

#4(56), 2020 część 2

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**  
(Ukraina, Kijów)

**Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce.** W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

**Zespół redakcyjny**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**Rada naukowa**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

#4(56), 2020 part 2

**East European Scientific Journal**  
(Ukraine, Kiev)

**The journal is registered and published in Poland.** The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

**Editorial**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**The scientific council**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College  
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Kehan Schreiner(Hebrew University)**

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan  
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**1000 kopii.**

**Wydrukowano w Ukraina, Kijów,  
Pobedy Avenu, 56/1, Biuro 115**

**Sp. z o.o."Grupa Konsultingowa  
"Образование и наука"**

**Ukraina, Kijów, Pobedy Avenu, 56/1,  
Biuro 115**

**E-mail: info@eesa-journal.com,**

**<http://eesa-journal.com/>**

**Reprezentacja czasopisma naukowego  
w krajach afrykańskich.**

**Republika Angoli.**

**ADAMSMAT\_SU\_LDA,**

**Sede: Rio Longa\_ prédio Z11 Quarteirão Z,  
N\*23, Município: BELAS, província: LUANDA**

**E\_mail: Adamsmat@mail.ru**

**Contribuinte n\* 5417331007**

**Tel:+244-929527658**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College  
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Kehan Schreiner(Hebrew University)**

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan  
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**1000 copies.**

**Printed in the Ukraine, Kiev, Pobedy  
Avenue, 56/1, office 115**

**LLC "Consulting group  
"Образование и наука"**

**Ukraine, Kiev, Pobedy Avenue, 56/1,  
office 115**

**E-mail: info@eesa-journal.com,**

**<http://eesa-journal.com/>**

**Representation of a scientific journal in  
African countries:**

**Republic of Angola**

**ADAMSMAT\_SU\_LDA,**

**Sede: Rio Longa\_ prédio Z11 Quarteirão Z,  
N\*23, Município: BELAS, província: LUANDA**

**E\_mail: Adamsmat@mail.ru**

**Contribuinte n\* 5417331007**

**Tel:+244-929527658**

# СОДЕРЖАНИЕ

## АРХИТЕКТУРА

<b>Боборикін О.С.</b> ТЕНДЕНЦІЇ В ІНТЕГРАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТУ У МІСЬКУ ЗАБУДОВУ .....	4
---	---

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Ткаченко Е.К., Шнайдер С.А., Савельева Н.Н., Гороховский В.Н., Суслова О.В.</b> ТОКСИЧЕСКАЯ Кальций-дефицитная модель пародонтита TOXIC CALCIUM DEFICIENCY MODEL OF PERIODONTITIS .....	11
<b>Мамадалиева Н.И., Саатов Т.С., Обидова Д.Д.</b> МЕХАНИЗМЫ НАРУШЕНИЯ МЕТАБОЛИЗМА ЛИПИДОВ В МИОКАРДЕ В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИИ .....	16
<b>Подгаєцький А.А., Мацкевич В.В., Філіпова Л.М., Кравченко Н.В., Гнітецький М.О.</b> АДАПТИВНІСТЬ РОСЛИН НА ЕТАПІ IN VITRO-EX VITVO .....	25

## ВЕТЕРИНАРНЫЕ НАУКИ

<b>Якименко Н.Н., Маннова М.С., Клетикова Л.В.</b> АКТУАЛЬНОСТЬ КОПРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ У ЦЫПЛЯТ .....	34
--	----

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

<b>Kobuliev M., Tie Liu, Lin Yi, Kobuliev Z., Xi Chen, Gulakhmadov A., Vatanbekov F., Yogibekov D.</b> ASSESSING GREEN AND BLUE WATER UTILIZATION IN WHEAT PRODUCTION OF TAJIKISTAN: A SURVEY OF REGIONS, 1980-2015 .....	38
--	----

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Фам Нгок Ван, Ву Хоа Тиен, Као Хью Тинь, До Ван Фан,</b> МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОГЛАСОВАНИЯ ЗОНЫ СРАБАТЫВАНИЯ РАДИОВЗРЫВАТЕЛЯ С ПОЛЕМ РАЗЛЕТА ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОЙ БОЕВОЙ ЧАСТИ ЗЕНИТНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ РАКЕТЫ .....	45
<b>Короли М.А., Иванисова А., Таубалдиев А., Усманов Ж., Гафурова М.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕВЕРСИВНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА «ВОДА-ВОЗДУХ» НА ЛАБОРАТОНОМ СТЕНДЕ «СОЛНЕЧНО-ТЕПЛОНАСОСНАЯ СТАНЦИЯ» .....	53
<b>Малеронок В.В.</b> РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ОТ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ .....	57
<b>Бабаев З.К., Машарипова Ш.М.</b> ОТХОДЫ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА КАК СЫРЬЁ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕСТАВРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ .....	63

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Юлдашева Н., Алиев Р., Насиров М.</b> СТАБИЛИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕДРЕНИЕМ НАНОЧАСТИЦ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ .....	67
--	----

# АРХИТЕКТУРА

УДК 725.95:624.19  
ДРНТІ 67.07.01

**Boborykin O.S.**

PhD arch.,

National Academy of Fine Art and Architecture,  
Kyiv, Ukraine

## TRENDS IN INTEGRATION OF TRANSPORT OBJECTS TO THE CITY BUILDING

**Боборикін О.С.**

к. арх., викладач кафедри проектування,

Національна Академія Образотворчого Мистецтва та Архітектури,  
Київ, Україна

## ТЕНДЕНЦІ В ІНТЕГРАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТУ У МІСЬКУ ЗАБУДОВУ

**Abstract.** The integration of transport facilities in urban development aims to combine the functional and aesthetic qualities of the urban environment, which are the main factors for its harmony. That is why the importance of transport facilities, places of temporary stay of citizens that meet physical needs when passing a certain path and reproduce a certain aesthetic perception of the urban environment is increasing. Such integration is associated with a specific place and specific features of urban development; therefore, there are several main solutions: the primary development approach; primary transport approach and an integrated approach.

**Анотація.** Інтеграція об'єктів транспорту у міську забудову має на меті поєднання функціональних та естетичних якостей містобудівного середовища, які є головними чинниками його гармонійності. Саме через це підвищується значення транспортних об'єктів, місць тимчасового перебування громадян, які відповідають фізичним потребам під час проходження певного шляху та відтворюють певне естетичне сприйняття містобудівного середовища. Така інтеграція пов'язана з конкретним місцем та специфічними рисами міської забудови, тому існує декілька основних шляхів вирішення — підхід первинності забудови; підхід первинності транспорту та комплексний підхід.

*Keywords: transport facilities, urban development, trends in the integration of transport facilities.*

*Ключові слова: транспортні об'єкти, містобудівна забудова, тенденції інтеграції транспортних об'єктів.*

**Постановка проблеми.** Гармонізація міського середовища передбачає наявність високого естетичного рівня його компонентів та їх гармонійне сполучення у поєднанні з функціональністю. В цьому сенсі важливою складовою дизайну міського середовища стають місця сполучення об'єктів транспорту із міською забудовою насамперед через важливість цієї локації для жителів міста які користуються громадським транспортом.

Загалом, побудова транспортних систем спільно з архітектурою у містобудівному середовищі є необхідною складовою загального процесу розвитку міст. За Рудницьким «при проектуванні систем транспортно обслуговування сучасних міст потрібно критично оцінювати весь накопичений містобудівний досвід і шукати оптимальне рішення на основі наукового аналізу цього досвіду в світлі діючих завдань сучасного розвитку міст», а «транспортне рішення міст майбутнього треба готувати заздалегідь». [5, с. 27]. Таким чином грамотне поєднання транспортногo вузла із архітектурною будівлею надає крім зручності в повсякденному використанні ще й особливої виразності архітектурному середовищу. Міська система руху

громадського транспорту передбачає ділянки, де можлива посадка і висадка людей. Саме ці зупинки, а також вузли стиковки різних транспортних систем «є ключовими елементами у проектуванні комплексів громадського транспорту з точки зору інтересів людей, які здійснюють поїздку» [5, с. 29], функціональна та естетична організація цих вузлів впливає на якість міського середовища. Однією з невирішених задач загальної проблеми гармонійної побудови транспортних систем спільно з архітектурою у містобудівному середовищі є відсутність аналізу ролі історико-культурного потенціалу сформованого історичного ядра міста для вирішення функціональної та естетичної організації місця сполучення об'єктів транспорту із міською забудовою та аналізу нових підходів в поєднанні транспортних вузлів з міською структурою.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідженням синтезу транспортних об'єктів із міською забудовою присвячені роботи зарубіжних науковців: Брайан Едвардс (Brian Edwards), Уїлл Джонс (Will Jones), І. Є. Сеськін та ін. В роботі «Архітектура транспортних споруд» автори І. Є. Сеськін та Б. Г. Іванов висвітлюють взаємодію конструктивних рішень споруд транспорту з

архітектурними формами, а також ув'язці їх з архітектурним середовищем і природним ландшафтом [1]. Однак на сьогодні немає фундаментального наукового дослідження, що розкривало б специфіку поєднання транспортних об'єктів із міською забудовою як одного з засобів гармонізації міського середовища.

**Мета статті.** Розкрити специфіку синтезу транспортних об'єктів із міською забудовою для визначення основних підходів до рішення інтеграції транспорту в міську забудову.

**Основна частина.** Завдяки тому, що транспорт є невід'ємною частиною міської системи сполучення, підвищується значення інтеграції об'єктів цього типу в міську забудову, оскільки вони формують гармонійне міське середовище. В цьому сенсі привертають увагу будівлі Києва, які на певному історичному етапі прийняли транспортну функцію — в якості вхідних вестибюлів метрополітену, місць виходу з підземно-урбаністичного простору метро назовні.

Так будинок по вул. Городецького, 13 (арх. В. В. Городецький, 1895-1897 рр.), що будувався як прибутковий будинок з торговим домом Йосифа Кімаєра, був результатом спільної праці разом з відомим на той час техніком Мартином Клугом.

Під час другої світової війни будівля сильно постраждала — зберігся частково лише монументальний фасад. При реконструкції у 1965р., через п'ять років після відкриття станції метро "Хрещатик", перший поверх будівлі було обладнано під "верхній" або східний вихід метрополітену, який здійснюється безпосередньо скрізь історичну будівлю щільно забудованої вулиці архітектора Городецького [3] (Рис. 1а).

**Станція метрополітену "Золоті ворота",** що була побудована за проектом архітекторів В. Жежеріна, Б. Жежеріна, Ф. Заремби, А. Крушінського та відкрита у 1989 р., за версією газети "The Daily Telegraph" ввійшла до

списку 22 найгарніших станцій метро Європи. Верхній вестибюль станції знаходиться в історичній будівлі на розі вул. Володимирської, 4 та Золотоворітського проїзду, 3. Її історія починається наприкінці XIX ст., коли цю двоповерхову будівлю добудовував архітектор В. Ніколас у 1880-1881 рр., а у 1931-му архітектор Б. Цетлін прилаштував мансарду. У 1944-му їй було передано Держлітвиданню України, згодом видавництву «Дніпро». В зв'язку з будівництвом метрополітену частина будівлі з боку двору була розібрана, а сама вона набула нової функції: 1989 року будівля стає входом до верхнього вестибюлю метро "Золоті ворота", який здійснюється безпосередньо через перший поверх, причому з двох вулиць (Рис. 1б).

Схожі аналоги існують також за кордоном. Але з огляду на те, що метрополітен в Європі виник значно раніше ніж в Україні, нерідко суміжна функція в будівлі закладалась відразу. Прикладом можуть бути деякі станції лондонського метрополітену такі як "Беккер стріт" та "Мургейт стейшн" (Рис. 1с, d). Так станція метрополітену "Беккер стріт" є найдавнішою в світі. Вона була відкрита у складі лінії Metropolitan Railway (MR) 10 січня 1863 року у складі першої в світі лінії метро. Вестибюль станції метро знаходиться у вражаючій споруді на Мерілбон-Роуд, Споруда складається з п'яти поверхів офісних поверхів під атиком та великої двоповерхової мансарди.

"Мургейт стейшн" є не менш визначною цегляною шестиповерховою будівлею з великим фронтоном та кутовою вежею (арх. Ф. Фіггіс, 1900р.). Ця споруда була побудована одразу як станція метро з магазином. Кам'яний цокольний поверх з масивними арковими сегментами органічно містить вестибюль та касовий зал станції. Будівля піддавалася декільком реконструкціям, але зберегла свою первинну виразність.



a



b



Рис. 1. Виходи з метрополітену інтегровані в забудову: а – верхній вихід з метро “Хрещатик” в м. Києві; б – вихід з метро “Золоті Ворота” в м. Києві; с – вихід з метро “Мургейт стейшн” в м. Лондоні; д – вихід з метро “Беккер стріт” в м. Лондоні.

Аналіз новітніх тенденцій та світового досвіду влаштування міського транспорту доводить, що перевага в містах надається саме розвитку наземного транспорту, зокрема рейковому. Якщо розглядати сучасні приклади інтеграції наземного транспорту в міську забудову, треба відзначити вокзалні, зупиночні та транзитні поєднання станцій із забудовою. Згідно «Рекомендацій щодо проектування суспільно-транспортних центрів (вузлів) у великих містах», що розроблені ЦНДІП містобудування Держбуду, при формуванні громадсько-транспортних центрів потрібно блокувати транспортні будівлі з загальноміськими об'єктами культурно-побутового значення (готель, транспортне агентство, ресторан, кафе, торговий центр, рідше — кіно-концертні комплекси, ресторани та ін.), а також інші форми об'єднання в залежності від місцевих умов [4].

Новий вокзал у Кракові, що знаходиться поруч із будівлею старого краківського вокзалу (арх. П. Розенбаум, 1844-1847 рр.) за даними польських державних залізниць (PKP) є одним з найсучасніших залізничних станцій Європи. З 2014 року головний зал вокзалу розташовується безпосередньо під залізничними перонами і має вихід до Краківського швидкісного трамвая, що входить до мережі Краківського комунікативного центру. Всі приміщення вокзалу знаходяться під землею, тож при будівництві було реалізовано багато сучасних рішень. У цій споруді самі платформи настільки влучно інтегруються в багатофункціональний комплекс, що звичної межі між багатофункціональними комплексами Galerea Krakowska і власне вокзалом вже не існує (Рис. 2а).

Продовжуючи аналіз інтеграції об'єктів міського наземного транспорту із забудовою, варто приділити увагу міському трамваю. Відомі цікаві та архітектурно виразні приклади такого симбіозу в містах Європи, зокрема транзит трамваю в Празі крізь будівлю на перехресті вулиць Karlova-Krizovnicka та транзит трамваю в Гаазі крізь офісну п'ятиповерхову будівлю Muzentoren у сучасній частині центру міста (Рис. 2б, с). В обох випадках йдеться саме про транзитний перегін трамваю між зупинками. Також цікавим є поєднання зупинки історичного трамваю Cathedral Junction в місті Крайстчерч (Нова Зеландія). Зупинка розташована всередині своєрідного пасажу — торгової аркади зі скляним дахом (Рис. 2д). Дуже важливо, що скоро в Україні має з'явитися об'єкт зі схожим поєднанням торговельно-розважальної та транспортної функції в одному рівні: на проспекті Леся Курбаса в Києві активно ведеться будівництво торговельно-розважального комплексу «APRIL MALL», яке планують закінчити у 2020 року. Комплекс розташований на транспортному вузлі станції швидкісного трамвая «Кільцева дорога». Тож кінцева зупинка транспорту буде знаходитися практично посеред ТРЦ, а пасажери потраплятимуть з платформ одразу до комплексу. У приміщенні ТРЦ «APRIL MALL» розмістяться супермаркети, ресторани, магазини, дитячий розважальний центр, кінотеатр, фуд-корт, паркінг та Центр адміністративних послуг Святошинського району [7]. Варто зазначити, що ТРЦ накриватиме велику петлю розвороту трамвайних колій у формі кола (Рис. 2д).



a



b



c



d



e

Рис. 2. Інтеграція транспорту із забудовою у одному рівні: а – інтер'єр нового вокзалу у м. Кракові (Польща); б – транзит трамваю крізь будівлю на перехресті вулиць Karlova – Krizovnicka в м. Празі (Чехія); с – транзит трамваю крізь будівлю Muzentoren у м. Гаазі (Нідерланди); д – зупинка трамваю Cathedral Junction в м. Крайстчерч (Нова Зеландія); е – торговельно-розважальний комплекс «APRIL MALL» в м. Києві (будується).

Підвищена щільність забудови, розвиток та нове будівництво міст потребує пошуку альтернативних рішень розташування системи транспорту в містобудівному середовищі. Так підземне трасування транспортних комунікацій не є єдиним раціональним рішенням. А. М. Рудницький наполягає, що «на стадії початкового освоєння території можна вписати в архітектурну структуру міста транспортну лінію, прокладену на естакаді, або, наприклад, запроєктувати комунікаційну магістраль так, щоб вона пронизувала міську забудову наскрізь через спеціальні отвори в будівлі тощо» [5, с. 35].

Рішення щодо поєднання забудови з транспортом, що проходить вище рівня землі вже існують в світі, насамперед в Азії. Незвичайний тунель, що перетинає житловий будинок, було побудовано в Китайському Чунціні 2017 року. Місто-порт Чунцин, що розташоване на пагорбах вздовж річки Янцзи, є одним з чотирьох муніципалітетів Китаю. Чунцин має населення 49 млн. та охоплює 31 000 квадратних миль, тому містобудівникам доводиться проявляти винахідливість у вирішенні проблеми браку простору. Спеціальну залізничну станцію Лізіда було інтегровано в блок 19-поверхових будинків

(Рис. 3а). Шум залізниці поглинається за допомогою спеціального обладнання.

В Осаці (Японія) також є будівля Gate Tower Building, в яку інтегровано транспортну артерію, в цьому випадку автотрасу. Шосе проходить просто крізь офісну 16-поверхову будівлю Gate Tower Building на рівні з четвертого по сьомий поверхи. У 1989-му році в Японії було прийнято рішення будувати багаторівневі автомобільні шосе для того, щоб розвантажити великі міста від проблем трафіку. Офісна будівля, будівництво якої було заплановано в цьому місці, почали будувати вже після того, як дорога була побудована. Щоб не втрачати доходи, її власниками було вирішено пропустити шосе крізь Gate Tower Building (Рис. 3б).

Сучасний транспорт — міська монорейка, частіше за все розміщується за або під конструкціями опор чи естакад, і тому також перетинається із забудовою вище рівня землі. Так, наприклад, монорейка у місті Вупперталі (Німеччина), що курсує містом ще з початку ХХ ст., проходить над кварталами ринку у центральній частині міста (Рис. 3с).

Монорейка Лас-Вегаса (Невада, США) обслуговує численні готелі та казино зі східного боку вулиці Лас-Вегас-Стріп та має сполучення з готелями у відмітках їх середніх поверхів. Приклади таких сполучень є унікальними за своєю архітектурною виразністю. (Рис. 3д).



a



b



c



d

Рис. 3. Надземна інтеграція транспорту із забудовою: а – транзит залізниці крізь житловий будинок в м. Чунцінь (КНР); б – транзит автодороги крізь будівлю Gate Tower Building в м. Осаці (Японія); с – монорейка у м. Вупперталь (Німеччина); д – монорейка у м. Лас-Вегас (Невада, США.)

Розглянувши численні приклади, можемо перше вирізнити різні підходи поєднання транспорту з міською забудовою: за видом

транспорту, за функцією прилеглої будівлі а також за висотним рівнем транзиту — **підземні, надземні, в рівні землі** (Рис. 4).

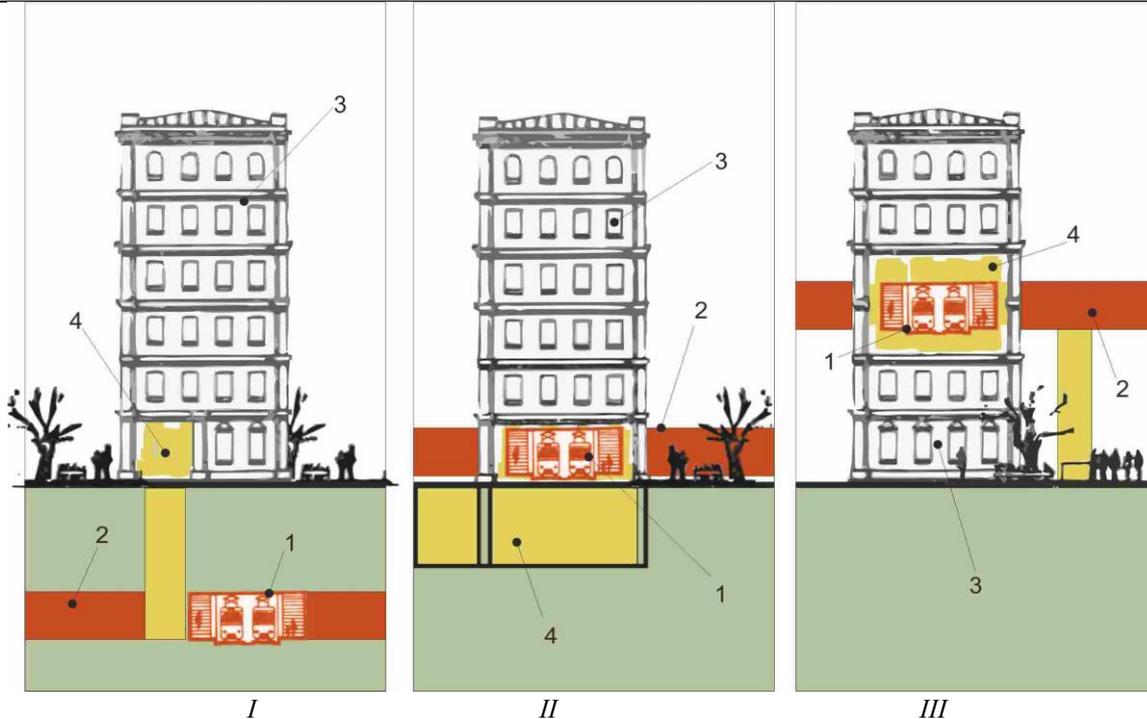


Рис. 4. Підходи у поєднанні транспорту з міською забудовою за висотним рівнем транзиту: I – підземні, II – в рівні поверхні землі, III – надземні (1 – об'єкт транспорту, 2 – транспортний транзит, 3 – будова, 4 – зона поєднання транспорту та забудови).

По-друге, зважаючи на специфіку інтеграції об'єктів транспорту в міську забудову як сучасного містобудівного явища, світовий досвід та розвиток сучасної транспортної системи, можна зазначити наступні три підходи інтеграції. Коли архітектурна забудова вже існує та виконує свою функцію багато років, а на певному етапі виникає потреба в новому транспортному шляху, є необхідність включити транспортну функцію в забудову, не змінюючи її історичний вигляд, використовують **підхід первинності забудови** (виходи з метро "Золоті ворота" в м. Києві). **Підхід первинності транспорту** передбачає створення об'єкту міської забудови навколо вже існуючої транспортної функції. "Підлаштування" відбувається гармонійно і не руйнує, а доповнює та розкриває вже існуючу основну функцію. (ТРЦ Galerea Krakowska в м. Кракові, ТРЦ «APRIL MALL» в м. Києві. **Комплексний підхід** передбачає органічне поєднання забудови з об'єктом транспорту одночасно та заздалегідь, вже на етапі проектування, враховуючи взаємну специфіку. В життєвих реаліях це може спрацювати лише за умови, що транспортний транзит ще не існує, а тільки проектується (розвиток нової гілки залізниці, метро, трамваю тощо). Дуже виразним прикладом такого підходу є станція залізниці, інтегрована у багатоповерхові будівлі в м. Чунцин. Таким чином, якщо вдалий синтез об'єктів закладений відразу, то подальший розвиток міста буде відповідати його потребам протягом 10-20 років.

**Висновки.** Аналіз транспортних об'єктів, що вже інтегровані в міську забудову свідчить про актуальність гармонійної інтеграції як засобу

покращення комфортності містобудівного середовища. Розгляд специфіки синтезу транспортних об'єктів із міською забудовою дає можливість визначити основні підходи інтеграції, до яких належать: підхід первинності забудови, при якому історична будівля адаптується до нових вимог; підхід первинності транспорту, при якому передбачається будівництво споруд навколо вже існуючого транспортного шляху; комплексний підхід, що передбачає одночасне органічне поєднання забудови з об'єктом транспорту. Міста України швидко і потужно розвиваються так само як і транспорт, тому при проектуванні нових транспортних вузлів необхідно використовувати сучасні світові тенденції. У пріоритеті бажано мати комплексний підхід до інтеграції транспортних об'єктів у міську забудову, який через комфортну експлуатацію цього об'єкту створить підґрунтя для подальшого сталого розвитку міста.

#### Список літератури:

1. Архитектура транспортных сооружений : Учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / И. Е. Сеськин, Б. Г. Иванов ; Министерство путей сообщения Российской Федерации, Департамент кадров и учебных заведений. Самара : Самарская государственная академия путей сообщения, 2004. [Seskin I E Architecture of transport facilities. Samara, SamGAPS; 2004. (In Russ).]
2. Вулиці Києва. Довідник / за ред. А. В. Кудрицького. К., «Українська енциклопедія» ім. М. П. Бажана; 1995. [Vulitsi Kiєva: catalogue. Kyiv: Ukrainska entsiklopedia; 1995. (In Ukr).]

3. Гончарова К. Сам себе экскурсовод: прогулка по улице Городецкого в Киеве / Официальный сайт РБК-Украина. URL: <https://styler.rbc.ua/rus/puteshestviya/sam-sebe-ekskursovod-progulka-ulitse-gorodetskogo-1492679481.html>
4. Рекомендации по проектированию общественно-транспортных центров (узлов) в крупных городах. М.; ЦНИИП градостроительства, 1997.
5. Рудницкий А. М. Транспорт в планировке городов. Киев, Будівельник; 1976. [Rudnitski AV Transport in city planning. Kiev, Budivelnik; 1976. (In Russ).]
6. Сеськин И.Е. Архитектура транспортных сооружений : Учеб. пособ. для вузов ж.-д. трансп./ И.Е. Сеськин, Б.Г. Иванов; Рек. УМО. Самара, СамГАПС; 2004. [Seskin I E Architecture of transport facilities. Samara, SamGAPS; 2004. (In Russ).]
7. Трамвайна лінія всередині ТРЦ та неочікуваний хмарочос на Борщагівці / Офіційний сайт Вечірній Київ. URL: <https://vechirniy.kyiv.ua/news/tramvayna-liniya-vseredyni-trts-ta-neochikuvanyy-khmarochos-na-borshchahivtsi>
8. Edwards B. Sustainability and the design of transport interchanges. Abingdon, Oxon ; New York, NY : Routledge; 2011. [Brian Edwards Sustainability and the design of transport interchanges. Abingdon, Oxon ; New York, NY : Routledge; 2011.]
9. Jones W. New Transport Architecture: Travel Hubs in the 21st Century. London, Mitchell Beazley; 2006. [Will Jones New Transport Architecture: Travel Hubs in the 21st Century. London, Mitchell Beazley; 2006.]

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 615.272.7+615.015.44+599.323.4

**Ткаченко Е.К.**

кандидат биологических наук,  
заведующая сектором экспериментальной патологии  
ГУ «Институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии НАМН»  
Шнайдер С.А.

доктор медицинских наук, профессор  
ГУ «Институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии НАМН»

**Савельева Н.Н.**

доктор медицинских наук,  
Харьковский национальный медицинский университет

**Гороховский В.Н.**

доктор медицинских наук,  
ГУ «Институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии НАМН»

**Суслова О.В.**

кандидат медицинских наук,  
Одесский национальный медицинский университет

### ТОКСИЧЕСКАЯ КАЛЬЦИЙ-ДЕФИЦИТНАЯ МОДЕЛЬ ПАРОДОНТИТА TOXIC CALCIUM DEFICIENCY MODEL OF PERIODONTITIS

**Tkachenko E.K.**

candidate of biological sciences, head of the experimental pathology sector  
of the SE "Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery of the  
National Academy of Medical Sciences of Ukraine"

**Shnaider S.A.**

doctor of medical sciences, professor, director of the  
SE "Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery of the  
National Academy of Medical Sciences of Ukraine"

**Savelieva N.N.**

doctor of medical sciences,  
Kharkiv National Medical University

**Gorokhivskij V.N.**

doctor of medical sciences,  
SE "Institute of Dentistry and Maxillofacial Surgery of the  
National Academy of Medical Sciences of Ukraine"

**Suslova O.V.**

candidate of medical sciences,  
Odessa National Medical University

**Summary.** The experiment was conducted on 15 white male rats 1.5 months of age of the Wistar line. The intact group consisted of 7 rats. Experimental periodontitis in 8 rats was reproduced by oral administration of a solution of pelentan at a dose of 10 mg / kg of rat body weight 5 times a week for 60 days.

**Аннотаци.** В опыт были взяты 15 белых крыс-самцов 1,5-мес. возраста линии Вистар стадного разведения. Интактную группу составили 7 крыс. Экспериментальный пародонтит у 8 крыс воспроизводили с помощью перорального введения раствора пелентана в дозе 10 мг/кг массы тела крыс 5 раз в неделю в продолжении 60 дней.

**Key words:** *periodontitis model, pelentan, fragmentation of periodontal connective tissue structures, osteocalcin, sulfhydryl compounds, oxidative modification, rats.*

**Ключевые слова:** *модель пародонтита, пелентан, разобщение соединительнотканых структур пародонта, остеокальцин, сульфгидрильные соединения, окислительная модификация, крысы.*

**Постановка проблемы.** В патогенезе пародонтита происходит деструкция пародонта, в т.ч. и патологическая резорбция его костных структур.

Ткани пародонта богаты соединительной тканью (СТ), процессы метаболизма которой

связаны с особенностями её строения, в которой межклеточный матрикс (МКМ) занимает значительно больший объем, чем клетки (фибробласты, тучные клетки, макрофаги). МКМ состоит из волокнистых структур, пространство между которыми заполнено основным веществом,

содержащим гексозаминосодержащие биополимеры – гликозаминогликаны и гликопротеины. Волокнистые компоненты МКМ в основном состоят из белков – коллагена и эластина [1,2].

Для нормального функционирования МКМ необходим витамин К, который обладает по отношению к нему анаболическим действием. Кроме того, как кофактор, витамин К участвует в посттрансляционном карбоксилировании глутаминовых остатков (Glu) кальций-связывающих белков [3].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Длительное введение антагониста витамина К – пеллентана (неодикумарина) угнетает активность фермента глюкозаминсинтетазы (КФ 5.3.1.19), которая катализирует образование глюкозамино-6-фосфата, являющегося предшественником всех азотсодержащих моносахаридов, включая сиаловые кислоты [4]. Кроме того, пеллентан блокирует К-витамин-редуктазу, нарушает биосинтез факторов II, VII, IX и X свертывания крови в печени. Пеллентан относится к антикоагулянтам непрямого действия, обладает кумулятивными свойствами, снижает свертывающую активность протромбина, повышает проницаемость сосудов. При К-авитаминозе наблюдается резкое угнетение гексозаминосинтетазной активности печени и одновременно уменьшение уровня гексозаминосодержащих биополимеров в различных тканях. В условиях алиментарного К-авитаминоза нарушается дифференцировка фибробластов, разрушаются коллагеновые и эластиновые волокна, наблюдается отек СТ кожи [4].

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Все вышеперечисленное предопределило использование антагониста витамина К пеллентана при моделировании экспериментального пародонтита.

Другим компонентом при воспроизведении экспериментальной модели был избран ЭДТА (этилендиамин-тетраацетат), который относится к группе комплексонов, способных образовывать комплексные соединения с различными катионами, в т.ч. и с ионами кальция.

**Цель статьи.** Разработка модели экспериментального пародонтита, которая воспроизводит нарушения метаболизма соединительной ткани пародонта в условиях действия антагониста витамина К, а также потерю минеральных компонентов костной ткани пародонта под действием комплексона ЭДТА.

## Изложение основного материала.

### Материалы и методы

В опытах использовали 15 белых крыс-самцов 1,5-мес. возраста линии Вистар стадного разведения. Интактную группу составили 7 крыс. Экспериментальный пародонтит у 8 крыс воспроизводили с помощью перорального введения раствора пеллентана (Лехива, Чехия) в дозе 10 мг/кг массы тела крыс 5 раз в неделю через день в утренние часы в продолжении 60 дней. Вместо питьевой воды животные получали 2% раствор ЭДТА ad libitum.

После завершения эксперимента крыс забивали тотальным кровопусканием из сосудов сердца под наркозом (тиопентал натрия в дозе 40 мг/кг). Предварительно отделив слизистую оболочку полости рта (СОПР) выделяли челюсти и подвергали их морфометрическому исследованию [5].

Объектами биохимических исследований служили сыворотка крови, печень, бедренная кость, СОПР и кость альвеолярного отростка.

Уровень ПОЛ оценивали по содержанию ацилгидроперекисей (АГП) [6], диеновых конъюгатов [7] и малонового диальдегида (МДА) [8]. Состояние физиологической антиоксидантной системы (ФАС) оценивали по активности ферментов – каталазы [9], глутатион-редуктазы (ГР) [10], глутатион-пероксидазы (ГПО) [11] и состоянию тиол-дисульфидной системы [12]. Определение механической прочности коллагена сухожилий хвоста крыс проводили гравиметрическим методом согласно рекомендациям [13]. Расчеты проводили методом Вилкоксона [14].

Результаты биохимических исследований обрабатывали общепринятыми методами с определением t-критериев достоверности различий по Стьюденту.

### Результаты и обсуждения

Токсическую кальций-дефицитную модель пародонтита воспроизводили сочетанным введением антагониста витамина К пеллентана и заменой питьевой воды раствором ЭДТА. Большинство животных перенесли указанные условия удовлетворительно – лишь к концу опыта 2 крысы пали (исключены из наблюдений).

Совместное влияние пеллентана и ЭДТА значительно усиливало резорбтивные процессы в костной ткани пародонта – на нижней челюсти резорбция усиливалась вдвое ( $p < 0,001$ ); на верхней – в 1,4 раза ( $p = 0,04$ ). Среднее усиление резорбции для двух челюстей составило 70% (от 100% в интактной группе;  $p < 0,001$ ; табл. 1).

Таблица 1

**Показатели резорбции кости альвеолярного отростка крыс в условиях моделирования пародонтита (M±m; p)**

Группы животных	Показатели резорбции (%)		
	нижняя челюсть	верхняя челюсть	среднее значение
Интактная	31,6±2,0	28,8±2,2	30,2±2,1
Модель пародонтита	62,8±1,3 p<0,001	40,0±3,1 p=0,004	51,4±2,2 p<0,001

Примечание. В табл. 1-4 показатель достоверности p рассчитан по сравнению с интактной группой.

В сыворотке крови, печени и слизистой оболочке полости рта усиливались перекисные процессы (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание продуктов ПОЛ в сыворотке крови и тканях крыс в условиях моделирования пародонтита (M±m; p)**

Группы животных	Содержание	
	АГП (ед.экст/мл) ДК (ед.экст/г)	МДА (нмоль/мл, нмоль/г)
	сыворотка крови	
Интактная	1,49±0,040	17,7±5,90
Модель пародонтита	2,02±0,030 p<0,001	19,4±0,26
	печень	
Интактная	0,21±0,015	45,2±4,48
Модель пародонтита	0,34±0,044 p=0,012	54,7±6,93
	СОПР	
Интактная	-	36,7±2,71
Модель пародонтита	-	64,2±5,19 p<0,001
	кость альвеолярного отростка	
Интактная	0,18±0,013	10,2±1,88
Модель пародонтита	0,20±0,027	12,3±1,27
	бедренная кость	
Интактная	0,21±0,032	10,4±1,74
Модель пародонтита	0,25±0,053	14,6±4,89

Так, в сыворотке крови крыс при моделировании пародонтита содержание первичных продуктов ПОЛ ацилгидроперекисей суммарной фракции липопротеидов увеличивалось на 36% (p<0,001); в печени содержание диеновых конъюгантов – на 62%. (p=0,012; табл. 2). Уровень МДА в слизистой оболочке полости рта увеличивался на 75 % (p<0,001). В костной ткани (в бедренной и кости альвеолярного отростка)

содержание МДА увеличивалось незначительно (p>0,05; табл.2).

