



#9(63), 2020 часть 4  
Восточно Европейский научный журнал  
(Москва, Россия)  
Журнал зарегистрирован и издается в России  
В журнале публикуются статьи по всем  
научным направлениям.  
Журнал издается на русском, английском,  
польском и немецком языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого  
месяца.  
Периодичность: 12 номеров в год.  
Формат - A4, цветная печать  
Все статьи рецензируются  
Каждый автор получает одну бесплатную  
печатную копию журнала  
Бесплатный доступ к электронной версии  
журнала.

Редакционная коллегия

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)

#9(63), 2020 part 4  
Eastern European Scientific Journal  
(Moscow, Russia)  
The journal is registered and published in Russia  
The journal publishes articles on all scientific areas.  
The journal is published in Russian, English,  
Polish and German.

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 Dzedzic (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 экземпляров.  
Отпечатано в ООО «Логика+»  
125040, г. Москва, Россия  
проспект Ленинградский, дом 1,  
помещение 8Н, КОМ. 1  
«Восточно Европейский Научный Журнал»  
Электронная почта: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dzedzic (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 by Logika + LLC  
125040, Moscow, Russia  
Leningradsky prospect, building 1,  
8N, flat. 1  
"East European Scientific Journal"  
Email: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>

# СОДЕРЖАНИЕ

## Технические науки

<b>Касумова А.М., Алыева Э.З.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЯЗЫКОВ PYTHON, C++ И JAVA ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПРОГРАММИРОВАНИЮ .....	4
<b>Доненко В.І., Назаренко О.М., Назаренко І.А., Коновальська І.С.</b> ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ СЕДИМЕНТАЦІЙНОГО ВІДНОВЛЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МІСТА.....	7
<b>Бурлаков М.Е., Кубеев А.В., Абраров Р.Р.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ В СФЕРЕ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА НА ОСНОВЕ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСА «ЕДИНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН».....	14
<b>Болдырева Л.М., Золотцева Л.В., Головки С.И.</b> АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННОГО И ИСТОРИЧЕСКОГО КОСТЮМА ДЛЯ РАЗНЫХ РЕГИОНОВ ЖИЗНИ КАЗАЧЕСТВА.....	22
<b>Гайдукевич С.В., Семенова Н.П.</b> ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ ПІД ДІЄЮ ВИСОКОЇ НАПРУГИ .....	25
<b>Borysov O.O., Kofanova O.V., Yevteyeva L.I., Kofanov O.E.</b> EVALUATION AND EXPRESS-CONTROL OF RISK TO HUMAN HEALTH ON THE URBAN RECREATIONAL AREAS .....	30
<b>Рутковская Е.С., Тульский Г.Г., Байрачный В.Б., Гомозов В.П.</b> ВЫБОР КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ГАЗОДИФУЗИОННОГО КАТОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА NaClO .....	38

## Физико-математические науки

<b>Krasnyuk I.B., Zabolotin A.E.</b> OSCILLATIONS IN HYPOTHALAMIC-PITUITARY-ADRENAL AXIS .....	43
---	----

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Касумова А.М.*

*Алыева Э.З*

*Азербайджанский Государственный Педагогический  
Университет, г. Баку*

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЯЗЫКОВ PYTHON, C++ И JAVA ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПРОГРАММИРОВАНИЮ

*Kasumova A. M.*

*PhD in pedagogy,*

*Alyeva E.Z.*

*Azerbaijan State Pedagogical University, Baku*

### COMPARATIVE ANALYSIS OF PYTHON, C ++ AND JAVA LANGUAGES FOR TEACHING STUDENTS IN PROGRAMMING

**Аннотация.** Статья посвящена изучению проблемы выбора языка программирования при обучении студентов основам программирования. Рассматриваются различные методики обучения программированию и языки программирования, используемые в рамках данных методик. Анализируется популярность современных языков программирования и возможность использовать их в качестве основного языка при обучении программированию студентов в рамках базового курса информатики.

**Abstract.** The article is devoted to the study of the problem of choosing a programming language when teaching students the basics of programming. Various methods of teaching programming and programming languages used in the framework of these methods are considered. The article analyzes the popularity of modern programming languages and the possibility of using them as the main language in teaching programming to students within the framework of a basic computer science course.

*Ключевые слова:* программирование, языки программирования, обучение программированию, базовые курсы.

*Key words:* programming, programming languages, teaching programming, basic courses.

Само существование сетевых технологий изменило природу образовательного процесса. Современные сетевые технологии улучшают способность общения каждого человека и предоставляют людям во всем мире небывалый доступ к информации. Сегодня они стали необходимым фундаментом компьютерной науки, поэтому невозможно представить себе программу обучения информатике, в которой этой теме не уделялось бы значительное внимание. В большинстве учебных программ на сегодняшний день – не только в информатике, но также и в других областях – сетевые технологии стали важным педагогическим инструментом. Поскольку при проектировании нового поколения образовательных стандартов естественно исходить из самых последних достижений информатики и существующих тенденций ее развития, то необходимо кратко проанализировать, какие аспекты информатики изменились за время, прошедшее после принятия нынешнего поколения стандартов. Все эти изменения делятся на две категории, техническую и культурную, каждая из которых оказывает существенное влияние на образование в сфере информатики.

Образовательный курс информатики состоит из нескольких содержательных линий: информация; формализация и моделирование; алгоритмизация и программирование; компьютер;

информационные технологии. Основной предметной целью раздела «Алгоритмизация и программирование» является формирование у студентов умения использовать языки программирования для моделирования ситуаций и решения задач. Решение алгоритмических задач различного уровня сложности позволяет оценить не только уровень предметных навыков и умений, но и уровень развитости познавательной самостоятельности студентов.

Компьютеры чаще всего используются для различных целей в инженерии и науке, включая управление, анализ данных, моделирование и оптимизацию дизайна.

Программирование - это фундаментальная способность для специалистов по информатике. В мире существует более тысячи разных языков программирования. Некоторые из них чуть меньше, чем полностью бесполезны. У языков программирования есть одна особенность — если два языка имеют сходство в парадигмах, то, как правило, они схожи и в синтаксисе.

Парадигма является инструментом грамматического описания фактов, явлений и процессов, событий, возможно, не существующих одновременно, но интуитивно объединяемых в общее понятие. Парадигма представляет и определяет то, как программист видит выполнение плана решения поставленной программы.

Нужно отметить, что парадигма программирования не определяется однозначно языком программирования; практически все современные языки программирования в той или иной степени допускают использование мультипарадигмальное программирование. Точки зрения создателей языков гласит, что ни одна парадигма не может быть одинаково эффективной для всех задач, и следует позволять программисту выбирать лучший стиль программирования для решения каждой отдельной задачи.

В учебной программе по программированию используются традиционные языки, такие как C, C++ или Java, в качестве первого языка обучения для студентов, которые эффективны для разработки реальных приложений и поэтому популярны в промышленности. Тем не менее сложный синтаксис этих языков является проблемой для новичков, что становится препятствием для обучения студентов.

Несмотря на единые требования образовательного стандарта, у каждого студента свой набор требований к языку программирования. Это может быть удобная, дружелюбная среда разработки; простой, интуитивный синтаксис; кроссплатформенность и другие. Все это не относится к методике, но является важным фактором, который влияет на выбор языка. Чтобы обосновать требования к языку программирования, необходимо, в первую очередь, определить цель изучения программирования. К сожалению, наличие четких целей не дает нам единого ответа на вопрос, какой язык программирования лучше изучать студентам, так как многие из современных языков программирования легкостью удовлетворяют каждый из указанных целевых аспектов.

Python имеет более простой синтаксис и структуры данных высокого уровня, позволяющие создавать сжатые программы. Множественные парадигмы Python также предоставляют студентам возможность изучать различные особенности языков программирования. Таким образом, Python постепенно становится новым вариантом первого языка для изучения. Учитывая вышесказанное можно обратить внимание на особенности первого обучаемого языка программирования путем сравнения Python с популярными языками обучения C++ и Java.

Язык программирование C++ отличается эффективностью как объектно-ориентированный язык; хотя он поддерживает некоторые элементы функционального программирования. Доказано, что «разрыв в скорости между Java и C++ можно объяснить более медленными методами управления памятью в виртуальных машинах Java». Это началось как расширенное улучшение языка C. Он использует файлы заголовков и директивы препроцессора. Его выполнение программы обычно начинается с функции *main ()*. Это очень быстрый язык программирования, так как большинство его модулей написаны на

машинном языке и могут эффективно работать на определенных машинах. Он включает в себя набор функций как высокого, так и низкого уровня, упрощающих аппаратную реализацию. Это зависит от системы; однако для реализации могут использоваться определенные библиотеки и системные утилиты. С точки зрения безопасности этот язык уязвимы для взлома указателей. Он менее близок к естественному языку по сравнению с Java. Хотя C++ занимает сравнительно меньше количество строк кода. C++ не хватает эффективности управления памятью по сравнению с некоторыми другими языками, такими как Java.

Старые версии Java, имеют более длительное время выполнения по сравнению с таким языком, как C++; хотя реализации неуклонно улучшаются с использованием компиляции JIT (Just-In-Time) и таких областей, как процедуры сборки мусора. Это язык, в котором есть интерпретаторы и компиляторы, причем первые относительно медленнее. Java и C++ имеют много семантического и семантического сходства. Доказано, что время выполнения Java примерно в 2 раза медленнее, чем время выполнения C++.

Java унаследован синтаксис от C/C++, хотя первый почти полностью объектно-ориентирован. Большинство его примитивных типов являются функциями, значения в основном являются объектами, а переменные принадлежат на занятия. Программы не зависят от платформы. Программы сначала компилируются JVM в промежуточный язык, называемый байт-кодами, а затем в коды машинного языка. Его можно охарактеризовать как переносимый язык так как, написанное на Java приложение можно запустить на любой платформе, если на ней установлена среда исполнения Java (*JRE, Java Runtime Environment*).

Этот язык использует автоматический сборщик мусора или *garbage collector* в качестве фонового потока, чтобы гарантировать, что память доступна по запросу для достижения высокой производительности. Когда созданные объекты разработчикам перестают использоваться, JRE с помощью сборщика мусора очищает память. Также, имеет надежную систему безопасности. Программисты могут использовать набор API для достижения высокий уровень безопасности. Основную сущность языка Java составляют библиотеки файлов, называемые классами, каждый из которых содержит небольшие фрагменты проверенного, готового к выполнению кода. JVM как менеджер безопасности также удаляет не доверенные коды из операционной системы. Он использует потоки и некоторые языковые расширения для продвижения параллельного программирования. Сокеты - это низкоуровневые интерфейсы, используемые в сетевом программировании для потоковой передачи данных.

Java относится к языкам программирования общего назначения. Студентам нужно знать, все

возможности Java, чтобы определиться с выбором языка.

Язык Java считается дружелюбным для начинающих. Но, он не такой лаконичный, как Python. Однако создатели Java стремились сделать язык простым и лёгким для изучения.

Python наиболее приближен к алгоритмическому языку программирования. Не имеет строгих синтаксических правил, является более современным языком программирования, чем вызывает больший интерес у студентов. Язык Python считается языком высокого уровня и для решения математических задач. На первый взгляд очень похожий на MATLAB: интерпретируется, имеет интерактивную подсказку, позволяет динамическую типизацию и обеспечивает автоматическое управление памятью (и имеет встроенный комплекс чисел).

Python дает несколько преимуществ над MATLAB в контексте обучения: Python имеет очень четкий, недвусмысленный и интуитивно понятный синтаксис и использует отступы для группировки блоков операторов; имеет небольшое ядро команд, которые обеспечивают почти все функции, которые потребуются студентам; Python можно использовать как полностью объектно-ориентированный язык, который поддерживает разные стили кодирования; интерпретатор Python - это бесплатное программное обеспечение (т.е. легкодоступное), которое существует практически для всех платформ (включая Windows, Linux / Unix, Mac OS).

Стоит отметить, что хотя Python довольно молодой язык, это относительно стабильный язык, который все чаще используется в промышленности и академических кругах (Philips, Google, NASA, ВМС США и Disney). Он также обеспечивает основу для создания больших модульных кодов и управления ими.

Из анализа поисковых запросов можно выяснить, что у Java и C++ были взлёты и падения. А рейтинг Python постепенно рос, он стал чуть ли не самым популярным языком программирования.

В вузах обычно учат языкам программирования в рамках предметов по

информационным технологиям, которые часто выглядят как дополнения к математическим курсам, либо привязаны к некоей основной специальности, скажем, к электротехнике.

Как не странно, большинство учебных заведений ставят знак равенства между программированием и информационными технологиями, а информационные технологии приравнивают к математике.

Многие программисты согласятся с тем, что высокоуровневые скриптовые языки сравнительно легки в изучении. Как обычно они утверждают, что C++ отлично подходит для разработки игр, а Python нет равных в научных и статистических расчётах и конечно же Java пригодится тем, кто видит себя программистом в крупной компании.

В конце можем сделать заключение, что ключ к успеху - практика, создавайте свои проекты.

### Литература:

1. Kernighan, B.W., Ritchie, D.M.: The C Programming Language. Prentice Hall Software Series (1988)
2. The Mathworks: Matlab (2003) [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com).
3. Prechelt, L.: An empirical comparison of seven programming languages. IEEE Computer 33 (2000) 23–29
4. van Rossum, G.: Python tutorial. Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam. (1995) [www.python.org](http://www.python.org).
4. Абельсон Х., Сассман Д. Структура и интерпретация компьютерных программ. — М.: Добросвет, 2010
5. Donaldson, T.: Python as a first programming language for everyone. In: Western Canadian Conference on Computing Education. (2003) [www.cs.ubc.ca/wccce/Program03/papers/Toby.html](http://www.cs.ubc.ca/wccce/Program03/papers/Toby.html).
6. Beecher Karl. Computational Thinking: A Beginner's Guide to Problem-Solving and Programming, BCS, 2017
7. Ben-Ari M. Understanding Programming Languages, John Wiley & Sons, 1996.
8. Страуструп Б. Язык программирования C++. 3-е изд. — М.: Бином, 2011.

