
6. Chekanovich M.G. (1987). *Sposob predvartelnoho napriazheniya armatury zhelezobetonnykh izdeliy (avtorskoye svidetel'stvo 1330284 SSSR, MKY E 04 G 21/12. #3992514/29-33)* [The method of prestressing reinforcement of reinforced concrete products certificate of authorship 1330284 SSSR, MKY E 04 G 21/12. #3992514/29-33)] Byul. no. 30. 2 s. [in Russian]
7. Chekanovych M.H., Yanyn O.YE. (2021). *Rozrakhunok stroytel'nykh konstruksiy* [Calculation of building structures]. Kherson. OLDY-PLYUS. 60–75 [in Ukrainian]

**ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК**

Болгова Н.В.....	18	Морозов В.В. ....	47
Вдовичин Т.Я.....	10	Морозов О.В.....	47
Ворона А.Р. ....	37	Новікова Н.В.....	32
Димова Г.О. ....	3	Прусасв І.В. ....	32
Дудченко К.В. ....	47	Савчук Н.В. ....	18
Ємел'янова Т.А.....	37	Самілик М.М. ....	18
Когут У. П.....	10	Сікора О.В.....	10
Корнбергер В.Г. ....	47	Чеканович М.Г. ....	57
Крижак Л.М. ....	24		

## ЗМІСТ

<b>КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	3
<b>Димова Г. О.</b> Розробка моделі складання розкладу занять методом еволюційного пошуку .....	3
<b>Сікора О. В., Вдовичин Т. Я., Когут У. П.</b> Технології програмування інформаційних систем .....	10
<b>ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	18
<b>Болгова Н. В., Самілик М. М., Савчук Н. В.</b> Розширення асортименту макаронних виробів з $\beta$ -каротином .....	18
<b>Крижак Л. М.</b> Виділення антоціанів (пігментів) методом оптимального підбору екстракції кліторії трійчастої ( <i>Clitoria Ternatea</i> ) .....	24
<b>Новікова Н. В., Прусасв І. В.</b> Вивчення товарознавчої оцінки та харчової цінності борошняних кондитерських виробів функціонального призначення.....	32
<b>ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ВОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....	37
<b>Ємел'янова Т. А., Ворона А. Р.</b> Комп'ютерне моделювання несучої здатності короткого циліндричного резервуару з гнучким днищем на жорсткій основі .....	37
<b>Морозов В. В., Морозов О. В., Корнбергер В. Г., Дудченко К. В.</b> Технічне удосконалення конструкції рисових зрошувальних систем .....	47
<b>БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ</b> .....	57
<b>Чеканович М. Г.</b> Метод попереднього напруження залізобетонних конструкцій, що підвищує їх міцність .....	57



## CONTENTS

<b>COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY</b> .....	3
<b>Dymova H. O.</b> Development of a class scheduling model using the evolutionary search method .....	3
<b>Sikora O. V., Vdovychyn T. Ya., Kohut Y. P.</b> Information systems programming technologies .....	10
<b>FOOD TECHNOLOGY</b> .....	18
<b>Bolgova N. V., Samilyk M. M., Savchuk N. V.</b> Expanding the range of pasta with $\beta$ -carotene .....	18
<b>Kryzhak L. M.</b> Isolation of Anthocyanins (pigments) by the method of optimal selection of <i>clitoria ternatea</i> extraction .....	24
<b>Novikova N. V., Prusaiev I. V.</b> Study of commodity evaluation and nutritional value of functional flour confectionery .....	32
<b>HYDRAULIC CONSTRUCTION, WATER ENGINEERING AND WATER TECHNOLOGIES</b> .....	37
<b>Yemelianova T. A., Vorona A. R.</b> Computer simulation of the carrying capacity of a short cylindrical tank with a flexible bottom on a rigid base.....	37
<b>Morozov V. V., Morozov O. V., Kornberger V. G., Dudchenko K. V.</b> Technical improvement of the design of rice irrigation systems.....	47
<b>CONSTRUCTION AND CIVIL ENGINEERING</b> .....	57
<b>Chekanovych M. H.</b> A method of prestressing reinforced concrete structures that increases their strength.....	57

---

# **Таврійський науковий вісник**

## **Випуск 2**

### **Технічні науки**

Підписано до друку 29.04.2022 р.

Формат 70×100/16. Папір офсетний.  
Умовн. друк. арк. 5,4.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»  
73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а  
Телефони: +38 (0552) 39-95-80, +38 (095) 934-48-28, +38 (097) 723-06-08  
E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.