При моделировании патологии пародонта изменялась активность антиоксидантных ферментов, в большей степени ферментов обмена внутритканевого антиоксиданта глутатиона – глутатион-редуктазы и глутатион-пероксидазы (табл.3).

**Активность антиоксидантных ферментов в сыворотке крови и тканях крыс в условиях моделирования пародонтита ( $M \pm m$ ;  $p$ )**

Показатели	Группы животных	
	интактная	модель пародонтита
	сыворотка крови	
Каталаза (мкат/л)	926 $\pm$ 289	550 $\pm$ 161
	печень	
ГР (мкмоль/с·г)	0,10 $\pm$ 0,06	0,020 $\pm$ 0,008
ГПО (мкмоль/с·г)	23,0 $\pm$ 3,68	4,89 $\pm$ 0,79 $p < 0,001$
	СОПР	
ГР (мкмоль/с·г)	0,080 $\pm$ 0,030	0,090 $\pm$ 0,004
ГПО (мкмоль/с·г)	11,2 $\pm$ 0,89	10,4 $\pm$ 0,050
	кость альвеолярного отростка	
Каталаза (мкат/л)	56,0 $\pm$ 6,40	46,0 $\pm$ 4,00
ГР (мкмоль/с·г)	0,13 $\pm$ 0,002	0 $p < 0,001$
ГПО (мкмоль/с·г)	6,99 $\pm$ 1,05	2,10 $\pm$ 0,53 $p = 0,003$
	бедренная кость	
Каталаза (мкат/л)	60,0 $\pm$ 7,20	64,0 $\pm$ 4,50
ГР (мкмоль/с·г)	0,24 $\pm$ 0,090	0,24 $\pm$ 0,070
ГПО (мкмоль/с·г)	5,68 $\pm$ 1,05	2,47 $\pm$ 0,68 $p = 0,03$

Под воздействием пеллетана и ЭДТА активность ГПО в печени снижалась в 4,7 раза ( $p < 0,01$ ); в бедренной кости – в 2,3 раза ( $p = 0,03$ ). Активность указанного фермента при моделировании пародонтита значительно снижалась также локально, в кости альвеолярного отростка (в 3,3 раза;  $p = 0,003$ ). В костной ткани пародонта снижалась активность другого антиоксидантного фермента – глутатион-редуктазы ( $p < 0,001$ ; табл.3). В слизистой оболочке полости рта активность ферментов обмена глутатиона не претерпела статистически значимых изменений (табл.3). Активность каталазы в сыворотке крови и изученных тканях изменялась недостоверно ( $p > 0,05$ ; табл.3). Полученные результаты свидетельствуют о недостаточном функционировании ферментативных компонентов ФАС.

При моделировании пародонтита уровень сульфгидрильных и дисульфидных водорастворимых соединений повышался в печени и бедренной кости, в отличие от тканей пародонта (табл.4). Так, в печени содержание

сульфгидрильных и дисульфидных групп возросло в условиях моделирования в 1,9 раза ( $p < 0,001$  и  $p = 0,06$ ), что практически не отразилось на соотношении SH/SS. В бедренной кости уровень SH-групп увеличивался втрое ( $p < 0,001$ ). Известно, что высокая концентрация сульфгидрильных соединений, которые находятся в клетке в связанном с белками состоянии, важна для поддержания буферной окислительно-восстановительной системы, антиоксидантной активности, модуляции специфической активности некоторых белков [15].

В слизистой оболочке полости рта и кости альвеолярного отростка наблюдалось существенное снижение содержания сульфгидрильных групп: на 66% ( $p = 0,004$ ) и на 76% ( $p = 0,04$ ), соответственно, вероятно, за счет усиления окислительных процессов. При этом уровень дисульфидных соединений достоверно не изменялся. Соотношение SH/SS групп значительно снижалось только в мягких тканях пародонта (табл.4).

**Состояние тиол-дисульфидной системы в тканях крыс в условиях моделирования пародонтита (M±m; p)**

Группы животных	Содержание		
	SH – групп (ммоль/г)	SS – групп (ммоль/г)	SH / SS
	печень		
Интактная	8,37±0,64	3,07±0,74	2,73
Модель пародонтита	16,3±0,53 p<0,001	5,83±1,08 p=0,06	2,80
	СОПР		
Интактная	6,25±0,53	5,04±1,06	1,24
Модель пародонтита	4,13±0,32 p=0,004	4,77±0,32	0,87
	кость альвеолярного отростка		
Интактная	3,34±0,21	9,33±2,12	0,36
Модель пародонтита	2,54±0,24 p=0,04	8,27±0,53	0,31
	бедренная кость		
Интактная	2,81±0,53	5,25±0,53	0,54
Модель пародонтита	8,89±1,06 p<0,001	10,1±3,18	0,88

В дальнейших исследованиях была изучена прочность коллагеновых волокон сухожилий хвоста крыс, исходя из относительной общности их строения. Так, известно, что коллагеновые волокна пародонта, межпозвоночных дисков и сухожилий состоят преимущественно из коллагена I типа (95%) и в меньшей степени из коллагена III типа (5%) [15]. Исследования показали, что у интактных животных прочность средних волокон сухожилий хвоста составила 565 г, а у животных с моделью пародонтита она существенно снижалась и достигала 391 г (p=0,038).

**Выводы и предложения.**

Использование антагониста витамина К пелентана и воспроизведение кальциевой недостаточности с помощью комплексона ЭДТА в условиях моделирования экспериментального пародонтита способствовало усилению выраженной резорбции кости альвеолярного отростка крыс. Однако эти изменения в значительной мере не были связаны с усилением перекисных процессов, поскольку в костной ткани пародонта не наблюдалась существенная активация ПОЛ. Антагонист витамина К пелентан вызывал разобщение упорядоченных соединительнотканых структур пародонта путем угнетения синтеза гликозаминогликановой матрицы коллагена и эластина. Кроме того, пелентан снижал синтез основного неколлагенового белка костной ткани пародонта – остеокальцина, связывающего ионы Ca<sup>2+</sup> с помощью остатков γ-карбоксихлутаминовой кислоты.

К негативным последствиям моделирования экспериментального пародонтита следует отнести недостаточное функционирование в тканях пародонта ферментов обмена глутатиона, а также значительное снижение уровня сульфгидрильных

соединений в результате их окислительной модификации.

В результате проведенных исследований была смоделирована полноценная картина пародонтита, воспроизводящая нарушения обменных процессов, характерных для данного заболевания.

**Литература**

1. Слущкий Л.И. Биохимия нормальной и патологически измененной соединительной ткани / Слущкий Л.И. – Л. : Наука. – 1969.
2. Серов В. В. Соединительная ткань / В. В. Серов, А. Б. Шехтер. – М.: Медицина. – 1981. – 312 с.
3. Сокольников А. А. Функциональная роль витамина К / А. А. Сокольников, В. М. Коденцова // Вопросы мед. химии – 1999. – Т.45. – с. 453-461.
4. Шараев П. Н. Роль витамина К в обмене биополимеров соединительной ткани // Вопросы мед. химии – 1984. – №1. – с.13-17.
5. Николаева А.В. Влияние некоторых нейротропных средств на состояние тканей при раздражении верхнего шейного симпатического узла: Автореф. дис. канд. мед. наук / А. Николаева – Харьков. – 1967. – 29с.
6. Методы диагностики метаболических нарушений при атеросклерозе и дифференцированное изменение противосклеротических средств. / под ред. О. Н. Воскресенского // Метод. рекомендации. – Полтава. – 1982. – 27 с.
7. Стальная И.Д. Метод определения диеновых конъюгаций ненасыщенных высших жирных кислот / И. Стальная, Т. Гаришвили // Современные методы биохимии / Под ред. В.Н. Ореховича. – М. – 1977. – С.63-64.

8. Владимиров Ю.А. , Арчаков А. И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. – М.: Наука. – 1972. – 230 с.

9. Королюк М.А. Метод определения активности каталазы / М. Королюк., Д. Иванова, И. Майорова // Лабораторное дело. – 1988. – №1. – С. 16-18.

10. Путилина Е. Ф. Определение активности глутатион-редуктазы / Е. Путилина // Методы биохимических исследований. – М.: Ин. Лит. – 1982. – С.181-183.

11. А.С.922637 СССР. МКИ 01 33/48. Способ определения активности глутатион-пероксидазы в биологических тканях / В. Пахомова, Н. Козлянина, Г. Крюкова. – Оpubл. 25.04.82, Бюл. №15. – 2 с.

12. Вережкина И.В. Колориметрический метод определения SH-групп и SS-связей в белках при помощи 5,5'-дитиобис(2-нитробензойной

кислоты)ДТНБК / И. В. Вережкина, Л. Г. Точилкина, И. А. Попова // Современные методы в биохимии. – М.: Медицина. – 1977.- С. 223-231.

13. Никитин В. Н. Возрастная и эволюционная биохимия коллагеновых структур / В. Н. Никитин, Е. Э. Перский, Л. А. Утевская – К. Наукова думка, 1977. – 279 с.

14. Гублер Е. В. Применение критериев непараметрической статистики для оценки различий двух групп наблюдений в медико-биологических исследованиях / Е. В. Гублер, А. А. Генкин – М. : Медицина, 1969. – 31с.

15. Соколовский В. В. Тиоловые антиоксиданты в молекулярных механизмах неспецифической реакции организма на экстремальное воздействие (обзор) / В. В. Соколовский // Вопросы мед. химии. – 1988. – Т. XXXIV. - №6. – С. 2-11.

УДК 616.127:615. 322:612.273.2

**Мамадалиева Нодира Исаковна,**

*доктор философии PhD*

*Ташкентский государственный педагогический университет*

**Саатов Тальят Саатович,**

*академик АН РУз*

*Институт Биофизики и биохимии*

**Обидова Дильдора Дилшодбековна**

*Студентка 1-года магистратуры*

*по специальности*

*«Терапия»*

*Ташкентский педиатрический*

*медицинский институт*

## МЕХАНИЗМЫ НАРУШЕНИЯ МЕТАБОЛИЗМА ЛИПИДОВ В МИОКАРДЕ В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИИ.

## MECHANISMS OF VIOLATION OF LIPID METABOLISM IN MYOCARDIUM UNDER CONDITIONS OF HYPOXIA.

**Summary.** In this article, hypoxia is given as the most universal pathological condition. It arises and determines the severity of the most diverse human diseases: any form of respiratory and cardiovascular failure, blood loss, myocardial ischemia.

**Аннотация.** В данной статье приводятся что гипоксия – представляет собой наиболее универсальное патологическое состояние. Она возникает и определяет тяжесть течения самых разнообразных заболеваний человека: любые формы дыхательной и сердечно-сосудистой недостаточности, кровопотери, ишемия миокарда.

**Key words:** *hypoxia, phospholipases, phospholipids, acidosis, oxidative stress, lipid peroxidation (LPO), liposomes.*

**Ключевые слова:** гипоксия, фосфолипаз, фосфолипидов, ацидоза, окислительного стресса, перекисного окисления липидов (ПОЛ), липосом.

**Введение.** Гипоксия кислородное голодание, является неотъемлемой частью жизни человеческой популяции во всем мире. Большинство известных болезней и экстремальных состояний прямо или косвенно связаны с дефицитом кислорода. Патогенетическая универсальность кислородной недостаточности включает вопросы гипоксических нарушений в сфере интересов широкого круга специалистов

экспериментальной и клинической медицины: пульмонологов, неврологов, реаниматологов, трансплантологов, кардиологов и другие. Независимо от этиологии гипоксических состояний сердца в их развитии и исходе решающая роль принадлежит степени насыщения тканей кислородом и его участию в метаболических процессах. [1; с. 363–364, 2; с.187-206]

Исследованиями, проведенными в научных центрах мира установлено, что гипоксия является состоянием ассоциированным с существенными изменениями в сердечно-сосудистой системе, более того она служит основой патологических процессов при данных состояниях. Сердечно - сосудистые заболевания остаются ведущей причиной смертности во всем мире, они ответственны ежегодно за 17,3 млн. летальных исходов [3; с.2118-2194] – 31,5% всех смертельных случаев населения планеты. В Европе от сердечно - сосудистых заболеваний ежегодно умирают более 4 млн. человек, из них 1,4 млн. в возрасте до 75 лет, – это 45% всех смертей (40% среди мужчин и 49% среди женщин) [4; с.1-6].

За последние годы в мировой литературе появилось немало обзоров, в которых детально анализируются нарушения нормальной деятельности органов человека и животных, подвергавшихся действию гипоксии. Установлено, что в условиях недостатка кислорода первым страдает энергетический обмен клеток. Его нарушения приводят к развитию ацидоза, окислительного стресса, активацию эндогенных фосфолипаз и распаду мембранных фосфолипидов, увеличению текучести мембран и их проницаемости, вследствие чего клетка теряет ионы  $K^+$  и перегружается ионами  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  [5; с. 7-9, 6; с. 79-81, 7; с. 343].

Несмотря на то, что к настоящему времени накоплен достаточно большой массив данных по эффектам и механизмам гипоксических воздействий на сердечно-сосудистую систему, концептуальное осмысление этих сведений, зачастую противоречивых, затруднено в связи с тем, что эти данные получены в разнообразных моделях гипоксии. И поэтому, полученные в этих работах данные не всегда согласуются. Требуется последовательное и комплексное изучение эффектов и механизмов гипоксии на одной модели и на всех уровнях, включая молекулярные. Особый интерес в данных исследованиях представляет состояние липидного обмена, показателей перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной системы, играющих важную роль в патогенезе гипоксических состояний. В качестве удобной экспериментальной моделью для подобного рода исследований служит гипобарическая (высотная) гипоксия, создаваемая в барокамере, поскольку она является физиологически адекватным воздействием (встречается в естественных условиях при подъеме на высоту), легко контролируется и дозируется, что создает возможности для ее применения в различных режимах [8; с. 256-74-107, 9; с.145-147].

**Цель работы.** Целью исследования является определениколичественных и качественных изменений состава фосфо-гликолипидов, состояния системы ПОЛ и АОС сердечной ткани в условиях окислительного стресса, индуцированного гипобарической гипоксией, для установления закономерностей биологического

ответа и разработки нового метода фармакокоррекции на основе нанотехнологии.

**Материалы и методы.** Объектом исследования являются структурные липиды и система ПОЛ и АОС клеток сердца половозрелых крыс самцов подвергнутых суб - и декомпенсированной гипобарической гипоксии.

Для выполнения поставленных задач были налажены следующие методы: метод моделирования гипобарической гипоксии при помощи барокамеры (создаваемое в барокамере разрежение воздуха соответствовало «подъему на высоту» 4000 м и 7000м над уровнем моря), метод хроматографического разделения фракций фосфолипидов и цереброзидов; метод количественного определения фосфолипидов; количественное определение цереброзидов; количественное определение ганглиозидов. Количественное определение холестерина. Определение концентрации ТБК-АП; определение активности каталазы; определение активности СОД; методы препаративного выделения липидов и их очистку от нелипидных примесей; методы конструирования липосом.

**Результаты и обсуждение.** Непрерывное снабжение организма кислородом является абсолютным условием существования человека и животных. Нарушение кислородного режима органов и тканей в первую очередь вызывает метаболические изменения в них. В организме человека более 90 % всего потребляемого кислорода восстанавливается с участием цитохромоксидазы митохондрий, и лишь 10 % кислорода метаболизируется в тканях с участием оксигеназ. Дыхательная цепь как единая функционально-метаболическая система исполняет роль регулятора и модификатора потребления кислорода и скорости его поступления из внеклеточной среды к митохондриям. При гипоксии страдают энергозависимые реакции, такие как формирование мембранного потенциала, транспорт ионов, электрогенная функция клеток, мышечное сокращение, функция рецепторов и другие [10; с. 897-904, 11; с. 259].

Содержание животных и проведение экспериментов проводили в соответствии с международными правилами «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals». Работа выполнена на взрослых беспородных самцах крыс весом 220-240 г., содержащихся в стандартных условиях (температура окружающей среды 22-25 $^{\circ}C$ , чередование суточной освещенности, свободный доступ к воде и пище).

Для проведения эксперимента было использовано 600 крыс: по 12 животных в каждой экспериментальной группе на каждом временном сроке; в контрольных группах было также по 12 крыс. Контрольная группа животных – животные, помещенные в барокамеру на соответствующее время без изменения атмосферного давления.

В экспериментах посвященных фармакокоррекции гипоксии  $\alpha$ -липолевой

кислотой животным внутримышечно вводили препарат «Берлитион-300 ЕД» в дозе 10 мг/кг один раз в сутки. Контрольной группе животных данного эксперимента внутримышечно вводили физиологический раствор. В экспериментах посвященных фармакокоррекции гипоксии липосомами животным интернозально вводили липосомы в дозе 2мл/кг один раз в сутки. Контрольной группе животных данного

эксперимента интернозально вводили физиологический раствор.

Животных декапитировали через 10, 20 и 30 экспозиций гипоксии, через 24 ч после последнего сеанса. Далее при температуре +4 °С быстро извлекали сердце, быстро промывали охлажденным физиологическим раствором и подвергали гомогенизации в жидком азоте.

#### Дизайн эксперимента

Количество экспозиций гипоксии	10 дней	20 дней	30 дней
Длительность экспозиции (час)			
<b>Контрольная группа</b>			
Липиды	К-1, n=12		
ПОЛ и АОС	К-2, n=12		
<b>Контрольная группа фармакокоррекции берлитионом</b>			
4-х часовая гипоксия	КБ4-1, n=12	КБ4-2, n=12	КБ4-3, n=12
8- часовая гипоксия	КБ8-1, n=12	КБ8-2, n=12	КБ8-3, n=12
<b>Контрольная группа фармакокоррекции липосомами</b>			
4-х часовая гипоксия	КЛ4-1, n=12	КЛ4-2, n=12	КЛ4-3, n=12
8- часовая гипоксия	КЛ8-1, n=12	КЛ8-2, n=12	КЛ8-3, n=12
<b>Субкомпенсированная гипоксия</b>			
4-х часовая гипоксия	ОПС4-1, n=12	ОПС4-2, n=12	ОПС4-3, n=12
8- часовая гипоксия	ОПС8-1, n=12	ОПС8-2, n=12	ОПС8-3, n=12
<b>Фармакокоррекция субкомпенсированной гипоксии берлитионом</b>			
4-х часовая гипоксия	БС4-1, n=12	БС4-2, n=12	БС4-3, n=12
8- часовая гипоксия	БС 8-1, n=12	БС8-2, n=12	БС8-3, n=12
<b>Фармакокоррекция субкомпенсированной гипоксии липосомами</b>			
4-х часовая гипоксия	ЛС4-1, n=12	ЛС4-2, n=12	ЛС4-3, n=12
8- часовая гипоксия	ЛС8-1, n=12	ЛС8-2, n=12	ЛС8-3, n=12
<b>Декомпенсированная гипоксия</b>			
4-х часовая гипоксия	ОПД4-1, n=12	ОПД4-2, n=12	ОПД4-3, n=12
8- часовая гипоксия	ОПД8-1, n=12	ОПД8-2, n=12	ОПД8-3, n=12
<b>Фармакокоррекция декомпенсированной гипоксии берлитионом</b>			
4-х часовая гипоксия	БД4-1, n=12	БД4-2, n=12	БД4-3, n=12
8- часовая гипоксия	БД8-1, n=12	БД8-2, n=12	БД8-3, n=12
<b>Фармакокоррекция декомпенсированной гипоксии липосомами</b>			
4-х часовая гипоксия	ЛД4-1, n=12	ЛД4-2, n=12	ЛД4-3, n=12
8- часовая гипоксия	ЛД8-1, n=12	ЛД8-2, n=12	ЛД8-3, n=12

Гипобарическая гипоксия – гипоксическое воздействие, вызываемое общим падением давления в окружающей атмосфере. Встречается в естественных условиях при подъеме в горы. Создаваемая в барокамере гипобарическая гипоксия может рассматриваться как имитация подъема на соответствующую высоту. В работе мы использовали гипобарическую гипоксию в двух режимах – субкомпенсированную и декомпенсированную.

Для создания условий субкомпенсированной гипоксии животных помещали в барокамеру проточного типа при давлении 462 мм.рт.ст. ( 61,6 кПа), что соответствует подъему на высоту 4000 м, на 4 и 8 часов [Атмосфера стандартная Параметры

ГОСТ 4401— 81 ИПК Издательство стандартов, 2004]. Подъем на соответствующую высоту производили, начиная с 760 мм.рт.ст. Скорость компрессии и декомпрессии составила – 0,5 кПа/мин. Данный способ подъема помогал избежать резкого перепада давления и давал возможность крысам адаптироваться. Одновременно осуществляли продув камеры воздухом для предотвращения развития гиперкапнии. Количество экспозиций составили 10, 20, 30 в зависимости от группы.

С целью создания декомпенсированного воздействия гипобарической гипоксии животных помещали в барокамеру проточного типа при давлении в барокамере 308мм рт.ст. (41,1 кПа), 8%

O<sub>2</sub>, что соответствует подъему на высоту 7000м, продолжительность воздействия составляла 4, 8 ч, ежедневно. Количество экспозиций составили 10, 20, 30 в зависимости от группы.

О количестве общих фосфолипидов и их отдельных фракций судили по содержанию в них фосфора, который определяли после минерализации образцов общих липидов и их фракций, с последующим колориметрическим измерением количества образовавшегося неорганического фосфора по реакции реагентом Васьковского. В нашей работе мы применили метод, предложенный Васьковским В.Е[12;с.27-30].

На первом этапе наших исследований было проведено сравнительное изучение качественного и количественного состава фосфолипидов сердечной ткани крыс в норме и при гипобарической гипоксии. Фракционирование фосфолипидов с помощью тонкослойной хроматографии, позволило получить разделение фосфолипидов на 8 фракций (рис. 3.1.1).

Изучение фосфолипидного состава сердечной ткани при экспериментальной гипобарической периодической гипоксии выявило разнонаправленные сдвиги, как в суммарном содержании, так и во фракционном составе фосфолипидов в зависимости от интенсивности, длительности и периодичности гипоксии. 4-х часовая субкомпенсированная гипобарическая гипоксия при атмосферном давлении 61,66 кПа сопровождалась незначительным уменьшением (в статистически недостоверных пределах) содержания суммарных ФЛ на 10 сутки эксперимента и сохранялись в пределах нормы в остальные сроки (таблица 3,1).

Изучение фракционного состава фосфолипидов сердечной ткани в этой серии экспериментов выявило достоверное уменьшение доли фосфатидилхолина (ФХ) на 13,6 % в первой, 14,4% во второй и статистически недостоверное уменьшение на 5,2% в третьей группах. Также наблюдалась динамика уменьшения фракции кардиолипина, составившее 24,9% в первой, 29,5% во второй и 32,3% в третьей группах. Наблюдалось увеличение фракций лизофосфатидилхолина (ЛФХ), фосфатидилсерина (ФС) и фосфатидной кислоты (ФК). Так молярное содержание лизофосфатидилхолина возрастало на 2,76 раз на 10 сутки, на 2,8раза на 20 сутки и 3,1 раза на 30 сутки эксперимента.

Как известно, липосомы - искусственно создаваемые липидные нановезикулы, состоящие из одного или нескольких фосфолипидных бислоев, разделенных водной фазой, и они могут быть использованы в качестве носителей и переносчиков физиологически активных веществ, в том числе лекарственных препаратов в различные органы и ткани. Иммобилизация на поверхности липосом определенных векторов (белки, гормоны, антитела, гликолипиды) позволяет осуществлять адресную доставку лекарственных препаратов в орган-мишень. Исходя из вышесказанного, нами была разработано оптимальное соотношение липидов входящих в состав липосом применяемых для направленного транспорта лекарственных средств в сердце (таблица 1).

Предложенный нами в качестве кардиопротектора липосомный препарат имеет следующий состав:

Таблица 4.2.1.

№	Наименование компонента	«Жидкокристаллические» липосомы + цереброзиды и ганглиозиды (%)
1	Фосфолипиды из сердца крупного рогатого скота	7
2	Холестерин из сердца крупного рогатого скота	2
3	Ганглиозиды из сердца крупного рогатого скота	0,5
4	Цереброзиды из сердца крупного рогатого скота	0,01
5	Вода	90,49

Фосфолипиды и холестерин, выделенных из сердца крупного рогатого скота, являющегося богатым источником данных соединений, используется для формирования основы липидной

везикулы. Известно, что при взаимодействии липосом с клеткой наблюдается обмен фосфолипидами между мембраной клеток и мембраной липосом.

Таблица 4.2.2.

**Фракционный состав фосфолипидов входящих в состав липосом применяемых для направленного транспорта лекарственных средств.**

Фракции фосфолипидов	%
Сфингомиелин	5,3
Фосфатидилхолин	41,4
Фосфатидилсерин	3,4
Фосфатидилинозит	5,3
Фосфатидилэтаноламин	30,6
Кардиолипин	14,0

При этом происходит модификация фосфолипидного состава мембран клеток с последующим изменением её функциональных свойств (Ишанходжаев Т.М. и др., 1993). Фосфолипиды, входящие в состав липосом, должны обеспечивать реконструкцию липидного состава мембран клеток сердечной ткани, что в свою очередь, оказывая влияние на внутриклеточные биохимические реакции и регулирующие процессы. Холестерин, включенный в состав липосомного препарата, обеспечивает стабильность и устойчивость мембран липосом (Любешкин А.В., 1994).

Сама процедура получения липосом состояла из следующих этапов:

1. Образование липосом из смеси фосфолипидов и холестерина;

2. Первичная ультразвуковая обработка липосом при чистоте 22 кГц в течении 30 секунд.

3. Смешивание липосом, полученных на первом этапе с гликолипидами.

4. Вторичная ультразвуковая обработка липосом при чистоте 22 кГц в течении 30 секунд.

Следует отметить, что по своим физико-химическим свойствам липосомы относились к жидкокристаллическим, то есть соотношение фосфолипидов к холестерину составляло 7:2, кроме того липосомы были покрыты цереброзидами и ганглиозидами из сердечной ткани крупного рогатого скота.

Таблица 4.3.1.

**Изменение содержания фосфолипидов в тканях сердца при фармако-коррекции 4-х часовой субкомпенсированной гипобарической гипоксии берлитином. (атмосферное давление 61,66 кПа, «высота» 4000 м над уровнем моря, ммоль липидного фосфора /кг ткани, n=12)**

	Контрольные группы (К)	Группы с гипоксией			Группы с фармакокоррекцией				
	Абс. значения	Абс. значения	% отн. К	T	Абс. значения	% отн. К	T	T <sub>1</sub>	
10 экспозиций 4-х часовой гипоксии									
	КБ4-1, n=12	ОП4-1, n=12			БС4-1, n=12				
ЛФХ	0,46 ± 0,02	1,27 ± 0,06	275,3	-13,4	0,94 ± 0,04	204,2	-10,13	4,68	
СФМ	1,86 ± 0,09	2,02 ± 0,09	108,7	-1,29	1,94 ± 0,08	104,0	-0,61	0,71	
ФХ	14,52 ± 0,64	12,58 ± 0,37	86,6	2,63	12,76 ± 0,57	87,9	2,05	-0,26	
ФС	1,21 ± 0,05	1,34 ± 0,06	110,4	-1,62	1,35 ± 0,06	111,6	-1,80	-0,16	
ФИ	1,90 ± 0,09	1,81 ± 0,08	95,4	0,73	1,76 ± 0,08	92,4	1,21	0,51	
ФЭА	10,74 ± 0,48	10,66 ± 0,48	99,3	0,12	10,82 ± 0,49	100,8	-0,12	-0,24	
ДФГ	4,90 ± 0,23	3,70 ± 0,18	75,6	4,06	4,21 ± 0,13	85,9	2,59	-2,22	
ФК	0,41 ± 0,01	0,57 ± 0,03	138,8	-5,84	0,74 ± 0,03	179,5	-9,76	-4,08	
Сумма	36,00 ± 1,61	33,95 ± 1,34	94,3	0,98	34,51 ± 1,49	95,8	0,68	-0,28	
20 экспозиций 4-х часовой гипоксии									
	КБ4-2, n=12	ОП4-2, n=12			БС4-2, n=12				
ЛФХ	0,48 ± 0,02	1,28 ± 0,08	267,4	-9,7	1,13 ± 0,07	236,3	-9,46	1,44	
СФМ	1,91 ± 0,08	1,91 ± 0,25	99,8	0,01	1,99 ± 0,09	104,4	-0,70	-0,33	
ФХ	14,52 ± 0,65	12,50 ± 0,25	86,1	2,90	13,29 ± 0,60	91,5	1,39	-1,22	
ФС	1,19 ± 0,06	1,74 ± 0,25	146,4	-2,15	1,28 ± 0,06	107,5	-1,08	1,80	
ФИ	1,89 ± 0,09	2,09 ± 0,25	110,5	-0,74	2,13 ± 0,10	112,9	-1,85	-0,17	
ФЭА	10,72 ± 0,50	11,28 ± 0,25	105,2	-1,00	11,02 ± 0,49	102,8	-0,42	0,47	
ДФГ	4,91 ± 0,23	3,43 ± 0,25	69,9	4,36	4,08 ± 0,15	83,1	3,04	-2,25	
ФК	0,41 ± 0,01	0,83 ± 0,25	203,3	-1,69	0,93 ± 0,04	226,2	-12,18	-0,37	
Сумма	36,03 ± 1,64	35,06 ± 0,25	97,3	0,58	35,86 ± 1,59	99,5	0,08	-0,50	
30 экспозиций 4-х часовой гипоксии									
	КБ4-3, n=12	ОП4-3, n=12			БС4-3, n=12				
ЛФХ	0,46 ± 0,02	1,42 ± 0,06	308,6	-14,3	1,44 ± 0,06	312,7	-14,34	-0,21	
СФМ	1,88 ± 0,07	2,07 ± 0,09	110,0	-1,62	2,03 ± 0,11	108,1	-1,18	0,24	
ФХ	14,57 ± 0,64	13,81 ± 0,62	94,8	0,86	14,02 ± 0,63	96,3	0,61	-0,24	

ФС	1,20 ± 0,06	1,67 ± 0,07	139,1	-4,89	1,53 ± 0,09	127,6	-3,17	1,21
ФИ	1,86 ± 0,08	2,19 ± 0,10	118,0	-2,64	2,21 ± 0,10	118,6	-2,73	-0,09
ФЗА	10,75 ± 0,48	10,69 ± 0,48	99,5	0,09	10,17 ± 0,46	94,6	0,87	0,78
ДФГ	4,87 ± 0,23	3,34 ± 0,16	68,5	5,43	3,71 ± 0,16	76,1	4,16	-1,63
Фк	0,41 ± 0,01	0,84 ± 0,04	203,9	-11,02	0,88 ± 0,04	214,4	-11,87	-0,80
Сумма	36,00 ± 1,59	36,02 ± 1,63	100,1	-0,01	36,39 ± 1,65	101,1	-0,17	-0,16

Т – значения коэффициента Стьюдента между значениями животных контрольной группы и группами с гипоксией, фармакокоррекцией соответственно.  
 Т1 - значения Стьюдента между группами с гипоксией и с фармакокоррекцией.  
 % - За 100% процентов принято содержание параметров относительно контрольной группы.

Таблица 4.3.2.

**Изменение содержания фосфолипидов в тканях сердца при фармакокоррекции 4-х часовой субкомпенсированной гипобарической гипоксией липосомами.**  
 (атмосферное давление 61,66 кПа, «высота» 4000 м над уровнем моря, ммоль липидного фосфора /кг ткани, n=12)

	Контрольные группы (К)		Группы с гипоксией			Группы с фармакокоррекцией			
	Абс. значения		Абс. значения	% отн. К	Т	Абс. значения	% отн. К	Т	Т <sub>1</sub>
10 экспозиций 4-х часовой гипоксии									
	КЛ4-1, n=12		ОПС4-1, n=12			ЛС4-1, n=12			
ЛФХ	0,49 ± 0,02	1,27 ± 0,06	258,5	-12,9	0,67 ± 0,02	135,9	-5,87	10,07	
СФМ	1,90 ± 0,08	2,02 ± 0,09	106,6	-1,03	1,96 ± 0,08	103,1	-0,54	0,55	
ФХ	14,48 ± 0,66	12,58 ± 0,37	86,9	2,51	14,79 ± 0,70	102,2	-0,33	2,80	
ФС	1,18 ± 0,06	1,34 ± 0,06	113,2	-1,85	1,23 ± 0,05	104,5	-0,70	1,35	
ФИ	1,86 ± 0,09	1,81 ± 0,08	97,4	0,39	1,78 ± 0,08	95,8	0,65	0,26	
ФЗА	10,65 ± 0,52	10,66 ± 0,48	100,1	-0,01	10,91 ± 0,56	102,5	-0,34	0,34	
ДФГ	4,92 ± 0,22	3,70 ± 0,18	75,3	4,24	4,47 ± 0,10	90,8	1,86	3,62	
Фк	0,43 ± 0,01	0,57 ± 0,03	132,3	-5,10	0,57 ± 0,03	131,6	-4,75	0,08	
Сумма	35,91 ± 1,66	33,95 ± 1,34	94,6	0,92	36,38 ± 1,61	101,3	-0,20	1,16	
20 экспозиций 4-х часовой гипоксии									
	КЛ4-2, n=12		ОПС4-2, n=12			ЛС4-2, n=12			
ЛФХ	0,47 ± 0,02	1,28 ± 0,08	273,1	-9,8	0,94 ± 0,13	199,3	-3,59	2,29	
СФМ	1,89 ± 0,08	1,91 ± 0,25	100,9	-0,06	1,93 ± 0,10	102,2	-0,33	0,09	
ФХ	14,54 ± 0,66	12,50 ± 0,25	86,0	2,89	13,97 ± 0,59	96,1	0,65	2,30	
ФС	1,18 ± 0,06	1,74 ± 0,25	147,6	-2,19	1,29 ± 0,05	109,4	-1,37	1,76	

ФИ	1,87 ± 0,08	2,09 ± 0,25	111,7	-0,83	2,09 ± 0,08	111,9	-1,95	0,02
ФЭА	10,74 ± 0,49	11,28 ± 0,25	105,0	-0,98	11,42 ± 0,47	106,3	-1,00	0,26
ДФГ	4,86 ± 0,22	3,43 ± 0,25	70,6	4,29	4,24 ± 0,13	87,2	2,45	2,88
ФК	0,42 ± 0,01	0,83 ± 0,25	198,5	-1,65	0,73 ± 0,05	172,8	-6,15	0,42
Сумма	35,97 ± 1,62	35,06 ± 0,25	97,5	0,55	36,60 ± 1,59	101,7	-0,28	0,95
30 экспозиций 4-х часовой гипоксии								
	КЛ4-3, n=12	ОП4-3, n=12			ЛС4-3, n=12			
ЛФХ	0,46 ± 0,02	1,42 ± 0,06	309,8	-14,3	1,07 ± 0,05	234,4	11,83	4,37
СФМ	1,86 ± 0,09	2,07 ± 0,09	111,1	-1,62	1,95 ± 0,09	104,6	-0,69	0,94
ФХ	14,57 ± 0,67	13,81 ± 0,62	94,8	0,83	13,91 ± 0,64	95,5	0,71	0,11
ФС	1,19 ± 0,06	1,67 ± 0,07	139,7	-5,07	1,43 ± 0,06	119,8	-2,81	2,44
ФИ	1,88 ± 0,09	2,19 ± 0,10	116,6	-2,35	2,06 ± 0,09	109,5	-1,41	1,00
ФЭА	10,75 ± 0,51	10,69 ± 0,48	99,5	0,08	10,48 ± 0,46	97,6	0,38	0,31
ДФГ	4,93 ± 0,24	3,34 ± 0,16	67,7	5,56	4,28 ± 0,16	86,7	2,30	4,12
ФК	0,40 ± 0,01	0,84 ± 0,04	209,7	11,31	0,81 ± 0,04	203,4	-9,22	0,44
Сумма	36,04 ± 1,68	36,02 ± 1,63	100,0	0,01	36,00 ± 1,60	99,9	0,02	0,01
Т – Значения коэффициента Стьюдента между значениями животных контрольной группы и группами с гипоксией, фармакокоррекцией соответственно.								
Т1 - значения Стьюдента между группами с гипоксией и с фармакокоррекцией.								
% - За 100% процентов принято содержание параметров относительно контрольной группы.								