**Доненко<sup>1</sup> В.І.***докт. техн. наук, професор  
ORCID 0000-0002-5728-5081***Назаренко<sup>1</sup> О.М.***Канд. техн. наук, доцент  
ORCID 0000-0003-3737-1129***Назаренко<sup>1</sup> І.А.***Канд. техн. наук, доцент  
ORCID 0000-0003-4200-4424***Коновальська<sup>1</sup> І.С.***Магістрант, Бадз-119м  
Національний університет «Запорізька політехніка»*

## ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ СЕДИМЕНТАЦІЙНОГО ВІДНОВЛЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МІСТА.

*В.І.Доненко, А.Н.Назаренко,  
І.А. Назаренко, І.С.Коновальская.*

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СЕДИМЕНТАЦИОННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ГОРОДА.

*V.I. Donenko, O.M. Nazarenko,  
I.A. Nazarenko, I.S.Konovalska.*

## FEATURES OF THE PROCESS OF CITY SEDIMENTATION WATER RECONSTRUCTION SYSTEM .

**Анотація.** Робота проектує систему виробничих компонентів міської інфраструктури для створення енергоефективного міста. Досліджено гідравлічні, гідрологічні, теплообмінні процеси взаємодії водної структури та елементів очисних конструкцій для відцентрового осадження завислих речовин. Розраховано залежно від ступеня забруднення апарати для відновлення ресурсу. Досліджено тривалість операцій відновлення. Визначено технологічний цикл відновлення повторної води та кількість циклів кавітаційного генератора для керованого кондиціювання умовно чистих та брудних вод. Досліджено апарати зворотного осмосу для відновлення умовно чистих вод. Категоризовані потенційні стоки промислових вод за доцільністю відновлення. Отримано зразки експериментальних осадів для потреб будівельного господарства при робочих та надкритичних режимах роботи технологічної цівки. Розроблена математична модель продуктивності зрошення агроцентрів в умовах засухи крапельним зрошенням повторною водою.

**Анотация.** Работа проектирует систему производственных компонентов городской инфраструктуры для создания энергоэффективного города. Исследованы гидравлические, гидрологические, теплообменные процессы взаимодействия водной структуры и элементов очистных конструкций для центробежного осаждения взвешенных веществ. Рассчитаны в зависимости от степени загрязнения аппараты для восстановления ресурса. Исследована продолжительность операций восстановления. Определены технологический цикл восстановления повторной воды и количество циклов кавитационного генератора управляемого кондиционирования условно чистых и грязных вод. Исследованы аппараты обратного осмоса для восстановления условно чистых вод. Категоризованы потенциальные стоки промышленных вод по целесообразности восстановления. Получены образцы экспериментальных осадков для нужд строительного хозяйства при рабочих и сверхкритических режимах работы технологической цепочки. Разработана математическая модель продуктивности капельного орошения агроцентров в условиях засухи повторной водой.

**Abstarct.** The work designs a system of production components of urban infrastructure to create an energy efficient city. Hydraulic, hydrological, heat exchange processes of interaction of water structure and elements of treatment structures for centrifugal deposition of suspended matter have been investigated. Depending on the degree of contamination, devices for resource recovery are calculated. The duration of recovery operations was investigated. The technological cycle of re-water recovery and the number of cycles of cavitation generator for controlled conditioning of conditionally clean and dirty waters have been determined. Reverse osmosis devices for the recovery of conditionally pure water have been investigated. Categorized potential effluents of industrial waters as appropriate for restoration. Samples of experimental sediments for the needs of the construction industry at operating and supercritical modes of operation of the technological stream were obtained. A mathematical model

of the productivity of irrigation of agro-centers in drought conditions with drip irrigation by repeated water has been developed.

*Ключевые слова: повторные воды, аккумулярование, кавитационный генератор, взвешенные вещества, механическая эрозия, водный баланс, температура, система.*

*Keywords: recurrent water, accumulation, cavitation generator, suspended matter, mechanical erosion, water balance, temperature, system.*

*Ключові слова: повторні води, акумулювання, кавітаційний генератор, завислі речовини, механічна ерозія, водний баланс, температура, система.*

**Вступ.** Екосистеми міст складаються з дивовижних взаємодій живих організмів і абіотичного середовища, створюючи динамічні цикли поживних речовин і енергії. Здатність людини витіснити і формувати природні процеси покращилася, але громада продовжує залежати від товарів і послуг, що надаються екосистемами. Структура екосистемних послуг уточнює зв'язок між добробутом людини та функцією екосистеми. Екосистемні послуги надаються екосистемі для підтримки добробуту громади[1]. Технологія екосистемної послуги створює зворотний зв'язок, який сприяє як екосистемі, так і благополуччю громади[2]. У цьому контексті очевидно, що ризики для природних ресурсів подібні ґрунтам і водним ресурсам мають прямі наслідки для громади[3].

Дослідження поповнення водного балансу міста важливо, особливо в південних регіонах України, де засухи порушують стабільність процесів та приводять до соціального напруження в громаді[4].

**Матеріали і методи досліджень.** В роботі продовжується гідрологічні дослідження та математичні пошукування таких вчених, як Прандтль Д., Хосокава Т., Івасакі М., Рябенко О.А., Цхай А.А., Епоян С.М., Пантелят Г.С., Малько В.Г., Кравчук С.М., Стольберг Ф.З., Карагяур А.С. Традиційно гідрологічні вимірювання проводяться в природних умовах, автори пропонують використання техногенних потоків для підвищення енергоефективності системи водопостачання[5].

**Мета та завдання.** Дана робота виконувалась у відповідності до вимог надійності систем водопостачання та забезпечення сталості

економічного розвитку міст[6]. Враховані вимоги забезпечення сталості розвитку прісноводних ресурсів програми «Інтегроване управління водними ресурсами».

Мета роботи – Дослідження поповнення балансу системи водопостачання та зниження техногенного навантаження на річковий басейн.

Завдання роботи – Оптимізація використання техногенних стоків для поповнення балансу водної системи.

#### **Основна частина.**

Структура екосистемних послуг є інструментом, який можна використовувати в межах стратегічного керування водоспоживанням міста та регулювання басейнів річок[7]. Інструмент допомагає регуляторам оцінити види землекористування та заходи зменшення або заборони техногенного впливу на розвиток громади. Підхід екосистемних послуг не має залучення грошової оцінки, але шляхом створення обмежень, він розширює інструменти, що знаходяться у розпорядженні регулятора [8-11]. Обговорення наслідків техногенних сценаріїв різними групами експертів та зацікавлених сторін, може бути достатньо для знаходження компромісів при різних сценаріях використання територій.

Дослідження ризиків дебалансу водосховища важливо для розуміння меж технологічної схеми та визначення інструментарію стабілізації басейну міста[12]. При випуску вода проходить локальне кавітаційне очищення та в разі необхідності хімічне втручання для корегування рН (промислові райони) (табл 1).

Таблиця 1

**Показники умовно чистої води при обробці кавітаційним генератором**

Показник	Кут 5°	Кут 12°
Жорсткість початкова, мг-екв/л	4,21	4,21
Жорсткість остаточна, 1 цикл, мг-екв/л	3,3	3,43
Жорсткість остаточна, 7 цикл, мг-екв/л	2,88	2,98
Лужність початкова, мг-екв/л	3,2	3,2
Лужність остаточна, 1 цикл, мг-екв/л	2,42	2,12
Лужність остаточна, 7 цикл, мг-екв/л	2,03	1,97
рН початкова	7,4	7,4
рН 7 цикл	6,4	7,12
Солевміст, мг/л	275	275
Солевміст, 1 цикл, мг/л	221	205
Солевміст, 7 цикл, мг/л	238	212

Результати дослідження доводять можливості відтворення хімічних показників якості води на 1...3 циклах). При збільшенні кількості циклів очищення до 7, жорсткість зменшується до 2,88 мг-

екв/л, лужність дорівнює 2,03 мг-екв/л, підвищується солевміст до 238 мг/л.

Новоутворення озону при температурі (105...107)°С (кут 5 градусів), який в ході реакції



багаторазово взаємодіє в умовах турбулентної реакції з молекулами забруднювача та знешкоджує їх в стадії адсорбції.

Пропонується дистанційне вимірювання жорсткості, лужності води, рН, солемісту та концентрацію можливих токсичних речовин за допомогою електронного блоку Arduino. При виникненні ризиків в збірних водоводах система

дає сигнал та надає гнучку хімічну допомогу в районних насосних станціях[13].

Більш справедливо для прийняття важливих рішень залучення експертів зовнішніх та наукового середовища для моделювання сценаріїв водних ризиків та ступіню техногенного навантаження на район та регіон.

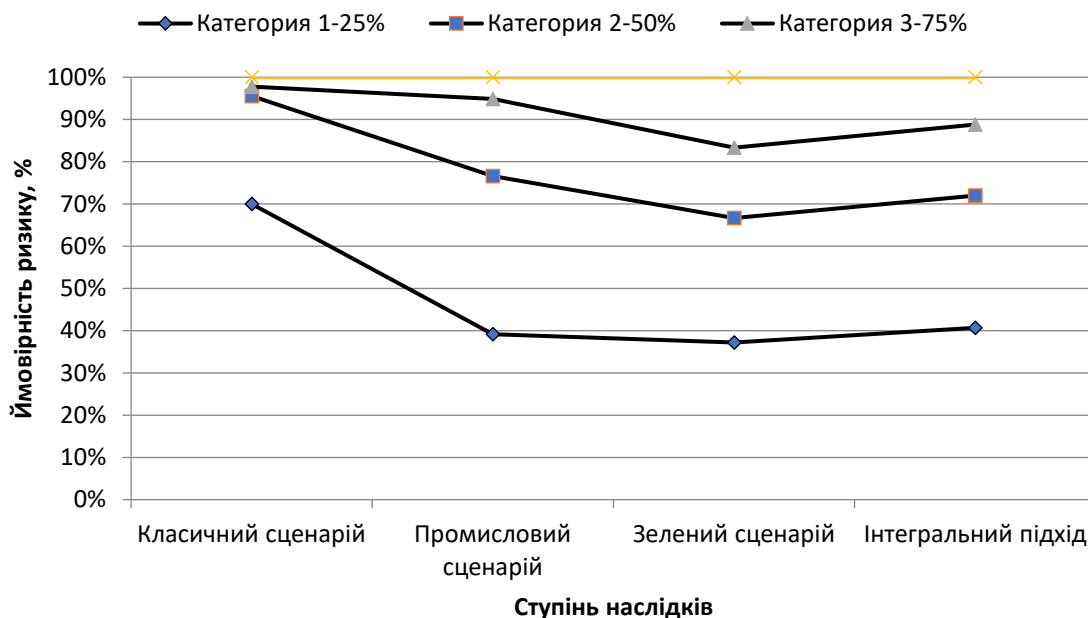


Рис. 1. Наслідки ризиків водопостачання по сценаріях.

Дослідження використання умовно чистих вод виявили глибину просочення вологи в Запорізькій області до 18 см, в Дніпропетровській області до 36 см.

Досліджувані властивості ґрунту спиралися на текстурні індикатори порода-пісок, глину, мул, кварцевий пісок, а також на обсяг ділянки, точку

збору, концентрації речовин, ємність кат іонообміну[14]. Один з більш чутливих параметрів ґрунту - насичена гідравлічна провідність. Виділення ґрунтів на два класи на основі вмісту глини, має передбачуване відношення більше 40 відсотків. Розроблено рівняння гідравлічної провідності глини:

$$K_b = 0,0066 \exp \left[ \frac{244}{\% \text{зависл}} \right] \quad (1)$$

Для ґрунтів з глиною менше 40%, співвідношення для  $K_b$  включає два параметри для змісту піску :

$$K_b = -0,265 + 0,0086 \% \text{пісок}^{1,8} + 11,46 \text{СЕС}^{-0,75} \quad (2)$$

Дослідження продемонструвало успішне прогнозування моделі з використанням адаптації рівняння змішаної суміші для 1,5 годинного проміжка часу, в сценарії умовно брудних та умовно чистих вод агроландшафту[15].

Розрахована питома вологість ґрунтів Запорізької області в межах 0,5 см/годину, Полтавської області – 1,2 см/годину. Польові дослідження гідрологічних параметрів водоймищ надали рівняння потоку прісної поверхневої рідини:

$$(\rho_u)_x = \rho_u + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_u) dx + \frac{\partial^2}{\partial x^2}(\rho_u) \frac{\partial Q^2}{r} + \dots + \left[ p_u + \frac{\partial}{\partial x}(p_u) dx \right] dz dt n \quad (3)$$

При дослідіах кондиціонування чистих та брудних вод завислі речовини будуть відсепаровані в кавітаційному устаткуванні:

$$m(t + dt) = \left( \rho + \frac{\partial \rho}{\partial t} dt \right) dx dy dz \quad (4)$$

$$dm = \left( \rho + \frac{\partial \rho}{\partial t} dt \right) dx dy dz - \rho dx dy dz$$

$$dm = \frac{\partial \rho}{\partial t} dt dx dy dz$$

Коефіцієнт дифузії мас визначаємо:

$$-D_c \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) dx dy dz dt \quad (5)$$

$$\left[ \frac{\partial}{\partial x}(uc) + \frac{\partial}{\partial y}(vc) + \frac{\partial}{\partial z}(wc) \right] dx dy dz dt = \frac{\partial c}{\partial t} dx dy dz dt$$

$\frac{\partial c}{\partial t} = D_c \nabla^2 c$  збереження маси потоку  
водоймища

Багатофункціональна концепція використовує систему для підтримки експертів у розвитку зв'язків між балансом системи водопостачанням та численними перевагами інтеграції (табл. 2).