Содержание фосфатидилхолина при фармакокоррекции берлитионом хотя и не достоверно, но ниже уровня контрольных показателей независимо от длительности гипоксии, однако восстанавливалось до контрольных величин при введении липосом. Из представленных данных видно, что содержание лизофосфатидилхолина значительно выше контрольных во всех опытных группах. Однако при коррекции гипоксии с использованием липосомального препарата прослеживается эффект в сторону снижения содержания лизофосфатидилхолина. Кроме того, молярная доля лизофосфатидилхолина была примерно на одинаковом уровне после 20 (группа ЛС4-2) и 30 сеансов (группа ЛС4-3) гипоксии на фоне введения липосом.

Содержание фосфатидной кислоты при коррекции гипоксии не имело тенденцию к снижению относительно опытной группы с гипоксией, однако оставалось значительно выше

контрольного уровня во все сроки исследования независимо от способа коррекции.

Заслуживают особого внимания результаты, полученные при исследовании изменения содержания другой крупной фракции фосфолипидов – дифосфатидилглицерола. Здесь прослеживалось увеличение содержания данного фосфолипида вне зависимости от коррекции и длительности сроков гипоксии. Введение берлитиона и липосомального препарата не влияло на количественное содержание сфингомиелина, и оказывало схожий эффект на содержание фосфатидилсерина и фосфатидинозита.

Схожие результаты были получены в экспериментах с фармакокоррекции содержания фосфолипидов при 8-часовой субкомпенсированной гипобарической гипоксии. Здесь также наблюдалась восстановление содержания ДФГ и суммарного количества фосфолипидов независимо от типа

фармакокоррекции, на фоне восстановления фракции ФХ при введении липосом.

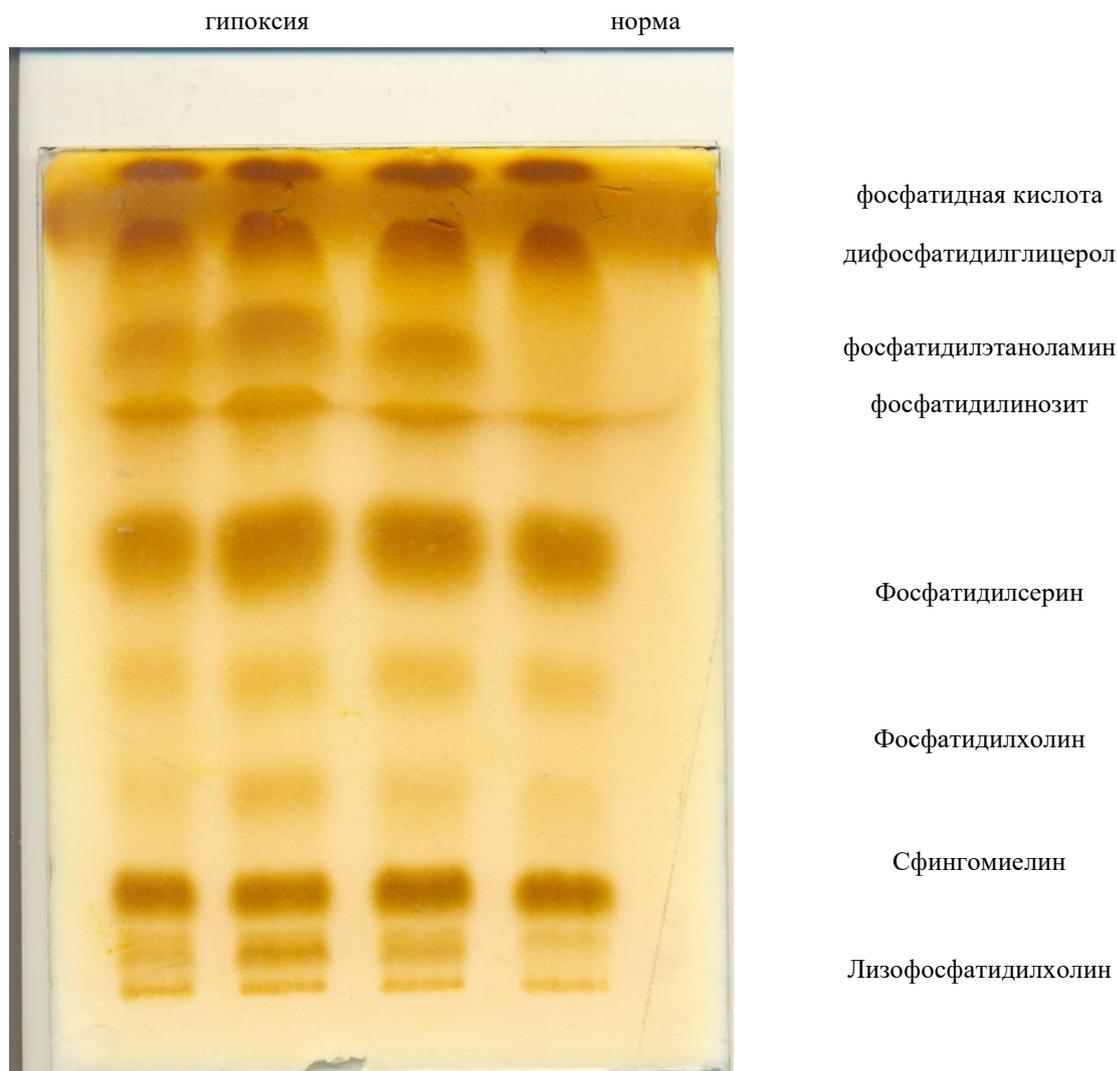


Рис. 3.3.1. Тонкослойная хроматография фосфолипидов сердца

Значительно возростала и доля фосфатидной кислоты, которая увеличивалась в первой группе 42%, во второй на 109,1% и в третьей на 109,7%, соответственно ( $p < 0,05$ ). Абсолютное содержание фосфатидилсерина достоверно отличалось от нормы лишь на 20 (увеличение на 145,8% относительно нормы) и 30 (увеличение на 139,7% относительно нормы) сутки эксперимента. Содержание остальных фракции фосфолипидов либо оставалось в пределах нормы либо подвергалось незначительным изменениям.

В экспериментах проведенных при 4-х часовой декомпенсированной гипобарической гипоксии было установлено увеличение суммарного количества и большинства фракций фосфолипидов (таблица 3.1.2.). Как видно из таблицы суммарное количество фосфолипидов в сердце животных подвергнутых субкомпенсированной гипобарической гипоксии, имело выраженную тенденцию к увеличению, хотя эти изменения не всегда были статистически достоверными ( $p > 0,05$ ). Так суммарное содержание фосфолипидов

достоверно отличалось от контроля только после 20 и 30 экспозиций гипоксии (36,07 мМ/кг сырой ткани в контрольной, против 42,15 мМ/кг при 20 экспозиций гипоксии и 42,91 мМ/кг на 30 сутки эксперимента, соответственно).

Из представленных на таблице 3.1.2. данных видно, что содержание лизофосфатидилхолина и фосфатидной кислоты значительно выше контрольных во всех опытных группах. Так молярное содержание лизофосфатидилхолина возростало в 3 раза на 10 сутки, на 4,6 раза на 20 сутки и 5,4 раза на 30 сутки эксперимента. Значительно возростала и доля фосфатидной кислоты, которая увеличивалась в первой группе на 3,2 раза, во второй 3,8 и в третьей на 4,3 раза ( $p < 0,05$ ). Также наблюдался прирост абсолютных значений сфингомиелина (на 10-20%), фосфатидилсерина (на 19-29%) и фосфатидилинозитола (на 30-56%). В количественном содержании фракций фосфатидилхолина наблюдались незначительные изменения. Содержание дифосфатидилглицерола

уменьшалось в статистически достоверных пределах во все сроки эксперимента.

Заслуживают особого внимания увеличение содержания другой крупной фракции нейтральные фосфолипидов – фосфатидилэтаноламина. Прослеживалось увеличение содержания данного фосфолипида вне зависимости длительности сроков гипоксии. Как видно из таблицы, на 10 суток эксперимента содержание фосфатидилэтаноламина находилось в

пределах  $13,6 \pm 0,61$  мМ, на 20 и 30 сутки  $15,15 \pm 0,68$  и  $14,46 \pm 0,59$  мМ соответственно.

При 8 часовой субкомпенсированной гипобарической гипоксии так же как и в предыдущих случаях, значительно возрастает содержание ЛФХ и ФК, на фоне достоверного снижения долиДФГ (1,3 раза во все сроки исследований) и повышения суммарного количества фосфолипидов (Таблицы 3.1.3.). Как видно из таблицы 3.1.3, абсолютное содержание ЛФХ было повышено в 4,1; 4,2 и 4,3 раза по сравнению с контролем; ФЭА- увеличено в 1,1; 1,2 и 1,2 раза; ФК- в 2,2; 2,4 и 2,8 раза относительно нормы на 10, 20 и 30 сутки гипоксии соответственно. Уровень легкоокисляемых ФЛ возрастал только на 20 и 30-е сутки эксперимента: ФИ – на 11%; 16%; ФС - 21%; 45% соответственно. Выявлено недостоверное изменение содержания фосфатидилхолина в течение всего периода наблюдения и сфингомиелина в начальные сроки исследований.

В следующей серии экспериментов было установлено, что 8 часовая декомпенсированная гипобарическая гипоксия вызывает тотальное отклонение липидных показателей от контрольных значений, которые следует оценить как результат сублетального воздействия гипоксического повреждения мембран клеток – уменьшение количества структурных липидов, в следствие утилизации последних.

При данной модели гипоксии было выявлено критическое снижение как суммарного содержания, так и основных фракций фосфолипидов сочетанного с увеличением доли ЛФХ и ФК. Молярное содержание лизофосфатидилхолина возрастало в 3 раза на 10 сутки, в 4,4 раза на 20 сутки и 4,9 раза на 30 сутки эксперимента. Значительно увеличивалась и доля фосфатидной кислоты (3,8-4,6 раза ( $p < 0,05$ )). Как видно из таблицы 3.1.4, абсолютное содержание ФХ было понижено на 15; 26 и 29% по сравнению с контролем; ДФГ - на 42; 49 и 49,5%; ФИ- на 29; 31 и 34% на 10, 20 и 30 сутки эксперимента соответственно. Выявлено недостоверное снижение содержания фосфатидилэтаноламина в течение всего периода наблюдения, а СФМ и ФС в начальные сроки исследований.

Как показали наши результаты, гипоксия способствует значительному снижению количественного содержания дифосфатидилглицерола в тканях сердца,

предположительно этот факт указывает на усиление деградации митохондриальных структур клеток сердца при гипоксии. В некоторых работах было показано, что в условиях дефицита кислорода вслед за фазовым увеличением супероксида и  $H_2O_2$  может нарастать уровень гидроксил радикала [13; с.2-4], одной из основных мишеней которого является митохондриальный кардиолипид, фосфолипид, содержащий четыре остатка линолевой кислоты [14; с.1864-1884]. Предположительно схожие процессы происходят и при гипоксическом поражении сердечной ткани.

Суммируя полученные результаты, нами сделан вывод о том, что гипобарическая гипоксия сопровождается качественными и количественными изменениями как суммарного, так и фракционного состава фосфолипидов клеток сердечной ткани и степень этих нарушений находится в прямой зависимости от интенсивности и длительности гипобарической гипоксии.

### **Выводы.**

1. Впервые исследовано изменение фракционного состава фосфолипидов сердечной ткани в зависимости от интенсивности и продолжительности гипобарической гипоксии. Выявлено значительное изменение количественного состава фосфолипидов, как в условиях субкомпенсированной, так и декомпенсированной гипоксии. Установлено, что субкомпенсированная гипоксия 4-х часовой продолжительности характеризуются нарастанием количества лизоформы ФХ, ФС и ФК на фоне уменьшения фракций ФХ и ДФГ при неизменном количестве суммарных ФЛ, достоверно не отличающихся от контроля во все сроки наблюдения.

2. Схожая ситуация наблюдалась и при субкомпенсированной гипоксии 8-часовой продолжительности. При декомпенсированной гипобарической гипоксии 4-х часовой продолжительности наблюдалось достоверное снижение содержания ФХ, ДФГ и возрастания уровня ЛФХ, ФС, ФИ, ФК, ФЭА на фоне увеличения суммарного количества фосфолипидов.

3. Однако при 8-часовой декомпенсированной гипобарической гипоксии было установлено увеличение содержания ЛФХ и ФК при существенном снижении содержания остальных фракций и суммарного содержания фосфолипидов.

4. Фармакокоррекции при гипобарической гипоксии липосомальным препаратом содержащим, обеспечивает нормализацию как суммарного содержания, так и отдельных фракционного состава фосфолипидов сердечной ткани.

### **Список использованной литературы.**

1. Зайчик А. Ш., Чурилов Л. П. Основы патохимии. ЭЛБИ - СПб, 2000. - С. 687- 363–364.
2. Wattanapitayakul S.K., Bauer J.A. Oxidative pathways in cardiovascular disease: roles, mechanisms,

- and therapeutic implications. *Pharmacology & therapeutics*, vol. 89 (2), 2001.p.187-206.
3. Giaccia A. J., Simon M. C. and Johnson R. The biology of hypoxia: the role of oxygen sensing in development, normal function, and disease. *Genes&Development*. 2004 18: p.2183- 2194.
  4. Bruder E. D., Raff H. Cardiac and plasma lipid profiles in response to acute hypoxia in neonatal and young adult rats. *Lipids in Health and Disease*. 9(1):3. January 2010. - p.1 – 6.
  5. Мекенбаева Р.Т., Фаттахов А. Р. Изменения в миокарде при гипоксии умерших новорожденных. *Медицинский журнал Узбекистана*. 2012. № 5. -С. 7-9.
  6. Шамиров А.К., Курбанов С.Д., Азимова Э.И. Морфологическая характеристика плацент женщин, страдающих хроническим пиелонефритом // *Педиатрия спец выпуск* 1999. - С. 79-81.
  7. Чарный А.М. Патофизиология гипоксических состояний. – М.: Медгиз, 1961. - С. – 343.
  8. Меерсон Ф.З., Пшеничкова М.Г. Адаптация к стрессовым ситуациям и физиологическим нагрузкам. - М.: Медицина, 1988. - С. – 256 - 74–107.
  9. Harman D. A biologic clock: the mitochondria // *J. Am. Geriatrics Soc.* – 1972. – Vol. 20. – p.145– 147.
  10. Silachev D.N. The Mitochondrion as a Key Regulator of Ischaemic Tolerance and Injury. *Heart Lung Circ.* – 2014. – Vol. 23 – p. 897- 904.
  11. Бергельсон Л. Д., Дятловицкая Э. В., Молотковский Ю. Г. и др. *Препаративная биохимия липидов*. отв. ред. Бергельсон Л. Д. - Москва: Наука, 1981. –С. 259.
  12. Реброва Т.Ю., Афанасьев С.А., Перчаткин В.А., Максимов И.В., Марков В.А. *Экспер. клин.фармакол.*, (2004). 67 (2).-С.27-30.
  13. Wang W, Toran P.T, Sabol R.J, Brown T.J. Epigenetics and Sphingolipid Metabolism Health and Disease. *Int J Biopharm Sci*. 2018 an;1(2):105 -p.2-4
  14. Zheng, W., Kollmeyer J., Symolon H., Momin A., Munter E., Wang E., Kelly S., Allegood J. C., Liu Y., Peng Q. et al. 2006. Ceramides and other bioactive sphingolipid backbones in health and disease: lipidomic analysis, metabolism and roles in membrane structure, dynamics, signaling and autophagy. *Biochim. Biophys. Acta*. 1758:-p.1864–1884.

УДК 581.143:635.21:631.531

<sup>1</sup>*Podhaietskyi Anatolii Adamovich.*

*Doctor of Agricultural Science*

<sup>2</sup>*Matskevych Vyacheslav Viktorovich,*

*Candidate of Agricultural Science*

<sup>2</sup>*Filipova Larisa Mykolayivna,*

*Candidate of Agricultural Science*

<sup>1</sup>*Kravchenko Nataliya Volodimirivna.*

*Candidata of Agricultural Science*

<sup>1</sup>*Hnitetskyi Maksim Olehovich,*

*PhD*

#### ADAPTIVITY OF PLANTS IN STAGE IN VITRO-EX VITRO

<sup>1</sup>*Подгаєцький Анатолій Адамович,*

*д. с.-г. н., професор*

<sup>2</sup>*Мацькевич В'ячеслав Вікторович,*

*к. с.-г. н., доцент*

<sup>2</sup>*Філіпова Лариса Миколаївна,*

*к. с.-г. н., доцент*

<sup>1</sup>*Кравченко Наталія Володимирівна,*

*к. с.-г. н., доцент*

<sup>1</sup>*Гнітецький Максим Олегович,*

*аспірант*

<sup>1</sup>*Сумський національний аграрний університет,*

*Україна, м. Суми, вул. Г. Кондратьєва 160, 40021*

<sup>2</sup>*Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна*

#### АДАПТИВНІСТЬ РОСЛИН НА ЕТАПІ IN VITRO-EX VITRO

**Abstract.** The results of studies on generalization of ways to improve the adaptation of test tubes in vitro-ex vitro are presented. The causes of stressful situations that cause changes in metabolism, anatomically-morphological, and restructuring of the whole organism in the process of growing under in vitro conditions are described, which ultimately influences the postseptic healing of plants. Taking into account the biological characteristics of the studied cultures, different approaches have been tested to reduce material loss in the in vitro-ex vitro. The possibility of using to increase the adaptability of test tubes to the state of their dormancy has been proved, which will allow the regenerating plants to "prepare" for stress. This was confirmed in experiments with

potatoes, hostas, raspberries, blueberries and other crops. Considering that the success in plant engraftment in the postaseptic period is largely due to the presence of a well-developed root system, plants *in vitro* should successfully shape it. For this purpose cultivation on depleted mineral nutrient solutions is used, depending on the needs to adjust the concentration of phyto-alexins and to select those that would contribute to the greatest effect. In working with individual cultures, positive results are obtained by adding activated carbon to the culture medium. Often the better engraftment of test tube plants is facilitated by the use of mycorrhizal fungi, although this technology is often complicated. The use of antiseptic chemicals also has a positive effect on reducing losses in the process of engraftment of test tubes.

**Анотація.** Наведені результати досліджень з узагальнення способів поліпшити адаптації пробіркових рослин на етапі *in vitro-ex vitro*. Описані причини стресових ситуацій, які обумовлюють зміни метаболізму, анатомо-морфологічні, перебудови всього організму у процесі вирощування в умовах *in vitro*, що в кінцевому результаті впливає на постасептичне приживлення рослин. З урахуванням біологічних особливостей досліджуваних культур випробовувались різні підходи для зниження втрат матеріалу на етапі *in vitro-ex vitro*. Доведена можливість використання для підвищення адаптивності пробіркових рослин стану їх спокою, що дозволить рослинам-регенерантам «підготувитись» до стресу. Викладене підтвердилось у експериментах з картоплею, хостою, малиною, лохиною та іншими культурами. Зважаючи, що успіхи в приживленні рослин у постасептичний період великою мірою обумовлені наявністю добре розвиненої кореневої системи, рослини *in vitro* повинні успішно формувати її. Для цього використовується культивування на збіднених мінеральних поживних розчинах, залежно від потреб коригувати концентрацію фіто алексинів та підбирати такі, які б сприяли найбільшому ефекту. У роботі з окремими культурами позитивні результати отримують, додаючи в живильне середовище активоване вугілля. Часто кращою приживленні пробіркових рослин сприяє використання мікоризних грибів, хоча ця технологія нерідко буває складною. Використання хімічних препаратів-антисептиків також позитивно впливає на зменшенні втрат у процесі приживлення пробіркових рослин.

**Keywords:** *in vitro, ex vitro, adaptation, dormancy, plants, phyto-alexins, nutrient composition, chemicals.*

**Keywords:** *in vitro, ex vitro, адаптація, стан спокою, рослини, фіто алексини, склад живильного середовища, хімічні препарати.*

**Постановка проблеми.** Незважаючи на пошуки раціональних шляхів виконання досліджень з мікроклонального розмноження рослин і до нинішнього часу існує чимало високо затратних процесів, пов'язаних з ним, не вирішено шляхи оптимізації окремих з них. Навіть, порівнюючи із введенням в культуру *in vitro* досліджуваного матеріалу, адаптивність рослин-регенерантів до умов *ex vitro* більш складна проблема застосування методу [1, 2]. Біологічні особливості культур не дозволяють повною мірою використовувати розробки стосовно збереження рослин на етапі *in vitro – ex vitro* (нестерильні умови), а тому численні дослідники відмічають великі втрати матеріалу саме в цей період [3, 4].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** До нинішнього часу запропоновано чимало способів підвищення адаптації рослин в період *in vitro – ex vitro* [5, 6]. За їх використання робиться спроба врахувати фізіолого-анатомічні особливості пробіркових рослин [7], стан їх розвитку, проведення підготовчих процесів до пересадження *ex vitro*.

**Ціль дослідження.** Використовуючи різні підходи, підвищити адаптивність пробіркових рослин на етапі *in vitro-ex vitro*.

**Результати дослідження та обговорення.** Основи пристосувального метаболізму, анатомічних, морфологічних змін окремих органів, організму, у цілому, закладаються в апікальних меристемах. Вони, в свою чергу, є результатом процесів, що індукуються умовами культивування. На нашу думку, саме ці особливості стану меристем і швидкість зміни в них впливають на

пристосування за двох типів адаптації: 1 - ведення меристем з нативних умов в пробірковій; 2 – постасептична адаптація. Якщо в першому випадку біотехнологам доводиться вирішувати проблему з невеликою частиною матеріалу, то в останньому ефективність адаптації впливає на комерціалізацію садивного матеріалу. Технологічно активність меристем (баланс гормонів, анатомо-морфологічні особливості, тощо) необхідно «перезавантажити». У природі відомі аналоги такого процесу. Це входження рослин у стан спокою, що дозволяє їм подолати несприятливі умови і почати життєвий цикл з початку у вигляді нового організму: насінини, чи органу вегетативного розмноження. Пошук методів використання спокою рослин-регенерантів, які б дозволили покращити постасептичну адаптацію, часто є актуальною метою досліджень для комерційних технологій мікроклонального розмноження.

Проростання насінини, або бульби, починаючи з першого етапу органогенезу, і впродовж життєвого циклу, у рослин відбувається адаптація до умов навколишнього середовища. Ще в минулому столітті Ф.М. Куперман [8] встановила, що навколишні умови під час онтогенезу визначають особливості формування органів і тканин організму, в яких у свою чергу, закладаються пристосування до них. Таким чином, дочірній організм: насіння, чи орган вегетативного розмноження готується до дії факторів навколишнього середовища ще в генеративному періоді материнської рослини.

Зокрема, нами раніше було успішно використано введення рослин у стан спокою, як

спосіб адаптації рослин *in vitro*, для картоплі та хости [9]. За висаджування в закритий ґрунт розсади та мікробульб виявлено відмінності в рості рослин картоплі. Розсаду висаджували в закритий ґрунт вже із сформованою (пагін з листками) надземною частиною, а для мікробульб необхідно було 18 днів для появи перших сходів. У висаджених регенерантів встановлено різну кількість головних стебел у рослині та неоднакову глибину закладання стolonів. Насадженням, сформованим із розсади, властиве одне стебло і не глибоке закладання стolonів (1,5 см), а рослини картоплі, що виростили з мікробульб, мали два і більше пагонів.

Менша кількість стolonів у насінневого матеріалу з розсади також пов'язана із можливими постасептичного пристосування рослин. Так, розсаді необхідний певний період для приживання, під час якого знижується тургор, що є сильним стресовим чинником. Як відомо, стрес стримує ріст і, відповідно, гальмує утворення більшої кількості вегетативних органів (в т.ч. і фотоасимілюючих, від яких залежить продуктивність), а також скорочує вегетацію, що в свою чергу позначається на продуктивності рослин. У нашому досліді в обох сортів картоплі в закритому ґрунті утворилось більше мінібульб у рослин, що виростили з мікробульб, ніж з розсади. Отже, введення картоплі *in vitro* в спокій (утворення мікробульб) покращує постасептичну адаптацію.

Іншим ботанічним видом, на якому досліджували вплив введення рослин *in vitro* в стан спокою, були регенеранти двох сортів хости. Найбільша кількість рослин, які прижились *ex vitro* була у варіанті, де вони пройшли стан спокою. За 60 днів культивування в цьому випадку сформувалась найбільша кількість пагонів, маса рослин, незважаючи на те, що в перші дні росту у них були лише невеликі та згорнуті пластинки. Проте, рослини обох сортів цього варіанту за розмірами і масою переважали інші варіанти в декілька разів. Зокрема рослини, вирощені з матеріалу, що не пройшов стан спокою, мали в середньому масу у сорту "Патріот" 0,5 г (розсада

без кореня) і 0,9 (розсада з коренем), проти 3,6 грам у рослин, що пройшли стан спокою.

Поряд із морфогенезом пагонів та коренів основним показником постасептичної адаптації є приживлення рослин. Якщо в картоплі між розсадою і мікробульбами не відмічалось чіткої різниці в приживленні асептичного матеріалу, а виявлена різниця лише за розвитком, то в хости приживлення рослин *in vitro* дуже відрізнялось за варіантами з індукцією і без індукції кореневої системи ауксинами. Зокрема, в сорту "Паульс Глорі" з розсади без кореня прижилося 37,8 % рослин, а з корінням – 56,6 %. Найбільший відсоток приживання становив у варіанті з рослинами, які пройшли стан спокою – 87,2. Подібна закономірність встановлена і в сорту "Патріот".

Таким чином, у досліді з рослинами картоплі та хости встановлено, що введення *in vitro* регенерантів у спокій покращує їхнє постасептичне культивування, тобто, за таких умов краще відбувається адаптація [9].

Отримані результати підтверджені на рослинах *ex vitro* малини (сорт "Брусвяна", "Octavia", "Maravilla", температура +2-4<sup>0</sup>С), лохини (сорт "Patriot", "Bluecrop", температура +6-8<sup>0</sup>С), фундука (сорт Барселонський, +4-6<sup>0</sup>С). Пагони рослин дерев'яніли, бруньки збільшувалися в розмірах та вкривалися захисними криючими лусками, листя старіло й опадало. За підвищення температури відмічалось пробудження бруньок та спостерігався вирівняний ріст рослин після стану спокою.

Гапоненко М.Б. та Р.В. Іванніков [10] постасептичну адаптацію сіянців *Anacamptismorio* з родини орхідейних (*Orchidaceae*) розпочинали з того, що колби з регенерантами, які росли на живильному середовищі, переносили в прохолодне місце, імітуючи умови переходу до періоду спокою та з метою їхнього загартування.

В даний час нами в умовах ФГ "Беррі Фарм Юкрейн" вирощується садивний матеріал павловнії з використанням нетривалого дорощування *ex vitro* та введення його в стан спокою (рис. 1). Умови зберігання рослин в стані спокою: температура +8<sup>0</sup>С; вологість 45-55%.



Волога камера для постасептичної адаптації



Регенерант павловнії через тиждень після адаптації у вологій камері



*Відростання бруньок в базальній частині (регенеранти павловнії після трьохтижневої адаптації та проходження спокою)*

*Рис. 1. Постасептична адаптація павловнії*

Перед введенням в спокій рослини дорощувались на перлітовому субстраті. Це дозволило уникнути ураження їх комплексом хвороб, зокрема фузаріозом [11]. За висадки на перлітовий субстрат з подальшим введенням в спокій встановлені такі особливості: в регенерантів, які перед перенесенням в стан спокою дорощувались лише три тижні, відмирала

вся надземна частина. Пробудження відбувалось з відростання бруньок з базальної частини пагона. В регенерантів, що дорощувались чотири тижні – відмирало третина-половина частин пагона. Повноцінні мікродерева вдалось отримати за введення в стан спокою регенерантів дорощених *ex vitro* (рис. 2).



Відростання після спокою регенерантів, що проходили адаптацію впродовж трьох тижнів.

«Мікродерева», які утворюються під час спокою з рослин, що проходили два місяці адаптації.

Рис. 2. Стан рослин після проходження стану спокою залежно від періоду адаптації

На основі адаптації із введенням в стан спокою мікророслин у ТОВ «НВЦ Ін Вітро Планта (Україна, м. Одеса) зареєстрували власну торгову марку «MicroTrees», або «Мікродерева». За інформацією розробників [12] це «...продукція нового покоління, яка представляє собою нову окрему категорію посадкового матеріалу, що значно спрощує етапи його дорощування, зберігання та контролю. В циклі виробництва рослин відсутній контакт із навколишнім середовищем. Виробництво даної категорії матеріалу відбувається без використання теплиць, однак продукція повністю готова до вирощування в умовах навколишнього середовища».

Якщо з різних технологічних чи організаційних причин, коли не вдається «перезавантажити» програму онтогенезу рослин *ex vitro*, підбирають умови, за яких такі зміни відбуваються без входження рослин в спокій.

Ефективність постасептичної адаптації значною мірою залежить від показників ризогенезу регенерантів. У більшості протоколів технологій МКР індукція коренеутворення є окремим етапом і рідше поєднується з мультиплікацією або відбувається під час адаптації. Рослини *in vitro* не мають потреби формувати розвинену кореневу систему внаслідок розміщення коріння у штучних живильних середовищах, забезпечених легкодоступними вологою та елементами живлення [13].

Індукція ризогенезу може бути: спонтанною, під час етапу мультиплікації, за останнього живцювання в умовах *in vitro* на змінених живильних середовищах – цитокінінауксиний

індекс та розпочинатись з вирощування вихідних для живцювання рослин на середовищах, що індукують утворення кореневої системи, або мають малий вміст цитокінінів, що забезпечує ризогенез під час адаптації та постасептичного живцювання.

Зокрема, нами в дослідженнях з асептичною культурою хости [14, 15] встановлено індукуючий вплив умов вирощування рослин-донорів експлантів на ризогенез регенерантів під час культивування на середовищах з високим умістом ауксинів. Регенеранти з експлантів ізольованих із донорів, вирощених за довгого фотоперіоду, швидше розпочинали коренеутворення. Так, стосовно сорту Патріот різниця становила 7,1 днів, а сорту Паульс Глорі – 5,8 днів. Цей чинник також впливав на кількість та довжину коренів. У регенерантів сорту Патріот перша зростала з 1,2 до 3,7 штук на рослину, а довжина збільшувалась з 4,3 до 8,9 мм.

Умови безпосереднього вирощування самих регенерантів обумовлювали ще більший вплив на ризогенез. За довшого фотоперіоду регенеранти швидше утворювали корені та більшу їх кількість. Між рослинами сорту Патріот різниця за початком утворення коренів становила 8,3 днів, а в сорту Паульс Глорі - 9,1 днів. Відмінності в розвитку кореневої системи, залежно від умов освітлення, була більшою, ніж між іншими варіантами.

Згідно з правилом Скуга-Міллера, на живильному середовищі коренеутворення відбувається за переважання ауксинів над цитокінінами. Ботанічні види, навіть класи, мають свої вимоги до ауксинів або їх синтетичних аналогів. Зокрема, за нашими спостереженнями,

більшість однодольних рослин, порівняно з дводольними, потребують ауксинів більше. Також виявлені вимоги до виду ауксину. Наприклад, у процесі МКР хости індолілоцтова кислота, порівняно із індолілмасляною кислотою (далі ІМК), виявилась мало ефективною для коренеутворення в обох сортів [15].

Порівнюючи ауксини ІОК, НОК та ІМК, як індуктори ризогенезу у різних концентраціях встановили, що кращим варіантом було додавання 1,5-2,0 мг/л ІМК. За цих умов довжина кореневої системи на 30 день культивування становила 64-171 мм. Додавання в такій кількості НОК стимулювало інтенсивне калусоутворення в базальній частині пагона. Додавання ІОК в концентрації 1,5 і 2,0 мг/л викликало утворення коренів, однак, перші з довжиною 3-5 мм відмічено на 22-30 день за порівняно повільного розвитку регенерантів.

Для багатьох культур чинником, обмежуючим ризогенез, є зменшення концентрації елементів мінерального живлення в середовищі [16]. Нами це підтверджено в процесі культивування хости. Середовище із половинним вмістом мінеральної (MS) основи, порівняно з контролем, стимулювало ріст кореневої системи. На цьому середовищі дія ауксинів (ІМК) проявлялась, як з високою (3 мг/л) так і з низькою концентрацією (1 мг/л). Регенеранти на середовищі з вищою концентрацією ауксинів за кількістю коренів поступались рослинам, що виростили на середовищі з 1 мг/л ІМК але переважали за довжиною коренів.

За МКР сливи порівнювали дію індукторів коренеутворення (ІМК, НОК, ІОК). Встановлена висока ефективність ІОК, але у великих концентраціях – 6,0 мг/л [17]. Для іншої кісточкової культури – вишні кращим індуктором утворення коренів був ауксин НОК. Проте, за його додавання на базальній ділянці відбувалось інтенсивне розростання калусу, що ускладнювало перенесення регенерантів в умови *ex vitro* [18]. На регенерантах павловнії НОК також спричиняв утворення гіпертрофованих коренів, а за високих концентрацій вони формували лише кореневу систему без утворення пагонів.

Про детермінуючий вплив на ризогенез зменшення концентрацій мінеральних солей (MS<sub>1/2</sub>) свідчить утворення коріння, навіть, за зниженого вмісту ауксинів, що не відбувалось за повної мінеральної основи. Однак, відсутність ауксинів (ІМК) у середовищі з половинною концентрацією мінеральних речовин, спричиняло в регенерантів пригнічення росту і розвитку, в тому числі й ризогенезу.

Окрім відомих детермінантів ризогенезу використовують додавання в середовище активованого вугілля. Припускають, що це пов'язано із зв'язуванням ним інгібіторів гормонів, затіненням та додатковою аерацією середовища [19]. Для павловнії оптимальною була кількість активованого вугілля в живильному середовищі 2,0-2,5 г/л. Варіанти з меншою концентрацією

поступались цьому, як за початком утворення коренів, так і довжиною їх та кількістю. За збільшення концентрації активованого вугілля до 3,0 г/л помітні ознаки фітотоксичного впливу на загальний стан регенерантів, в т. ч. висоту пагону, швидкість росту та коренеутворення.

Коренева система, сформована *in vitro*, часто характеризується відсутністю корневих волосків та коренів другого порядку. Як наслідок, корені мають невелику площу контакту з живильним середовищем й слабку поглинальну здатність, що також негативно проявляється на етапі їх адаптації до нових умов росту. Водночас, відновлюється ряд зв'язків, які рослини набули впродовж еволюції.

Функцію корневих волосків в ценозі виконує мікориза. Саме завдяки їй відбувається надходження поживних речовин із субстрату, що обумовлюється асоціацією коріння вищих рослин і непатогенного гриба. За таких взаємовідносин гриб допомагає рослині у засвоєнні води і важкодоступних речовин ґрунту. Також своєю ферментативною діяльністю гриб, сприяє обміну вуглеводів, активізує діяльність ферментних систем вищих рослин [20]. Мікоризні та інші ризосферні мікроорганізми часто, виступаючи конкурентами патогенів, вберігають рослини від загибелі.