Результати свідчать, що умовно чисті води в металургійній промисловості мають пересичення по карбонату кальцію до 68,41 разів, та по гідроксиду магнію до 120 разів. Потрібно 42 цикли роботи кавітаційного генератора для доведення ресурсу до питної якості.

Табл. 2

Визначення переваг седиментаційної кавітації

	Жорсткість мг-екв/дм <sup>3</sup>	Лужність мг-кв/дм <sup>3</sup>	Солевміст мг/л	Ns саСО <sub>3</sub>	Ns MgOH	N цикл
Легка промисловість	7,5	6,8	570	27,5	119	35
Металургійна (у.ч.)	12	11,2	630	68,41	120	42
Металургійна (у.бр.)	14	9,8	1120	78,19	261	78
Харчова	7,8	5,7	563	19,67	14,5	10

Аналогічно по умовно брудним водам досліди надали результати пересичення карбонату кальцію 78,19 разів, по магнію 261 разів. В цьому випадку практично можливо довести ресурсу до питної якості при 78 циклах роботи генератора, до 248 годин, тобто на протязі 10 діб.

Пропонуєма система попередження ризику водного середовища всебічно аналізує стан навколишнього середовища та дає попереджувальні сигнали (поодинокі індикатори та сумарні індекси).

Оцінка стану регіонального екологічного розвитку складається з п'яти операцій:

1) Загальна операція управління басейном

Представлення ризику водного басейну показано на візуальному інтерфейсі, включаючи загальну регіональну ситуацію, стан річки та зону водного буферу, що надає користувачам інформацію про географічне положення, гідрологію та метеорологію, стан та розташування водних функціональних зон.

2) Операція оцінки водного середовища

Цей процес оцінює зміни якості води в кожному регіоні басейну з часом, своєчасно досліджує правила розподілу води, генерує діаграми розподілу основних категорій користувачів, класифікованих за основними показниками забруднення у вибраних перетинах

моніторингу, обчислює індикаторні коефіцієнти перетинів.

3) Операція управління відходами

Інформація про водо відводи всіх річок, обчислюючи надлишкову ємність функціональних зон та кількість забруднюючих речовин. Модуль може імітувати концентрацію забруднюючих речовин на ділянці водозабору нижче за течією після їх деградації та дифузії та відстань впливу забруднюючих речовин.

4) Поступова прогресія попередження ризику водного середовища

На основі аналізу атмосферних опадів та попиту на воду процес поєднує з даними про кількість води, рівень води та якість води; визначити стан місцевих водних ресурсів та ступінь забруднення водних об'єктів.

Потім він прогнозує можливі резерви живлення басейну та здійснює раннє попередження водного середовища (табл.3).

В ході досліджень рекреаційного озера міста визначено турбулентну в'язкість за допомогою дворівневої турбулентності кінетичної енергії (k) та швидкості її розсіювання (ε). Отримано головне рівняння кінетичної енергії турбулентності та розсіювання швидкості потоку для практичного застосування до стандартної k-ε моделі та низьких значень Рейнольдса:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho_{ui}k) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_e}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) = G - p(\varepsilon + D) \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho_{ui}\varepsilon) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{\mu_e}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) = (C_1 f_1 G - C_2 f_2 \rho \varepsilon) \frac{\varepsilon}{k} + \rho E \quad (7)$$

Турбулентна в'язкість  $\mu_t$  потоку:

$$\mu_t = c_\mu f_\mu \rho k / 2 \quad (8)$$

У прямих річках, при джерелі забруднення в центрі річки, бічна відстань:

$$L_M = \frac{0,213 \times u \times B^2}{E_y} \quad (9)$$

Джерело забруднення на березі річки:

$$L_M = \frac{0,716 \times u \times B^2}{E_y} \quad (10)$$

Де  $L_M$  - поперечна довжина переміщення забруднюючих речовин (м);  
 $u$  - середня швидкість річкового потоку (м/с);

$B$  - середня ширина русла річки (м);  
 $E_y$  - коефіцієнт бічної дисперсії (м<sup>2</sup>/с).

Таблиця 3

**Сигнал попередження забруднення басейну річки**

Попередження ризику			
Річка	Індикатор	Перетин	Значення
Тип забруднювача	Свинць	Концентрація	0,5
Біодеградація забруднювача	Так	Не біодеградація	Ні
Позиціонування	A2	Вплив ситуації	A2
Засуха	$\geq 30$		Ключові міста
Засуха	$< 20$		регіон
Засуха	$< 10$		Країна
Засуха	$< 3$		Територія
Трансфер	A3	Економічні втрати скиду	A4
Оцінка трансферу	$\geq 10000$	Пряма економічна втрата	$\geq 10$ млн
Ступінь ризику	III	Середній	

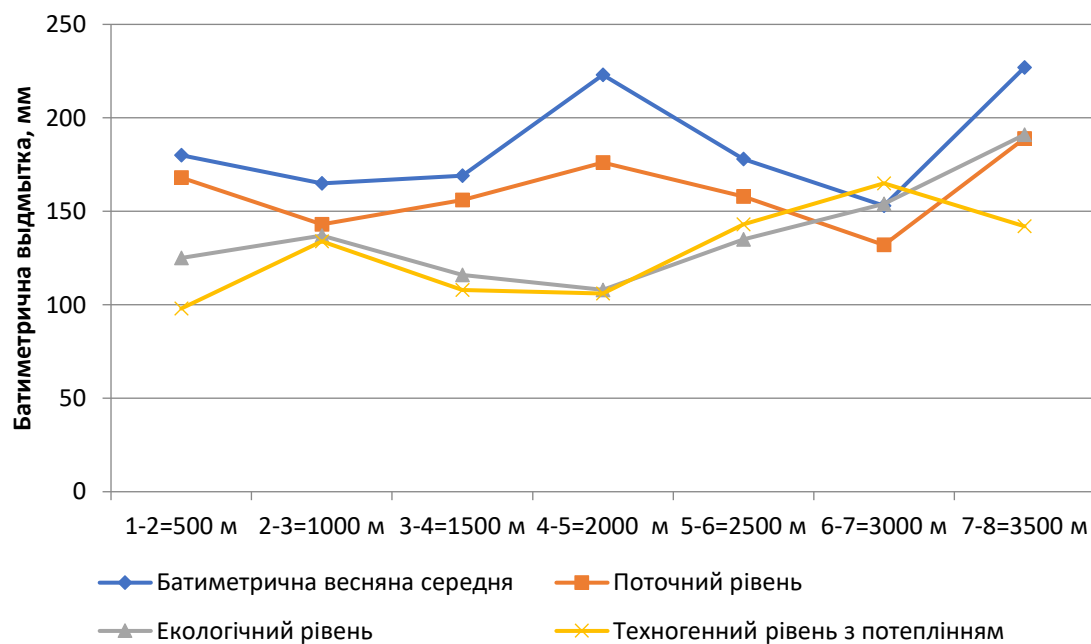


Рис. 2 Рівні доступної води в різних перетинах річки Дніпро (аграрний сегмент)

При батиметричних розрахунках рівня води річки Дніпро (сток води) розроблено модель нестабільної якості води:

$$C(x, y, t) = \frac{M}{H4,24\pi t \sqrt{E_x E_y}} \exp \left[ -\frac{(x-ut)^2}{4E_x t} - \frac{y^2}{4E_y t} - 2k_t \right] + C_h \quad (11)$$

де  $M$  - витік забруднюючих речовин (г);  
 $H$  - глибина ділянки річки (м);  
 $t$  - час прогнозування;  
 $C_h$  - початкова концентрація забруднюючих речовин у річці (мг / л);  
 $E_x$  - коефіцієнт поздовжньої дифузії (м<sup>2</sup>/с);  
 $K$  - коефіцієнт деградації забруднюючих речовин (л / с);

$x$  - вертикальна відстань між точками скидання до споживання (м);  
 $y$  - поперечна відстань від точки скидання до забору води (м).  
 Розроблена математична модель седиментаційної моделі очистки виглядає:

$$Y = 46,062 - 7,172x_2 - 16,745x_3 - 25,898x_2^2 + 2,738x_3^2 + 14,137x_2x_3$$

де  $X_1$  – жорсткість води, мг-екв/л;  
 $X_2$  – продуктивність процесу, %;  
 $Y$  - кількість циклів – 15-74 рази.  
 Результати рівняння оброблено по статистичним критеріям Кохрена, Стьюдента та

Фішера, які показали адекватну математичну модель та можливість впровадження у народному господарстві

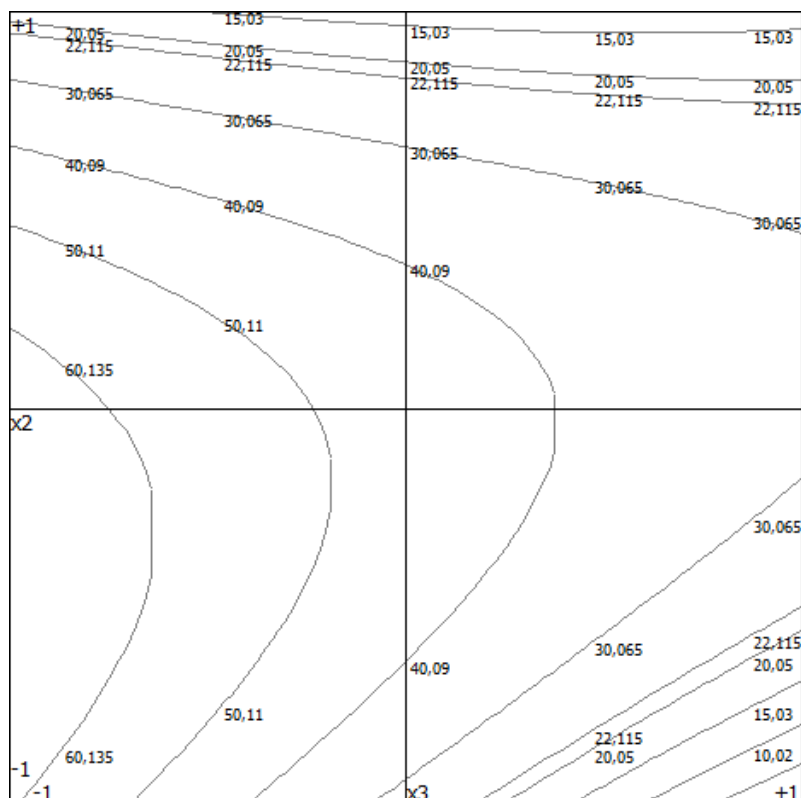


Рис. 3 - Діаграма ліній рівного рівня

**Висновки.** Дослідження надають результати по відновленню промислових та аграрних стоків. Порівняння кута крутки конуса Вентурі при очищенні стічних вод надають великі межі для роботи комунального господарства. Поточні дослідження надають можливості для впровадження системи відновлення повторних вод, що компенсує до 37% дебалансу водного басейну.

#### Список літератури:

1. Jorgensen S.E. Handbook of Ecologica lModels

Used in Ecosystem and Environmental Management/CRC Press University Denmark.Copenhagen, 2011. 600 p.

2. Назаренко О.М. Ризик менеджмент водокористувачів річки Дніпро: монографія/ Запоріжжя: СТС Групп, 2018. 208 с.

3. Олійник О. Я., Айрапетян Т. С. Розрахунок кисневого режиму при біологічному очищенні стічних вод в аеротенках-змшувачах з закріпленим і зваженим біоценозом // Науковий вісник

будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ.-2019.- №1(94).- С.187-191.

4. Утеплення, ремонт та реконструкція плоских покрівель цивільних будівель: посібник / Авраменко Ю. О., Лещенко М. В., Магас Н. М. [та ін.]; за ред. О. В. Семка. — Полтава: ТОВ «Астрая», 2017. — 238 с.

5. Marker B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. Bioindicators and biomonitors. Principles, concepts and application. Handbook/Elsevier Science Ltd. 2003. 1017 p.

6. Ремонт и эксплуатация рулонных кровель: Практическое пособие для работников ЖКХ / Н.М. Вавуло, А.Е. Харьковский, Р.Ф. Зарипов, О.Л. Рогачевский, В.А. Желнинский, И.М. Дегтярев, А.Н. Лычиц, Д.А. Фисюренко. — М.; СПб.: ООО «АТМ», 2011. — 86 с.

7. Syvitski J., Cohen S., Miara A., Best J. River temperature and the thermal-dynamic transport of sediment. *Global and Planetary Change*. Volume 178, 7/2019, p. 168-183.

8. Elgueta M., Astaburuaga M., Hassan A. Sediment storage, partial transport, and the evolution of an experimental gravel bed under changing sediment supply regimes *Geomorphology*. Volume 330, 4/2019, p. 1-12.

9. Kehui Xu, Samuel J., Bentley J., Day W., Freeman A. A review of sediment diversion in the Mississippi River Deltaic Plain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 5/2019, 235p.

10. Kuprienko P., Lapowska S., Kuprienko N, 2017. Nanomodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials. *Underwater technologies*, Vol.05, 74-83.

11. Яркін В.А. Определение эффективности работы перегородчатого смесителя коридорного типа усовершенствованной конструкции / В.А. Яркін, С.М. Эпоян, Г.И. Сухоруков // *Научный вестник будівництва*. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - 2018.-Т.91, №1.- С.210-214.

12. Эпоян С.М. Метод повышения эффективности смешения природной воды с реагентом и методика проведения исследований / С.М. Эпоян, Г.И. Сухоруков, В.А. Яркін // *Научный вестник будівництва*. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ.-2016.-№1(83).- С.187-193.

13. Проскурнин О. А., Захарченко Н. И., Капанина О. И. Нормирование состава теплообменных сточных вод // *Научный вестник будівництва*. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ.-2018.- №4(92).- С.226-231.

14. ДБН В.2.6-220:2017 Покриття будівель і споруд. [Текст]: — К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2017. — 43 с.

15. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. — К.: ДП «УкрНД-НЦ», 2017. — 45 с.

#### REFERENCES

1. Jorgensen S.E. Handbook of Ecological Models Used in Ecosystem and Environmental

Management/CRC Press University Denmark.Copenhagen, 2011. 600 p.

2. Nazarenko O.M. Ryzyk menedzhment vodokorystuvachiv richky Dnipro[Risk management of the Dnieper River water users]:monohrafiia/Zaporizhzhia: STS Hrupp, 2018. 208 s.

3. Oliinyk O. Ya., Airapetian T. S. Rozrakhunok kysnevoho rezhymu pry biolohichnomu ochyshchenni stichnykh vod v aerotenkakh-zmshuvachakh z zakriplenym i zvazhenym biotsenosom. [Calculation of the oxygen regime at biological sewage treatment in aerotanks-mixers with fixed and weighted biocenosis zom] // *Naukovyi visnyk budivnytstva*. - Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU.- 2019.-№1(94).- pp.187-191.

4. Uteplennia, remont ta rekonstruktsiia ploskykh pokryvel tsyvilnykh budivel: posibnyk [Insulation, repair and reconstruction of flat roofs of civilian buildings] / Avramenko Yu. O., Leshchenko M. V., Mahas N. M. za red. O. V. Semka. — Poltava: TOV «Astraia», 2017. — 238 s.

5. Marker B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G. Bioindicators and biomonitors. Principles, concepts and application. Handbook / Elsevier Science Ltd. 2003. 1017 p.

6. Ремонт у експлуатативності рулонних кровель: Практическое пособие для работников ЖКХ

[Repair and operation of rolled roofs: A practical manual for housing and communal services workers] / N.M. Vavulo, A.E. Kharkovskiy, R.F. Zarypov, O.L. Rohachevskiy, V.A. Zhelnynskiy, Y.M. Dehtiarev, A.N. Lychyts, D.A. Fysiurenko. — М.; СПб.: ООО «АТМ», 2011. — 86 с.

7. Syvitski J., Cohen S., Miara A., Best J. River temperature and the thermal-dynamic transport of sediment. *Global and Planetary Change*. Volume 178, 7/2019, pp. 168-183.

8. Elgueta M., Astaburuaga M., Hassan A. Sediment storage, partial transport, and the evolution of an experimental gravel bed under changing sediment supply regimes *Geomorphology*. Volume 330, 4/2019, p. 1-12.

9. Kehui Xu, Samuel J., Bentley J., Day W., Freeman A. A review of sediment diversion in the Mississippi River Deltaic Plain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 5/2019, pp.235-241.

10. Kuprienko P., Lapowska S., Kuprienko N, 2017. Nanomodified natural aluminum silicates in technology treatment of industrial waste and the production of building materials. *Underwater technologies*, Vol.05, pp.74-83.

11. Yarkyn V.A. Opredelenye effektivnosti raboty perehorodchatoho smesytelia korydornoho typu usoveshenstvovannoi konstruktsyy [Determination of efficiency of work of a partition mixer of a corridor type of the advanced design ] / V.A. Yarkyn, S.M. Epoian, H.Y. Sukhorukov // *Naukovyi visnyk budivnytstva*. - Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU. - 2018.-Т.91, №1.- pp.210-214.

12. Epoian S.M. Metod povysheniya effektivnosti smesheniya pryrodnoi vody s reahentom y metodyka provedeniya yssledovaniy [The method of increasing the efficiency of mixing natural water with

the reagent and the method of research] / S.M. Epoian, H.Y. Sukhorukov, V.A. Yarkyn// *Naukovyi visnyk budivnytstva*. - Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU.- 2016.-№1(83).- pp.187-193.

13. Proskurnyn O. A., Zakharchenko N. Y., Kapanyna O. Y. Normyrovanye sostava teploobmennykh stochnykh vod [Background of the heat exchange composition] // *Naukovyi visnyk budivnytstva*. - Kharkiv: KhNUBA, KhOTV ABU.- 2018.-№4(92).- pp.226-231.

14. DBN V.2.6-220:2017 Pokryttia budivel i sporud. [DBN B.2.6-220: 2017 Covering of buildings and structures]: — K.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy, 2017. — 43 p.

15. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. [DSTU-N B V.1.2-18: 2016. Guidelines for inspection of buildings and structures to determine and evaluate their technical condition] – K.: DP «UkrND-NTs», 2017. – 45 p.

**Burlakov M.E.**

*candidate of Engineering Sciences,  
Samara National Research University*

**Kubeev A. V.**

*candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,  
All-Russian Scientific Research Institute of Physical Culture and Sports*

**Abrarov R. R.**

*graduate student,  
Samara National Research University*

### IMPROVEMENT OF THE STATE MANAGEMENT AND TRAINING SYSTEM IN THE SPHERE OF PHYSICAL CULTURE AND SPORT BASED ON THE SOFTWARE COMPLEX "UNIFIED CALENDAR PLAN"

**Бурлаков Михаил Евгеньевич**

*кандидат технических наук, доцент кафедры  
Безопасности информационных систем,  
Самарский национальный исследовательский университет*

**Кубеев Александр Владимирович**

*кандидат педагогических наук, доцент,  
Всероссийский научно-исследовательский  
Институт Физической Культуры и Спорта (Вниифк)*

**Абраров Рафаэль Рашитович**

*абитуриент в аспирантуру,  
Самарский национальный исследовательский университет*

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ В СФЕРЕ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ЕДИНЫЙ КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН»

**Summary.** The article presents the results related to design, high-level development and potential integration of the Unified Schedule software package. The scheme of integration of system interfaces, functional and architectural diagrams of the software complex is demonstrated, the principle of operation and data visualization is presented with a step-by-step description of the features of data transfer between the modules and the software used. An integration scheme is shown within the framework of the current reporting transfer processes of unified calendar plans, as well as the solution of management and training issues in the field of physical training and management by the applied software package.

**Аннотация.** В статье представлены результаты, связанные с вопросами проектирования, верхнеуровневой разработки и потенциальной интеграции программного комплекса «Единый календарный план». Продемонстрирована схема интеграции системных интерфейсов, функциональные и архитектурные схемы программного комплекса, представлен принцип работы и визуализации данных с пошаговым описанием особенностей передачи данных между модулями и применяемым программным обеспечением. Показана схема интеграции в рамках текущих процессов передачи отчетности единых календарных планов, а также решения вопросов управления и подготовки в сфере ФКиС применяемым программным комплексом.

**Keywords:** UCP, automation system, software, Ministry of Sports of the Russian Federation.

**Ключевые слова:** ЕКП, система автоматизации, программное обеспечение, Министерство спорта Российской Федерации.

## Введение

В условиях стремительного развития цифровых технологий новый вектор в среде ФКиС базируется на концепции цифровизации государственной системы подготовки и управления в сфере физической культуры и спорта (приказ №971 от 25.11.2019 [1]). «Цифровизация управления» предполагает переход на облачные технологии, что позволяет организовать эффективное взаимодействие участников физкультурно-спортивной деятельности в сфере ФКиС, а также оптимизировать финансовые и временные затраты на создание и поддержку в актуальном состоянии всех информационных систем, используемых в процессе управления.

Реализация новой концепции цифровой трансформации в сфере ФКиС, в рамках стратегии развития информационного общества РФ, требует создания единой электронной платформы, реализованной в виде программно-аппаратного комплекса, интегрированного в электронную информационно-коммуникационную среду в сфере ФКиС, включающую в себя компоненты по управлению содержанием, процессом, ресурсами, контингентом, финансами и качеством используемых программ.

Формирование Единого календарного плана межрегиональных, всероссийских и международных физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий (далее – ЕКП) – это многосторонний процесс, имеющий специфическое содержание и форму организации, регулируемый нормативно правовыми документами [2-7] на основе Федерального закона от 04.12.2007г. №329-ФЗ "О физической культуре и спорте в Российской Федерации" [8].

Основными задачами формирования ЕКП, согласно приказу №289 от 08.05.2009 [9], являются:

- создание целостной системы физкультурных мероприятий, способствующей развитию массовой физической культуры среди различных групп и категорий населения;
- создание целостной системы спортивных мероприятий по видам спорта, в целях развития видов спорта, отбора спортсменов в спортивные сборные команды Российской Федерации и обеспечения целенаправленной подготовки

спортивных сборных команд Российской Федерации для их успешного участия в крупнейших международных соревнованиях – Олимпийских, Паралимпийских, Сурдлимпийских играх, чемпионатах и первенствах мира и Европы;

- координация взаимодействия организаторов физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий.

В настоящее время процесс формирования ЕКП представляет собой сложное системное взаимодействие и работу различных физкультурно-спортивных организаций и Министерства спорта Российской Федерации. При этом, исходя из современных тенденций глобальной цифровизации и предстоящего перехода всего сегмента управления на электронный документооборот, можно говорить о том, что формирование ЕКП так же должно быть осуществлено в цифровой среде с соответствующими требованиями по защите цифровых данных с одной стороны и доступностью и простотой использования (сбора, систематизации, анализа и представления данных) с другой.

Проект программного комплекса (ПК) ЕКП заключается в обеспечении взаимодействия общероссийских спортивных федераций, органов исполнительной власти субъектов РФ, Минспорта России, иных организаций при формировании и реализации концепции Единого календарного плана. Реализация проекта осуществляется за счет автоматизации процессов создания календарей спортивных соревнований и мероприятий различного статуса, обеспечения централизованного сбора информации о реализации мероприятий ЕКП и контроль такой реализации. В качестве итоговой точки рассматривается оптимизация процессов формирования ЕКП, внесения в него изменений и корректировок.

С целью реализации вышеуказанных взаимодействий разработан проект в части проектирования и создания программного комплекса «Единый календарный план». Общая схема реализации ПК «Единый календарный план» в рамках текущей структуры взаимодействия и формирования утвержденных планов представлена на рис. 1

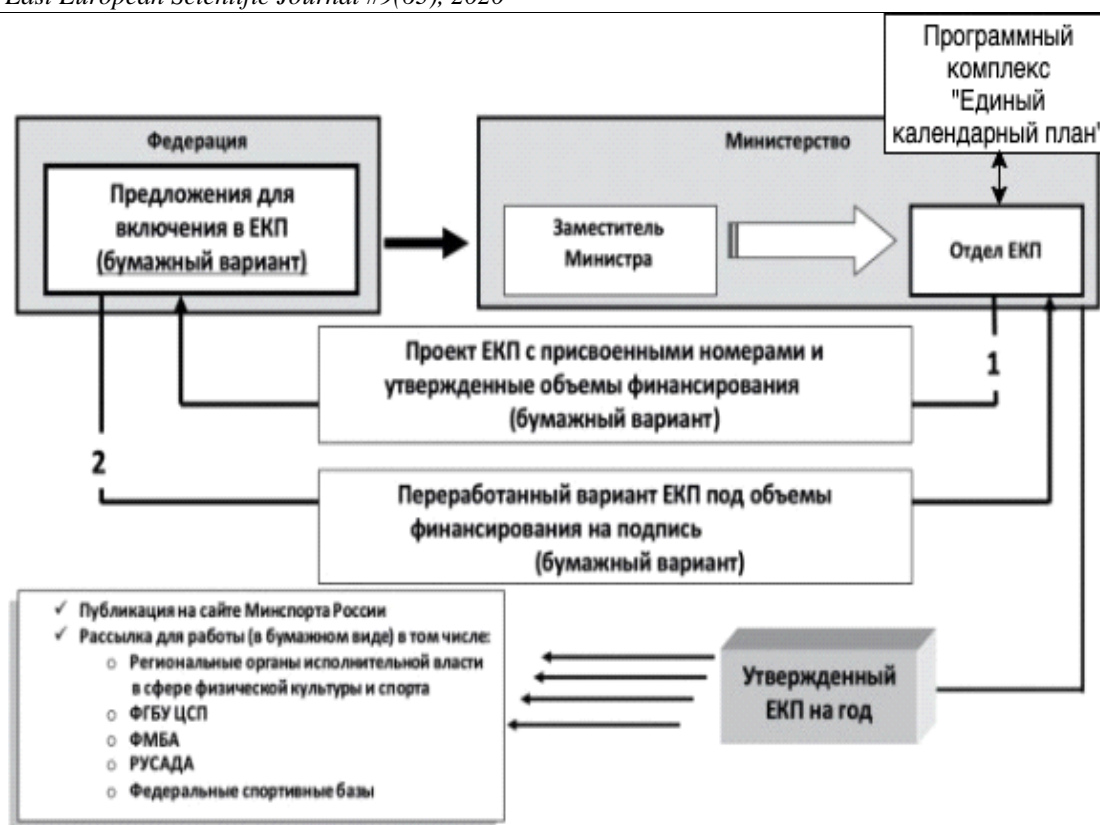


Рис. 1. Схема интеграции ПК ЕКП в рамках текущей схемы функционирования процессов и планов мероприятий

Fig. 1. Scheme of integration of the PC ECP within the current scheme of functioning of processes and action plans

С функциональной точки зрения, ПК «ЕКП» на каждом этапе реализует контроль поступления и обработки количественных и качественных характеристик заявок. ПК направлен на оптимальный подбор режима взаимодействия субъектов сферы ФКиС, контроль вносимых изменений, и регулировку режима работы, что, в свою очередь, направлено на снижение простоев и накладок в рамках осуществления деятельности в сфере ФКиС, а также повышение качества оказываемых услуг и увеличения рентабельности и КПД спортивных объектов.

### Проектирование и реализация ПК ЕКП

При проектировании ПК ЕКП учитывалась необходимость объединения следующих факторов: современности, актуальности и открытости средств разработки и возможности развертывания, и использования подобных средств на платформах отечественного программного обеспечения в части операционных систем. Перечень используемых программных средств разработки представлен в таблице 1.

Таблица 1.