Нерідко після пересадки рослин у ґрунт відбуваються їх втрати, пов'язані із неспроможністю коріння повністю виконувати асиміляційні функції. Тому, доцільно на третьому чи четвертому етапах клонального мікророзмноження застосовувати штучну мікоризацію рослин (для мікотрофних), враховуючи її позитивну роль у постачанні рослин мінеральних та органічних елементів живлення, водою, біологічно активними речовинами, а також у захисті рослин від патогенів. Мікориза допомагає не лише в асиміляції але й зменшує стрес, пов'язаний із пересадкою, підвищуючи, таким чином, приживлюваність рослин.

Останнім часом накопичена значна інформація про мікоризацію ряду рослин за МКР. Гречаник Р. М. та ін. [21] для кращого приживлення рослин використовували інокуляцію мікоризними грибами, хоча цей спосіб досить трудомісткий. Автори довели можливість сумісного культивування мікро саджанців гібридної форми осики в умовах *in vitro* з виділеною чистою культурою вищих грибів та вирощування інокулюму гриба-симбіонта за методом Marx et al. Така мікоризація в умовах *in vitro* виявилась досить ефективною технологією, хоча і складною, що для практичного застосування є досить проблематичним. Цей метод найбільше підходить для лабораторних фізіологічних та біотехнологічних досліджень, тому актуальним залишається пошук комерційних технологій мікоризації на етапі постасептичної адаптації.

Вдалося досягти підвищення приживлення пробіркових рослин на етапі *ex vitro*, використовуючи обробку їх коріння мікоризний

інокулянт MycoApply Super Concentrata в концентрації 2,6 % (на 6,2 %), або розчин нітрофоски – 50 г/л (на 6,8 %), хоча сумісне їх використання не привело до покращення приживлення пробіркових рослин у теплиці [14].

Важливим для адаптації рослин *ex vitro* є швидке відновлення в рослин водообміну. У скляній тарі, за стабільних волого-температурних умов рослини формують легко уразливі невеликі листки, в яких постійно відкриті продиhi, тонкі стебла та слабозвинену кореневу систему [14, 22]. Водний стрес призводить до зневоднення тканин і руйнування мембран. Вважають, що розвиток механізму закривання продиhiv запускається при зниженні вологості до 65% [23]. Але за такої вологості більшість рослин *in vitro* гине, а за високої вологості, особливо в поєднанні з високою температурою та наявністю травмованих ділянок тканин, відбувається швидке пошкодження рослин сапрофітними та шкодочинними мікроорганізмами. Тому, більшість технологій передбачає створення впродовж перших днів вологості в межах 95-99 % з наступним зниженням до 50-60 % [13, 14]. У окремих випадках застосовують антитранспіранти. Наприклад, для запобігання водному стресу та пошкодженнь грибами рослин *ex vitro* актинідії нами вони обприскувались розчином прилипала Ліпосам та фунгіцидом Превікур Енерджі 840 SL. [14, 24]. Зеленьяньска Н. М. встановила [25], що 0,3 і 0,5 % концентрації Varog Gard та 0,4 % концентрації препарату ЕПАА сприяли зниженню транспірації та покращенню адаптації рослин винограду *in vitro*.

Під час адаптації для ряду культур, зокрема, картоплі, павлової, малини та ін. завдяки ювенільності рослин *ex vitro* успішно можна проводити постасептичні живцювання [11, 14, 26]. Наприклад, у рослин павлової після *in vitro* ювенілізації продовжувалась кілька поколінь за постасептичного живцювання. Після висадки регенерантів, вирощених «на агарі», їх можна ще 2-3 рази живцювати. Після 4-5 живцювань втрачається ювенільність, а отже, і регенераційні властивості, в т.ч. утворення адвентивних коренів.

1. За другого-третього постасептичного живцювання саджанцям властиві перші порівняно великі листки. Такі регенеранти мають кращі адаптаційні властивості і меншу собівартість, порівняно з рослинами висадженими відразу з умов *in vitro* [11].

Більш досконалим методом постасептичної адаптації та прискореного розмноження є фотоавтотрофне МКР. У основі цього методу покладено інтенсивне накопичення регенерантами пластичних речовин за рахунок інтенсифікації фотосинтезу, а саме, збільшення в рази світлової енергії та вмісту CO<sub>2</sub> [14, 27]. За таких умов регенеранти надзвичайно швидко накопичують речовини, які значною мірою використовуються, як будівельний матеріал. За нашими спостереженнями, застосування методу дозволяє в два рази пришвидшити ріст, ніж *in vitro* [14]. Також

рослини стають повністю адаптовані до автотрофного живлення. Застосовуючи цей метод, нам вдалося вкорінити живці фундука [14, 28], які за звичайного вегетативного розмноження дуже складно вкорінювались.

Для кращої адаптації рослин *in vitro* створюють контрольовані умови з підвищеною температурою та високою вологістю повітря. Такі умови водночас є сприятливими і для інтенсивного розвитку мікрофлори, зокрема й мікроскопічних сапрофітних грибів, що поселяються на ослаблених під час адаптаційного стресу рослинах. За нашими спостереженнями, ці організми мацеруючи тканини знищують рослини за 1-2 тижні [14]. У випадку пошкодження павлової і наявності спорофітів регенеранти гинули за 1-2 доби.

З метою захисту від згаданого явища застосовують біологічні та хімічні методи. З біологічних вдалим прикладом є обприскування рослин розчином мікробіологічних препаратів, на основі корисних бактерій [29].

Хімічні методи передбачають як обробку тепличних субстратів, так і обробку самих рослин. На рослинах хости нами порівняно ефективність обробки субстратів (на основі торфу) двома речовинами: фундазол (д.р. беноміл) та ризолекс (толклофос-метил) та обробку розсади нітратом срібла, Максим Форте 050 FS т.к.с. – Syngenta і Превікур Енерджі 840 SL, в.р.к. – Bayer Garden [14, 15]. Найбільше рослин (89,47 %) прижилось у варіанті із замочуванням їх перед висадкою в Превікур Енерджі 840 SL, порівняно з 35,61 % в контролі [15].

Аналізуючи склад мікрофлори, яка заселяла регенеранти ожини в умовах *ex vitro*, встановили, що контамінанти віднесені переважно до цвілевих грибів, зокрема представникам роду *Aspergillus*. Деконтамінуюча активність фунгіцидів стосовно згаданих мікроорганізмів залежала від вологості повітря, препарату та способу його використання. Відмічено, що в контролі без застосування фунгіцидів ураження рослин з подальшою їх загибеллю становила 86 % за низької вологості повітря, а в умовах високої вологості загинули всі рослини. У варіанті із застосуванням контактного фунгіциду фундазолу втрати рослин за обох рівнів вологості повітря були близькими до контролю. Застосування фунгіциду Топсін М, порівняно з контролем, дозволило знизити втрати, залежно від способу застосування, на 17-24 %. За 100 % вологості у варіанті із згаданим фунгіцидом живими залишалися 5-7 % рослин. У цих варіантах також відмічено пригнічення росту рослин, зокрема менші біометричні розміри пагона. Найбільш ефективним виявилось застосування препарату Превікур Енерджі у дозі 1,5 г/л за обприскування впродовж культивування через п'ять днів, оскільки в цьому варіанті приживання регенерантів становило майже 98% за низької вологості повітря, та 79-85% – за високої [14].

2. Ще більш радикальним методом захисту рослин від небажаної мікрофлори є створення

умов, за яких ці об'єкти не можуть рости. Наприклад, на торфосубстраті випробувано обробку фунгіцидами з метою захисту від комплексу хвороб. Однак, лише частково вдалось стримувати поширення грибів, знижуючи вологість

субстрату та обробляючи його кожні 5 днів Превікур Енерджи 840 slv.p.k 2-3 мл на літр води. Застосування як субстрату агроперліту (рис. 3), дозволило уникнути вище згаданих проблем [11].



Рис. 3. Стан регенерантів павловнії на різних субстратах

#### Висновки.

Зважаючи на біологічні особливості рослин, з якими проводиться МКР, високу ефективність на етапі *in vitro-ex vitro* мало введення рослин у стан спокою, застосування ауксинів, спеціального фотоперіоду, концентрації мінеральної основи середовища, CO<sub>2</sub>, додавання в нього активованого вугілля, застосування мікоризи, хімічних препаратів, а також субстрату, на якому відбувається приживлення пробіркових рослин.

#### Список використаної літератури

1. Застосування біотехнологічних методів для розмноження гібриду осики і тополі чорної та мікоризації садивного матеріалу / Р. М. Гречаник, О. Ф. Базюк, З. В. Бондаренко та ін. // Науковим вісник Українського державного лісотехнічного університету. – Львів: УкрДЛТУ, 2003. Вип. 13.3. С. 210-221.

2. Ковалевський С. Б., Білоус С. Ю., Ліханогв А. Ф. Культура *Populus tremula* L. – Київ: НУБіП України, 2014.– 189 с.

3. Білоус С. Ю. Біотехнологічні аспекти адаптації рослин-регенерантів *Populus tremula* L. до умов закритого та відкритого ґрунту // Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 2015, №219, С. 198-205.

4. Подгаєцький А.А., Кришталь В. І., Киричок В. О., Подгаєцька Ю. А. Способи поліпшення приживлення пробіркових рослин картоплі // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія», 2016, Вип. 9(32), С. 149-156.

5. Иванова М. А., Баландина И. М. Влияние размера посадочного материала на выращивание микроклональных растений осины в условиях *ex vitro* // Труды Белорусского государственного технологического университета. 2009, Вып. 17, серия 1, Лесное хозяйство. С. 161-164.

6. Иванова М. А., Богинская Л. А., Беландина И. М. и др. Морфологические параметры микроклонального размножения растений осины и березы при выращивании в условиях закрытого грунта // Труды Белорусского государственного технологического университета. 2010, Вып. 18, серия 1, Лесное хозяйство. С. 235-238.

7. Реуцкий В.Г., Банадысев С. А., Родионов П. А., Коновалова Г. И. Жизнеспособность пробирочных микроклонов картофеля и перспективы повышения их качества // Актуальные проблемы защиты картофеля, плодовых и овощных культур от болезней, вредителей и сорняков: Междунар. научно-практ. конфер., посвященная 100-летию со дня рождения Н.А. Дорожкина (Самохваловичи, 9-12 августа 2005 г.). – Минск. – 2005. – С. 27–32.

8. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. Морфофизиологический анализ этапов органогенеза различных жизненных форм покрытосеменных растений /Ф. М. Куперман.– М., «Высш. школа».– 1973. – 256 с.

9. Matskevych V., Filipova L., Dyba R. In vitro regeneration introduction in dormancy state as a way of post-aseptic adaptation // Агробіологія, 2013. № 11 (104) с. 19-23.

10. Гапоненко А. Б., Іванніков Р. В. Перспективи культивування *Anacamptismorio* (L.) R. M. Bateman, Pridgeonetm W. Chase (Orchidaceae) з метою збереження виду в Україні // Український ботанічний журнал, 2013, Т. 50, № 5, С. 635-641.
11. Павловія: науково-практичний посібник / О.В. Мацкевич, Л.М. Філіпова, В.В. Мацкевич, В.В. Андрієвський. – Біла Церква: БНАУ, 2019. 80 с.
12. <https://www.hazelnutinvitro.com/microtrees>
13. Деменко В.И., Лебедева В.А. Адаптация растений, полученных *in vitro*, к нестерильным условиям // Известия ТСХА, 2011, Выпуск 1, С. 60-70
14. Подгаєцький А.А., Мацкевич В. В., Подгаєцький А. Ан. Особливості мікроклонального розмноження видів рослин. Біла Церква : БНАУ, 2018. 209 с.
15. Стадник А. П., Філіпова Л. М., мацкевич В. В. Екологічні особливості трофічної та гормональної детермінації ризогенезу *in vitro* регенерантів хости // Агроєкологічний журнал, 2014, N 3, С. 75-80.
16. МАЦКЕВИЧ В.В., РОГОВСКИЙ С. В., ВЛАСЕНКО М. Ю., ЧЕРНЯК В. М. ОСНОВИ БІОТЕХНОЛОГІЇ РОСЛИН: НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК – БІЛА ЦЕРКВА: БНАУ, 2010. – 156 С.
17. Корнацкий С. А. Особенности клонального микроразмножения сливы в системе оздоровленного посадочного материала: Автореф. дис. ... канд. сельскохозяйственных наук. М., 1991. С. 24.
18. Олешко Е. В. Особенности клонального микроразмножения подвоев и сортов вишни: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. С. 15.
19. Черевченко Т. М., Лаврентьева А. Н., Іванніков Р. В. Биотехнология тропических и субтропических растений *in vitro*. Київ: Наукова думка, 2008. 559 с.
20. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин – К: Либідь, 2005. – 808 с.
21. Гречаник Р. М., Базюк О. Ф., Бондаренко З. Д. та ін. Застосування біотехнологічних методів для розмноження гібриду осики і тополі чорної та мікоризації садивного матеріалу. // Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету. Львів: УкрДЛТУ, 2003. Вип. 13.3. С. 210–221.
22. Веденичова Н.П., Косаківська І.В. Косаківська Цитокиніни як регулятори рослин за різних умов зростання. – Київ: Наш формат, 2017. – 200 с.
23. Kim K. Wetal. Effectof ABA and agarin preventing vertiti cation of carnati on plantlets cultured *in vitro* // J. of Korean Soc. for Hort. Sci., 1988. Vol. 29. № 3. P. 208-215.
24. Н.В.Скрипченко н. в., Мацкевич В. В., Філіпова Л. М., Кибенко І. І. Особливості мікроклонального розмноження представників роду *Actinidia* // Інтродукція рослин: Міжнародний науковий журнал. - 2017. N 1. - С. 88-96.
25. Зеленянська Н. М. Антитранспіранти для успішної адаптації мікроклонів винограду // Наукові доповіді НУБіП, 2013, 3 (38). С. 34-41.
26. МАЦКЕВИЧ В. В., ПОДГАЄЦЬКИЙ А. А., ФІЛІПОВА Л. М. МІКРОКЛОНАЛЬНЕ РОЗМНОЖЕННЯ ОКРЕМИХ ВИДІВ РОСЛИН (ПРОТОКОЛИ ТЕХНОЛОГІЙ): НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ПОСІБНИК. БІЛА ЦЕРКВА: БНАУ, 2019. 85 С.
27. Kozai T., Afreen F., Zobayed S.M.A. Photoautotrophic (sugar-free medium) Micropropagation as a New Micropropagation and Transplant Production System. 2005. 316 p.
28. Андрієвський В. В., Врублевський А. Т., Філіпова Л. М., Мацкевич В. В., Мацкевич О. В. Проблеми мікроклонального розмноження фундука // Агробіологія, 1\*2019. С.37-43.
29. Ляценко С.А. Відтворення садивного матеріалу картоплі, отриманого в культурі меристем *in vitro*, із застосуванням мікробіологічних препаратів :автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05. Київ. 2013. - 20 с.

# ВЕТЕРИНАРНЫЕ НАУКИ

УДК 636.5:612.361:615.246.2+615.241.2

ГРНТИ 68.41.41

**Yakimenko N. N.**

*Candidate of Veterinary Sciences,  
Associate Professor of the department  
of obstetrics, surgery and nonparasal diseases  
FSBEI HE "Ivanovo State Agricultural  
Academy named after D.K. Belyaev"*

**Mannova M. S.**

*Candidate of Biological Sciences,  
Associate Professor of the department  
of obstetrics, surgery and nonparasal diseases  
FSBEI HE "Ivanovo State Agricultural  
Academy named after D.K. Belyaev"*

**Kletikova L.V.**

*Doctor of Biological Sciences,  
Professor of the department  
of obstetrics, surgery and nonparasal diseases  
FSBEI HE "Ivanovo State Agricultural  
Academy named after D.K. Belyaev"*

## RELEVANCE OF COPROLOGICAL STUDIES IN CHICKENS

**The study was carried out at the expense of the federal budget on the order of  
the Ministry of Agriculture of Russia in 2020**

**Якименко Нина Николаевна**

*кандидат ветеринарных наук, доцент  
кафедра акушерства, хирургии и незаразных болезней  
ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, г. Иваново*

**Маннова Мария Сергеевна**

*кандидат биологических наук, доцент  
кафедра акушерства, хирургии и незаразных болезней  
ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, г. Иваново*

**Клетикова Людмила Владимировна**

*доктор биологических наук, профессор  
кафедра акушерства, хирургии и незаразных болезней  
ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, г. Иваново*

## АКТУАЛЬНОСТЬ КОПРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ У ЦЫПЛЯТ

**Исследование выполнено за счет средств федерального бюджета по заказу  
Минсельхоза России в 2020 году**

**Summary.** In chickens against the background of used biologically active substances, the functional activity of the digestive tract changes with age, as a result of which the physical and chemical properties of feces change. Standard clinical laboratory methods were used for coprological studies. As a result, 35-day-old chickens have a small amount of neutral fat in feces, pH = 6. Large amounts of intra- and extracellular starch, coconut microflora, leukocytes and erythrocytes were found in the intact group. In the group of chickens receiving the probiotic Zoonorm, a large amount of coconut and iodophilic stick microflora, single intestinal epithelium cells, erythrocytes and leukocytes were detected. In chickens that received the treatment of a polymethylsiloxane polyhydrate (PMSPG) was not found in extracellular starch and digestible fiber, intestinal epithelium cells and formed elements of blood. The enterosorbent reduced the risk of developing an inflammatory reaction when growing chickens, the effect remained for 10 days after the drug was cancelled.

**Резюме.** У цыплят на фоне применяемых биологически активных веществ с возрастом изменяется функциональная активность пищеварительного тракта, вследствие чего изменяются физические и химические свойства кала. Для проведения копрологических исследований применяли стандартные клинико-лабораторные методы. В итоге у 35-суточных цыплят в кале присутствует незначительное количество нейтрального жира, pH=6 ед. В интактной группе обнаружено большое количество внутри- и внеклеточного крахмала, кокковой микрофлоры, лейкоцитов и эритроцитов. В группе цыплят,

получивших пробиотик Зоонорм, выявлено большое количество кокковой и йодофильной палочковидной микрофлоры, единичные клетки кишечного эпителия, эритроциты и лейкоциты. У цыплят, получивших энтеросорбент полиметилсилоксана полигидрат (ПМСПГ), не обнаружено внеклеточного крахмала и перевариваемой клетчатки, клеток кишечного эпителия и форменных элементов крови. У цыплят, препараты в комплексе в кале отмечены единичные клетки кишечного эпителия, лейкоциты и йодофильная микрофлора. Энтеросорбент снизил риск развития воспалительной реакции при выращивании цыплят, эффект сохранился в течение 10 дней после отмены препарата.

*Key words: chicken, age, probiotic, enterosorbent, coprogram.*

*Ключевые слова: цыплята, возраст, пробиотик, энтеросорбент, копрограмма.*

**Введение.** Птицеводство в Российской Федерации является важнейшим жизнеобеспечивающим сектором отечественного агропромышленного комплекса страны, оказывающим значительное влияние на уровень продовольственного обеспечения и определяющим здоровье россиян. На крупнейшем форуме птицеводов России и СНГ, состоявшемся 27 января 2020 г в Москве, отмечено, что Россия производит 5 000 000 тонн мяса птицы и 45 000 000 000 штук яиц, т.е. 34 кг мяса птицы и 306 яиц на человека в год, полностью самообеспечивая страну.

Сейчас в РФ работает 486 птицефабрик, 170 из них объединены в агрохолдинги, кроме того функционирует более 100 малых птицеводческих предприятий. Для решения технических вопросов содержания, кормления, специального обслуживания на ограниченной территории птицепредприятий сосредоточено значительное поголовье птицы. В период раннего постэмбрионального развития у современных высокопродуктивных кроссов, отличающихся высокой метаболической активностью, селекционной пластичностью и технологической лабильностью, иммунологическая реактивность и скорость формирования биопленки микробных сообществ снижены [2; 5]. В связи, с чем актуальным является систематическое наблюдение и контроль за поведением птицы и ее состоянием. Одним из важных показателей, позволяющих оценить здоровье, является изучение копрограммы.

Копрограмма представляет собой лабораторное исследование кала для определения химических и физических свойств продуктов жизнедеятельности. Экскременты содержат различные компоненты, которые могут иметь разное происхождение. Копрограмма, одна из

составляющих диагностики нарушений функции желудочно-кишечного тракта у птиц. С помощью копрологического исследования можно оценить переваривающую способность, активность ферментов кишечника, поджелудочной железы, эвакуаторную способность желудка и кишечника, наличие воспалительных процессов и паразитов (гельминты и их яйца, эймерии и цисты), состояние кишечной микрофлоры [1; 3; 4].

**Цель** – анализ копрограммы цыплят кросса Dekalb в динамике на фоне применения пробиотика, энтеросорбента и их комбинации.

**Условия, материалы и методы исследования.** Исследование выполнено в 2020 г на кафедре акушерства, хирургии и незаразных болезней животных. В виварии кафедры цыплята содержались группами по 10 голов, с соблюдением режима и нормы кормления, температурно-влажностного режима. Поение цыплят без ограничений из групповых поилок кипяченой водой температурой 20-22°C. В качестве основного рациона (ОР) использован комбинированный корм «Солнышко» (АО «Капитал-ПРОК», Россия).

Для проведения опыта сформировали 4 группы 5-суточных цыплят-аналогов по 40 голов в каждой, 1 группа служила контролем, 2, 3 и 4 группы — опытные.

Цыплята опытных групп принимали препараты в течение 20 дней, пробиотик Зоонорм в смеси с кормом в дозе 0,2 г на голову в первое кормление, 0,3% взвесь энтеросорбента полиметилсилоксана полигидрата (ПМСПГ) путем выпойки с водой через 2 часа после последнего кормления (табл. 1). Предметом для исследования послужил кал цыплят 5-, 15-, 25- и 35-суточного возраста.

Таблица 1

**Схема проведения эксперимента**

Группа цыплят	Условия
<b>1</b>	ОР
<b>2</b>	ОР + пробиотик Зоонорм
<b>3</b>	ОР + энтеросорбент ПМСПГ
<b>4</b>	ОР+ пробиотик Зоонорм + энтеросорбент ПМСПГ

Для достижения цели применены общепринятые клинико-лабораторные копрологические методики исследования: микроскопия нативных препаратов, препаратов с реактивами Люголя и Саатгофа; микроскопия мазков, окрашенных по Романовскому-Гимзе. Исследование мазков провели при помощи

микроскопа Микромед 3Вар3-20 и видеокамеры с программным обеспечением Microscope Color Digital Camera Levenhuk C 1400 NG, объектив SP40X/0.65 и SP10X/0.25 и окуляр WF10X/22.

**Результаты.** При макроскопическом исследовании кала 5-суточных цыплят цвет был коричневым, запах специфический, тестоватой

консистенции, оформленный, без видимых примесей, снаружи покрыт слизью. Концентрация водородных ионов варьировала в широких пределах – от 6,5 до 8,5 ед. В 100% проб в единичных экземплярах обнаружены зерна внеклеточного крахмала, капли нейтрального жира и переваримая растительная клетчатка. Единичные зерна внутриклеточного крахмала выявлены в 15% проб, непереваримая растительная клетчатка в умеренном количестве в 60% проб. Во всех пробах обнаружена микрофлора с преобладанием палочковидных форм в количестве от незначительного до умеренного и большого, кокковая — от незначительного до умеренного. Среди йодофильной микрофлоры выявлено незначительное количество палочковидных форм.

У 15-суточных цыплят цвет кала приобрел светло-коричневую окраску, консистенцию от жидкой (в 1 и 2 группах), до пастообразной (в 3 и

4), рН кала в 1 группе составила 8,5-9,0 ед., в 3 и 4 группах — 7,5 ед.

Все пробы кала покрыты незначительным количеством слизи, в 50 % проб 2 и 4 групп слизь в небольшом количестве встречается в смеси с калом.

В 1 группе единичные зерна вне- и внутриклеточного крахмала обнаружены в 100 % проб; во 2 – внутриклеточный крахмал присутствует в 50% проб; в 3 группе обнаружены единичные зерна внеклеточного крахмала в 50% проб; в 4 группе — зерна вне- и внутриклеточного крахмала отсутствуют. Незначительное количество переваримой и непереваримой растительной клетчатки обнаружены в 100% проб в 1 и 2 группах. В 3 и 4 группах в 50% проб обнаружена непереваримая клетчатка (рис.1). Капли нейтрального жира выявлены в 100% и в 50% проб, соответственно, в 1 и 3, и во 2 и 4 группах (рис. 2).



Рис.1. Непереваримая растительная клетчатка в кале, нативный препарат,  $\times 160$ .

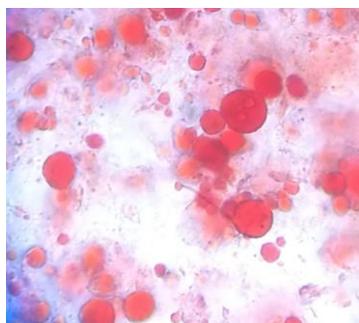


Рис. 2. Капли нейтрального жира. Препарат кала с реактивом Саатгофа,  $\times 160$ .



Рис. 3. На фоне калового детрита кристаллы струвитов. Нативный препарат,  $\times 160$ .

В 1 и 2 группах обнаружены единичные клетки кишечного эпителия. В 100% проб 1-4 групп выявлена кокковая и палочковидная микрофлора в умеренном и большом количестве, йодофильная микрофлора в 1, 3 и 4 группах представлена кокковой и палочковидной формами в равных пропорциях. Лейкоциты 1-2 в поле зрения в 100% случаев обнаружены у цыплят 1 и 2 групп. При попадании мочи в каловые массы, на фоне калового детрита обнаруживается незначительное количество струвитов (рис. 3).

У 25-суточных цыплят цвет кала от коричневого до серо-коричневого, оформленный, тестообразный. Концентрация водородных ионов в 100% проб в 1 группе составила 7,5 ед., в 3 и 4 группах 8,5 ед., в 50% проб 2 группы рН=8,0 ед. Кроме незначительного количества слизи на поверхности кала у цыплят 1-4 групп, тяжи слизи обнаружены в 100% проб во 2 группе. Переваримая растительная клетчатка и внутриклеточный крахмал отсутствовали у цыплят 4 группы, а клетки кишечного эпителия у цыплят 2 и 3 групп. Большое количество кокковой и палочковидной микрофлоры выявлено в 100% случаев во 2 и 4 группах, у цыплят 3 и 4 групп йодофильная микрофлора представлена единичными клетками палочковидной формы. Единичные лейкоциты встречаются в кале у цыплят 3 группы, в отличие от

проб у 1 и 2 групп, где кроме лейкоцитов обнаруживаются и эритроциты до 2 клеток в поле зрения микроскопа.

У 35-суточных цыплят 1-4 групп рН составила 6,0 ед. Очень большое и большое количество, соответственно, внутри- и внеклеточного крахмала обнаружено в 1 группе. Единичные зерна внутриклеточного крахмала обнаружены в 100% проб в 3 и 4 группах, во 2 группе крахмал не выявлен. Незначительное количество переваримой клетчатки установлено в 1 и 2 группах. Умеренное количество непереваримой растительной клетчатки и единичные капли нейтрального жира регистрировались у цыплят 1-4 групп. Единичные клетки кишечного эпителия присутствуют в пробах кала у цыплят 2 и 4 групп. Форменные элементы крови — до 4-6 клеток в поле зрения микроскопа отмечены в 1 группе, до 2 клеток во 2 группе. В 100% случаев очень большое и умеренное количество, соответственно, кокковой и палочковидной микрофлоры выявлено в 1 и 2 группах; единичные кокки и большое количество палочковидной флоры в 3 и 4 группах. Йодофильная микрофлора, представленная палочками и кокками, в умеренном количестве обнаружена в 1 группе, кокковая — во 2 группе, палочковидные формы в единичном количестве — в 3 и 4 группах.

**Обсуждение результатов.** В период от 5- до 35-суточного возраста у цыплят 1-4 групп цвет кала изменился от коричневого до серо-коричневого и сохранилось незначительное количество нейтрального жира.

Кроме изменений, синхронно происходивших во всех группах цыплят, установлены специфические изменения. Так, концентрация водородных ионов в 35-суточном возрасте в 1-4 группах составила 6,0 ед., но в 1 группе в 15- и 25-суточном возрасте рН варьировала от 8,5 до 7,5 ед., во 2 группе от 8,0 до 7,5-8,0 ед., в 3 и 4 группах от 7,5 до 8,0 ед.

В 1 группе с возрастом цыплят повысилось количество внутри- и внеклеточного крахмала до большого и очень большого количества, соответственно. Во 2 группе в 15- и 25-суточном возрасте выявлены единичные зерна внутри- и внеклеточного крахмала, у 35-суточных цыплят они отсутствовали. В 3 и 4 группах у 25- и 35-суточных цыплят присутствовали единичные зерна внутриклеточного крахмала.

Внеклеточный крахмал и переваримая клетчатка у цыплят 4 группы отсутствовали с 15-суточного возраста, у цыплят 3 группы с 35-суточного возраста. Непереваримая растительная клетчатка в умеренном количестве выявлена на протяжении всего эксперимента в 1-4 группах.

Кокковая и палочковидная микрофлора в 1 группе в 15-25-суточном возрасте отмечена в умеренном и незначительном количестве, и в очень большом и умеренном в 35-суточном возрасте, соответственно. Во 2 группе кокковая микрофлора в умеренном количестве выявлена в 15-суточном возрасте, в большом в 25-35-суточном, палочковидная — в умеренном количестве в период с 15 по 35 сутки. В 3 группе кокковая и палочковидная микрофлора обнаружена в 25-суточном возрасте в незначительном количестве, в 35-суточном — в умеренном количестве. В 4 группе у 15-25-суточных цыплят кокковая и палочковидная микрофлора выявлены в большом и очень большом количестве, к 35 суткам отмечены единичные кокки и большое количество палочек.

Йодофильные кокки в 1 группе обнаружены в незначительном количестве в 25-35-суточном возрасте, палочки — в 15-35-суточном возрасте. У цыплят 2 группы йодофильные кокки выявлены в 25-суточном возрасте в умеренном количестве, палочки в единичном и умеренном количестве в 15- и 25-35-суточном возрасте, соответственно. В 3 группе в 15-35-суточном возрасте в единичном количестве обнаружены палочки. В 4 группе йодофильные кокки выявлены лишь в 15-суточном возрасте, единичные палочки в 15-35-суточном возрасте.

Клетки кишечного эпителия в 1 группе выявлены в 25-суточном возрасте, во 2 группе в 15-25-суточном, в 4 группе в 25-35-суточном возрасте. В 1 группе лейкоциты обнаружены в 15-35-суточном возрасте от 2 до 6 клеток, в 25-35-суточном — эритроциты (2-4 клетки), во 2 группе,

по 1-2 лейкоцита и эритроцита в поле зрения. В 3 и 4 группах — в 15-25-суточном возрасте выявлены лейкоциты по 1-2 экземпляра.

**Заключение.** В ходе эксперимента у цыплят кросса Dekalb контрольной группы выявлено большое количество внутри- и внеклеточного крахмала, кокковой микрофлоры, лейкоцитов и эритроцитов.

Во 2 группе цыплят, получивших пробиотик Зоонорм, в мазках кала установлено большое количество кокковой и йодофильной палочковидной микрофлоры, единичные клетки кишечного эпителия, эритроциты и лейкоциты.

В 3 группе цыплят, получивших энтеросорбент полиметилсилоксана полигидрат, к окончанию эксперимента в кале не обнаружено внеклеточного крахмала и переваримой клетчатки, эпителия и форменных элементов крови.

В 4 группе птиц, получивших пробиотик и энтеросорбент в комплексе, на протяжении всего периода исследований не выявлено внеклеточного крахмала, переваримой растительной клетчатки и эритроцитов. В кале отмечали единичные клетки кишечного эпителия, лейкоциты и представители йодофильной микрофлоры.

Таким образом, проведенное исследование показало, что применение энтеросорбента снижает риск развития воспалительной реакции при выращивании цыплят и сохраняется после отмены препарата.

#### Список литературы:

Бондаренко В.М., Мацулевич Т.В. Дисбактериоз кишечника как клинико-лабораторный синдром: современное состояние проблемы. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. — 304 с.

Козлов А.В. Зоогигиеническая оценка алиментарного применения Монклавита-1 в птицеводстве: автореф. дис...канд. вет. наук (16.00.06- ветеринарная санитария, экология, зоогигиена и ветеринарно-санитарная экспертиза). — СПб, 2009. — 22 с.

Медведева М.А. Клиническая ветеринарная лабораторная диагностика. Справочник для ветеринарных врачей. — М.: Аквариум-Принт, 2008. — 416 с.

Особенности течения клоацита кур в приусадебных и фермерских хозяйствах / Л.В. Клетикова, В.В. Пронин, Н.Н. Якименко, В.М. Хозина, Е.Н. Зинина, Е.И. Ермашкевич // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1.; URL: <http://www.science-education.ru/122-19362> (дата обращения: 27.05.2015).

Изменение бактериального сообщества в желудочно-кишечном тракте кур в онтогенезе / В.И. Фисинин, Г.Ю. Лаптев, И.Н. Никонов, Л.А. Ильина, Е.А. Йылдырым, В.А. Филиппова, Н.И. Новикова, А.А. Грозина, Т.А. Егорова, Т.Н. Ленкова, В.А. Манукян, И.А. Егоров// Сельскохозяйственная биология, 2016. Т. 51. № 6. С. 883-890.

# СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

*Muhammadjon Kobuliev<sup>1,2,4,5</sup>, Tie Liu<sup>\*1,2,5</sup>, Lin Yi<sup>2,3</sup>, Zainalobudin Kobuliev<sup>3</sup>, Xi Chen<sup>1,2</sup>, Aminjon Gulakhmadov<sup>1,2,4</sup>, Furkat Vatanbekov<sup>1,2</sup> and Dzhovid Yogibekov<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Xinjiang Institute of Ecology and Geography,

Chinese Academy of Sciences, 818 South Beijing Road, Urumqi 830011, China;

<sup>2</sup> University of Chinese Academy of Sciences, No. 19A, Yuquan Road, Shijingshan District, Beijing 100049, China;

<sup>3</sup> Center for Internet of Things Computing, Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055,

<sup>4</sup> Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Dushanbe 734042, Tajikistan;

<sup>5</sup> Research Center for Ecology and Environment of Central Asia, 818 South Beijing Road, Urumqi 830011, China;

## ASSESSING GREEN AND BLUE WATER UTILIZATION IN WHEAT PRODUCTION OF TAJIKISTAN: A SURVEY OF REGIONS, 1980-2015

### ОЦЕНКА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЗЕЛЕННОЙ И ГОЛУБОЙ ВОДЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПШЕНИЦЫ В ТАДЖИКИСТАНЕ: ОБЗОР РЕГИОНОВ, 1980-2015

**Abstract.** The water footprint (WF) of national wheat production has been previously estimated for Tajikistan in regional (Central Asia) and global-scale studies. However, due to the large scale, these reports may provide a general view of the country's wheat production water usage, which cannot fully identify the regional demand on water resources. The aim of this study is to estimate the green and blue WF and the total water use of wheat irrigated crop in Tajikistan (1980-2015). The results were evaluated by comparison with previous documented results for the WF of wheat production in Tajikistan. We compared the water use for product (t/ha) among four regions and analyzed the water consumption by dehqan (peasant) farms, households and agriculture enterprises in 2015. The national average WF of wheat production for the period 1980-2015 were approximately 990.6 Mm<sup>3</sup>/yr (34.3% green and 65.7% blue). There is a notable difference in the WF among different regions: the WFP is low in the eastern region, while it is relatively high in the Khatlon region i.e. in southern Tajikistan. The major portion of WF (61.4%) comes from dehqan farms, while agriculture enterprises with households are share 39.6% of the country total water utilization. Blue water (BW) dominates in the four regions, whereas highest BW proportions are found in the districts located in central and eastern Tajikistan. Productivity plays an important role in food production by reducing the WF wheat production. Due to the low irrigation efficiency, more water is needed per hectare in farmlands of Sughd region.