### Перечень используемых программных средств разработки ПК ЕКП

Table 1.

#### List of software tools used for the development of PC UCP

Программное обеспечение	Версия	Техническая заметка
Операционная система Linux Debian	версия ядра не ниже 4.x	Открытая платформа, которая совместима с отечественным аналогом Alt Linux [10]
База данных PostgreSQL	не ниже 9.x	Является базой данных на открытой платформе, лицензируемой в рамках ФСТЭК [11]
Прокси веб-сервер Nginx с модулем PHP-FPM	не ниже 1.x	Открытое программное обеспечение, поставляющее в том числе в виде пакетов инсталляций в отечественных Linux платформах
Язык программирования PHP	не ниже 7.x	Один из наиболее распространённых, открытых языков программирования, предназначенный для проектирования высоконагруженных решений [12]
Фреймворк VueJs	не ниже 2.5	JavaScript-фреймворк с открытым исходным кодом для создания пользовательских интерфейсов [13]



Фреймворк Laravel	не ниже 6.x	PHP веб-фреймворк с открытым кодом, предназначенный для разработки с использованием архитектурной модели MVC [14]
Фреймворк React Native	не ниже 0.6x	Открытая платформа для разработки программных платформ

Общий жизненный цикл разработки ПК ЕКП представлен пошагово ниже:

1. Постановка задачи.
2. Анализ задачи и моделирование.
3. Разработка или выбор алгоритма решения задачи.
4. Проектирование общей структуры программы.

5. Кодирование.

6. Отладка и тестирование программы.

7. Анализ результатов.

8. Сопровождение программы.

Структурная схема клиент-серверного взаимодействия с функциональным разбиением ПК ЕКП представлена на рис. 2.

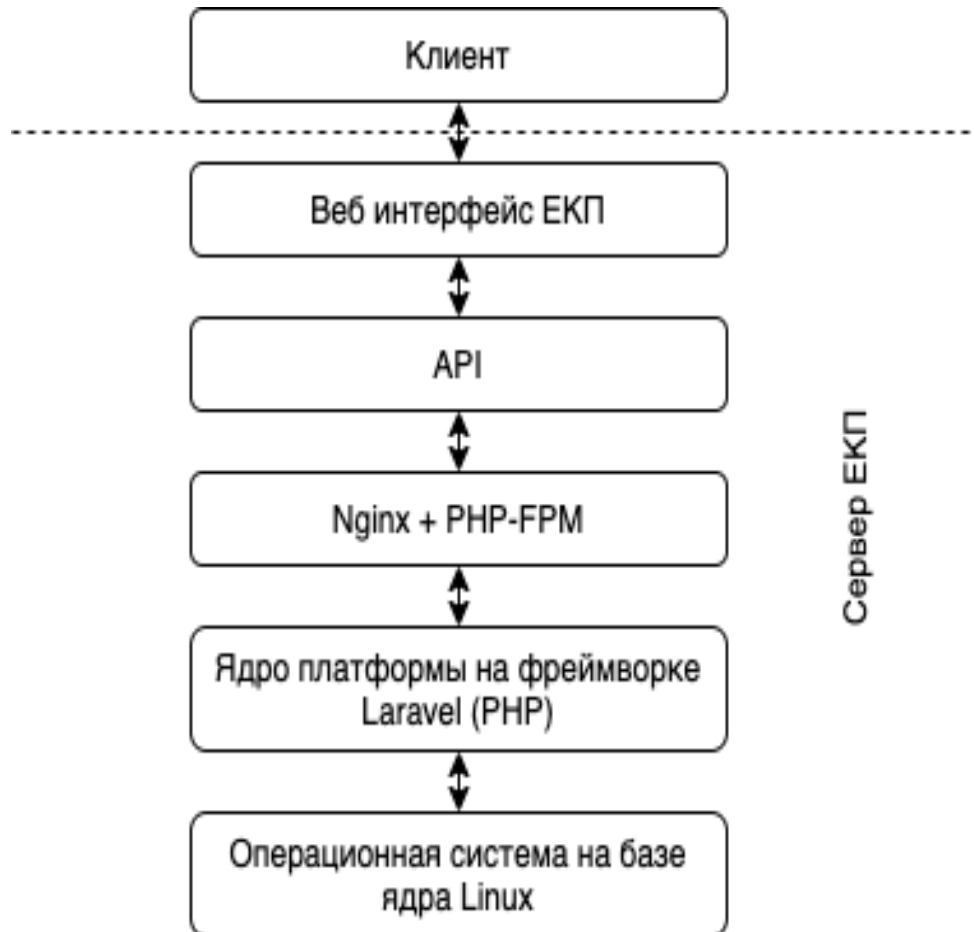


Рис. 2. Структурная схема взаимодействия с ПК ЕКП

Fig.2. Structural diagram of interaction with the PC UCP

Общая схема запросов при клиент-серверном взаимодействии с обозначением логических контуров обозначена на рис. 3.

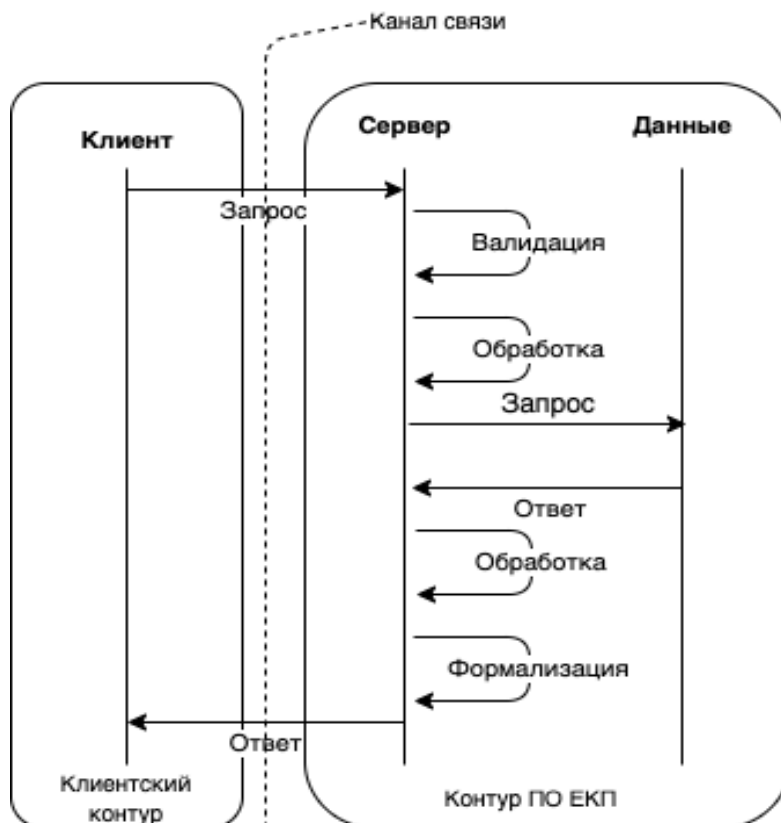


Рис. 3. Общая схема запросов и логических контуров при клиент-серверном взаимодействии ПК ЕКП  
 Fig. 3. General scheme of requests and logical loops for client-server interaction of the PC UCP

В качестве основных операций по работе с данными выделяют следующее функциональные преобразования:

- валидация – процесс, при котором данные, полученные от клиента, проверяются на корректность формулировки и соответствие требованию структуры работы;
- обработка – процесс трансформации, при котором запрошенные от клиента данные преобразуются в набор логических команд, направляемых с целью получения данных согласно запрошенной структуре;
- запрос данных – процесс, направленный на формирование логики получения данных из источников недоступных для конечного клиента;
- получение данных – процесс, при котором данные получают из источников, скрытых от конечного клиента (например, из базы данных);

- обработка данных – процесс преобразования данных из структуры источников, скрытых от конечного клиента в объектные структуры для дальнейшей обработки;

- формализация данных – процесс преобразования данных в структуры, корректные с точки зрения пользовательской логики работы.

Неотъемлемой частью ПК ЕКП является база данных (БД), которую можно разделить на справочную и логическую части. Справочная часть отвечает за формирование справочников – наборов данных, имеющих плоскую структуру и предоставляющую функцию формирования структурированных знаний о той или иной области ПО ЕКП. Логическая часть отвечает за формирование логики реализации программного обеспечения. Перечень справочных и логических таблиц представлен в таблице 2.

## Перечень справочных и логических таблиц ПК ЕКП

Table 2.

## List of reference and logical tables of the PC ЕКП

Наименование таблицы	Пояснение
team_types	Тип состава
age	Возраст
disciplines	Спортивные дисциплины
event_types	Тип мероприятия
event_organizations	Организатор мероприятия
calendar_changes	Изменения в календаре
base_sport	Связь базы с видами спорта
federations_sports	Связь спорта с федерациями
sport_csp	Связь ЦСП и вида спорта
sport_types	Тип вида спорта (ведомственный и т.д.)
attachments	Работа с файлами
failed_jobs	Системные задачи не выполненные в рамках ядра ПО ЕКП
months	Месяцы
seasonality	Сезонность
sport_classification	Классификация видов спорта
athlete_types	Пол
event_classification	Классификация мероприятий
finance_type	Финансирование
organizations	Организации
csp	Управление ЦСП
locations	Страна, округ, регион
event_files	Файлы отчетности мероприятия
users	Пользователи ПО ЕКП
events	Перечень мероприятий
federations	Спортивные федерации
sport_finance	Финансирование вида спорта
sport_bases	Спортивные базы

Важным моментом является то, что для эффективного управления процессом формирования ЕКП, является хранение финансовой информации - количества запрошенных на реализацию и фактически затраченных денежных ресурсов. Указанный аспект также отражен в таблице 2.

Дополнительно в реализацию программного продукта заложена ролевая модель с целью реализации подхода разграничения прав доступа. Общая схема ролевой модели, а также перечень таблиц представлен на рис. 4.

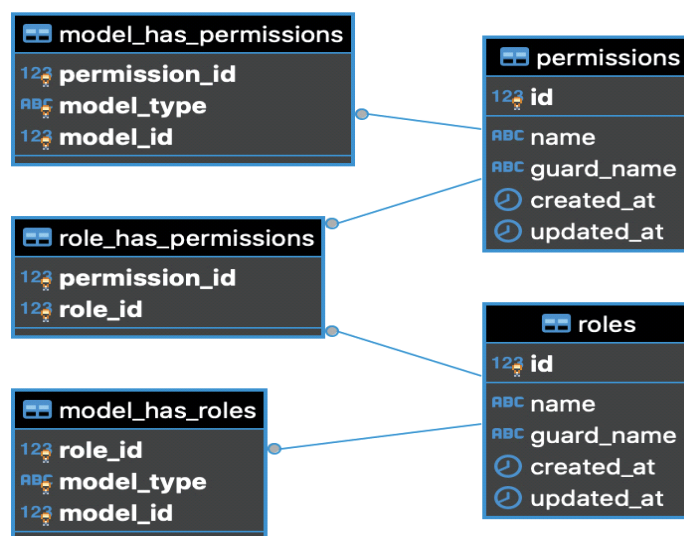


Рис. 4. Схема и перечень таблиц для реализации ролевой модели в ПК ЕКП

Fig. 4. Scheme and list of tables for the implementation of the role model in the PC UCP

ПК ЕКП функционально направлено на обеспечение качественного взаимодействия пользователей системы в рамках планирования и реализации физкультурно-спортивных мероприятий для предоставления технической возможности предприятиям, осуществляющим деятельность ФКиС, в том числе представителям региональных структур ФКиС, учреждениям здравоохранения и пр. посредством стационарных и мобильных платформ.

Таким образом, ПК ЕКП обеспечивает автоматизацию процесса синхронизации данных (контроль формирования ЕКП, изменения, коррекции, анализа итогов реализации) с предоставлением доступа к визуальному интерфейсу пользователей с ролевой моделью управления. Методы доставки ПК ЕКП конечным пользователям:

- стационарные платформы (стационарные компьютеры, мобильные компьютеры, серверы);
- мобильные платформы (под управлением операционных систем Android и iOS).

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проводится активное проектирование и разработка программного комплекса «Единый календарный план», представляющего из себя технический комплекс, способный накапливать, обрабатывать и хранить данные, обеспечивать механизм управления организационными процессами в сфере ФКиС, где управление и сбор статистических данных идет без использования сторонних компонентов с применением ПО, ориентированного на сертификацию ФСТЭК. Программный комплекс обеспечивает функциональную возможность предоставления визуального доступа посредством стационарных и мобильных платформ к хранящимся данным, подсистемам автоматизации и механизмам построения логических цепей пользователям, имеющим соответствующие системные права доступа.

В дальнейшем предполагается построение интеграционных элементов на границе ПО ЕКП и других подсистем программной платформы ГС ФКиС, где одним из приоритетных направлений является модуль «спортивные соревнования на территории РФ», а также модуль участия в международных спортивных соревнованиях.

### **Список литературы:**

1. Приказ Минспорта РФ от 25.11.2019 г. № 971 «Об утверждении Концепции цифровизации государственной системы подготовки и управления в сфере физической культуры и спорта Министерства спорта Российской Федерации на период 2019-2024 гг.» – URL: [https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/34338/?sphrase\\_id=1009483](https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/34338/?sphrase_id=1009483) (дата обращения: 10.07.2020).
2. Приказ Минспорта РФ от 26.07.2019 г. № 593 «Порядок включения физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий в Единый

календарный план межрегиональных, всероссийских и международных физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий» – URL: <https://minsport.gov.ru/2019/doc/Obhie-trebovaniya-k-soderzhaniiu-polozenii.doc> (дата обращения: 10.07.2020).

3. Приказ Минспорта РФ от 01.07.2013 г. № 504 «Об утверждении Общих требований к содержанию положений (регламентов) о межрегиональных и всероссийских официальных физкультурных мероприятиях и спортивных соревнованиях, предусматривающих особенности отдельных видов спорта» – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_152162/9bef5033cfb6180c6e620f2064c8d0bd64983814/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_152162/9bef5033cfb6180c6e620f2064c8d0bd64983814/) (дата обращения: 10.07.2020).