**Аннотация.** Водный след (ВС) национального производства пшеницы был предварительно оценен для Таджикистана в региональных (Центральная Азия) и глобальных исследованиях. Однако из-за большого масштаба эти отчеты могут дать общее представление об использовании воды для производства пшеницы в стране, которое не может полностью определить региональный спрос на водные ресурсы. Целью данного исследования является оценка зеленого и синего ВС и общего водопотребления орошаемых культур пшеницы в Таджикистане (1980-2015). Результаты были оценены путем сравнения с предыдущими документально подтвержденными результатами для ВС производства пшеницы в Таджикистане. Мы сравнили водопользование для продукта (т/га) между четырьмя регионами и проанализировали потребление воды дехканскими (крестьянскими) фермами, домашними хозяйствами и сельскохозяйственными предприятиями в 2015 году. Среднегодовой национальный показатель производства пшеницы за период 1980-2015 составил приблизительно 990,6 Мм<sup>3</sup> / год (34,3% зеленого и 65,7% синего). Существует заметная разница в ВС между различными регионами: ВС низка в восточном регионе, в то время как она относительно высока в Хатлонской области, то есть на юге Таджикистана. Большая часть ВС (61,4%) поступает из дехканских хозяйств, в то время как сельскохозяйственные предприятия с домашними хозяйствами составляют 39,6% от общего водопотребления в стране. Голубая вода (ГВ) доминирует в четырех регионах, тогда как самые высокие пропорции ГВ обнаружены в районах, расположенных в центральном и восточном Таджикистане. Производительность играет важную роль в производстве продуктов питания за счет сокращения ВС производства пшеницы. Из-за низкой эффективности орошения требуется больше воды на гектар сельскохозяйственных угодий Согдийской области.

**Keywords:** Water Footprint, Households, Collective Farms, Agriculture Enterprises, Tajikistan.

**Ключевые слова:** Водный след, Хозяйства населения, Дехканские хозяйства, Сельхоз предприятия, Таджикистан.

## Introduction

Wheat as a stable source of food is historically the most important crop, which is largely consumed by the country's population in Tajikistan [1]. According to national statistics, the consumption of bakery products is defined as 155 kg/person and the demand over the past 20 years has increased by 12% [2]. The problem of satisfying the population's need for food is one of the priorities in terms of ensuring food security, which is what the policy of the Government of the Republic of Tajikistan is oriented to after independence [3,4]. Over the past 25 years, the sown area throughout the country has increased by almost 1.2 times, and the crop occupies 84% of the total grain area. Along with the expansion of the area, there is also an increase in grain production, but the yield largely depends on the climatic characteristics of the year, and the national average varies from 1.4 to 2.1 t/ha [5,6].

Tajikistan by its surface character is typically a mountainous country with absolute elevations from 300 to 7495 meters, 93 percent of its territory is occupied by mountains belonging to the highest mountain systems of Central Asia, the Tien Shan and Pamir. The climate of Tajikistan is determined by its geographical position within the subtropical and temperate zones. Its characteristic features are high intensity of solar radiation, aridity, low cloud cover, long duration of sunshine, sharp fluctuations in daily and seasonal temperatures. Agriculture is the largest water user in Tajikistan, accounting for more than 80% of the total water withdrawal [7]. Meanwhile, irrigated agriculture is the most productive sector of agricultural production. The yield of irrigated wheat is greater than that of naturally moistened land for rainfed wheat [8]. The growth rate of irrigated agricultural land under wheat is significant in the arid zone of central and southern Tajikistan. The main consumers of water are agricultural enterprises and collective farmers. However, in the Khatlon region, where the majority of the rural population lives, household water consumption is higher than that of collective farmers. Currently, due to the backwardness in technology and poor management, agricultural irrigation water is used with low efficiency and is significantly wasted [9,10]. It is important to reduce the use of water in crop

production to solve the problems of fresh water that Tajikistan may face in the future [11,12].

Water footprint (WF) is an approach/method for assessing water use in agricultural production [13]. The WF of a crop product is defined as the volume of water consumed in the crop process. WF consists of three components: green, blue and gray water. Green and blue water (GW and BW) refers to the efficient consumption of rainfall and irrigation, and gray water can be defined as an indicator of water pollution by fertilizers and pesticides. The total WF is the volume of direct and indirect use of water resources, and the GW and BW of one production reflect the regional efficiency of water apply [14].

Based on the growing season, wheat can be divided into spring and winter species. Winter wheat is planted in most regions of Tajikistan, and spring wheat mainly in the Badakhshan region. Several scholars quantified and analyzed the wheat WF in Tajikistan [13,15]. However, due to the large scale, these reports may provide a general view of the country's wheat production water usage, which cannot fully identify the regional demand on water resources.

In this study, we focused on the WF of spring and winter wheat (irrigated). The main objective was to assess the regional use of GW and BW in wheat production from the perspectives of WF. In addition, we aimed to estimate the volume of water consumption among land owners/types (i.e. households, collective farmers and agricultural enterprises) in four regions of the country.

## 2. Materials and Methods

### 2.1 Study area

The research area is focused on all four regions of the country, namely: Khatlon, Sughd, Districts of Republican Subordination (DRS) and Badakhshan (Fig. 1). The climate of the regions is classified as dry subtropics. Winters are mild and short, with the exception of the Badakhshan region, where winters are severe and long. The regions are advanced in agriculture, and wheat is one of the three (cotton and potato) most important crops.

### 2.2. Data collection

Statistical data on the annual crop yield, productivity and total seeded area (1980–2015), as well as on the distribution of agricultural land between households, collective farmers and agricultural enterprises in four regions, were referenced from the country statistical yearbooks (FIG. 2) [5,6]. Crop coefficients (Kc) [16], planting and harvesting dates for the different regions (Table 1) are obtained from FAO [17]. The meteorological data on temperature, precipitation (1980–2000), humidity, wind speed and sunshine (SD) duration (2000–2015) of four regions for 1980–2015 were provided by the National Hydrometeorology Agency (NHA) (<http://meteo.tj>). The average annual crop yield, productivity and total seeded area of four regions for 1980–2015 are illustrated in FIG. 2.

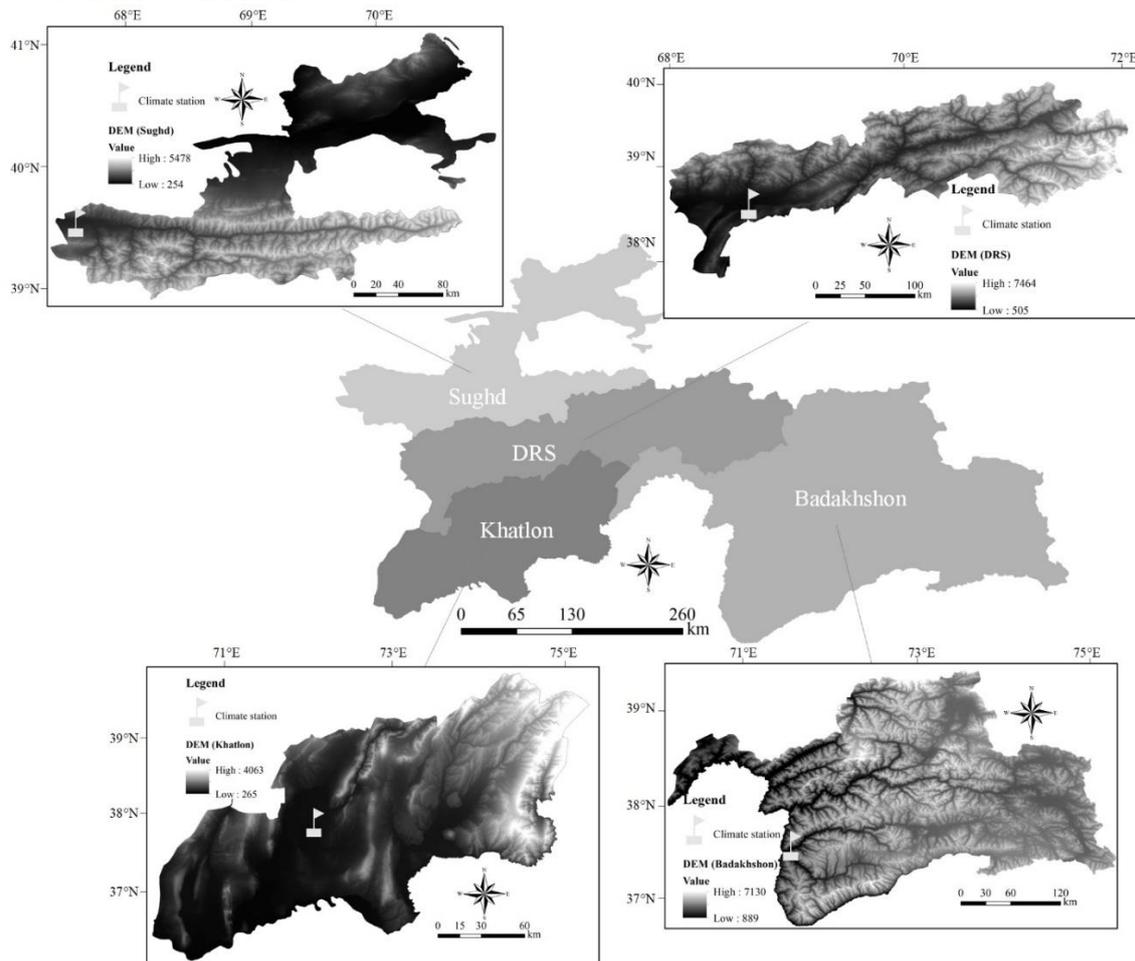


FIG. 1. Locations, terrain elevations and climate station locations of the four administrative divisions in Tajikistan.

### 2.3. Performance of the crop water requirements

The crop water requirements (CWRs) is the key component for calculating production WF. To simulate the CWR of winter and spring wheat, the CROPWAT model-decision support tool was used [18]. For the daily reference evapotranspiration (in CROPWAT), the Penman-Monteith equation was utilized [19]. The total CWR, effective rainfall (ER) and irrigation requirements (IR) in regions have been calculated using the CROPWAT model according to the crop phenology and Kc (from FAO)[20]. The calculations were performed (separately) using climatic data from four stations.

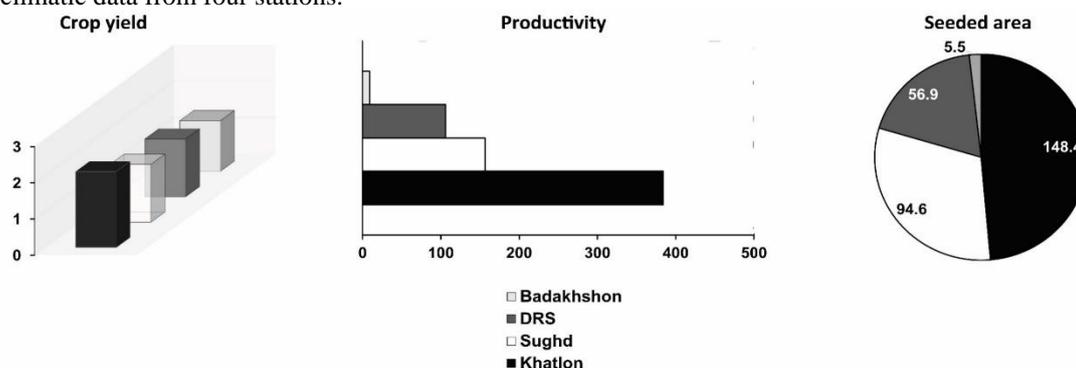


FIG. 2. The average annual crop yield (t/ha), productivity (1000/t) and total seeded area (1000/ha) of four regions for 1980–2015.

### 2.3.1 Water Footprint estimation

The GW and BW of winter and spring wheat production were calculated using the methodology described by Hoekstra et. al., 2011[14]. The GW of the crop (m<sup>3</sup>/ton) has been calculated as the ratio of the GW use (GWU) (m<sup>3</sup>/ha) to the crop yield (Y) (ton/ha), where total GWU is obtained by summing up green water evapotranspiration (greenETo) over the growing period. GWU is calculated based on the CROPWAT model outputs, as the minimum of crop evapotranspiration (ETc) and ER with a time step of ten days.

$$WF_{Product} = \sum \begin{cases} WF_{green} = \frac{GWU}{Y} = 10 * \frac{ETo_{green} = MIN(ETc \& ER)}{Y} \\ WF_{blue} = \frac{IWR}{Y} = 10 * \frac{ETo_{blue} = \sum(IR)}{Y} \end{cases}$$

The blue water (BW) of the crop considered to be equal to the ratio of the volume of irrigation water consumed/requirement (IWR) to the Y. The IWR is taken equal to the IR as estimated with the CROPWAT model. When the ER is greater than the CWR the IR is equal to zero. The total evapotranspiration of irrigation

water is obtained by summing up the blue water evapotranspiration (blueETo) over the growing period. CWRs are assumed to be always fully satisfied[21]. In addition, the total WF of product has been estimated by summing the green and blue components.

Table 1.

Regional WF of wheat production (1980-2015)						
Region	CWR	Yield	GW	BW	WF	
	mm	t/ha	m <sup>3</sup> /t	m <sup>3</sup> /t	m <sup>3</sup> /t	
Khatlon	716	2.1	917	2693	3610	
Sughd	463	1.6	1316	1582	2898	
DRS	699	1.6	1800	2573	4373	
Badakhshan	352	1.4	358	2161	2519	
Average	557	1.7	1098	2252	3350	

### Results and Discussion

The WF of wheat were simulated with CROPWAT. For the all four stations, due to the lack of climatic data, for the period of 1980-2000, reference evapotranspiration was calculated from temperature (other data estimated) data. On the other hand, for the period 2000-2015, ETo Penman was calculated from climatic (including temperature, humidity, wind speed and sun duration) data. For the planting and harvesting dates, we opted to choose 15<sup>th</sup> October and 10<sup>th</sup> Jun respectively. However, due to the long and cold winters, majority in the eastern districts grow spring wheat. Therefore, the planting and harvesting dates in Badakhshan (only/alone) opted to be 25<sup>th</sup> March and 5<sup>th</sup> August, respectively.

The calculated national WF value in this study was compared to that reported in the literature. The WF, CWR, Y, proportion of GW and actual irrigation of wheat in previous studies, which was calculated at the country scale are listed in the Table 2. Chapagain and Hoekstra (2004)[13] obtained a WF of approximately 6629 m<sup>3</sup>/t, which is much higher than that in any other study. The WFP of wheat from 1997 to 2001 can be higher because of the low Y. The WF in this report was 3350 m<sup>3</sup>/t, which is approximately the same as the WF of the wheat product as estimated by Aldaya and Hoekstra (2010)[15]. The national wheat Y increased overtime in the last two decades and reached up to 2.9 t/ha in 2015. The national CWR of wheat ranged from 357 to 716 mm (with the average of 557 mm) which is agree with Aldaya and Hoekstra (2010).

Table 2.

Comparison of this study with documented results for the WF of wheat production in Tajikistan.						
Reference	WF	Yield	CWR	Proportion of GW	Irrigation	
	m <sup>3</sup> /t	t/ha	mm		m <sup>3</sup> /ha	
This study	3350	1.7	557	32.8%	-	
Government of Tajikistan 2017	-	2.9	-	-	2200	
Aldaya & Hoekstra 2010	3931	1.4	552	45.5%	-	
FAO & EBRD 2006	-	1.8	-	-	3500	
Chapagain & Hoekstra 2004	6629	1.1	779	-	-	

Similar to our study, Aldaya and Hoekstra (2010) also applied the CROPWAT model but did not include Badakhshan inputs. Among the previous studies, only this study distinguished between the GW and BW.

Thus, the proportions of GW at the country scale in that report was approximately 45.5%, which is 690 m<sup>3</sup>/t higher. Our CWR proportion was lower than (28.7%) the values from Chapagain and Hoekstra (2004). It is

necessary to note that the reports of the government on actual irrigation in wheat production may be counted as BW[22]. However, only BW value cannot fully represent the amount of water utilization in wheat production. On the other hand, the results of FAO & EBRD (2006) can be counted as an overestimated[23].

### 3.1 Water Footprint of wheat production

In the period of 1980-2015, the average national WF of wheat production can be considered approximately 990.6 Mm<sup>3</sup>/yr. The average annual water consumption for 4 regions is shown in FIG. 3. During the period of 45 years, the spatial difference of the WF was obvious among all of the regions of

Tajikistan. A region with large WF values is concentrated in the Khatlon, while that with low WF values aggregated in east of the country. Approximately 65.1% of the wheat product and 50.8% of the WF are contributed by the southern region in contrast to 1.6 and 1.2% by the eastern. The average WFs of Khatlon, Sughd and DRS are estimated for 501.0, 262.6 and 213.7 Mm<sup>3</sup>, respectively. These three regions together contribute to 98.1% of the national total sown area, 98.3% of the wheat production, and 98.7% of the wheat production-related WF. Consequently, Badakhshan constitutes only 1.9% of the national seeded area.

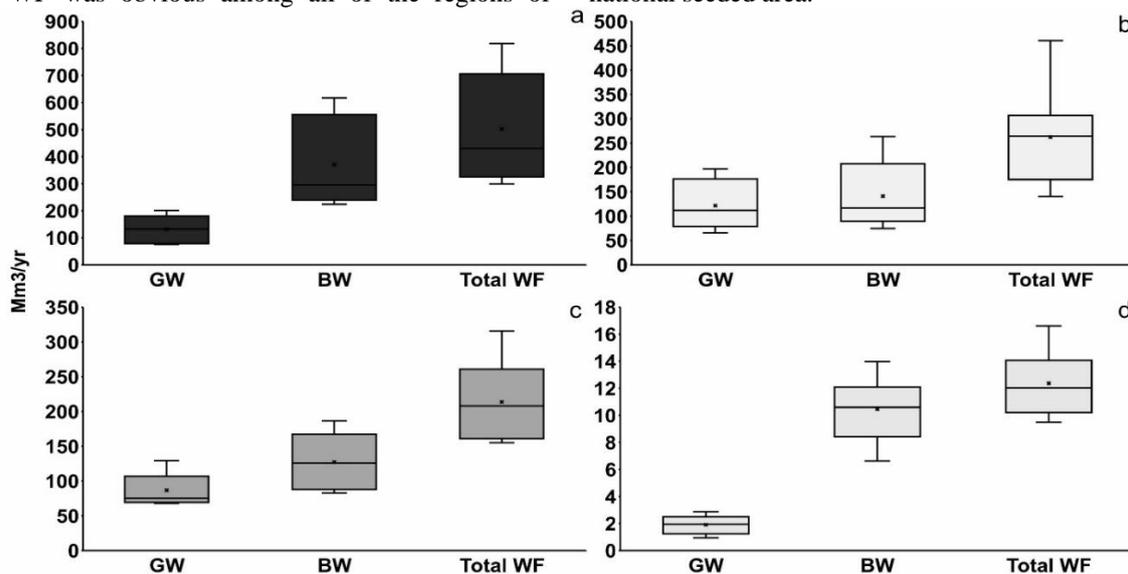


FIG. 3. The green, blue and total WF of wheat production in Khatlon (a), Sughd (b), DRS (c) and Badakhshan (d) for the period 1980-2015.

The average national GW in wheat cultivation during period 1980-2015 was calculated to be 340.1 Mm<sup>3</sup>/yr. The largest GW was observed for Khatlon (131.3 Mm<sup>3</sup>/yr) and Sughd (121.7 Mm<sup>3</sup>/yr). These two regions together account for 74.1% of the total BW related to wheat production. The GW in DRS estimated to be 86 Mm<sup>3</sup>/yr, and the smallest GW were in eastern Tajikistan (1.3 Mm<sup>3</sup>/yr). The average BW related to wheat production was 648.4 Mm<sup>3</sup>/yr in the studied years. The largest BW in wheat cultivation was also found in Khatlon (370.0 Mm<sup>3</sup>/yr). Sughd and DRS BW, calculated to be 141.1 and 127.1 Mm<sup>3</sup>/yr, respectively. These two regions alone account for approximately 41.3% and Khatlon for 57% of the national BW related to wheat production. The region with small GW and BW in wheat production is Badakhshan. The results of GW and BW also shown in FIG.3.

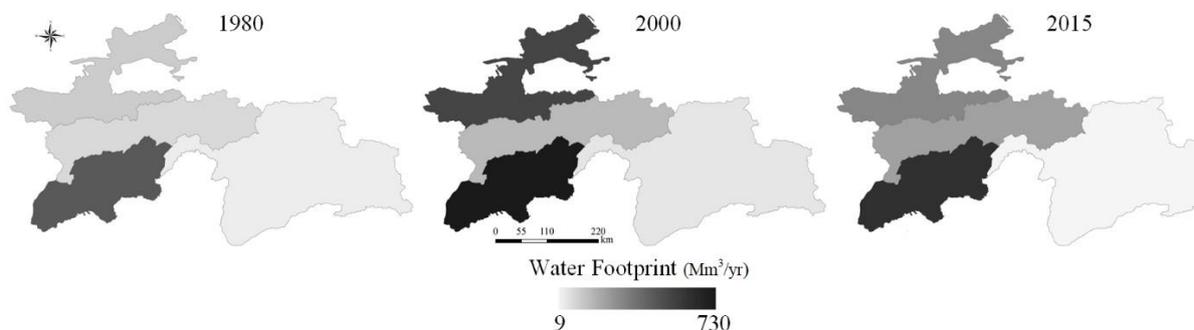


FIG. 4. Consumption of total WF in wheat production in the regions of Tajikistan by years.

The national average WFP in 1980, 2000 and 2015 was 638.3, 1267.6 and 847.9 Mm<sup>3</sup> respectively. The results (in Fig.4.) demonstrate a great variation among regions. Badakhshan region is lower in WFP, while

Sughd have a lower water-use efficiency (13.5%). These two regions together produced 73, 162 and 317 thousand ton of wheat, accumulatively contributing to 27.1, 30.5 and 22.8 percent of the total output of

Tajikistan in 1980, 2000 and 2015 respectively. Thus, increasing harvest from the regions with low WF improves the water productivity (WP) of the country. In contrast, Khatlon and DRS, averagely have a WF greater than 3350 m<sup>3</sup>/t. Khatlon is the largest wheat producer of Tajikistan and one of the most promising and pressing regions reducing the WF. In Khatlon the WF of wheat production was 3603, 4488 and 1792 m<sup>3</sup>/t in 1980, 2000 and 2015. The total WF of wheat

production for the 1980, 2000 and 2015 are illustrated in FIG.4.

### 3.2 Water utilization among land owners/types

The importance of wheat for dehkan (peasant) farms is clearly seen from Table 3, which presents the wheat production structure for farms of each type separately. Thus, total production of wheat account for 17% in farm enterprises, 60% in dehkan farms, and fully 23% of sown area in household plots.

Table 3

**Wheat production structure by different farm types (2007-2015).**

Regions	Total ha	Farm types		
		Enterprises %	Householders %	Dehkan farms %
Khatlon	190204	12.9	35.6	51.5
Sughd	53849	16.9	17.7	65.4
DRS	69322	20.9	24.9	54.2
Badakhshan	4685	19.2	12.6	68.2

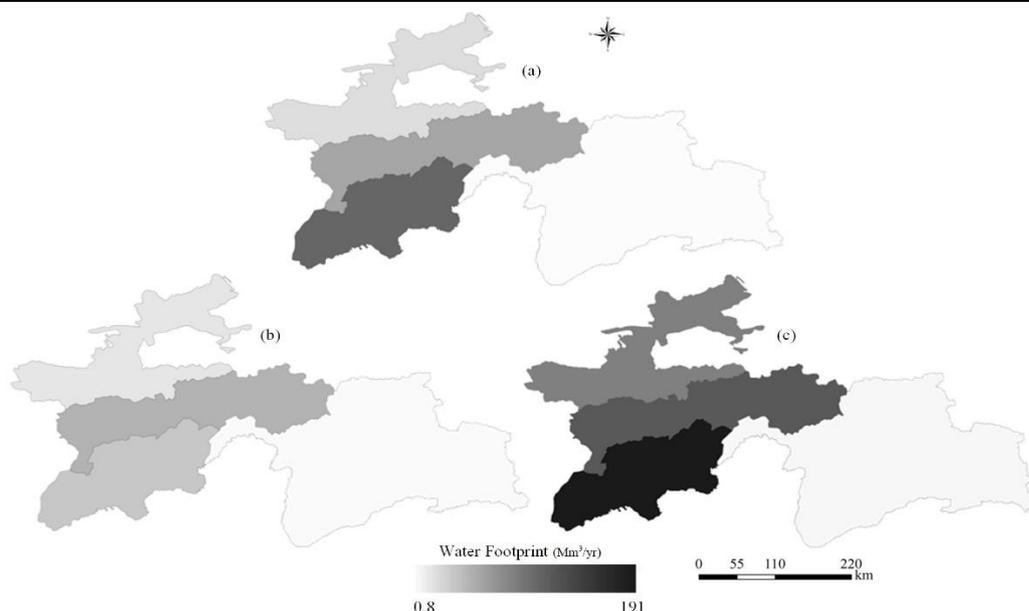


FIG. 5. Distribution of WF in wheat production for the households (a), agriculture enterprises (b) and dehkan farms (c) in the regions of Tajikistan for 2015.

Distribution of WF in wheat production among land owners/types in four regions of Tajikistan for 2015 is demonstrated in FIG. 5. The WF of wheat production, in 2015, was mainly consumed by dehkan farms (DF). For the four regions the WF of DF ranged from 4.1 to 190.7 Mm<sup>3</sup>/yr. About 98.8% of the total DFs WF related to wheat production is related to Khatlon (54.4%), DRS (26.6%) and Sughd (17.8%) regions. Similar, for households, the lion's share of the WF was calculated to be in the Khatlon (62.3%) region. Agriculture enterprises (AE) with households share 39.6% of the country total water utilization. The largest WF among AE belongs to the DRS (37.5 Mm<sup>3</sup>/yr). The remainder of regions along estimated to be 49.2 Mm<sup>3</sup>/yr.

#### 4. Conclusion

CROPWAT model was applied in this study to estimate the WF of regions, along the volume of water

consumption among land owners/types. The results were evaluated by comparison with previous documented results for the WF of wheat production in Tajikistan. Results revealed that estimating the WFs crops at a global or national scale frequently suffer from limitations in terms of data availability and quality. Therefore, by accounting the winter and spring wheat at the microscale (regional), the WF of wheat production in Tajikistan was estimated. The results of BW in this study was comparable to those reported by government. However, some previous reports on WF of wheat production can lead to biased estimates of total volumes of this crop water usage. Also, this study agrees with some previous studies in terms of the CWR importance of water-use efficiency in Tajikistan's wheat production. In addition, estimated WF of wheat production was mainly related to dehkan farms. Whereas the Khatlon region consider to be a primary

consumer. In contrast, Badakhshan accounts for the lowest consumption of the country's total WF related to wheat production. Although we admit that the accuracy of our results is subject to the quality of the input data, it is difficult to attribute the differences in assessments of various studies to specific factors and evaluate the quality of our new assessments relative to the quality of previous estimates.

**Funding:** This research was funded by the International Cooperation Project of the National Natural Science Foundation of China, 41761144079; the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, XDA20060303; and the Project of Research Center for Ecology and Environment of Central Asia of CAS, Y934031.

**Acknowledgments:** The authors would like to acknowledge the Agency on Statistics under President of The Republic of Tajikistan and the National Hydrometeorology Agency for providing the yield, productivity, and climatological data. The first author would like to express his appreciation to the Chinese Academy of Sciences (CAS) for "The Belt and Road" Master Fellowship, and the facilities provided by the State Key Laboratory of Desert and Oasis, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

## References

- Gafurov, B.G. The Tajiks: Ancient, old, mid ages and modern history; Moscow, USSR, 1972;
- Khasanzoda, G. Food security and poverty; Shokirzoda, S., Ed.; 5th ed.; Agency for Statistics under the President of the Republic of Tajikistan: Dushanbe, Tajikistan, 2015;
- Lerman, Z.; Sedik, D. The Economic Effects of Land Reform in Central Asia: The Case of Tajikistan. Discuss. Pap. 2008.
- Lerman, Z.; Sedik, D. Agricultural Development and Household Incomes in Central Asia: A Survey of Tajikistan, 2003-2008. Eurasian Geogr. Econ. 2009, 50, 301–326.
- USSR Statistical Yearbook of the USSR 1990; State Committee of the USSR for Statistics: Moscow, USSR, 1991;
- Боймахмадов, М.У. Кишоварзи/Agriculture. In Минтакаҳои ҶТ/Regions of the RT; Хасанзода, Г.К., Ed.; Tajikistan, Dushanbe, 2017; pp. 91–196.
- Kristina, T.; Abdusamadov, M.; Tsukatani, T. Water resources assessment, irrigation and Agricultural developments in Tajikistan. South Asia 2004.
- Pulatov, Y.E. Water-Saving Irrigation Technologies and Water Use Efficiency in Agriculture. Экология и строительство/Ecology Constr. 2017, 4, 21–26.
- Tashmatov, A.; Aknazarov, F.; Juraev, A.; Khusanov, R.; Kadyrkulov, K.; Kalchayev, K.; Amirov, B. Food policy reforms for sustainable agricultural development in Uzbekistan, the Kyrgyz Republic, and Tajikistan. Food Policy 2000, 25, 719–732.
- Nazriev, A. Development of the Water Management System in Tajikistan. In Past Experience and Future Challenges; ADB: Almaty, Kazakhstan, 2002; pp. 26–31.
- Closset, M.; Dhehibi, B.B.B.; Aw-Hassan, A. Measuring the economic impact of climate change on agriculture: a Ricardian analysis of farmlands in Tajikistan. Clim. Dev. 2015, 7, 454–468.
- Rakhmatullaev, S.; Abdullaev, I. Central Asian irrigation sector in a climate change context: some reflections. J. Water Clim. Chang. 2014, 5, 341–356.
- Chapagain, A.K.; Hoekstra, A.Y. Water Footprints of Nations. Water Res. 2004, 2, 240.
- Hoekstra, A.; Chapagain, A.; Aldaya, M.; Makonnen, M. The Water Footprint Assessment Manual; Earthscan: London and Washington, DC, 2011;
- Aldaya, M.M.; Hoekstra, A.Y. Water footprint of cotton, wheat and rice production in Central Asia; 2010;
- Smith, M.; Kivumbi, D. Use of the FAO CROPWAT model in deficit irrigation studies 17–27.
- Aziz, A.; Nassim, J.; Tunwar, N.S.; Naimov, S.A. Tajikistan Reducing the Impact of Price Surge and Agriculture Rehabilitation Programme; Dushanbe, Tajikistan, 2008;
- Hoekstra, A.; Chapagain, A.; Aldaya, M.; Mekonnen, M. Water footprint manual: state of the art; 2009;
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M.; Ab, W. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56; Rome, Italy, 1998;
- Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56; FAO: Rome, 1998; ISBN 92-5-104219-5.
- Morgounov, A.I.; Braun, H.; Ketata, H.; Paroda, R. International Cooperation for Winter Wheat Improvement in Central Asia: Results and Perspectives. 2005, 29, 137–142.
- Khasanzoda, G. Results of The Only Selective Review of Water Users in Agricultural and Industrial Processing in The Republic of Tajikistan in 2016; Dushanbe, Tajikistan, 2017;
- Michael, M.; Sabina, D.; Emmanuel, H. Expanding Financing Opportunities in Rural Areas; 2006;

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Фам Нгок Ван,**  
аспирант

**Ву Хоа Тиен,**  
доц. к.т.н.

**Као Хыу Тинь,**  
к.т.н.

**До Ван Фан,**  
к.т.н.

*Технический Университет им. Ле-Куй-Дона – С.Р. Вьетнам*

### МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОГЛАСОВАНИЯ ЗОНЫ СРАБАТЫВАНИЯ РАДИОВЗРЫВАТЕЛЯ С ПОЛЕМ РАЗЛЁТА ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОЙ БОЕВОЙ ЧАСТИ ЗЕНИТНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ РАКЕТЫ

**Pham Ngoc Van,**

*PhD. Candidate*

**Vu Hoa Tien,**

*As.Prof.-PhD*

**Cao Huu Tinh,**

*PhD*

**Do Van Phan,**

*PhD*

*Technical University Le Quy Don, Hanoi, Vietnam*

### A METHOD OF RESOLVING COMBINATION BETWEEN THE FIELD OF VIEW OF RADIO SEEKER FUZE AND THE FRAGMENT BEAM OF DIRECTION ENERGY WARHEAD

**Анотация.** В данной работе рассматривается важность и необходимость комплексного решения задачи согласования зоны срабатывания радиовзрывателя (РВ) с полем разлёта поражающих элементов радиально - направленной боевой части (РНБЧ) зенитной управляемой ракеты (ЗУР) с целью максимального повышения её эффективности. Изучаются математические модели формирования необходимых и достаточных условий срабатывания РНБЧ в динамике движения ЗУР относительно её цели. Итогом работы являются результаты математического моделирования по оценке эффективности поражения цели ЗУР и рекомендация по применению РВ нового типа.

**Abstract.** In this article, researchers present the importances and the necessities for manner of resolving combination between the Field of View of radio seeker fuze and the fragment beam of direction energy warhead of homing guidance surface-to-air missile to enhance effectiveness of target killing. The content of this paper gives out the mathematic models that establish the necessary and sufficient conditions to ignite direction energy warhead when the missile and the target are in relative motion. The result of article is the simulations to estimate performances of surface-to-air missile attached direction energy warhead on it and the some recommendations about ability of application.

*Ключевые слова:* фазо-доплеровский радиовзрыватель (ФДРВ); радиально-направленная боевая часть; зенитно-управляемая ракета; цилиндрическая система координат.

*Key words:* phase-doppler radio fuse; radial-directed warhead; surface-to-air missile; cylindrical coordinate system.

#### Постановка задачи

Известно, что для любой ЗУР, вероятность поражения цели зависит от двух независимых случайных событий [1,9], характеризуемых распределением промахов наведения ( $h$ ) и плотностью поражающих элементов ( $\rho_{ns}$ ) в зоне поражения боевой части (БЧ). При этом плотность распределения поражающих элементов зависит от ряда параметров БЧ, а в основном от массы взрывного вещества ( $C$ ), массы осколков ( $M$ ) и от эффективного радиуса поражения ( $R_{эф}$ ).

Одной из особенностей ЗУР средней и большой дальности является наличие РВ в составе БЧ, который обеспечивает дистанционное

срабатывание БЧ вблизи точки встречи с целью. Кроме того, в случае ЗУР применяет РНБЧ, то РВ измеряет не только дистанцию до цели, но и её радиальное местоположение, чтобы обеспечить создание направленного поля осколков.

Следует решить задачу согласования динамического поля направленного разлёта осколков с зоной срабатывания РВ при проектировании РНБЧ для ЗУР. Степень согласования двух этих зон отражается эффективностью поражения цели одной ЗУР.

Условиями решения данной задачи являются следующие отношения, [1]:

$$\begin{cases} h \leq r_{сбл.} \leq R_{эф} \\ \theta_{рв}(t) \approx \theta_{сраб} \end{cases} \quad (1)$$

При этом:  $\theta_{сраб}$ ,  $\theta_{рв}(t)$  – угол срабатывания и текущий измеренный угол РВ соответственно;  $h$ ,  $r_{сбл.}(t)$ ,  $R_{эф}$  – промах, текущая измеряемая РВ дальность до цели и эффективный радиус БЧ соответственно.

Кроме этих условий, в РВ должно быть определено радиальное местоположение цели относительно ЗУР до момента срабатывания, которое характеризуется углом подлёта ( $\chi_1$ ) в картинной плоскости, перпендикулярной продольной оси ЗУР. Это весьма сложная задача, которая была решена автором в предыдущей работе, [3].