4. Приказ Минспорта РФ от 30.03.2015 г. № 282 «Об утверждении Порядка финансирования за счет средств федерального бюджета физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий, включенных в Единый календарный план межрегиональных, всероссийских и международных физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий» – URL: <https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/28251/> (дата обращения: 10.07.2020).

5. Приказ Минспорта РФ от 30.03.2015 г. № 283 «Об утверждении Норм расходов средств на проведение физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий, включенных в Единый календарный план межрегиональных, всероссийских и международных физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий» – URL: <https://www.minsport.gov.ru/2016/doc/prikaz283ot30032015.pdf> (дата обращения: 10.07.2020).

6. Приказ Минспорта РФ от 24.12.2013 г. № 1111 «Об утверждении Порядка выдачи и формы документа, подтверждающего участие инвалида из числа спортсменов – кандидатов в спортивные сборные команды Российской Федерации, членов спортивных сборных команд Российской Федерации в официальных спортивных мероприятиях, включенных в Единый календарный план межрегиональных, всероссийских и международных физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий» – URL: <https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/5726/> (дата обращения: 10.07.2020).

7. Приказ Минспорта РФ от 26.06.2019 г. № 601 «Об утверждении положения о Департаменте государственного регулирования в сфере спорта и международного сотрудничества Министерства спорта Российской Федерации» – URL: <https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/5726/> (дата обращения: 10.07.2020).

8. Федеральный закон от 04.12.2007 N 329-ФЗ (ред. от 02.08.2019) «О физической культуре и спорте в Российской Федерации» URL: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-04122007-n-329-fz-o/> (дата обращения: 10.07.2020).

9. Приказ Минспорта РФ от 08.05.2009 г. № 289 «Об утверждении Порядка включения

физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий в Единый календарный план межрегиональных, всероссийских и международных физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий» – URL: <https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/596/> (дата обращения: 10.07.2020).

10. ALT Linux Wiki // ALT Linux Team URL: [https://www.altlinux.org/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0](https://www.altlinux.org/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0) (дата обращения: 10.07.2020).

11. Сертифицированная версия Postgres Pro // PostgresPro URL: <https://postgrespro.ru/products/postgrespro/certified> (дата обращения: 10.07.2020).

12. PHP Usage Statistics // BuiltWith URL: <https://trends.builtwith.com/framework/PHP> (дата обращения: 10.07.2020).

13. Comparison of the usage statistics of Vue.js vs. React for websites // W3Tech URL: <https://w3techs.com/technologies/comparison/js-react.js-vuejs> (дата обращения: 10.07.2020).

14. Laravel Usage Statistics // BuiltWith URL: <https://trends.builtwith.com/framework/Laravel> (дата обращения: 10.07.2020).

#### References:

1. Prikaz Minsporta RF ot 25.11.2019 g. № 971 «Ob utverzhdenii Konceptii cifrovizacii gosudarstvennoj sistemy podgotovki i upravlenija v sfere fizicheskoj kul'tury i sporta Ministerstva sporta Rossijskoj Federacii na period 2019-2024 gg.» [Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation of November 25, 2019 No. 971 "On approval of the Concept of digitalization of the state system of training and management in the field of physical culture and sports of the Ministry of Sports of the Russian Federation for the period 2019-2024.]. Available at: [https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/34338/?sphrase\\_id=1009483](https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/34338/?sphrase_id=1009483) (accessed: 10.07.2020).

2. Prikaz Minsporta RF ot 26.07.2019 g. № 593 «Porjadok vkljucheniya fizkul'turnyh meroprijatij i sportivnyh meroprijatij v Edinyj kalendarnyj plan mezhregional'nyh, vserossijskih i mezhdunarodnyh fizkul'turnyh meroprijatij i sportivnyh meroprijatij» [Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation of July 26, 2019 No. 593 "The procedure for including physical culture events and sports events in the Unified Schedule of Interregional, All-Russian and International Physical Culture Events and Sports Events"]. Available at: <https://minsport.gov.ru/2019/doc/Obhie-trebovaniya-k-soderzhaniju-polozenii.doc> (accessed: 10.07.2020).

3. Prikaz Minsporta RF ot 01.07.2013 g. № 504 «Ob utverzhdenii Obshhij trebovanij k sodержaniju polozhenij (reglamentov) o mezhregional'nyh i vserossijskih oficial'nyh fizkul'turnyh meroprijatijah i sportivnyh sorevnovanijah, predusmatrivajushhij osobennosti otdel'nyh vidov sporta» [Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation of 01.07.2013 No. 504 "On approval of the General

requirements for the content of provisions (regulations) on interregional and All-Russian official physical culture events and sports competitions, providing for the specifics of certain sports"]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_152162/9bef5033cfb6180c6e620f2064c8d0bd64983814/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_152162/9bef5033cfb6180c6e620f2064c8d0bd64983814/) (accessed: 10.07.2020).

4. Prikaz Minsporta RF ot 30.03.2015 g. № 282 «Ob utverzhdenii Porjadka finansirovaniya za schet sredstv federal'nogo bjudzheta fizkul'turnyh meroprijatij i sportivnyh meroprijatij, vkljuchennyh v Edinyj kalendarnyj plan mezhregional'nyh, vserossijskih i mezhdunarodnyh fizkul'turnyh meroprijatij i sportivnyh meroprijatij» [Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation of March 30, 2015 No. 282 "On approval of the Procedure for financing physical culture events and sports events included in the Unified Schedule of Interregional, All-Russian and International Physical Culture Events and Sports Events from the federal budget"]. Available at: <https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/28251/> (accessed: 10.07.2020).

5. Prikaz Minsporta RF ot 30.03.2015 g. № 283 «Ob utverzhdenii Norm rashodov sredstv na provedenie fizkul'turnyh meroprijatij i sportivnyh meroprijatij, vkljuchennyh v Edinyj kalendarnyj plan mezhregional'nyh, vserossijskih i mezhdunarodnyh fizkul'turnyh meroprijatij i sportivnyh meroprijatij» [Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation of March 30, 2015 No. 283 "On approval of the Norms of spending on physical culture events and sports events included in the Unified Schedule of Interregional, All-Russian and International Physical Culture Events and Sports Events"]. Available at: <https://www.minsport.gov.ru/2016/doc/prikaz283ot30032015.pdf> (accessed: 10.07.2020).

6. Prikaz Minsporta RF ot 24.12.2013 g. № 1111 «Ob utverzhdenii Porjadka vydachi i formy dokumenta, podtverzhdashhego uchastie invalida iz chisla sportsmenov – kandidatov v sportivnye sbornye komandy Rossijskoj Federacii, chlenov sportivnyh sbornyh komand Rossijskoj Federacii v oficial'nyh sportivnyh meroprijatijah, vkljuchennyh v Edinyj kalendarnyj plan mezhregional'nyh, vserossijskih i mezhdunarodnyh fizkul'turnyh meroprijatij i sportivnyh meroprijatij» [Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation of December 24, 2013 No. 1111 "On approval of the Procedure for issuing and the form of a document confirming the participation of a disabled person from among athletes who are candidates for sports national teams of the Russian Federation, members of sports national teams of the Russian Federation in official sports events included in Unified calendar plan of interregional, all-Russian and international physical culture events and sporting events"]. Available at: <https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/5726/> (accessed: 10.07.2020).

7. Prikaz Minsporta RF ot 26.06.2019 g. № 601 «Ob utverzhdenii polozhenija o Departamente gosudarstvennogo regulirovaniya v sfere sporta i mezhdunarodnogo sotrudnichestva Ministerstva sporta

Rossijskoj Federacii» [Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation of June 26, 2019 No. 601 "On approval of the regulation on the Department of state regulation in the field of sports and international cooperation of the Ministry of Sports of the Russian Federation"]. Available at: <https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/5726/> (accessed: 10.07.2020).

8. Federal'nyj zakon ot 04.12.2007 N 329-FZ (red. ot 02.08.2019) «O fizicheskoj kul'ture i sporte v Rossijskoj Federacii» [Federal Law of 04.12.2007 N 329-FZ (as amended on 02.08.2019) "On physical culture and sports in the Russian Federation"]. Available at: <https://legalacts.ru/doc/federalnyi-zakon-ot-04122007-n-329-fz-o/> (accessed: 10.07.2020).

9. Prikaz Minsporta RF ot 08.05.2009 g. № 289 «Ob utverzhdenii Porjadka vključenija fizkul'turnyh meroprijatij i sportivnyh meroprijatij v Edinyj kalendarnyj plan mezhregional'nyh, vserossijskih i mezhdunarodnyh fizkul'turnyh meroprijatij i sportivnyh meroprijatij» [Order of the Ministry of Sports of the Russian Federation of 08.05.2009 No. 289 "On approval of the Procedure for including physical culture events and sporting events in the Unified Schedule of Interregional, All-Russian and

International Physical Culture Events and Sporting Events"]. Available at: <https://www.minsport.gov.ru/documents/ministry-orders/596/> (accessed: 10.07.2020).

10. ALT Linux Wiki [ALT Linux Team]. Available at: [https://www.altlinux.org/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0](https://www.altlinux.org/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0) (accessed: 10.07.2020).

11. Сертифицированная версия Postgres Pro [PostgresPro]. Available at: <https://postgrespro.ru/products/postgrespro/certified> (accessed: 10.07.2020).

12. PHP Usage Statistics [BuiltWith]. Available at: <https://trends.builtwith.com/framework/PHP> (accessed: 10.07.2020).

13. Comparison of the usage statistics of Vue.js vs. React for websites [W3Tech]. Available at: <https://w3techs.com/technologies/comparison/js-react.js-vuejs> (accessed: 10.07.2020).

14. Laravel Usage Statistics. Available at: <https://trends.builtwith.com/framework/Laravel> (accessed: 10.07.2020).

УДК 74.01/09  
ГРНТИ 64.01.95

**Boldyreva L.M.**

*St. Lecturer FGBOU VO Armavir State Pedagogical University, Krasnodar Territory, Armavir*

**Zolotseva L.V.**

*Doctor of Technical Sciences, Professor A.N. Kosygina (Technology. Design. Art), Moscow*

**Golovko S.I.**

*MBU DO DDYUT Armavir, teacher of additional education, 2nd year undergraduate student of the FGBOU VO Armavir State Pedagogical University"*

#### **ANALYSIS OF THE CONDITIONS OF OPERATION OF A MODERN AND HISTORICAL COSTUME FOR DIFFERENT REGIONS OF THE COSSACK'S LIFE**

**Болдырева Леся Михайловна**

*ст. преподаватель*

*ФГБОУ ВО Армавирский государственный педагогический университет, Краснодарский край, г. Армавир*

**Золотцева Любовь Викторовна**

*д.т.н., профессор ФГБОУ ВО РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), г. Москва*

**Головко Светлана Ивановна**

*педагог дополнительного образования МБУ ДО ДДЮТ г. Армавир, магистрант 2 курса ФГБОУ ВО «Армавирский государственный педагогический университет»*

#### **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННОГО И ИСТОРИЧЕСКОГО КОСТЮМА ДЛЯ РАЗНЫХ РЕГИОНОВ ЖИЗНИ КАЗАЧЕСТВА**

**Summary.** The article examines and systematizes the scattered data on the regions of residence of Cossack women. Based on the results of the analysis, a classification of historical female Cossack clothing was developed

for 18 regions of Russia. The features of the assortment of women's historical products in each region of our country are revealed.

**Аннотация.** В статье рассмотрены и систематизированы разрозненные данные относительно регионов проживания женщин-казачек. По результатам анализа разработана классификация исторической женской казачьей одежды для 18 регионов России. Выявлены особенности ассортимента женских исторических изделий в каждом регионе нашей страны.

*Key words: clothes, cossack women, regional peculiarities of residence, systematization of information.*

*Ключевые слова: одежда, женщины-казачки, региональные особенности проживания, систематизация информации.*

Одежда казачек разнообразна, что обусловлено широтой расселения, различными климатическими условиями проживания, наличием природных ресурсов в регионах, разнообразием трудовой деятельности. Основным занятием женщин было земледелие, в том числе выращивались культуры для изготовления пряжи: лён и конопля. Скотоводство давало шерсть.

Важная характерная особенность – женщины-казачки, как народности, имеющей единые корни и идеологическую основу, но территориально проживающей в разных районах носить одежду и головные уборы, отличающиеся отдельным, иногда существенным декоративным оформлением и конструктивным решением [1]. Под влиянием

исторических, социальных, географических и других факторов произошло смешение различных национальностей и соответственно – общностей культур. С целью систематизации разрозненных данных относительно территориальных различий впервые разработана классификационная схема, которая имеет четкую структуру и наглядно отражает возможные регионы проживания женщин-казачек (рисунок 1). Схема включает в себя 18 регионов и наглядно дополнена фотоизображениями. Такое представление позволяет зрительно изучить костюм казачки и рассмотреть наиболее характерные отличительные элементы внешнего вида.



Рисунок 1 – Классификация представителей казачества, проживающих в различных регионах России

Информативная функция, которую выполняла историческая одежда казачек, являлась значимой и отражала данные о женщине относительно возраста, территории проживания, социально-экономического статуса, принадлежности к определенной сословной группе, замужества, рода деятельности и положения в обществе. Через предметы гардероба, например, значительно проявлялись возрастные различия – молодые женщины и девушки одевали костюмы яркие,

разноцветные из качественного материала. Казачки старше 35 лет предпочитали одеваться в более темную, однотонную одежду простого кроя. Использование красного цвета в костюме считалось особой роскошью.