### Решение задачи

Задача согласования зоны действия РВ с динамическим полем РНБЧ решается по этапам и в динамике относительного движения ЗУР и цели. Важно при этом будут определены параметры и характеристики этих зон. Рассмотрим ниже как формируются и определяются эти параметры и характеристики.

#### 1. Способ определения промаха $h$

Определение цилиндрической системе координат (ЦСК): полюсная система координат, образуемая цилиндром радиуса промаха  $h$  и продольной оси ( $OX_{цил}$ ), совпадающей с вектором относительной скорости ( $V_{отн}$ ) и проходящей центр массы РВ, называется цилиндрической (рис.1).

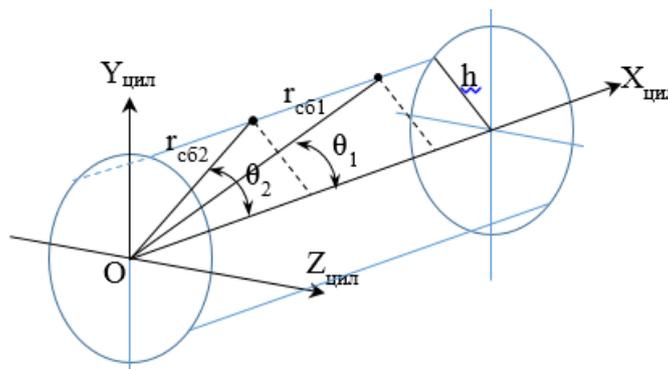


Рис.1. К пояснению образования ЦСК и определения координат

Координатами, определяющими местоположение цели в ЦСК, являются текущий радиус сближения к цели  $r_{сбл.}(t)$  и наклонный угол  $\theta_{рв}(t)$  этого радиуса к продольной оси ЦСК. Эти параметры измеряются в РВ фазовым или доплеровским методом, [1,5,7].

В связи с малой продолжительностью работы РВ (меньше 1 сек.), можно предложить, что векторы относительной скорости ( $V_{отн}$ ) и промаха ( $h$ ) в течении работы РВ не меняют свои величину и направление.

По определению ЦСК на рис.1, вполне определяется промах выражением:

$$h = \frac{V_{отн}(\tau_1 - \tau_2) \sin \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\theta_2 - \theta_1)} \quad (2)$$

При этом,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  – значения угла наклона радиуса сближения  $r_{сбл.}$  к оси  $OX_{цил}$  в моменты

времени  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  соответственно;  $V_{отн}$  – величина относительной скорости.

#### 2. Определение параметров и характеристик зоны действия РВ

Предполагаем, что современная ЗУР с целью повышения помехо-защищенности оснащает Фазо-Доплеровский РВ (ФДРВ). Такой РВ обычно имеет пару приемных антенн в одной плоскости связанной системы координат (ССК).

Диаграммы направленности ФДРВ образуют зону, имеющую коническо-вращающую пространственную форму, представленную на рис.2.

ФДРВ посредством фазового сдвига  $\Delta\phi$  в сигналах, принимаемых в парах антенн в одной плоскости или посредством доплеровского изменения  $\Delta f_D$  измеряет угол сближения  $\theta_{рв}(t)$  ЗУР к цели.

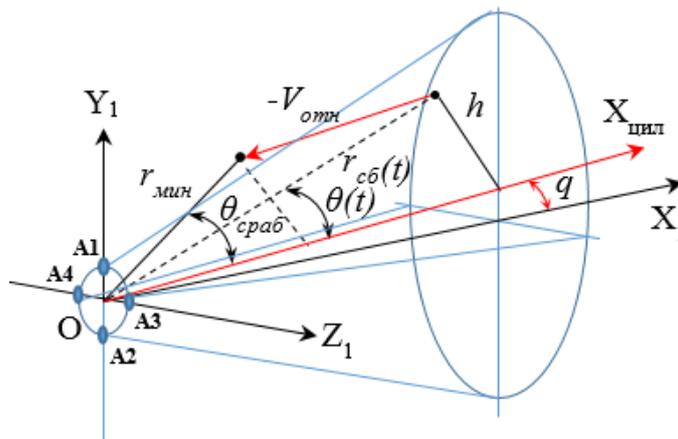


Рис.2. К пояснению образования зоны ФДРВ

В фазовом режиме, применяемом против шумовых активных помех, определяется угол сближения следующей формулой [6]:

$$\theta_{рв}(t) = \arccos\left(1 - \frac{\Delta\varphi(t)}{2\pi D}\right) \quad (3)$$

Где:  $\Delta\varphi$  – фазовый сдвиг сигнала в парах приемных антен;  $D$  – фазовой показатель, определяющий количество несущих колебаний в сигналах между парами приемных антенн. Этот показатель определяется отношением, [5,6]:

$$D = \frac{d}{\lambda} \quad (4)$$

Где:  $d$  – расстояние между приемными антеннами в одной плоскости;  $\lambda$  – длина несущей волны отраженного сигнала.

В доплеровском режиме, применяемом против пассивных помех, определяется угол сближения следующим соотношением [5]:

$$\theta_{рв}(t) = \arccos\left(1 - \Delta f_d \frac{\lambda}{V_{отн}}\right) \quad (5)$$

Где:  $V_{отн}$  – величина относительной скорости;  $\Delta f_d$  – доплеровский сдвиг частоты, которое определяется выражением:

$$\Delta f_d = f_{0д} - f_d = \frac{V_{отн}}{\lambda} (1 - \cos\theta_{рв}) \quad (6)$$

С учетом, что  $f_d = \frac{2V_{отн}}{\lambda} \cos\theta_{рв}$  при большой  $\theta_{рв}$ , и  $f_{0д} = \frac{2V_{отн}}{\lambda}$  при малом  $\theta_{рв}$ , то есть  $r_{сбл.} \gg h$  (см. Рис.2).

На основе (6) определяются характерные углы для решения выражения (2)

$$\begin{cases} \theta_1 = \arccos\left(1 - \Delta f_1 \frac{\lambda}{V_{TD}}\right) \\ \theta_2 = \arccos\left(1 - \Delta f_2 \frac{\lambda}{V_{TD}}\right) \end{cases} \quad \text{или} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \theta_1 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta\varphi_1}{2\pi D}\right) \\ \theta_2 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta\varphi_2}{2\pi D}\right) \end{cases}$$

Величины  $\Delta f_1$  ( $\Delta\varphi_1$ ) и  $\Delta f_2$  ( $\Delta\varphi_2$ ) определены формулами (3) или (6) в моменты  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  соответственно.

### 3. Определение параметров и характеристик динамического поражающего поля РНБЧ

Динамическим поражающим полем (ДПП) является поле разлета поражающих элементов БЧ с учетом скорости сближения ЗУР к цели. Если в моменте взрыва БЧ, цель оказывается в этом поле, то она будет поражена с заданной вероятностью.

При определении параметров и характеристик ДПП, учитываются следующие особенности:

- Поражающее поле тесно связано со ССК ракеты;
- Вектор относительной скорости  $V_{отн}$  наклоняет относительно продольной оси ЗУР на некоторый небольшой угол  $\varepsilon$  в вертикальной плоскости, и на угол  $\eta$  в горизонтально наклонной плоскости, как показано на рис.3;

- ДПП в продольной плоскости образуется переносом стационарного поражающего поле (СПП) на некоторый угол ( $\varphi_{1\partial}$ ,  $\varphi_{2\partial}$  и  $\varphi_{1/2\partial}$ ) в направлении цели в зависимости от относительной скорости  $V_{отн}$ , как показан на рис. 4.

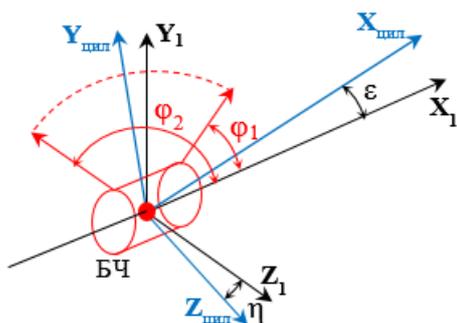


Рис.3. К определению СПП

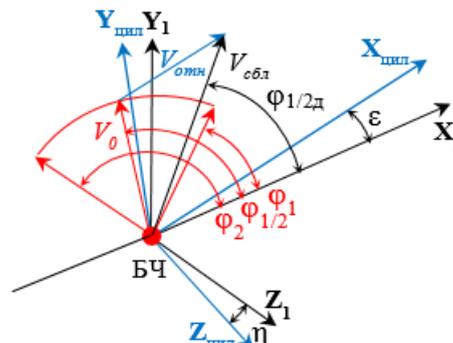


Рис.4. К определению ДПП

Из рис.3, рис.4 и по [9], можно определить:

а) Параметры СПП (см. рис.5):

- Угол наклона передней границы:

$$\varphi_1 = \arctg\left(\frac{R_{вн} + R_{нар}}{l_2}\right) \quad (8)$$

- Угол наклона задней границы:

$$\varphi_2 = \arctg\left(\frac{R_{вн} + R_{нар}}{l_1}\right) \quad (9)$$

- Угол наклона биссектрисы:

$$\varphi_{1/2} = \frac{(\varphi_1 + \varphi_2)}{2} \quad (10)$$

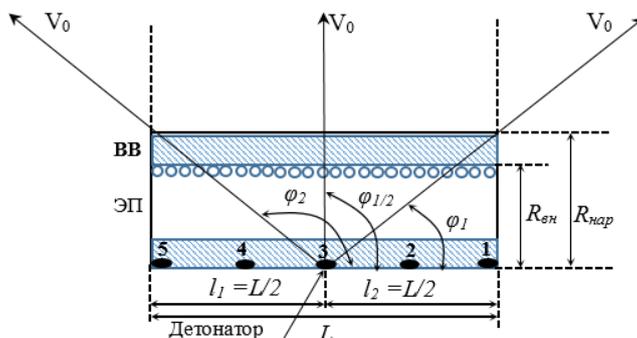


Рис.5. К пояснению определения параметров СПП

Где:  $R_{вн}$ ,  $R_{нар}$  – внутренний и наружный радиусы оболочки взрывного вещества;  $L$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  – длина БЧ и расстояния от детонатора до переднего

и заднего сечений БЧ соответственно.

б) Параметры ДПП (см. рис.6):

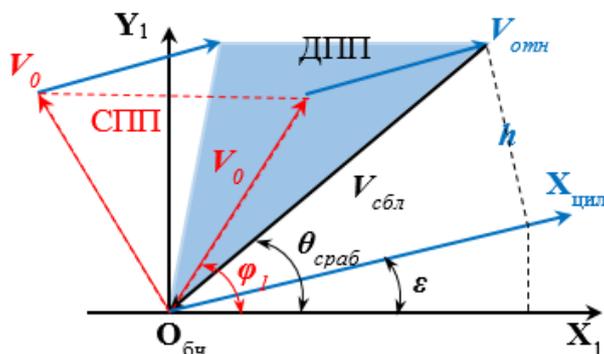


Рис.6. К определению угла срабатывания  $\theta_{срб}$

Согласно определению, ДПП формируется как перенос СПП в сторону цели на некоторый угол, зависящий от вектора относительной скорости.

Условием, обеспечивающим встречи поражающего элемента с целью в ДПП, является расположение вектора суммарной скорости

$\vec{V}_\Sigma = \vec{V}_0 + \vec{V}_{отн}$  было параллельно или совпало с вектором скорости сближения  $\vec{V}_{сбл}$  как показано на рис.6. Из этого рисунка и также допущения о малости углов  $\epsilon$  и  $\eta$ , следует суммировать проекции векторов на оси  $OX_1$  (продольной оси ЗУР) ССК и определим:

- Угол срабатывания РВ –  $\theta_{сраб}$ :

$$V_0 \cos \varphi_1 + V_{отн} \cos \varepsilon = V_{сбл} \cos \theta_{сраб}$$

$$\cos \theta_{сраб} = \frac{V_0 \cos \varphi_1 + V_{отн} \cos \varepsilon}{V_{сбл}}$$

$$\theta_{сраб} = \arccos \left( \frac{V_0 \cos \varphi_1 + V_{отн} \cos \varepsilon}{V_{сбл}} \right) \quad (11)$$

- Относительную скорость  $V_{отн}$ :

$$[V_{сбл} - V_0 \cos(\varphi_1 - \theta_{сраб})] = V_{отн} \cos(\theta_{сраб} - \varepsilon),$$

*учитывая малость  $\varepsilon$ , что*

получим:

$$V_{отн} = \frac{V_{сбл} - V_0 \cos(\varphi_1 - \theta_{сраб})}{\cos(\theta_{сраб} - \varepsilon)} \approx \frac{V_{сбл} - V_0 \cos(\varphi_1 - \theta_{сраб})}{\cos \theta_{сраб}} \quad (12)$$

Где:  $V_{сбл}$  – скорость сближения ЗУР к цели, измеряемая ФДРВ;

$V_0$  – стационарная скорость разлета ПЭ в СПП, определяется формулой *Gurney* [2,6,10]:

$$V_0 = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{2}{\pi} + \frac{2R_{вн}}{L}} \sqrt{2E} \sqrt{3} \frac{C_{ра}}{M_{ра}}} \cdot \sqrt{\left(4 + \frac{C_{ра}}{M_{ра}}\right) \left(1 + \frac{C_{ра}}{M_{ра}}\right)}} \quad (13)$$

Где:  $R_{вн}$ ,  $L$  – геометрические параметры БЧ, определяемые по рис.5;  $C_{ра}$ ,  $M_{ра}$  – используемая масса ВВ и отводимая масса ПЭ соответственно;  $\sqrt{2E}$  – постоянная *Gurney*, зависящая от типа ВВ.

4. *Определение радиального угла  $\chi_1$  в картинной плоскости*, [3,9]:

а) Конструкция РНБЧ (рис.7):

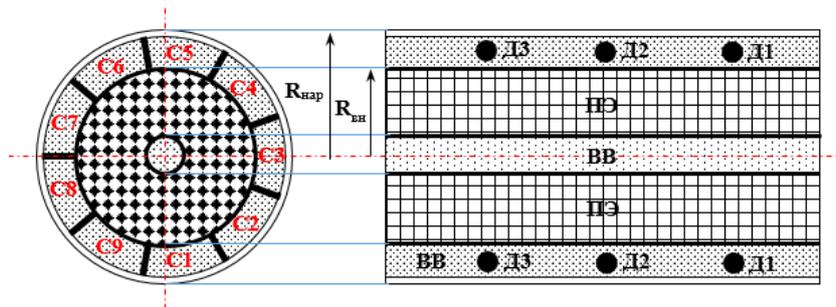


Рис.7. Конструкция РНБЧ

(ВВ – взрывное вещество; ПЭ – поражающий элемент; Д1÷3 – детонаторы; С1÷9 – взрывные секторы)

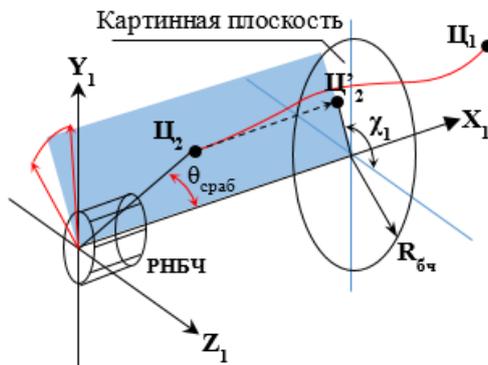


Рис.8. Относительное расположение цели в секторах РНБЧ

б) Расположение цели в картинной плоскости относительно взрывных секторов РНБЧ (рис.8):

$$\chi_1 = \arctg \left( \frac{y_{1ц}}{z_{1ц}} \right) \quad (14)$$

Где:  $y_{1ц}$ ,  $z_{1ц}$  – координаты цели определены в ССК методом экстраполяции траектории цели [3].

5. *Выбор взрывных секторов в зависимости от угла расположения цели  $\chi_1$ .*

Было установлено в [9], что при одновременной детонации последовательно-расположенных взрывных секторов в угловом диапазоне  $120^\circ$ , радиальный угол разлета ПЭ составляет от  $40^\circ$  до  $45^\circ$  и этот угол расширяется при уменьшении секторного угла.

Применив 9-секторный вариант (см. рис.7), можно установить связь индекции взрывных секторов с значением радиального угла  $\chi_1$ , которая показана в таблице 1.

**Правило выбора взрывных секторов по значению радиального угла**

№ Взрывн. сектора	1-2-3	2-3-4	3-4-5	4-5-6	5-6-7	6-7-8	7-8-9	8-9-1	9-1-2
Значение Рад. Угла $\chi_1$ , [град.]	110 ÷ 150	150 ÷ 190	190 ÷ 230	230 ÷ 270	270 ÷ 310	310 ÷ 350	350 ÷ 30	30 ÷ 70	70 ÷ 110

Пример одного выбора приведен на рис.9. При этом радиальный угол оказался в диапазоне (190÷230) град, будут выбраны секторы №3, №4 и №5 с секторным углом  $\chi_1=120$  угл.град.

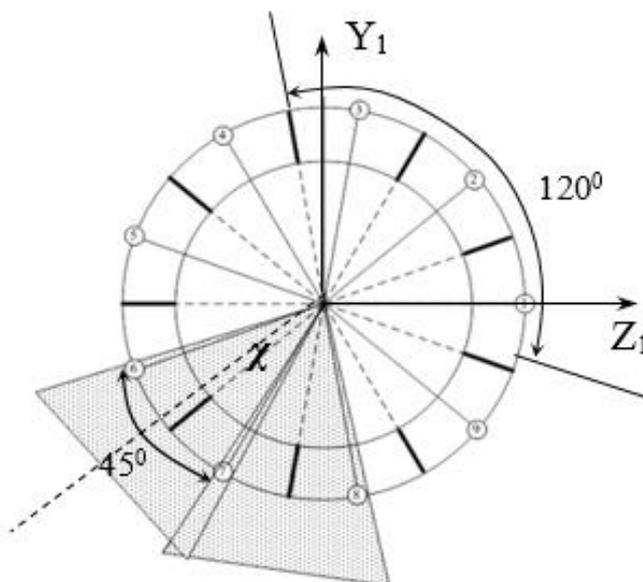


Рис.9. Пример о выборе взрывных секторов.

6. Алгоритм приведения РНБЧ в действие моделирования, используются примерные  
Для того, чтобы исследовать исходные данные РНБЧ в таблице 2 и программный  
функционирование РНБЧ путем математического алгоритм исследования, показанный на рис.10.

Таблица 2.

**Примерные параметры РНБЧ**

Параметры РНБЧ	Значение
Суммарная масса ПЭ - М(кг)	62.2
Суммарная масса ВВ - С(кг)	59.9
Отводная масса - $M_{ра}$ (кг)	102.1
Использованная масса ВВ - $C_{ра}$ (кг)	20
Наружный радиус оболочки ВВ - $R_{нар}$ (м)	0.230
Внутренний радиус оболочки ВВ - $R_{вн}$ (м)	0.196
Длина боевой части - L(м)	0.8

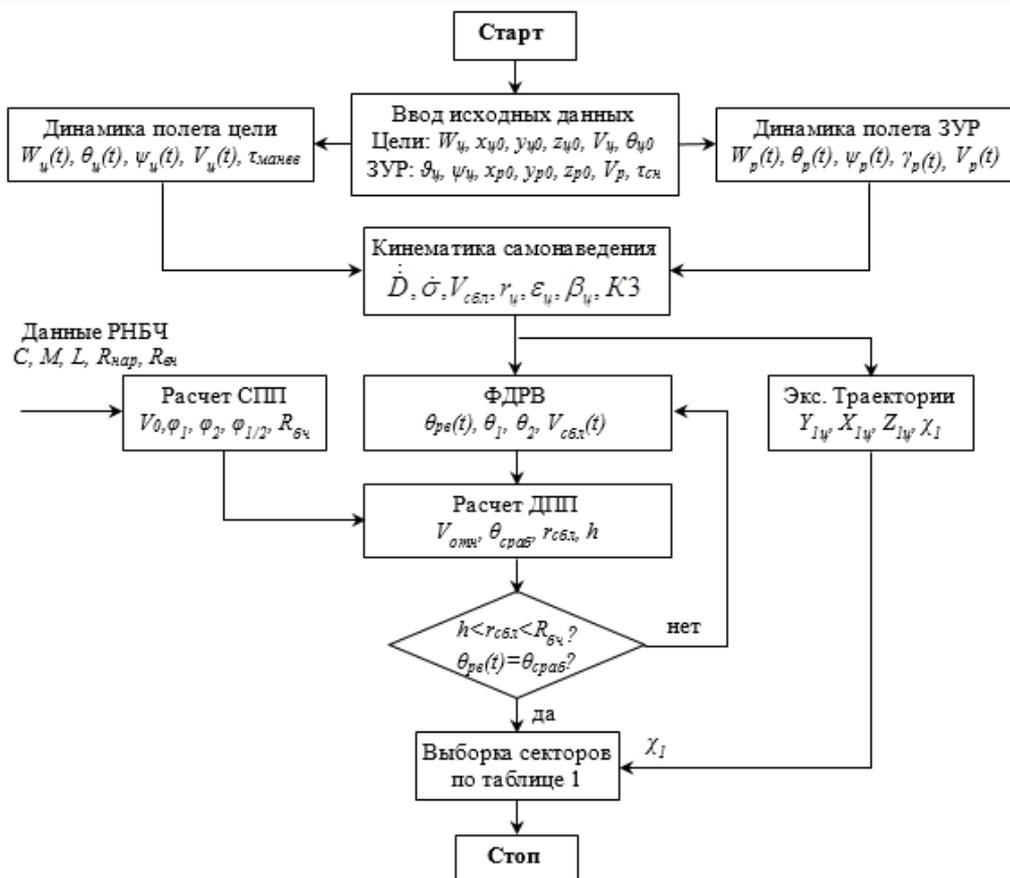


Рис.10. Алгоритм приведения РНБЧ в действие.

### Математическое моделирование и оценка эффективности РНБЧ

1. Данные и предпосылки для моделирования (Таблица 2 и 3):

Таблица 3.

Параметры ЗУР и цели.

Исходные параметры	Цель	ЗУР	Замечания
Начальные местоположения $x_0, y_0, z_0$ (м)	4000	1000	по всем координатам
Скорость, (м/с)	450	850	
Перегрузки в маневре - $W_z, W_y$ , (м/с <sup>2</sup> )	0; 40; 80	-	3 уровень
Вид маневра цели	пр. бочка		пространственная
Время самонаведения - $\tau_{сн}$ , (с)	-	<2.5	
Время работы РВ - $\tau_{рв}$ , (с)	-	<1	
Эффективный радиус БЧ - $R_{бч}$ , (м)	-	60	
Метод самонаведения	-	пр. сбл	

2. Алгоритм исследования: алгоритм на рис.10 и формулы (1)-(14).

3. Результаты исследований:

а) Траектория ЗУР и цели в вертикальной плоскости (рис.11)

б) Вероятности поражения цели в зависимости от промахов (рис.12, табл.4).

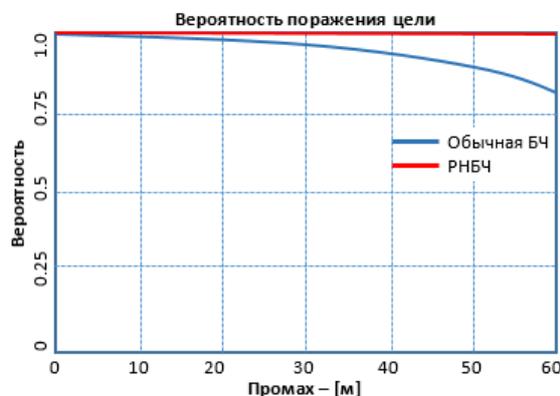
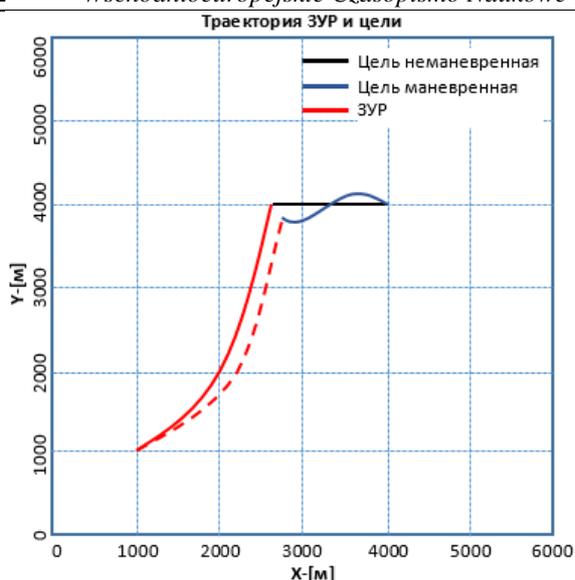


Рис.11. Траектории ЗУР и цели Рис.12. Вероятность поражения цели

Таблица 4

Вероятность поражения цели зависимости от промаха

Промач $h$ , (м)		10	20	30	40	50	60
Вероятность поражения	Обычная БЧ	1	1	0,989	0,896	0,816	0,786
	РНБЧ	1	1	1	1	1	1

в) Выходные параметры ЗУР и РНБЧ (Таблица 5).

Таблица 5

Выходные параметры ЗУР и РНБЧ

Перегр узка цели	Истинный радиальный угол, (гр.)	Эксп. рад. угол, (гр.)	Взрывной сектор	Угловая скорость вращения линии визирования, (гр/с)		Скорость сближения в плоскостях, (м/с)	
				$\dot{\sigma}_B$	$\dot{\sigma}_H$	$V_{сбл.В}$	$V_{сбл.Н}$
$W_{ц}(м/с^2)$	$\chi_{ис}$	$\chi_1$	$\aleph$				
0	26.150	27.456	8-9-1	-0.0008	0.0002	902.13	880.47
40	21.762	23.831	7-8-9	0.5791	-0.8804	766.37	735.57
80	-4.340	-7.677	7-8-9	1.6771	-3.6144	616.51	541.69

**Выводы:** Из постановки, решения и результатов исследований в данной работе можно сделать следующие выводы.

а) Задача согласования зоны срабатывания ФДРВ с полем поражения РНБЧ решается сложнее подобной задачи при обычной БЧ. Сложность заключается в определении радиального угла подлета цели  $\chi_1$  относительно ЗУР и в выборе взрывных секторов, обеспечивающих направленный разлет всех ПЭ в направлении цели и тем самым повышает вероятность поражения цели (рис.12).

б) Высокая вероятность поражения цели РНБЧ достигается сосредоточением энергии и повышением плотности ПЭ в сторону цели.

в) Алгоритм решения поставленной задачи может быть реализован на основе однозначно известных параметров ЗУР, РВ, РНБЧ и бортовых информаций.

#### Заключение:

Теоретически задача согласования зоны срабатывания РВ с полем поражения РНБЧ решена. Она весьма актуальна и практична в процессе проектирования ЗУР. Значимость и научность данной работы заключается в комплексном решении ряд вопросов в тепловой взрывной динамике, радиолокации и динамике полета летательных аппаратов.

Результаты решения задачи рекомендовать использовать в учебном и исследовательском процессах.

#### Литературы

По-вьетнамски:

[1]. Đàm Hữu Nghị, Phạm Ngọc Văn, Nguyễn Hữu Sơn, Nguyễn Văn Thuận, Lê Thế Trung – Đạn Tên Lửa Phòng Không Có Điều Khiển, Tập 1, Tập 2 – nxb. QĐNN - 2016.

[2]. Phạm Ngọc Văn, Vũ Hòa Tiền, Lê Thế Trung - Nghiên cứu khảo sát, đánh giá các đặc trưng vùng

văng mạnh của phần chiến đấu đấng hướng và phần chiến đấu định hướng – Tạp chí NCKH&CNQS, số 63 tháng 10/2019.

[3]. Phạm Ngọc Văn, Vũ Hòa Tiến, Cao Hữu Tình, Đỗ Văn Phán - Phương pháp giải bài toán xác định tọa độ góc mục tiêu tại thời điểm kích hoạt phần chiến đấu định hướng của tên lửa phòng không - Tạp chí NCKH&CNQS, số 66 tháng 4/2020.

[4]. Vũ Hòa Tiến – Động học các hệ thống điều khiển thiết bị bay – nxb. QĐNN, 2013.

По-английски:

[5]. M Chakravarti - An Effective Estimation of Time-dependent Doppler Frequency for Weapon Fuzing - 19-21 Nov. 2008, IEEE.

[6]. Richard M. Lloyd - Conventional Warhead Systems Physics and Engineering Design - Volume 179/1998 Progress in Astronautics and Aeronautics - Raytheon System Company – Massachusetts USA.

[7]. Steven E. Noel, Harold H. Szu, Yogesh J. Gohel - Doppler frequency estimation with wavelets and neural networks- SPIE Vol. 3391 • 0277-786X/1998.

[8]. Yang Ruike, Li Lei, Zhong Pu, Liu Kexiang - Influence of Rain Doppler frequency on MMW Doppler Fuze - 978-1-4244-6908-6/10/2010 IEEE.

По-русски:

[9]. Одинцов. В.А. – Боевая часть с радиально-направленным низкоскоростным полем к зенитной управляемой зачете, предназначенной для перехвата тактических баллистических ракет. – Патент RU2249175C1 Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным заказам РФ, 12/9/2003.

[10]. Андреев С.Г., Бабкин А.В., и др. – Физика взрыва. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, том 1, 832с.

**Koroli M.A.**

*Candidate of technical sciences, docent,  
Tashkent State Technical University,  
The Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Ivanisova A.R., Taubaldiev A.A., Usmonov J., Gafurova M.,**

*masters*

*Tashkent State Technical University, Uzbekistan*

#### **THE EXPERIMENTAL RESEARCHES OF REVERSIBLE HEAT PUMP "WATER-AIR" AT THE LABORATORY STAND "SOLAR-HEAT PUMP STATION".**

**Короли Мехрия Анваровна,**

*к.т.н., доцент,*

*Ташкентский Государственный Технический Университет,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

**Иванисова А., Таубалдиев А., Усманов Ж., Гафурова М**  
*магистранты, ТашГТУ, Узбекистан*

#### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕВЕРСИВНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА «ВОДА-ВОЗДУХ» НА ЛАБОРАТОНОМ СТЕНДЕ «СОЛНЕЧНО-ТЕПЛООНАСОСНАЯ СТАНЦИЯ».**

**Summary.** It's shown, the results of experiments of the heat pump "Water-Air" with using solar photovoltaic panels to drive a compressor and other heat pump equipment. The circuit diagram and operation modes of the heat pump are considered. The results of experiments are compared for different modes of the heat pump.

**Аннотация.** Показаны результаты опытов теплового насоса «вода-воздух» с использованием солнечных фотоэлектрических панелей, для привода компрессора и другого оборудования теплового насоса. Рассмотрены принципиальная схема и режимы работы теплового насоса. Сравняются результаты опытов при разных режимах работы теплового насоса.

**Key words:** *heat pump, solar photovoltaic panels, operating mode, efficiency, heating coefficient, energy resources.*

**Ключевые слова:** *тепловой насос, солнечные фотоэлектрические панели, режим работы, эффективность, отопительный коэффициент, энергоресурсы.*

**Введение.** Использование солнечных тепловых насосов в теплохладоснабжении зданий и промышленности республики с каждым годом становится перспективнее и актуальнее, позволяет получать тепловую энергию с наименьшими затратами и без вреда для окружающей среды. А также в современных условиях повышения цен на энергоресурсы и электрическую энергию

использование тепловых насосов является экономически эффективными.

В научно-исследовательской лаборатории «Солнечно-теплонасосная станция» при кафедре «Термодинамика и теплотехника» Ташкентского Государственного Технического Университета впервые в республике в лабораторных условиях создана установка с совместным использованием солнечных коллекторов, солнечных

фотоэлектрических панелей и теплового насоса в единой системе солнечного теплоснабжения. Данное комбинирование солнечного коллектора, солнечных фотоэлектрических панелей и теплового насоса позволяет повысить энергетическую эффективность системы; также при эксплуатации системы, снимается вопрос о снижении эффективной работы в межсезонье, потому как комбинированная система (солнечный тепловой насос) предоставляет постоянную, стабильную работу на протяжении всего года.

Хотелось отметить, что несмотря на широкое развитие данных технологий за рубежом, для Узбекистана требуется разработка их технических решений в виде рациональных схем и расчета оптимальных параметров их эксплуатации. Отсутствует также соответствующая научно-техническая документация применительно к условиям республики.

Проведение экспериментальных исследований на предлагаемой лабораторной установке позволит обосновать предложения о возможности использования солнечной системы ГВС совместно с тепловым насосом и предложить

модернизированную и усовершенствованную принципиальную схему теплоснабжения.

**Основная часть.** Для подробного описания принципа работы теплового насоса рассмотрим принципиальную схему, изображенную на Рис.1

Основным (ведущим) источником энергии в этой схеме служит тепловой насос «воздух-вода», который в зависимости от погодных условий работает в реверсивном режиме для тепло- или холодоснабжения зданий. В данной модели тепловой насос предназначен для комбинированной системы теплоснабжения в сочетании с дополнительным источником тепла, таким как электрический котел. Любой дополнительный источник предназначен для покрытия «пиковых» нагрузок в режиме работы теплового насоса на отопление.

Для привода компрессора и другого электрического оборудования, теплового насоса, используются солнечные фотоэлектрические панели (батареи). Таким образом установка «тепловой насос» становится еще более экономичной.

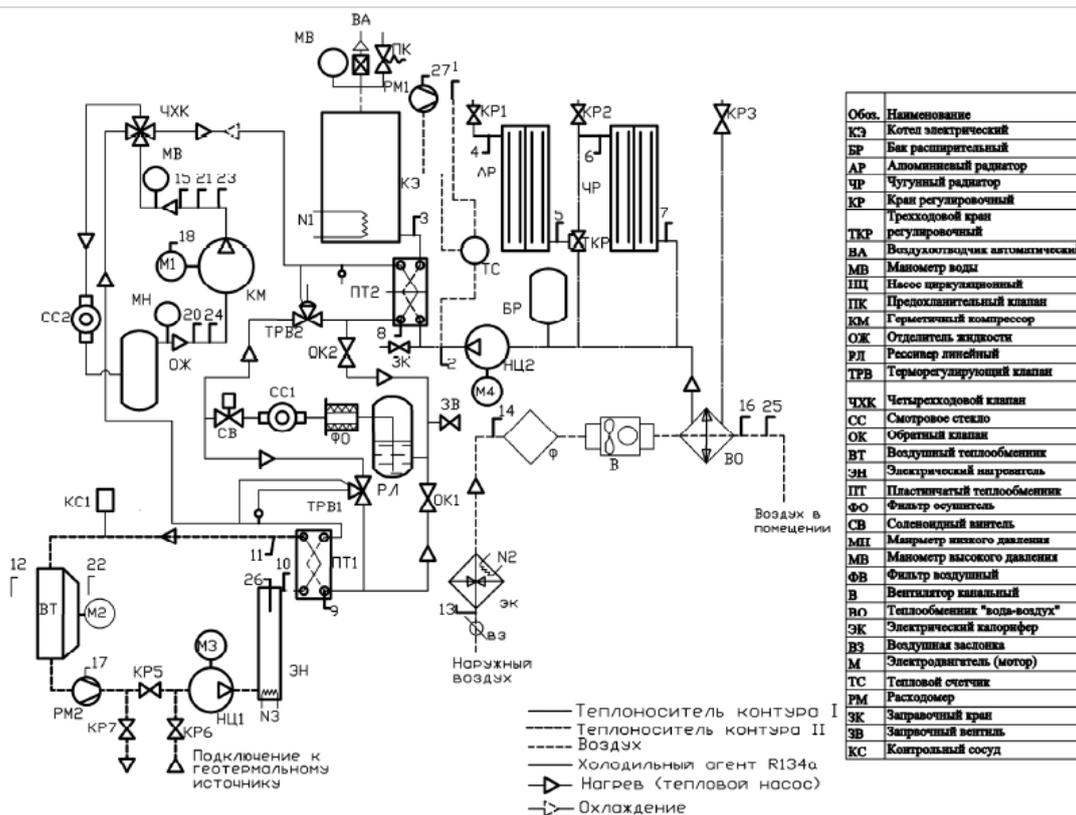


Рисунок 1. Принциальная схема теплового насоса.

Всю систему можно разделить на 3 контура, а также выделить 3 режима работы системы солнечного теплоснабжения

Конструктивными особенностями I-ого контура является то, что в него входят:

- воздушный теплообменник;
- циркуляционный насос;
- электрический нагреватель;

- пластинчатый теплообменник №1 (испаритель);

Ко II-у контуру относятся:

- пластинчатый теплообменник №1 (испаритель);
- отделитель жидкости;
- компрессор;
- рессивер;

- пластинчатый теплообменник №2 (конденсатор).

III-й контур включает в себя:

- пластинчатый теплообменник №1 (конденсатор);

- электрический котел;
- потребитель (радиаторы);
- теплообменник «вода-воздух»
- циркуляционный насос №2.

Каждый контур имеет свое функциональное название:

I-й контур передачи тепла хладагенту; II-ой контур известен, как контур циркуляции хладагента; III-й контур подачи тепла потребителю (в качестве потребителя используется отопительный радиатор). Экспериментальные исследования проводились в каждом контуре.

**Цель работы** - показать эффективность использования теплового насоса в системах теплоснабжения в условиях республики.

В данной лабораторной установке теплоносителем первого контура является антифриз, получивший тепловую энергию посредством электрического нагревателя (ЭН). Теплоноситель поступает в пластинчатый теплообменник (ПТ1), который и является испарителем, посредством циркуляционного насоса (НЦ1). Затем, охлаждаясь в воздушном теплообменнике (ВТ), поступает обратно в ЭН. Процесс повторяется.

Во втором контуре теплоносителем является хладагент, который начинает испаряться в испарителе (ПТ1). Пройдя отделитель жидкости (ОЖ), пары хладагента поступают в компрессор (КМ), где образованные пары имеют температуру 80-85°C, вследствие повышения давления. Затем, пройдя пластинчатый теплообменник (ПТ2), который является конденсатором, и отдав теплоту теплоносителю третьего контура, попадает в линейный ресивер (РЛ), откуда направляется в испаритель.

В третьем контуре теплоноситель получив теплоту в пластинчатом теплообменнике (ПТ2) отправляется к потребителю (в данном случае радиатору отопления). Пройдя через

$$Q_k = G_1 * c_p (t_{пр} - t_{об}) = 0.363 * 3253.6(53.5 - 53.1) = 472.4 \text{ Вт}$$

где  $G_1$  – массовый расход теплоносителя через конденсатор, кг/с;

- теоретический отопительный коэффициент:

$$\mu^T = \frac{q_k}{l} = \frac{205}{40} = 5.125$$

где  $q_k$  – удельное количество тепла, отведенное в конденсаторе, кДж/кг;

$l$  – удельная работа сжатия, затраченная в компрессоре, кДж/кг.

- вычислен действительный отопительный коэффициент:

теплообменник вода-воздух (ВО) и расширительный бак (БР) поступает в ПТ2 посредством циркуляционного насоса (НЦ2).

Для большей детализации и понимания нами был рассмотрен принцип работы солнечного теплового насоса в 3 режимах:

1) Режим теплового насоса. Данный режим предусматривает работу системы отопительного радиатора при необходимости температуры теплоносителя в пределах 50-65°C. Режим теплового насоса позволяет повышать температуру воздуха в помещении в холодное время года (даже при температуре окружающего воздуха -5 °C) и может использоваться как отопительный прибор. Принцип работы этого режима идентично работе обычного теплового насоса [2]. При испытании установки в данном режиме, особое значение придавалось сравнению действительного и теоретического отопительного коэффициента теплового насоса.

В ходе эксперимента были достигнуты следующие параметры:

- ✓  $t_{пр} = 53.5$  °C (температура прямого потока);
- ✓  $t_{об} = 53.1$  °C (температура обратного потока);
- ✓  $t_k = 58$  °C (температура конденсации холодильного агента);
- ✓  $t_o = 12$  °C (температура кипения холодильного агента);
- ✓  $t_{нар} = 70$  °C (температура нагнетания холодильного агента);
- ✓  $t_{н.п.} = 12$  °C (температура низкпотенциального источника на входе);
- ✓  $p_o = 2.73$  бар (давление кипения холодильного агента);
- ✓  $p_k = 14$  бар (давление конденсации холодильного агента);
- ✓  $N_{км} = 611.1$  Вт (мощность затраченная в компрессоре).

На основании экспериментально полученных значений параметров:

- был построен цикл работы теплового насоса в диаграмме lgr-i (рис.2).

- вычислено количество тепла направленное на отопление:

$$\mu^D = \frac{Q_k}{N_{км}} = \frac{472.4}{611.2} = 0.77$$

2) Режим охлаждения. Рассматриваемый режим предусматривает работу при необходимости отрицательной температуры теплоносителя, то есть для снижения температуры воздуха внутри помещений в жаркое время года и круглогодично в помещениях, где образуется избыточное тепло (информационно-вычислительные центры, аудитории, зрительные залы и т. д.) или требуется поддержание определённой температуры (продуктовые склады, операционные). Ниже приведен график изменения рабочих температур

(рис.3), средний коэффициент рабочего времени, учитывая все потери, возникающие при работе действительную холодопроизводительность и компрессора. действительный холодильный коэффициент,

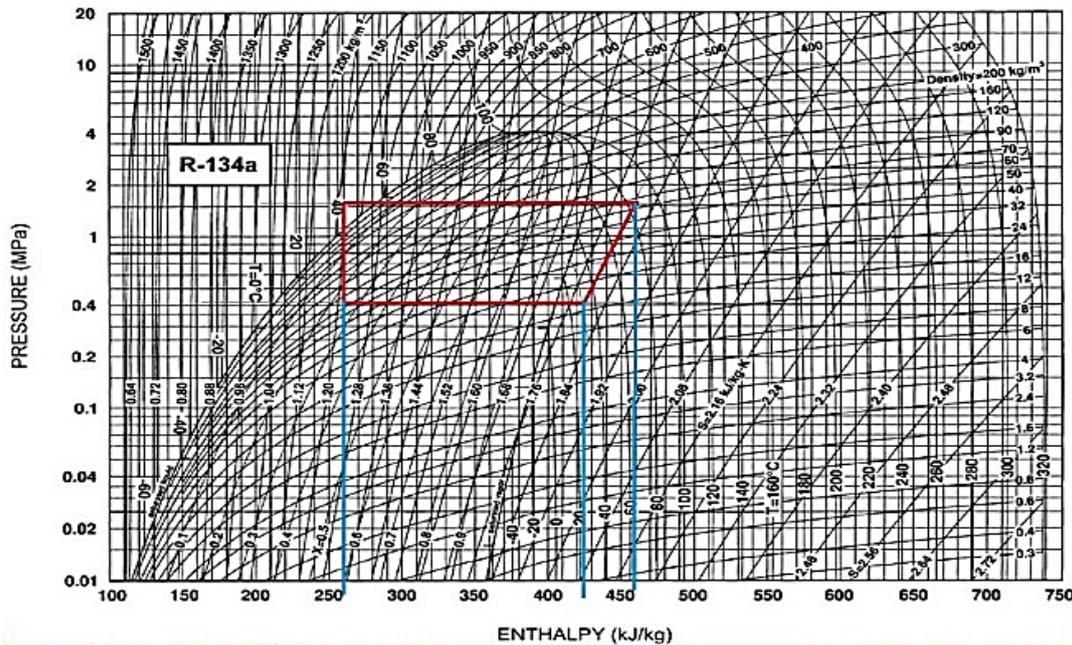


Рисунок 2. Цикл работы теплового насоса в диаграмме lgr-i

- Средний коэффициент рабочего времени:

$$b = \frac{\sum \tau_{\text{раб}}}{\sum \tau_{\text{об}}} = \frac{152}{305} = 0.498$$

- Действительная холодопроизводительность:

$$Q_0 = G_1 * c_p (t_2 - t_1) = 0.306 * 2948 (14 - 13.3) = 631.5 \text{ Вт}$$

- Действительный холодильный коэффициент:

$$\varepsilon^{\text{д}} = \frac{Q_0}{N_{\text{км}}} = \frac{631.5}{531} = 1.19$$

3) Режим изменения температуры теплоносителя с помощью электрического котла. Начальные условия схожи с первым режимом – изменение температуры теплоносителя происходит с помощью теплового насоса. Данный режим актуален при необходимости температуры теплоносителя более 65°C на входе в отопительный радиатор. В случае возникновения такой ситуации, теплоноситель подогревается на выходе из теплообменника теплового насоса путем электрического котла, после чего теплоноситель

направляется в отопительный радиатор, в котором мы можем проследить теплоотдачу тепловой энергии.

Полученные результаты подтвердили эффективность теплового насоса, его теплопроизводительность превысила теплопроизводительность котла на 0.06 кВт/ч и расход электроэнергии теплового насоса был меньше, чем у котла, на 0.232 кВт/ч; величина отопительного коэффициента теплового насоса составила – 0.58, а у электрического котла – 0.18.

**Выводы:** таким образом анализ результатов проведенных экспериментальных исследований в лабораторных условиях показал эффективность теплового насоса. Авторы продолжают свои исследования и надеются, что научно обоснованные схемы и технические параметры лабораторных экспериментов станут основой для разработки научно-технической документации по внедрению предлагаемых технологий на объектах ГУП «Toshissiqquvatti». Это позволит добиться существенного снижения потребления природного газа при выработке тепловой энергии, повысить эффективность подачи тепла потребителям и улучшить коммунальные услуги потребителей.

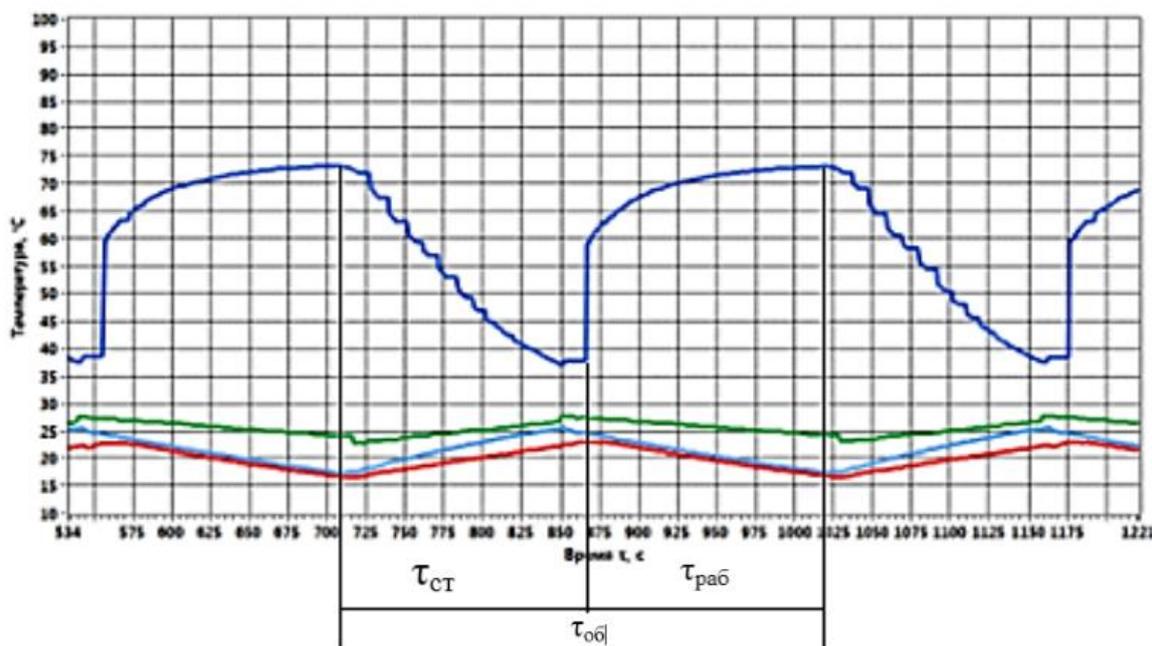


Рисунок 3. График изменения рабочих температур с анализом режима работы.

### Литература

В.В.Галаган. Методические рекомендации по изучению реверсивного теплового насоса: Орел ГТУ, 2019. – 94 с.

УДК 519.673  
ГРНТИ 27.35.33

Лосяк Ю. А. Лабораторные работы на стенде Тепловые насосы Минск: БНТУ, 2013. – 50 с.

**Малеронюк<sup>1</sup> В. В.**

<sup>1</sup> Старший преподаватель кафедры технологии и оборудования машиностроения, магистр технических наук, соискатель. Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Министерство образования Республики Беларусь, ул. Войкова, 21, 225404 Барановичи, Республика Беларусь, +375 (29) 561 28 88

### РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ОТ РАЗМЕРОВ ЗЕРЕН КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

**Maleronok<sup>1</sup> V. V.**

<sup>1</sup> Senior lecturer of the department of Technology and Machine-Building Equipment, master of technical sciences, graduated from graduate school. Baranovichi State University, the Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voykova str., 225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, +375 (29) 5612888

### MATHEMATICAL MODEL DEVELOPMENT OF METAL PRODUCTS ELECTRICAL RESISTANCE HARDENED LAYER DEPENDENCE ON THE SIZES OF CRYSTAL STRUCTURE GRAINS

**Аннотация.** В статье описывается разработка математической модели зависимости электросопротивления упрочненного слоя быстрорежущего инструмента от количества зерен структуры металла, которая изменяется под действием магнитно-импульсной обработки. Разработанная математическая модель получена в результате рассмотрения упрочненного слоя, как наноматериала с рядом известных зависимостей. Такое сравнение принято в связи с тем, что согласно ГОСТ 19265-73,

ГОСТ 5639-82 размер зерна структуры металла быстрорежущего инструмента (сталь Р6М5) уже составляет единицы микрометров, а в процессе обработки магнитно-импульсным воздействием уменьшается до нанометрового диапазона.

Числовое моделирование реализовано с применением математического пакета MATLAB R2019b, а результат получен в виде графика зависимости. Что позволило установить влияние количества межзеренных границ разделов на электросопротивление, представляющих собой совокупность границ зёрен и тройных стыков. Так, наибольший прирост электросопротивления происходит в нанометровом диапазоне размеров зерен структуры металла от 0,2 нм до 0,01 нм.

**Abstarct.** The article describes the mathematical model development dependence of the hardened layer electrical resistance of a quick cutting tool on the number of the metal structure grains, which changes under the influence of magnetic pulse processing. The developed mathematical model is obtained by considering the hardened layer as a nanomaterial with a number of known dependencies. Such a comparison is taken due to the fact that, according to GOST 19265-73, GOST 5639-82, the grain size of the metal structure of a high-speed tool (P6M5 steel) is already a few micrometers, and it decreases to the nanometer range in the process by magnetic pulse exposure.

Numerical modeling is implemented using the mathematical package MATLAB R2019b, and the result is obtained in the form of a dependency graph. This made it possible to establish the effect of the grain boundaries number of the partitions on the electrical resistance, which is a combination of grain boundaries and triple joints. So, the largest increase in electrical resistance occurs in the nanometer range of the metal structure grain sizes from 0.2 nm to 0.01 nm.

*Ключевые слова:* MatLab; математическая модель; быстрорежущий инструмент; упрочнение изделий; Р6М5; высокоэнергетические методы; магнитно-импульсная обработка; структура металла; электросопротивление; граница зерен металла; размер зерна металла.

*Keywords:* MatLab; mathematical model; high-speed tool; hardening of products; P6M5; high energy methods; magnetic pulse processing; metal structure; electrical resistance; metal grain boundary; grain size of the metal.

## ВЕДЕНИЕ

При проведении магнитно-импульсной обработки (МИО) на поверхности стального изделия образуется модифицированный слой толщиной до 70 мкм (для некоторых металлов и более). В этом слое устраняются дефекты в кристаллической решетке, выравниваются внутренние напряжения, измельчается и становится более однородной структура металла, что ведет к повышению прочностных показателей изделия, а в случае обработки режущего инструмента к повышению его стойкости [1].

Измельчение структуры (размера зерна) напрямую влияет на величину электрического сопротивления упрочненного слоя. А так как толщина упрочненного слоя составляет единицы и десятки микрометров, а размер зерна имеет микро и нанометровый диапазон, то исследование влияния размера зерна на электросопротивление удобно рассматривать по закономерностям, применяемым для наноматериалов.

В связи с этим, целью работы является получение математической модели зависимости электросопротивления упрочненного слоя от количества зерен структуры металла, которое изменяется под действием магнитно-импульсной обработки. Проведение числового моделирования актуально осуществить с применением математического пакета MATLAB R2019a, а результат получить в виде графика зависимости.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

За основу удобно взять зависимость электросопротивления от количества межзеренных границ разделов по формуле [2]:

$$R = R_0 + R_{ГР} \frac{S}{V}, \quad (1)$$

где  $R_0$  – электросопротивление монокристаллического материала с заданным содержанием примесей и дефектов;

$R_{ГР}$  – электросопротивление на межзеренной границе;

$S$  – площадь межзеренных границ;

$V$  – объем.

Из этой зависимости следует, что общее сопротивление упрочненного слоя будет состоять из  $R_0$  – электросопротивления монокристаллического материала и  $R_{ГР} \frac{S}{V}$  – электросопротивления, вызванного увеличением количества межзеренных границ раздела связанного с уменьшением размера зерна  $D$  при упрочнении МИО.

Для начала рассмотрим размер скин-слоя (принимая, что он равен толщине упрочненного слоя) относительно размеров цельного образца (рисунок 1), который возникает при прохождении тока высокой частоты [3].

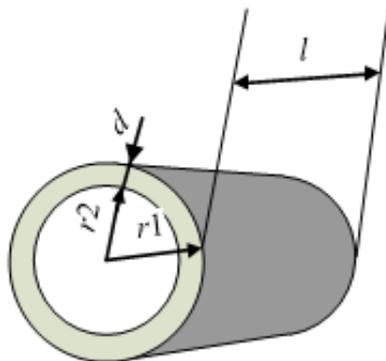


Рисунок 1 – Толщина скин-слоя  $d$  в цельноразмерном образце  
 Figure 1 – Skin-layer thickness  $d$  in solid sample

Из рисунка следует, что площадь сечения скин-слоя толщиной  $d$  можно найти как разность площадей образованных радиусами  $r_1$  и  $r_2$ :

$$S = S_1 - S_2 = \pi \cdot r_1^2 - \pi \cdot r_2^2 = \pi \cdot (r_1^2 - (r_1 - d)^2) = \pi \cdot (r_1^2 - (r_1^2 - 2 \cdot r_1 \cdot d + d^2)) = \pi \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2). \quad (2)$$

А объем скин-слоя длиной  $l$  в таком случае будет равен:

$$V = \pi \cdot l \cdot (r_1^2 - r_2^2) = \pi \cdot l \cdot (r_1^2 - (r_1^2 - 2 \cdot r_1 \cdot d + d^2)) = \pi \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2). \quad (3)$$

Тогда электросопротивления монокристаллического материала  $R_0$  с учетом (2) можно найти по формуле:

$$R_0 = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{\rho \cdot l}{S_1 - S_2} = \frac{\rho \cdot l}{\pi \cdot r_1^2 - \pi \cdot r_2^2} = \frac{\rho \cdot l}{\pi \cdot (r_1^2 - (r_1^2 - 2 \cdot r_1 \cdot d + d^2))} = \frac{\rho \cdot l}{\pi \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}, \quad (4)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление материала.

Для установления влияния количества межзеренных границ на электросопротивление ( $R_{ГР} \frac{S}{V}$ ) необходимо найти  $S$  – площадь межзеренных границ. Она будет составлять закономерную долю от общей площади зерен:

$$S = \Delta V_{ГР} \cdot S_{\Sigma}, \quad (5)$$

где  $\Delta V_{ГР}$  – объемная доля границ раздела;  
 $S_{\Sigma}$  – суммарная площадь зерен.

Объемную долю границ раздела можно оценить по формуле[2]:

$$\Delta V_{ГР} = 1 - \left[\frac{(D-s)}{D}\right]^3, \quad (6)$$

где  $s$  – толщина границ раздела (порядка 1 нм),  
 $D$  – характерный размер зерна или кристаллита.

Суммарную площадь зерен  $S_{\Sigma}$  можно найти, рассмотрев мелкодисперсное строение материала, свойственное после упрочнения МИО (рисунок 2).

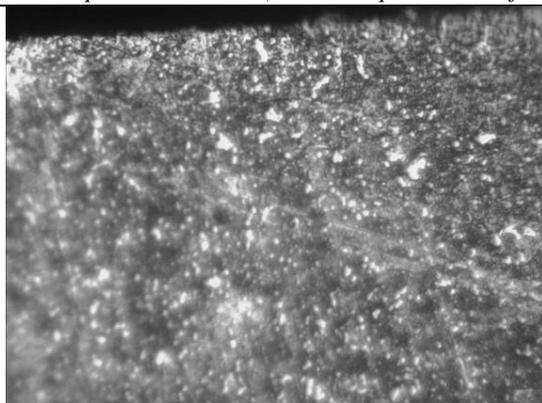


Рисунок 2 – Структура стали P6M5 после МПО  
Figure 2 – The structure of steel P6M5 after magnetic pulse processing

Тогда, рассматривая зерно шарообразной формы диаметра  $D$ , суммарную площадь зерен  $S_{\Sigma}$  можно найти по формуле:

$$S_{\Sigma} = \pi \cdot D^2 \cdot N, \quad (7)$$

где  $D$  – размер зерна;

$N$  – количество зерен.

Количество шарообразных зерен размера  $D$  в объеме  $V$  (3) скин-слоя толщиной  $d$  равно:

$$N = \frac{V}{V_{\text{зерна}}} = \frac{\pi \cdot l \cdot (r_1^2 - r_2^2)}{\frac{\pi \cdot D^3}{6}} = \frac{6 \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}{D^3}, \quad (8)$$

где  $D$  – размер зерна;

$l$  – длина скин-слоя (образца);

$d$  – толщина скин-слоя.

Тогда с учетом (8) уравнение (7) для определения суммарной площади зерен  $S_{\Sigma}$  примет вид:

$$S_{\Sigma} = \pi \cdot D^2 \cdot \frac{6 \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}{D^3} = \frac{6 \cdot \pi \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}{D} \quad (9)$$

С учетом (6,9) уравнение (5) для площади межзеренных границ  $S$  можно представить следующим образом:

$$S = \Delta V_{\text{ГР}} \cdot S_{\Sigma} = (1 - [\frac{D-s}{D}]^3) \cdot \frac{6 \cdot \pi \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}{D} = \frac{(D^3 - (D-s)^3) \cdot 6 \cdot \pi \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}{D^4} \quad (10)$$

Таким образом, подставляя формулы (3, 4, 10) количества межзеренных границ раздела (1), в уравнение зависимости электросопротивления от получим:

$$R = R_0 + R_{\text{ГР}} \frac{S}{V} = \frac{\rho \cdot l}{\pi \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)} + R_{\text{ГР}} \frac{(1 - [\frac{D-s}{D}]^3) \cdot \frac{6 \cdot \pi \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}{D}}{\pi \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)} = \frac{\rho \cdot l}{\pi \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)} + R_{\text{ГР}} \cdot \frac{(D^3 - (D-s)^3) \cdot 6 \cdot \pi \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}{D^4 \cdot \pi \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)} = \frac{D^4 \cdot l^2 \cdot \rho + R_{\text{ГР}} \cdot 6 \cdot \pi \cdot l \cdot (D^3 - (D-s)^3) \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}{D^4 \cdot \pi \cdot l \cdot (2 \cdot r_1 \cdot d - d^2)}, \quad (11)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление материала;

$D$  – размер зерна;

$l$  – длина скин-слоя (образца);

$R_{\text{ГР}}$  – электросопротивление на межзеренной границе;

$s$  – толщина границ раздела;

$r_1$  – радиус образца;

$d$  – толщина скин-слоя (упрочненного слоя).

Данную зависимость (11) можно считать математической моделью зависимости электрического сопротивления упрочненного слоя

металлических изделий от размера зерна кристаллической структуры.

*Числовое моделирование зависимости электрического сопротивления упрочненного слоя металлических изделий от размеров зерен кристаллической структуры*

Для проведения численного моделирования используем зависимость (11) для анализа влияния размера зерна  $D$  на электросопротивление упрочненного слоя  $R$ , исходя из данных, приведенных в таблице 1.

Таблица 1

**Исходные данные для расчета**

Table 1

**The source data for the calculation**

Наименование величины	Значение
$\rho$ – удельное электрическое сопротивление материала	Для стали Р6М5 порядка: $5,4 \cdot 10^{-7}$ [Ом·м]
$D$ – размер зерна	Диапазон: 0,01 [нм] – 10 [мкм] = $1 \cdot 10^{-11}$ – $1 \cdot 10^{-5}$ [м]
$R_{ГР}$ – электросопротивление на межзеренной границе	Типовое для нано и микроструктур: $3 \cdot 10^{-14}$ [Ом·м]
$s$ – толщина границ раздела	Типовое для нано и микроструктур порядка: 1 [нм] = $1 \cdot 10^{-9}$ [м]
$r_1$ – радиус образца	Типовое для сверл из стали Р6М5 по ГОСТ 10902-77: 0,005 [м]
$l$ – длина скин-слоя (образца)	Типовое для сверл из стали Р6М5 по ГОСТ 10902-77: 0,133 [м]
$d$ – толщина скин-слоя	Подбирается равным толщине упрочненного слоя и рассчитывается с учетом частоты $f$ по формуле [4]: $d = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_m f}}$ , где $\rho$ – удельное электрическое сопротивление материала; $\mu_m$ – относительная магнитная проницаемость; $f$ – частота сигнала
$\mu_m$ – относительная магнитная проницаемость	Для углеродистой стали: 100
$f$ – частота сигнала	Для повышения разрешающей способности выбрана: 5 [МГц] = $5 \cdot 10^6$ [Гц]
$d$ – толщина скин-слоя с учетом $f$ и $\mu_m$	$1,65 \cdot 10^{-5}$ [м] = 16,5 [мкм]

Моделирование выполнено с помощью программы MATLAB R2019b в окне Editor на языке Matlab (рисунок 3).

```

D = 0.01e-9:1e-12:10e-6;% диапазон изменения зерна
f = 5*10^6; % частота зондирующего сигнала
h = 0.133; % длинна образца
r1 = 0.005; % радиус образца
g = 3e-14; % электросопротивление границы зерна
s = 1e-9; % толщина границы раздела
q = 54e-8; % удельное электросопротивление стали Р6М5
m = 100; % относительная магнитная проницаемость углеродистой стали
d = 503.*(q./(m.*f)).^0.5; % толщина скин-слоя
V1 = 1-((D-s)./D).^3; % объемная доля границ раздела
V2 = (pi.*D.^3)/6;% объем шарообразного зерна
n1 = (pi*h*(2*r1*d-d^2))./V2; % количество шарообразных зерен в объеме
скин-слоя
S1 = pi.*(D.^2).*n1;% площадь всех шарообразных зерен в объеме скин-
слоя
R = ((D.^4)*(h^2)*q+g*6*pi*h.*(D.^3-(D-s).^3)*(2*r1*d- d^2))
./((D.^4)*pi*h*(2*r1*d-d^2));% зависимость электросопротивления от
размера зерна D
loglog (D, R) % вывод графика зависимости в логарифмическом масштабе

```

*Рисунок 3 – Математическая модель зависимости электрического сопротивления  $R$  упрочненного слоя изделий из металлов от размера зерна  $D$  кристаллической структуры в среде Matlab*

*Figure 3 – A mathematical model of the dependence of the electrical resistance  $R$  of the hardened layer of metal products on the grain size  $D$  of the crystal structure in Matlab*

Результаты моделирования, осуществленного с помощью программы MATLAB R2019b, представлены в виде графика (рисунок 4). Так как величина электросопротивления многократно

изменяется в диапазоне изменения размера зерна, то зависимость удобно рассмотреть, если использовать логарифмический масштаб для обеих осей координат.

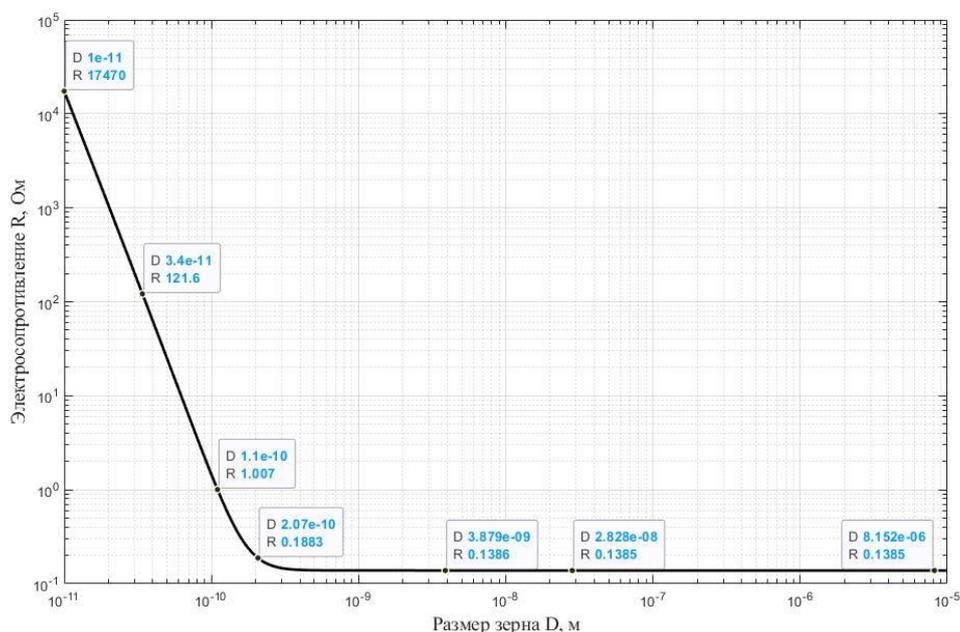


Рисунок 4 – График зависимости электрического сопротивления  $R$  упрочненного слоя изделий из металлов от размера зерна  $D$  кристаллической структуры

Figure 4 – Graph of the electrical resistance  $R$  of the hardened layer of metal products on the grain size  $D$  of the crystal structure

Результаты моделирования показывают, что сильный прирост электросопротивления характерен в нанометровом диапазоне. Так, например, при уменьшении зерна от 0,2 нм до 0,01 нм, электросопротивление изменяется от 0,1883 Ом до 17,5 кОм соответственно. А на диапазоне от 10 мкм до 0,2 нм электросопротивление прирастает незначительно от 0,1385 до 0,1883 Ом.

Таким образом, при проведении МИО изделий из металлов, которое в частности приводит к измельчению зерна до нанометров, будет происходить рост электрического сопротивления упрочненного слоя.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель зависимости электрического сопротивления упрочненного слоя металлических изделий от размеров зерен кристаллической структуры и произведен анализ в диапазоне от 0,01 нм до 10 мкм. Результаты моделирования показывают, что сильный прирост электросопротивления характерен в нанометровом диапазоне. Так, например, при уменьшении зерна от 0,2 нм до 0,01 нм, электросопротивление изменяется от 0,1883 Ом до 17,5 кОм соответственно. А на диапазоне от 10 мкм до 0,2 нм электросопротивление прирастает незначительно от 0,1385 до 0,1883 Ом.

Таким образом, осуществлять контроль изменения структуры металла при проведении магнитно-импульсной обработки быстрорежущего

инструмента можно не только с применением микроскопии, но и с использованием метода контроля, основывающегося на измерении электросопротивления поверхностного слоя. Что приведет к сокращению времени как на подготовку изделия к измерению, так и на сам процесс измерения.

#### Список цитированных источников

- Алифанов, А. В. Магнитно-импульсная упрочняющая обработка изделий из конструкционных и инструментальных сталей / А. В. Алифанов, А. В. Акулов, Ж. А. Попова, А. С. Демянчик. — Литье и металлургия, 2012. — №3. — С. 77 — 82.
- Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование: учебное пособие для вузов. / Е.В. Булыгина [и др.]. — М.: САЙНС-ПРЕСС, 2006. — 80 с.
- Малеронок, В.В. Метод исследования упрочненного слоя металлических образцов с использованием токов высокой частоты / А.В.Алифанов, В.В. Малеронок, И.А. Богданович // Вестник БарГУ. Серия технические науки. — 2019. — № 7. — С. 70 – 75.
- Шпиганович, А. Н. Анализ влияния высших гармонических составляющих на безотказность электроизоляционных покрытий / А. Н. Шпиганович, С. В. Довженко // Журн. науч. публ. аспирантов и докторантов. — 2008. — Режим

доступа:

<http://www.jurnal.org/articles/2008/elect7.html>. —

Дата доступа: 22.01.2020.

#### List of quoted sources

1. Alifanov, A.V. Magnetic-pulse hardening treatment of products made of structural and tool steels / A.V. Alifanov, A.V. Akulov, J.A. Popova, A.S. Demyanchik. - Casting and metallurgy, 2012. - №3. - p. 77 - 82.

2. Nanoscale structures: classification, research: textbook for universities. / E.V. Bulygin [et al.]. - M.: SAYNS-PRESS, 2006. - 80 P.

3. Maleronok, V.V. A method for studying a hardened layer of metal samples using high-frequency currents / A.V. Alifanov, V.V. Maleronok, I.A. Bogdanovich // Bulletin of BarSU. A series of technical sciences. - 2019. - №. 7. - p. 70 - 75.

4. Shpiganovich, A. N. Analysis of the influence of higher harmonic components on the reliability of electrical insulation coatings / A. N. Shpiganovich, S. V. Dovzhenko // Zhurn. scientific public graduate and doctoral students. - 2008. - Access mode: <http://www.jurnal.org/articles/2008/elect7.html>. - Access Date: 21.01.2020.

УДК 72:03,666.9.015

**Забидулла Камилевич Бабаев**

(автор для связи),

Кафедра «Химическая технология»,

Ургенчский Государственный университет

Хорезмская область, ул.Х.Алимджан, 14, Ургенч, Узбекистан, 220100

**Шарофат Мухаммадовна Машиарипова**

Хорезмская Академия Маъмуна,

Хорезмская область, Марказ-1, Хива, Узбекистан 220900

## ОТХОДЫ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА КАК СЫРЬЁ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕСТАВРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АРХИТЕКТУРНЫХ ПАМЯТНИКОВ

**Zabibulla Kamilovich Babaev**

(contact author),

Department of Chemical Technology,

Urgench State University,

Khorezm Region, 14 H. Alimjan St., Urgench, Uzbekistan, 220100

**Sharofat Muhammadovna Masharipova**

Khorezm Academy of Manun,

Khorezm Region, Markaz-1, Khiva, Uzbekistan 220900

## WASTE OF CERAMIC BRICK AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF RESTORATION MATERIALS OF ARCHITECTURAL MONUMENTS

**Аннотация.** Это статья об отходах керамического кирпича как сырья для производства реставрационных материалов архитектурных памятников. Данная работа посвящена изучению свойств отхода керамического кирпича как техногенного минерального сырья для повторного использования в производстве стеновых материалов.

**Abstract.** This article is about waste ceramic bricks as raw materials for the production of restoration materials for architectural monuments. This work is devoted to the study of the properties of waste ceramic bricks as man-made mineral raw materials for reuse in the production of wall materials.

*Ключевые слова:* керамический кирпич, промышленные отходы, сырьевая композиция, глина.

*Key words:* ceramic brick, industrial waste, raw material composition, clay.