Исторический костюм, является источником информации о человеке, и выявляет принадлежность женщины к определенной группе казачества, при этом указывая на положение в обществе и социальную роль. Однако, предметы

одежды казачек могли существенно отличаться между собой. Например, гардероб кубанской казачки формировалась под влиянием кавказских поселений и с учетом места локализации казачьего войска. В гардеробе донских казачек прослеживаются характерные черты горских народов. Существенное влияние на традиционный костюм оказывала сословная принадлежность женщины, например: нижнедонские – более широкий покрой передней и задней частей брюк; верхнедонские – более узкий покрой передней и задней частей брюк. На Кубани казачки предпочитали носить обычные шаровары.

За представителями казачества, проживающими в различных регионах России, закрепился определенный стереотип поведения и характера, что отразилось в народном творчестве, укладе жизни, быте, манере одеваться и поведении. В 80-е года XIX столетия казаки жили и несли службу в следующих губерниях и областях, а также уездах и округах:

*Донское казачье войско* – в области Донского (Миусский, Донской, Хоперский, Устьмедведицкий, 1 и 2 Донецкие и Черкасский районы) войска [2].

*Кубанское казачье войско* – в Кубанской области (Екатеринодарский, Ейский, Темрюкский, Майкопский, Баталиашинский, Кавказский и Закубанский районы) [3].

*Терское казачье войско* – в Терской области (Пятигорский, Владикавказский, Грозненский и Кизлярский районы) [4].

*Астраханское казачье войско* – в губерниях: 1) Саратовской (Саратовский, Камышинский и Царицынский), 2) Самарской (Новоузенский уезд, собственно одни земли, поселений нет); 3) Астраханской (Царевский, Чернозерский, Енотаевский и Астраханский районы) [5].

*Уральское казачье войско* – в Уральской области (Уральский, Калмыковский и Гурьевский районы) [6].

*Оренбургское казачье войско* – в Оренбургской губернии (Оренбургский, Орский, Верхнеуральский, Челябинский и Троицкий районы) [7].

*Сибирское казачье войско* – в областях: 1) Акмолинской (Омский, Петропавловский, Кокчетавский, Сарысуйский и Акмолинский районы), 2) Семипалатинской (Павлодарский, Каркаралинский, Семипалатинский, Устькаменогорский районы и Зайсанскоеприставство) 3) Томской губернии (Бийский район) [8].

*Семиреченское казачье войско* – в Семиреченской области (Сергиопольский, Копальский, Верненский и Исыккульский районы) [9].

*Забайкальское казачье войско* – в Забайкальской области (Селенгинский, Читинский, Нерчинский, Верхнеудинский, Нерчинскозаводский, Троицкосавский и Акшинский районы) [10].

*Амурское и Уссурийское казачьи войска* – в областях Амурской и Приморской [11].

С XVIII века для защиты постоянно расширявшихся границ государства правительство образует новые казачьи войска: Оренбургское нерегулярное (1748 г.); Астраханское (1750 г.) (первоначально, Астраханский казачий полк), преобразованное в 1776 г. в Астраханское казачье войско, в 1799 г. – снова в полк, а в 1817 г. – вновь в войско; Черноморское (1787 г.); Сибирское (1808 г.); Кавказское линейное (1832 г.); Забайкальское (1851 г.); Амурское (1858 г.); Кавказское и Черноморское, позже преобразованные в Терское и Кубанское (1860 г.); Семиреченское (1867 г.); Уссурийское (1899 г.). В начале XX века существовало 11 казачьих войск: Донское, Кубанское, Оренбургское, Терское, Забайкальское, Сибирское, Уральское (Яицкое), Амурское, Семиреченское, Астраханское, Уссурийское, а также Иркутский и Красноярский казачьи дивизионы (летом 1917 г. из них образовано Енисейское казачье войско), Якутский городской казачий пеший полк МВД и местная Камчатская городская казачья конная команда. Образование новых казачьих войск отразилось и на предметах гардероба согласно региональной принадлежности.

Казачий костюм – как мужской, так и женский – заимствовал характерные национальные особенности территории локализации войска. Однако каждая станица и род имели особый наряд и головной убор, который преимущественно отличался деталями. Традиционный костюм представлял собой комплекс одежды, характерный для определенной местности. Отличия можно проследить в крое, композиционно-пластическом решении, фактуре и цветовом решении используемого материала, декоративном оформлении (узоры, мотивы и техника выполнения орнамента), а также составе предметов костюма и способе ношения различных частей.

Культура казачества сохранила целый ряд самобытных черт. В настоящее время на территориях исторического проживания появляются многочисленные диаспоры и этнические общины, состоящие из представителей казаков и потомков. Зачастую молодежь всеми силами старается возродить и поддерживать традиции своих предков, тем самым формируя новый пласт национальной культуры и воспитывая чувство патриотизма у подрастающего поколения. Воздействие народного костюма на современное творчество велико, что подтверждается тесной связью с обычаями, обрядами и историческими источниками культуры. Созданные руками человека, предметы быта, швейные изделия, элементы декора, аксессуары, изображения позволяют получать эстетическое наслаждение, при этом осознавать важность и значимость национальной культуры.

Детальное изучение традиционного костюма, как объекта произведения искусства, все больше выявляет ценность и образную летопись предков,



посредством языка цвета, формы, декора, орнамента, раскрывает многие сокровенные тайны и законы красоты народного искусства. Таким образом, традиции народного костюма становятся значимы, и представляют звено, которое связывает историческое художественное прошлое народа с настоящим и будущим.

#### Список литературы:

- 1 Золотцева Л.В., Болдырева Л.М. Разработка исходной информации для процесса проектирования современной одежды с использованием традиций казачества (статья)// Костюмология, 2019 №1, <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL119.pdf> (доступ свободный)
- 2 История донского казачества: Ссылка на сайт: [https://ru.wikipedia.org/wiki/донское казачество](https://ru.wikipedia.org/wiki/донское_казачество). Дата обращения: 10.07.2020
- 3 Кубанское казачество: [https://ru.wikipedia.org/wiki/кубанское казачество](https://ru.wikipedia.org/wiki/кубанское_казачество). Дата обращения: 10.07.2020

4 Терские казаки. Ссылка на сайт: [https://ru.wikipedia.org/wiki/терские казаки](https://ru.wikipedia.org/wiki/терские_казаки). Дата обращения: 10.07.2020

5 Астраханское казачье войско. Ссылка на сайт: [https://ru.wikipedia.org/wiki/астраханские казачки](https://ru.wikipedia.org/wiki/астраханские_казачки). Дата обращения: 10.07.2020

6 Уральские казаки. Ссылка на сайт: [https://ru.wikipedia.org/wiki/уральские казаки](https://ru.wikipedia.org/wiki/уральские_казаки). Дата обращения: 10.07.2020

7 Оренбургские казаки. Ссылка на сайт: [https://ru.wikipedia.org/wiki/оренбургские казаки](https://ru.wikipedia.org/wiki/оренбургские_казаки). Дата обращения: 10.07.2020

8 Сибирские казаки. Ссылка на сайт: [https://ru.wikipedia.org/wiki/сибирские казаки](https://ru.wikipedia.org/wiki/сибирские_казаки). Дата обращения: 10.07.2020

9 Семиреченские казаки. Ссылка на сайт: [https://ru.wikipedia.org/wiki/семиреченские казаки](https://ru.wikipedia.org/wiki/семиреченские_казаки). Дата обращения: 12.07.2020

10 Забайкальские казаки. Ссылка на сайт: [https://ru.wikipedia.org/wiki/зabayкальские казаки](https://ru.wikipedia.org/wiki/зabayкальские_казаки). Дата обращения: 12.07.2020

11 Амурские казаки. Ссылка на сайт: [https://ru.wikipedia.org/wiki/амурские казаки](https://ru.wikipedia.org/wiki/амурские_казаки). Дата обращения: 12.07.2020

УДК 628.3  
ГРНТИ 45.53.35

**Gaydukevich S.V.**

senior teacher,

*Separated subdivision of the National university of bioresources and natural use  
Ukraine of "Berezhanskiy agrotechnical institute"*

**Semenova N.P.**

senior teacher,

*Separated subdivision of the National university of bioresources and natural use  
Ukraine of "Berezhanskiy agrotechnical institute"*

## PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF WATER UNDER ACTION OF HIGH VOLTAGE

**Гайдукевич Світлана Василівна**

старший викладач,

*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування  
України "Бережанський агротехнічний інститут"*

**Семенова Надія Павлівна**

старший викладач,

*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування  
України "Бережанський агротехнічний інститут"*

## ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ ПІД ДІЄЮ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

**Summary.** The results of researches are considered from the study of influencing of the electromagnetic field of high voltage on physical-chemical properties of water and effects, that they are accompanied. Information is resulted about basic factors which can influence on properties and structure of water and facilities are developed for its ionization.

**Анотація.** Розглянуто результати досліджень з вивчення впливу електромагнітного поля високої напруги на фізико-хімічні властивості води та ефекти, що їх супроводжують. Наведено відомості про основні фактори, які можуть впливати на властивості і структуру води та розроблено засоби для її озонування.

*Key words: high tension, water, properties, factors.*

*Ключові слова: висока напруга, вода, властивості, фактори.*

**Постановка проблеми.** Вода - це організм, без якого не може обійтися ні одна рослина, ні одна жива істота. І скільки вчених не досліджували воду, але ніхто не може пояснити багато факторів. Всі ми знаємо, що вода - це рідина без кольору і запаху, унікальність якої пояснюється здатністю її молекул утворювати міжмолекулярні асоціати за рахунок водневих зв'язків і орієнтаційних, індукційних і дисперсійних взаємодій (сили Ван-дер-Ваальса). Молекули води утворюють як асоціати (що не мають впорядкованої структури), так і кластери (що мають структуру) [1, с. 612]. Вода характеризується високою теплопровідністю, випаровуваністю, великою питомою теплоємністю і має характерність під впливом різноманітних фізичних факторів змінювати фізико-хімічні властивості, що супроводжуються рядом ефектів, механізми яких на сьогоднішній день залишаються невідомими.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У воді одночасно поєднується простота і складність, що немає наукового пояснення, а сутність явищ, що в ній виникають, до кінця не з'ясовані. Багато вітчизняних вчених, різноманітним чином досліджуючи воду і знаючи її будову, ніяк не можуть зрозуміти як взаємодіють між собою атоми, з яких вона складається.

Аналіз літературних джерел показав, що велика увага приділяється хімічній, фізичній і комбінованій обробці води. Найбільший інтерес представляють фізичні способи обробки води з метою знезаражування. До фізичних методів обробки можна віднести: лазерне, ультрафіолетове та іонізуюче випромінювання, обробка електромагнітними полями, термічна обробка та ін. Визначаючи зміни у властивостях води під впливом цих різноманітних фізичних факторів виявили, що вода піддається обробці, при чому змінює свої фізичні властивості і їй притаманна пам'ять.

Особливої уваги заслуговує обробка води високою напругою постійного струму, так як механізм такого процесу недостатньо вивчений і не має вичерпного наукового пояснення щодо структури цієї води. А також не достатньо повно виявлено вплив високої напруги на фізико-хімічні властивості води, що являється найважливішою проблемою сучасної науки.

**Мета досліджень** – визначення впливу високої напруги постійного струму на фізико-хімічні властивості води.

**Виклад основного матеріалу.** В лабораторії електротехнологій на протязі п'яти років проводяться експерименти дії електромагнітного поля високої напруги постійного струму на схожість і проростання насіння томатів. В рамках пошуку нових експериментальних підходів щодо впливу обробленої високовольтним полем води на ріст рослин прийнято рішення проаналізувати, як впливає висока напруга постійного струму на фізико-хімічні властивості води. З попередніх досліджень було виявлено, що під дією високої напруги вода збагачується озоном. Присутність озону в опроміненій воді дає можливість додатково генерувати активні окислювальні частинки. Внаслідок цього стає можливим здійснення ланцюгових хімічних процесів окислення органічних речовин [2, с. 29].

Озоновану воду отримували із звичайної питної води, яку обробляли високою напругою постійного струму наступним чином: в лоток з водою занурювали на 2 см від поверхні води сталюю дзеркальну пластину, до якої підводився позитивний полюс і вона являлася осаджуючим електродом, зверху над водою 2 см розміщали електрод, який являвся коронуючим і до нього підводився від генератора високої напруги 25 кВ негативний полюс. При подачі живлення між двома електродами проходив коронний розряд (рис. 1).



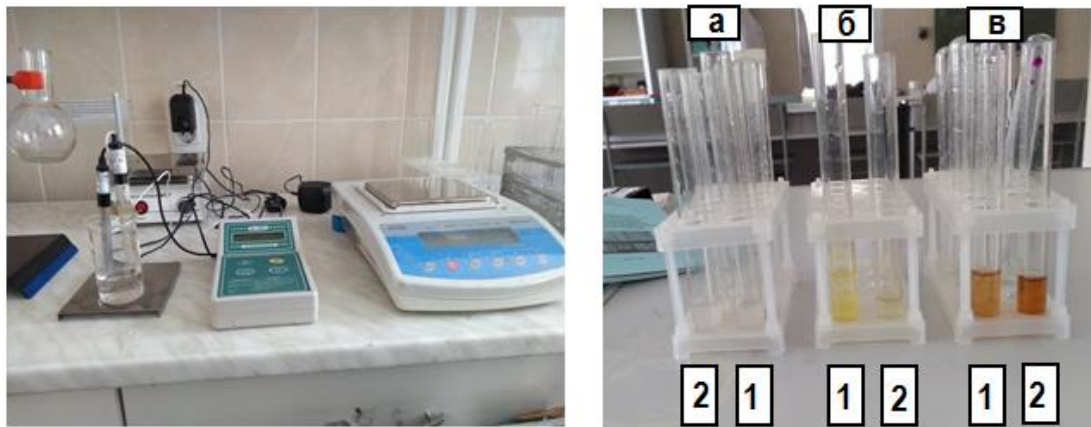
Рис. 1 – Загальний вигляд установки для обробки води високою напругою постійного струму  
 а – установка для обробки води; б – коронний розряд між двома електродами;  
 1 – рН метр; 2 - лоток з водою, що обробляється; 3 – генератор високої напруги постійного струму; 4 – коронуючий електрод (негативний потенціал);  
 5 – коронний розряд; 6 – осаджуючий електрод (позитивний потенціал)

Азот, який знаходиться в повітрі над водою, переходить в стан іонів оксидів азоту, збагативши воду цими іонами, які легко засвоюються рослинами, адже відомо, що високоякісне азотне добриво сприяє росту рослин.