### ВВЕДЕНИЕ

Производство керамического кирпича в условиях Республики Узбекистан сопровождается образованием ряда отходов, вопрос утилизации которых до сих пор является не решённой задачей. К числу таких отходов относится бой керамического кирпича и шлаки, количество которых варьируется в пределах 10-15% и 8-12 % соответственно. Их до настоящего времени в основном вывозят на свалки твердых бытовых отходов, либо складывают в специальное отведенные места. При этом не только значительно увеличиваются объёмы свалок, также безвозвратно

теряется минеральное сырьё, ресурсы которого ограничены в условиях Хорезмского региона. Данная работа посвящена изучению свойств отхода керамического кирпича как техногенного минерального сырья для повторного использования в производстве стеновых материалов. Актуальность решения такой задачи обусловлена, с одной стороны, экологическими проблемами снижения ресурсоемкости стеновых материалов, с другой – вопросами социально-экономического развития региона.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Известно, что минерально-сырьевая база истощается с возрастающими темпами производстве и является недостаточной для удовлетворения потребностей в минеральных ресурсах, что определяет необходимость вовлечения в производственный цикл техногенных материалов [1-5]. При этом большими возможностями для использования техногенного сырья обладает производство керамического кирпича [6]. В работах [2, 5] доказана возможность применения различных техногенных материалов при производстве керамического кирпича в качестве добавки, а в некоторых композициях в качестве основного сырья [1], замещая частично или полностью не возобновляемые ресурсы глинистых пород. Большой объем производства керамического кирпича позволяет утилизировать промышленные отходы в значительных количествах и широком диапазоне их состава с использованием традиционной технологии и аппаратного оснащения. Кроме того, создание сырьевых композиций с применением техногенных материалов в качестве добавки является одним из путей расширения масштабов использования низкосортных глинистых пород, повышения технических свойств и понижения себе стоимости получаемого керамического кирпича. С точки зрения рационального природопользования бой керамического кирпича представляет собой недоиспользованное сырье строительного назначения, способное обеспечить керамическую промышленность высококачественными отощающими добавками подобными шамоту. Известно [7], что шамот является одним из наиболее качественных отощителей глин. Шамот в отличие от других отощителей не снижает огнеупорность керамической массы, но является дорогим материалом, и поэтому его не применяют для изготовления керамического кирпича. В наших исследованиях использовали бой керамического кирпича, образующийся в качестве отхода при производстве керамического кирпича из лессовидного суглинка. Исследуемый отход рассматривался как отощающая добавка в составе керамической массы для получения керамического кирпича. В качестве основного сырья использовались глинистые породы- лессовидные суглинки Гавукулского месторождения Хивинского района Хорезмского области. Исходное сырье было испытано в соответствии с требованиями [8] и нормативными методиками [9]. По физико-механическим свойствам, определяемым числом пластичности и показателем огнеупорности, они относятся к среднепластичному и легкоплавкому глинистому сырью, а по гранулометрическому составу к низко и средне дисперсному. По минеральному составу исследованные в эксперименте образцы глинистых пород относятся к полиминеральным, в основном из глины монтмориллонит. По химическому составу они соответствуют требованиям ГОСТ

32026-2012 и ГОСТ 9169-75 к сырью для керамической промышленности. Экспериментальные исследования в работе включали разработку составов сырьевой шихты и изготовление образцов керамического черепка. Составы керамических масс разрабатывались с использованием методов строительного материаловедения и математического моделирования. Сырьевые материалы, смеси, образцы подготавливались по стандартной методике [10]. На стадии подготовки бой кирпича измельчался способом сухого помола в шаровой мельнице до тонкости помола с остатком на сите №008 не более 5 мас. %. Отсеянный на сите №008 кирпичный порошок (насыпной плотностью  $\rho_H=1256$  кг/м<sup>3</sup>) в количестве 5–35 мас. % смешивался с лессовидным суглинком до получения однородной массы. Сырьевая шихта затворялась водой до образования пластичного теста. Из подготовленной керамической массы методом пластического формования изготавливались лабораторные образцы в виде куба размером 50×50×50 мм. Изготовленные образцы выдерживались при температуре (25±5) °С в течение 1 суток. Образцы досушивались в сушильном шкафу в течение 3-5 ч при температуре 120 °С. Обжиг образцов проводился в муфельной печи марки SNOL 6,7/1100. Режим обжига устанавливался с учетом компонентного состава сырьевой шихты. Для исследованных составов сырьевой шихты в выбранных интервалах варьирования массовой доли порошка кирпичного боя максимальная температура обжига определялась в пределах 900–950 °С. Оценка качества изготовленных в лабораторных условиях образцов проводилась в соответствии с нормативным требованиям [11] по показателям: водопоглощение, средняя плотность, объемная воздушная и огневая усадка [12], механическая прочность при сжатии [13], коэффициент теплопроводности [14], марка по средней прочности образцов. Образцы испытывались в лабораторных условиях. При исследовании зависимости между содержанием порошка кирпичного боя в составе сырьевой шихты и основными физико-механическими характеристиками образцов керамического черепка (водопоглощение, средняя плотность, объемная воздушная и огневая усадка, теплопроводность, предел прочности при сжатии) использовался метод линейной регрессии [15]. Степень нелинейности рассматриваемых зависимостей устанавливалась определением значения коэффициента детерминации  $R^2$  при аппроксимации параметров  $i$  (водопоглощение, средняя плотность, объемная усадка, теплопроводность, предел прочности при сжатии) линейной моделью

$$y=b_0+b_1x.$$

Модель строилась на основании результатов фактического эксперимента и аналитически описывает полученные в опытах зависимости.

Высокое значение коэффициента R2 для зависимостей определяемых показателей от содержания в шихте порошка кирпичного боя обусловлено практически линейным характером.

Изучения влияние таких добавок, как кальцит, доломит и хлорид натрия по минералогическому и физико-механическому составу поведение твердых кирпичей, предназначенных для использования в качестве новых материалов в реставрация исторических зданий. Поведенческие различия между ними образцы с карбонатами и без них могут быть объяснены различными эволюция текстурно-минералогического состава, сложившаяся в ходе процесс обжига. Показаны, что приводят карбонаты в кирпичах с различным минералогия, в зависимости от обжига, но с устойчивой микроструктурой внутри широкий диапазон температур (800-1000 °C). Это может быть преимуществом при изготовлении керамики но этим изделиям не хватает механического

сопротивления к высоким температурам. Соль частично модифицирует минералогию кирпича, выступающие в качестве плавящего агента, особенно при высоком обжиге температуры, и дающ подъем к более устойчивым продуктам которые подходит для проведения реставрационных работ. [15]

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ экспериментальных данных, приведенных на рисунке, показывает, что увеличение доли кирпичного порошка в шихте приводит к некоторому повышению водопоглощения. В то же время четко прослеживается динамика снижения значений общей усадки, средней плотности, коэффициента теплопроводности, прочности образцов при сжатии. В соответствии с нормативными документами для разных видов строительных изделий водопоглощение, не должно превышать 20 мас. % и является качественной характеристикой процесса спекания.

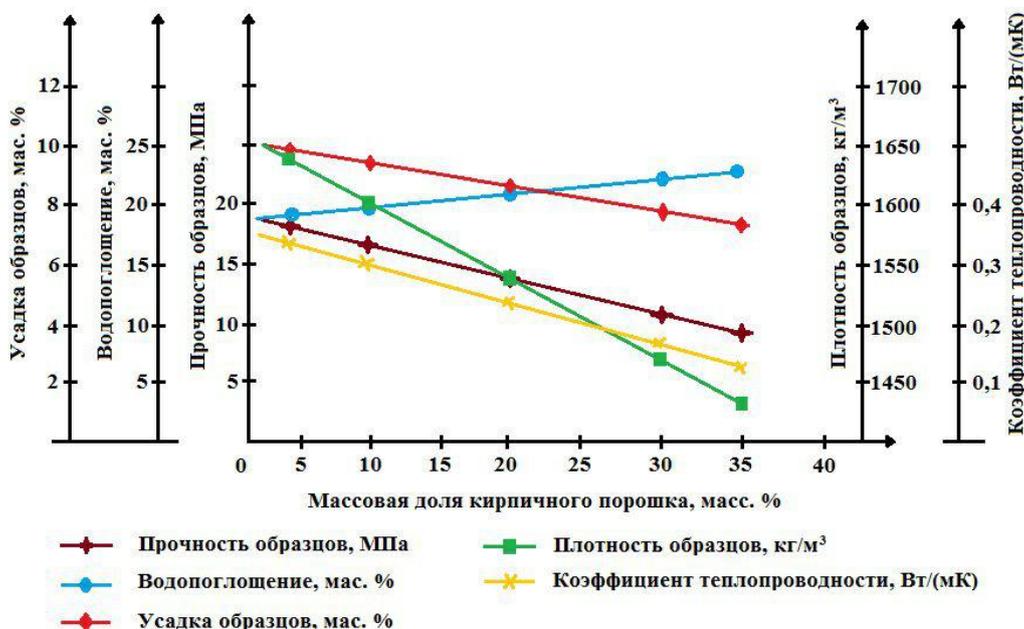


Рисунок 1. Основные показатели опытных образцов

На графике водопоглощения данное значение является лимитирующим при оптимизации керамической шихты и позволяет определить с учетом полученных значений усадочных деформаций, средней плотности, коэффициента теплопроводности и прочности при сжатии рациональный диапазон изменения содержания кирпичного порошка в двухкомпонентной шихте на основе легкоплавкой глины при определенной температуре обжига. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования кирпичного боя в действующей технологии керамического кирпича марки М125, М 150 с содержанием в двухкомпонентной шихте кирпичного порошка до 30 мас. % при температуре обжига до 950 °C, что соответствует нормативным требованиям. [12]

### ВЫВОДЫ

Оптимальное содержание измельченного порошка в составе массы керамического кирпича 20–30 мас. %. При увеличении более 30 мас. % вводимой добавки, уменьшается прочность при сжатии ниже нормируемого и повышается водопоглощение получаемых образцов, а при уменьшении его содержания менее 10 мас. % не наблюдается существенного снижения коэффициента теплопроводности. Изделия, изготовленные из лессовидных суглинков с добавкой в пределах изменения в составе керамической массы массовой доли порошка боя керамического кирпича, имеют достаточную насыщенность цвета и чистоту цветового тона.

Таким образом, в результате проведения эксперимента установлены возможности использования отхода керамического кирпича в

качестве отощителя. Данное техногенное сырье рекомендуется после соответствующего помола.

#### Библиографическая ссылка

1. M. Dondi, M. Marsigli, B. Fabbri, Recycling of industrial and urban wastes in brick production – a review (Part I), *Tile Brick Int.* 13 (1997) 218–225.

2. I. Demir, Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks, *Waste Manage.* 28 (2008) 622–627.

3. S.P. Raut, R.V. Ralegaonkar, S.A. Mandavgane, Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: a review of waste-crete bricks, *Constr. Build. Mater.* 25 (2011) 4037–4042.

4. L. Zhang, Production of bricks from waste materials – a review, *Constr. Build. Mater.* 47 (2013) 643–655.

5. P. Muñoz Velasco, M.P. Morales Ortíz, M.A. Mendivil Giró, L. Muñoz Velasco, Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – a review, *Constr. Build. Mater.* 63 (2014) 97–107.

6. Фоменко А.И., Грызлов В.С., Катюшина.А.Г. Отходы керамического кирпича как эффективный компонент строительных

композитов // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 2-2. – С. 260-264;

7. Е.В. Горохова *Материаловедение и технология керамики*. Минск: Выш.шк. 2009-222 с.

8. . ГОСТ 9169-75 «Сырье глинистое для керамического кирпича»

9. ГОСТ 21216-2014 «Сырье глинистое. Методы испытаний».

10. ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия».

11. ГОСТ 7025-91 «Кирпич и камни керамические, силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости»

12. ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе»

13. ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе»

14. Дятлова, Е. М. *Химическая технология керамики и огнеупоров. Лабораторный практикум*: – Минск: БГТУ, 2006. – 284 с.

15. Гартман Т.Н. *Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов*: Учеб. пособие для вузов/ Т.Н. Гартман, Д.В.Клушин. -М.:ИКЦ «Академкнига»,2006,.-416 с.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Юлдашева Н., Алиев Р., Насиров М.  
Андижанский государственный университет,  
Узбекистан*

## СТАБИЛИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕДРЕНИЕМ НАНОЧАСТИЦ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ

**Аннотация.** В работе определены сечения фотоэмиссии из металлических наночастиц и изучена зависимость сечения от работы выхода электронов, от размера наночастиц и от материала. Разработана программа на Visual Basic-6.0 для вычисления сечения фотоэлектронной эмиссии из металлических наночастиц в зависимости от длины волны падающего света. Программа позволяет вводить и изменить значения энергии выхода, энергии Ферми, приведенную массу электрона, параметров плазмонных процессов, размеров наночастиц и т. п. Определены оптимальные размеры наночастицы металлов для достижения более эффективной реализации эффекта наноплазмоники и показано, что в качестве материала наночастицы может быть использован не только дорогостоящие золото и серебро, но и медь.

**Abstarct.** Photoemission cross-sections of metallic nanoparticles were determined and the dependence of the cross-section on the work of the electron yield, on the size of the nanoparticles and on the material was studied. The program on Visual Basic-6.0 for calculation of section of photoelectronic emission from metal nanoparticles depending on wavelength of incident light is developed. The program allows you to enter and change the values of the output energy, Fermi energy, reduced electron mass, parameters of plasmon processes, nanoparticle sizes, etc. The optimal sizes of metal nanoparticles are determined to achieve a more effective implementation of the nanoplasmonics effect and it is shown that not only expensive gold and silver, but also copper can be used as a nanoparticle material.

*Ключевые слова:* наночастица, плазмон, сечение фотоэмиссии, кремний, солнечный элемент, диэлектрическая функция

*Keywords:* nanoparticle, plasmon, photoemission cross-section, silicon, solar cell, dielectric function

Эффективность фотоэлектрического преобразования энергии при помощи полупроводниковых структур или солнечных фотоэлементов (СФЭ) состоит из суммирования эффективности поглощения (ЭП) солнечного излучения, эффективности фотогенерации (ЭГ) носителей заряда (НЗ) и эффективности сбора (ЭС) неравновесных неосновных НЗ [1].

Определение первых двух видов составляющих эффективности СФЭ, т.е. «ЭП» и «ЭГ» непосредственно связаны с оптическими свойствами материала, конструкцией СФЭ и спектральным составом падающего на него излучения. Поэтому, их вместе можно рассматривать в качестве оптической эффективности СФЭ.

Огромная часть теоретических и экспериментальных исследовательских работ были посвящены снижению рекомбинационных потерь на фронтальной и тыльной поверхностях, а также в объеме кремния, т.е. по «ЭС». Были созданы СФЭ с внутренними электрическими полями: потенциально барьерные структуры в эмиттерной области и изотипные (р-р<sup>+</sup> или п-п<sup>+</sup>) переходы вблизи тыльной поверхности. Разработаны СФЭ, имеющие электродные системы с подлегированием (р<sup>+</sup> или п<sup>+</sup>) и углубленным размещением их в кремнии, а также СФЭ с р-п-переходами, размещенными на тыльной стороне. Указанные конструкции СФЭ преобладали существенно сниженными рекомбинационными потерями НЗ и,

соответственно, высокими значениями эффективности сбора НЗ.

Эффективность фотогенерации НЗ зависит только от энергии поглощенных полупроводником фотонов и поэтому, по нашему мнению, серьезных исследований в этом направлении, т.е. по «ЭГ», почти не проведены до недавних времен. С развитием нанотехнологии и науки о различных наноразмерных эффектах представляется важным рассмотреть возможности усовершенствования процессов фотогенерации, способствующих дальнейшему повышению эффективности СФЭ.

Поиск путей повышения эффективности поглощения солнечного излучения, т.е. «ЭП» давно ведется учеными многих научных центров развитых стран. В первую очередь вызывает интерес максимальное снижение отражения света от поверхности СФЭ и при этом обеспечении пассивации поверхности. Для этой цели используются многослойные антиотражающие покрытия (АОП) и современные пути текстурирования поверхности. Формирование на поверхности кремния текстуры или нанотекстуры с нанесенным дополнительным АОП приводит к существенному снижению отражения нормально падающего излучения.

В работах [2, 3] проведен анализ и оптимизация просветляющих покрытий на поверхности кремниевых солнечных элементов. Исследованы различные конструкции просветляющих покрытий для защитного стекла солнечной батареи и выбор оптимальной из них.

Для каждой конструкции была рассчитана интегральная эффективность с учетом распределения интенсивности солнечного излучения по спектру и спектральной чувствительности солнечного элемента.

Для улучшения поглощения света особенно в тонких слоях кремния применяются различные инновационные технологии. К ним относятся - текстурирование и наноструктурирование поверхности, а также эффекты наноплазмоники [4, 5].

Выполненные по настоящее время текстурирование и наноструктурирование поверхности СЭ позволяли значительно снизить отражение света от поверхности и тем самым повысить их эффективность [4]. Предложен перспективный способ повышения эффективности СЭ за счет реализации эффекта плазмоники.

Созданы оптические пленки с квантовыми точками (КТ) из наночастиц металла, которые могут быть нанесены на поверхность СЭ [5].

Сущность такого квантово-размерного эффекта заключается в том, что при поглощении энергии фотонов наночастицами металла на его поверхности наблюдается фотоэлектронная эмиссия. Электроны, эмиссионные из наночастицы металла образует электронное облако вокруг наночастицы. Под действием электромагнитного поля наблюдается коллективное колебание электронов и при соответствующих частотах наблюдается резонанс колебания электронного облака. Это может вызвать генерацию дополнительного электрона проводимости в объеме или фотона и тем самым внести вклад в общий процесс фотогенерации неравновесных носителей заряда.

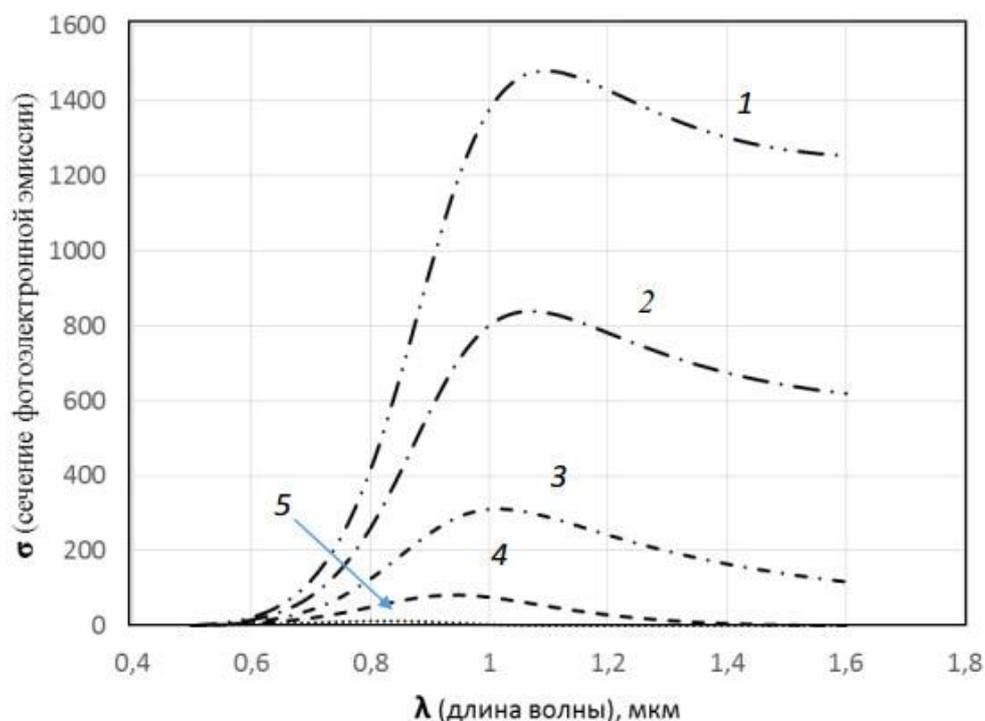


Рис. 1. Результаты расчета спектральной зависимости сечения фотоэлектронной эмиссии ( $\sigma$ ) наночастиц металла (Au) в кремнии в зависимости от значений взаимной разницы работ выхода Si и Au:  $\Delta A=0,2$  eV (кривая 1);  $\Delta A=0,7$  eV (кривая 1);  $\Delta A=1,2$  eV (кривая 1);  $\Delta A=1,7$  eV (кривая 1);  $\Delta A=2,2$  eV (кривая 1).

В данной работе определены сечения фотоэмиссии из металлических наночастиц и изучена зависимость сечения от работы выхода электронов, от размера наночастиц и от материала. В работе [4] рассмотрены сечения фотоэмиссии из золотых наночастиц с учетом локализованного плазмонного резонанса (ЛПР).

Сечения фотоэлектронной эмиссии из металлических наночастиц определяется из выражения

$$\sigma_{ph-em} = \frac{8\pi\hbar\omega}{cn_+} C_{emission} |F|^2 K_{geometry}, \quad (1)$$

$$n_+ = Re\sqrt{\epsilon_+}$$

Вероятность фотоэлектронной эмиссии в выражении (1) может быть представлен в виде:

$$C_{em} = \frac{e^2 k T V^2}{\pi^2 \hbar^5 \omega^4} \int dx [1 + (\hbar \omega / V - 1) / x]^{1/2} \ln(1 + \exp(\frac{E_f - Vx}{kT})) U(x) |K_{dis}(x)|^2$$

в котором функции

$$U(x) = \frac{4r_m^2}{(r_m + 1)^2} \frac{x}{[x + r_m(1-x)] \{ (x + \hbar \omega / V)^{1/2} + [r_m(x + \hbar \omega / V - 1)]^{1/2} \}^2},$$

$$K_{dis}(x) = \frac{1}{2} (1 + \varepsilon_- / \varepsilon_+) [1 + \frac{1-r_m}{1+r_m} (2x + \hbar \omega / V - 1)] + \frac{1}{2} (1 - \varepsilon_- / \varepsilon_+) [x + \hbar \omega / V]^{1/2} + i(1-x)^{1/2}]^2$$

учитывают скачкообразного изменения электрического поля на границе наночастицы. А функции

$$F = \frac{1}{1 + R_{dep} - iR_{rad}} \frac{\varepsilon_+}{\varepsilon_+ + (\varepsilon_- - \varepsilon_+)L}, \quad R_{dep} = \frac{\varepsilon_+}{\varepsilon_+ + (\varepsilon_- - \varepsilon_+)L} (A\varepsilon_+ y^2 + B\varepsilon_+^2 y^4),$$

$$R_{rad} = \frac{16}{9r} (\frac{\pi m_+ a}{\lambda})^3 \frac{\varepsilon_+}{\varepsilon_+ + (\varepsilon_- - \varepsilon_+)L}, \quad L = \frac{r^2}{2} \int \frac{du}{(u+r^2)^2 (u+1)^{1/2}}$$

учитывают деполяризационные и радиационные потери. При этом вид и размера наночастицы учитывается выражением функции:

$$K_{geom} = \frac{\pi a^2}{r} [\frac{r}{1-r^2} + \frac{1-2r^2}{(1-r^2)^{3/2}} \arcsin(1-r^2)]^{1/2}$$

В зависимости от длины волны падающего света диэлектрическая функция для металла и кремния, соответственно имеет вид:

$$\varepsilon_-(\lambda) = \varepsilon_{металл}(\lambda) + (\lambda / \lambda_p)^2 [\frac{1}{1 + i\lambda / \lambda_f} - \frac{1}{1 + (i\lambda / \lambda_f)(a_c / a + 1)}],$$

$$\varepsilon_{металл}(\lambda) = A_\varepsilon + (\lambda / \lambda_p)^2 \frac{1}{1 + i\lambda / \lambda_f},$$

$$\varepsilon_+(\lambda) = \varepsilon_\infty + \sum_{i=1}^3 \frac{C_i}{1 - (\frac{1.242}{\lambda E_i})^2 - i \frac{1.242}{\lambda E_i} \gamma_i} - F_1 \chi_1^{-2}(\lambda) \ln[1 - \chi_1^2(\lambda)] - F_2 \chi_2^{-2}(\lambda) \ln \frac{1 - \chi_1^2(\lambda)}{1 - \chi_2^2(\lambda)}.$$

Параметры диэлектрической функции кремния взяты из работы [7]. А параметры диэлектрической функции металла ( $A_\varepsilon$ ,  $\lambda_p$ ,  $\lambda_f$ ) выбраны по методу наименьших квадратов, соответствующих экспериментальным данным, взятым из работы [6].

На основе приведенных выражений составлена программа на Visual Basic-6.0 для вычисления сечения фотоэмиссии из металлических наночастиц в зависимости от длины волны падающего света. Программа позволяет вводить и изменить энергию выхода, энергию Ферми, приведенную массу электрона, плазменных параметров, размеров наночастиц и т.п. Особенность программы состоит в том, что результаты расчетов в единой программной среде экспортируются на MS Excel и выражаются не только в табличном, но и в графическом виде [8]. Результаты расчета приведены в виде графиков на

рис. 1 – рис. 3. Результаты расчета спектральной зависимости сечения фотоэлектронной эмиссии ( $\sigma$ ) наночастиц металла (Au) в кремнии в зависимости от значений взаимной разницы работ выхода Si и Au (Рис. 1), где  $\Delta A = 0,2$  eV (кривая 1),  $\Delta A = 0,7$  eV (кривая 1),  $\Delta A = 1,2$  eV (кривая 1),  $\Delta A = 1,7$  eV (кривая 1),  $\Delta A = 2,2$  eV (кривая 1) показывают, что указанный фактор является весьма существенным. Наиболее высокое значение сечения фотоэлектронной эмиссии наблюдается при  $\Delta A = 0,2$  eV.

Результаты расчета спектральной зависимости сечения фотоэлектронной эмиссии ( $\sigma$ ) наночастиц металла (Au) в кремнии (Рис. 2) в зависимости от их размера (при  $A = 4,8$  eV), где  $a = 5$  нм (кривая 1), 10 нм (кривая 2), 15 нм (кривая 3) показывают, наиболее высокое значение сечения фотоэлектронной эмиссии достигается при  $a = 5$  нм (кривая 1). С ростом размера наночастицы золота сечение фотоэлектронной эмиссии снижается.

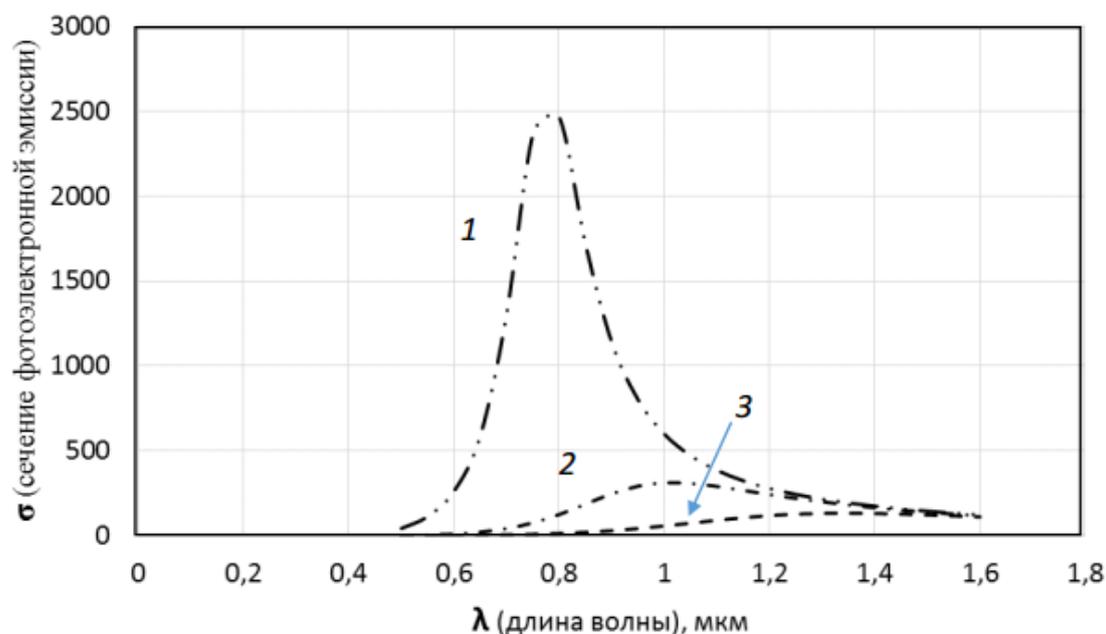


Рис. 2. Результаты расчета спектральной зависимости сечения фотоэлектронной эмиссии ( $\sigma$ ) наночастиц металла (Au) в кремнии в зависимости от их размера (при  $A=4,8$  eV):  $a=5$  нм (кривая 1); 10 нм (кривая 2); 15 нм (кривая 3).

По результатам расчета спектральной зависимости сечения фотоэлектронной эмиссии ( $\sigma$ ) наночастиц металла (Рис. 3, кривая 1 для Cu, кривая 2 для Ag, кривая 3 для Au) с размером  $a=10$  нм в кремнии ( $A=4,8$  eV) свидетельствует о том, что в

качестве материала наночастицы может быть использован не только дорогостоящий золото, а и серебро и медь. Причем наночастицы меди имеют наиболее высокие значения сечения фотоэлектронной эмиссии.

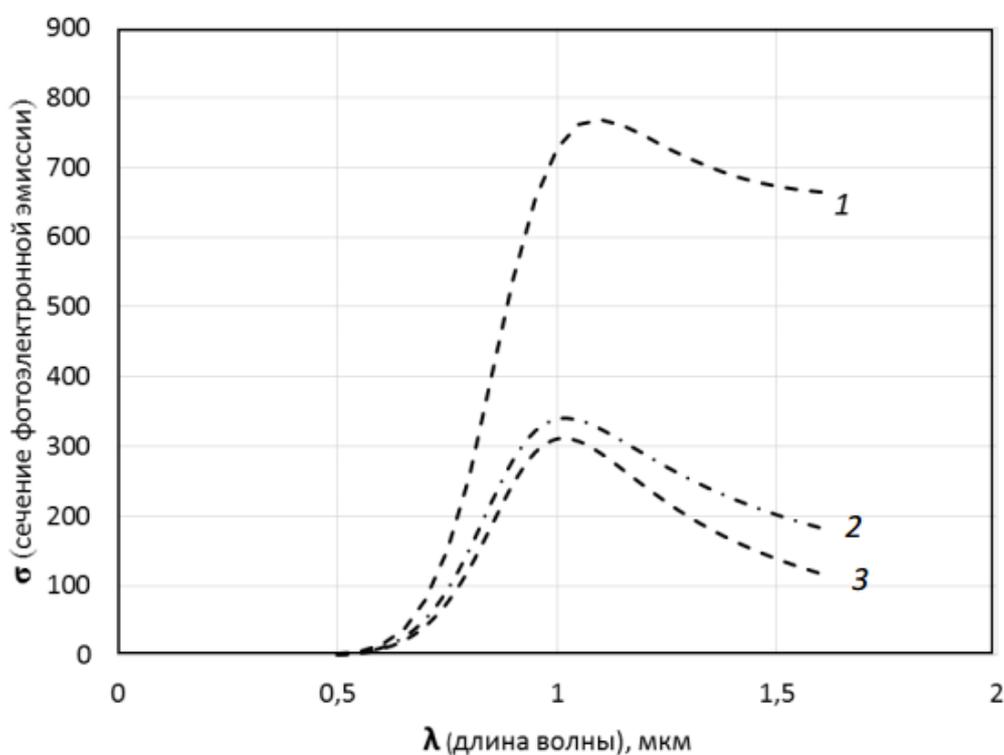


Рис. 3. Результаты расчета спектральной зависимости сечения фотоэлектронной эмиссии ( $\sigma$ ) наночастиц металла (кривая 1 для Cu; кривая 2 для Ag; кривая 3 для Au) с размером  $a=10$  нм в кремнии ( $A=4,8$  eV).

Таким образом, наиболее значимыми результатами проведенного исследования являются следующие:

- Разработана программа на Visual Basic-6.0 для вычисления сечения фотоэлектронной эмиссии из металлических наночастиц в зависимости от длины волны падающего света. Программа позволяет вводить и изменить значения энергии выхода, энергии Ферми, приведенную массу электрона, параметров плазменных процессов, размеров наночастиц и т. п. Результаты расчетов в единой программной среде экспортируются на MS Excel и выражаются не только в табличном, но и в графическом виде;

- Определены оптимальные размеры наночастицы металлов для достижения более эффективной реализации эффекта наноплазмоники;

- Показано, что в качестве материала наночастицы может быть использован не только дорогостоящие золото и серебро, но и медь. Причем наночастицы меди имеют наиболее высокие значения сечения фотоэлектронной эмиссии.

#### Литература

1. С.Зайнабидинов, Р.Алиев, М.Муйдинова, Б.Урманов Об оптической эффективности кремниевых фотоэлектрических преобразователей

солнечной энергии. // Гелиотехника, 2018, №5, С. 3-9.

2. J. Zhao, Martin A. Green. Optimized antireflection coatings for high-efficiency silicon solar cells // IEEE Transactions on electron devices. – 1991. – Vol. 38. – № 8. – P. 1925–1934.

3. Daniel J. Aiken. High performance anti-reflection coatings for broadband multi-junction solar cells // Solar Energy Materials & Solar Cells. – 2000. – Vol. 64. – P. 393–404.

4. Климов В. Наноплазмоника. // Российские нанотехнологии. № 9-10. 2009 г. ([http://www.nanorf.ru/events.aspx?cat\\_id=223&d\\_no=1839](http://www.nanorf.ru/events.aspx?cat_id=223&d_no=1839))

5. J. Appl. Phys. – 2007. V. 101. P. 093105-1–093105-8.

6. Adachi S, Mori H, Ozaki S Phys. Rev. B 66 153201 (2002)

7. Weber M. J. Handbook of optical materials (Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press, 2003).

8. С.Р.Алиев, М.З.Насиров, Р.У.Алиев, Л.М.Мадумарова Наноплазмоника в фотовольтаике, Программный продукт для ЭВМ № DGU 03861, 2016.

9. Р.Алиев, М.Насиров Фотоэмиссия из металлических наночастиц -основа наноплазмонного эффекта. // Научный вестник АГУ, 2017, №2, с.15-19.

#4(56), 2020 część 2

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**  
(Ukraina, Kijów)

**Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce.** W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

**Zespół redakcyjny**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**Rada naukowa**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

#4(56), 2020 part 2

**East European Scientific Journal**  
(Ukraine, Kiev)

**The journal is registered and published in Poland.** The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

**Editorial**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**The scientific council**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College  
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Kehan Schreiner(Hebrew University)**

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan  
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**1000 kopii.**

**Wydrukowano w Ukraina, Kijów,  
Pobedy Avenu, 56/1, Biuro 115**

**Sp. z o.o."Grupa Konsultingowa  
"Образование и наука"**

**Ukraina, Kijów, Pobedy Avenu, 56/1,  
Biuro 115**

**E-mail: info@eesa-journal.com,**

**<http://eesa-journal.com/>**

**Reprezentacja czasopisma naukowego  
w krajach afrykańskich.**

**Republika Angoli.**

**ADAMSMAT\_SU\_LDA,**

**Sede: Rio Longa\_ prédio Z11 Quarteirão Z,  
N\*23, Município: BELAS, província: LUANDA**

**E\_mail: Adamsmat@mail.ru**

**Contribuinte n\* 5417331007**

**Tel:+244-929527658**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College  
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Kehan Schreiner(Hebrew University)**

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan  
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**1000 copies.**

**Printed in the Ukraine, Kiev, Pobedy  
Avenue, 56/1, office 115**

**LLC "Consulting group  
"Образование и наука"**

**Ukraine, Kiev, Pobedy Avenue, 56/1,  
office 115**

**E-mail: info@eesa-journal.com,**

**<http://eesa-journal.com/>**

**Representation of a scientific journal in  
African countries:**

**Republic of Angola**

**ADAMSMAT\_SU\_LDA,**

**Sede: Rio Longa\_ prédio Z11 Quarteirão Z,  
N\*23, Município: BELAS, província: LUANDA**

**E\_mail: Adamsmat@mail.ru**

**Contribuinte n\* 5417331007**

**Tel:+244-929527658**