Основними факторами, по яких оцінюються властивості електроактивованих розчинів являється водневий показник рН, що показує

міру активності іонів водню ( $H^+$ ) в розчині, тобто ступінь кислотності або лужності цього розчину і значення окислювально-відновного потенціалу (редокс-потенціал  $\varphi$ ) [3, с. 92].

Після опромінення води високою напругою постійного струму проводилися експериментальні дослідження для визначення загального хімічного аналізу (рис. 2).



А) Б)

Рис. 2 – Проведення загального аналізу води

А – прилади виконання аналізу; Б – результати аналізу води; а- наявність хлоридів;

б – вміст іонів амонію; в – окиснюваність води;

1 – необроблена вода; 2 – оброблена водою високою напругою постійного струму

На підставі результатів дослідження проаналізовано вплив високої напруги на фізико-хімічні властивості води. В таблиці 1 приведені порівняльні результати хімічного аналізу води контрольованої (проста питна вода) і обробленої високою напругою постійного струму.

З таблиці 1 видно, що при озонуванні води підвищується рН, тобто лужність збільшується. При цьому, збільшується кількість іонів кисню, зменшується концентрація нітратів, зменшується

концентрація хлору, температура підвищується, що призводить до зменшення питомого опору води, зростає електропровідність. Опромінена вода набуває бактерицидні властивості.

Так як озонованої води, яка була одержана лабораторним методом, вистачало для поливу рослин на три дні, то виникало питання чи змінюються фізико-хімічні властивості цієї води при її відстоюванні.

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу води

Показники	Не оброблена вода (контрольна)	Вода опромінена високою напругою постійно-го струму
рН	7,38	7,58
температура	15 °С	17,2 °С
$SO_4^{2-}$	відсутній	відсутній
Cl <sup>-</sup>	більше (розчин мутного білого кольору)	зменшена насиченість (розчин набагато чистіший, напівпрозорий)
концентрація нітратів $NO_3^-$	3,37 мг/м	3,33 мг/м
окислювальність	4 мг/л	2,5 мг/л

Тому було проведено експериментальне визначення фізико-хімічних показників та структурних особливостей у наступних зразків води: (рис. 3):

- 1) дистильованої;
- 2) контрольованої (проста питна);
- 3) обробленої високою напругою постійного струму, яка вистоялася 3 дні;

4) обробленої високою напругою постійного струму, яка вистоялася 3 дні і доіонізована три години.

Досліди з дистильованою водою проводилися з можливістю порівняння.

Рівень рН зразків води визначався рН-метром. Найбільший показник в 4-му зразку, який свідчить, що лужність під дію електромагнітного поля

високої напруги збільшується, окислювально-відновлювальний процес є негативним, тобто у воді залишається надлишок електронів і вона стає їх донором. Чим більше вільних електронів, тим негативніше ОРП (ОВП) води і тим вона «живіша».

Визначення окислюваності води (рис. 3, а) ґрунтується на окисненні речовин-відновників у вище вказаних зразках. Для цього у пробірки зі зразками доливали по 0,3 мл розчину сірчаної кислоти  $H_2SO_4$  і 0,5 мл 0,01н. розчину перманганату калію  $KMnO_4$ . Отримані суміші перемішували і через 20 хвилин по їх кольору визначали

окислюваність води кожної проби. Встановлено, що окиснюваність води, яка оброблена високою напругою постійного струму набагато нижча ніж звичайної питної води.

Для визначення наявності хлору (рис. 3, б) досліджувану воду підкислювали двома краплями азотної кислоти з додаванням декількох крапель азотнокислого срібла. Так як у питній воді невелика кількість хлористих солей, то утворювалося біле помутніння води. В озонованій воді концентрація мутності була набагато менша із-за зменшення хлору  $Cl^-$ .

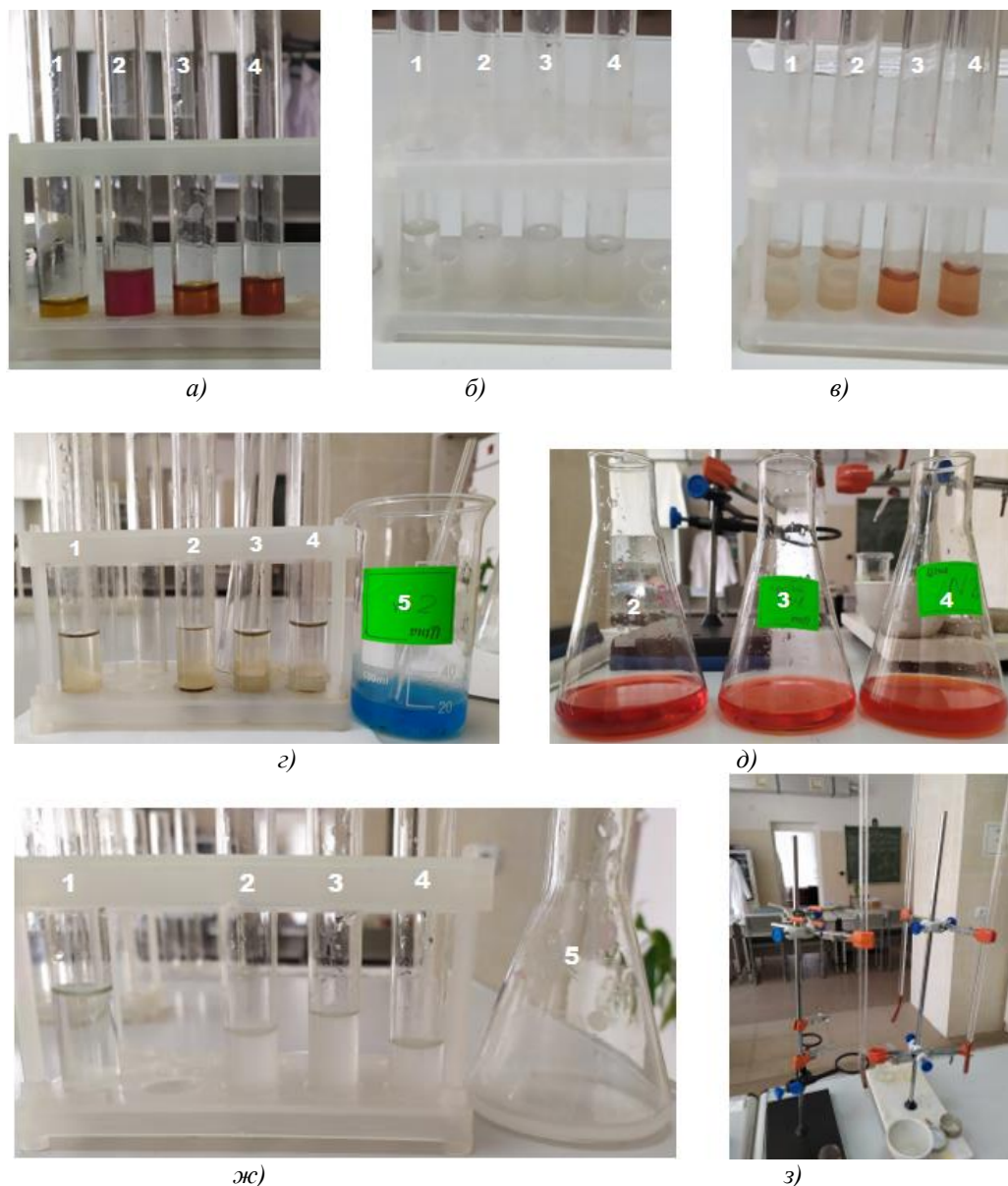


Рис. 3 – Проведення розширеного фізико-хімічного аналізу води  
 а – окислювальність; б - наявність  $Cl^-$ ; в - наявність  $Fe^{3+}$ ; г - наявність  $SO_4^{2-}$ ; д – твердість;  
 ж – концентрація кальцію; з – прилади для визначення наявності  $Cu^{2+}$ ;  
 1 – дистильована вода; 2 – контрольована (проста питна) вода; 3 – оброблена високою напругою постійного струму, яка вистоялася 3 дні; 4 – оброблена високою напругою постійного струму, яка вистоялася 3 дні і доіонізована ще три години; 5 – реагенти

При визначенні іонів заліза (рис.3, в) до пробірок із зразками вносили по дві краплі концентрованої 24% соляної кислоти  $HCl$ , кілька

кристалів персульфату амонію (для окислення  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$ ) і 0,2 мл 50% роданіду калію  $KSCN$ . В обробленій воді виявилось до 1,0 мг/л іонів заліза

порівняно з дистильованою, що свідчить про збагачення іонізованої води іонами заліза в результаті ерозії електродів.

Поняття твердості води переважно визначається вмістом катіонів кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ) і магнію ( $\text{Mg}^{2+}$ ), хоча усі двовалентні катіони тією чи іншою мірою впливають на твердість [4, с. 177]. Висока напруга постійного струму не впливає на концентрацію кальцію (рис. 3, ж) і на твердість зразків води (рис.3, д).

При визначенні наявності у воді зразків іонів міді (рис. 3, з) по черзі у порцелянову чашку

поміщали по 3 мл досліджуваної води і після випаровування додавали 1 краплю концентрованого розчину аміаку. У всіх зразках не було виявлено іонів міді  $\text{Cu}_2^+$  так як колір розчину аміаку у всіх зразках не ставав синього кольору.

У даних зразках не було виявлено органічних речовин, так як вода усіх зразків залишалася насиченого рожевого кольору при додаванні краплі соляної кислоти і декілька крапель розчину  $\text{KMnO}_4$ .

В таблиці 2 подано порівняльну характеристику хімічного аналізу зразків води.

Таблиця 2

**Результати хімічного аналізу води**

На рис.3	Показники	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
pH- метр	pH	6,9	7,38	8,39	8,41
pH- метр	температура	16 °C	16 °C	16 °C	16,7°C
а	окислювальність	5,5 мг/л	4 мг/л	2 мг/л	2,5 мг/л
б	наявність $\text{Cl}^-$	відсутній	найбільше (розчин мутного білого кольору)	зменшена насиченість	зменшена насиченість
в	наявність $\text{Fe}^{3+}$	менше 0,05 мг/л	до 0,5 мг/л	до 0,8 мг/л	до 1,0 мг/л
г	наявність $\text{SO}_4^{2-}$	відсутній	відсутній	відсутній	відсутній
д	на твердість	не впливає	не впливає	не впливає	не впливає
ж	на концентрацію кальцію $\text{Ca}^{2+}$	не впливає	не впливає	не впливає	не впливає
з	наявність $\text{Cu}_2^+$	відсутній	відсутній	відсутній	відсутній
нітратомір	концентрація нітратів $\text{NO}_3^-$	4,03 мг/м	3,53 мг/м	4,05 мг/м	2,19 мг/м
-	наявність органічних речовин	відсутньо	відсутньо	відсутньо	відсутньо

Властивості води залежать від її структурної та ізотопної неоднорідності.

По таблиці 2 можна проаналізувати, що іонізована вода має набагато кращі показники на відміну від простої питної води.

Електричний розряд між електродами служить не тільки для створення озону, але являється джерелом ряду коротко існуючих часток, таких як гідроксильний радикал (OH), атомарний кисень (O), атомарний водень (H),  $\text{H}_2\text{O}_2$  і ін. В результаті потужних високоенергетичних взаємодій з водою руйнуються водневі зв'язки, утворюються вільні радикали, змінюються структури кластерів - розриваються довгі молекулярні ланцюжки ( $\text{H}_2\text{O}$ )<sub>n</sub> [2, с. 29].

Особливості фізичних властивостей води і численні короткотривалі водневі зв'язки між сусідніми атомами водню і кисню в молекулі води створюють сприятливі умови для утворення особливих кластерів, які сприймають, зберігають і передають різноманітну інформацію.

Вода, що складається з безлічі кластерів різних типів, утворює ієрархічну просторову рідкокристалічну структуру, яка може сприймати і зберігати великі об'єми інформації.

### Висновки і пропозиції

Опромінена вода високою напругою постійного струму змінює свої фізико-хімічні властивості і при цьому доволі довго їх зберігає. В процесі експериментування з іонізованою водою з'ясувалося, що така вода являється стимулятором росту рослин.

Електричні розряди у воді незалежно від енергії розряду мають здатність очищати воду від мікробного й хімічного забруднення, що тривалий час зберігає бактерицидні властивості води.

### Список літератури:

1.Дерлюк В. С. Ця дивовижна рідина - вода / В. С. Дерлюк ; наук. кер. С. Ю. Ліпатов // Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (м. Київ, 27-28 квітня 2017 р.). Київ, КНУТД: Мехатронні системи і комп'ютерні технології. Ресурсозбереження та охорона навколишнього середовища, 2017. Т. 2. С. 612-613.

2.Воронкін О.С., Єгізарян О.Д. Фізико-хімічні перетворення при енергетичних взаємодіях із водою в перспективних технологіях її очищення та знезаражування. Вісник КДПУ імені Михайла

Остроградського. 2008. Випуск 5 (52), Ч.1. С. 27 – 31.

3.Гайдукевич С.В., Семенова Н.П. Застосування озонних технологій для підвищення посівних якостей насіння томатів. *Znanstvena misel*

journal. №12/2017. The journal is registered and published in Slovenia. Slovenia, 2017. С. 90-94.

4.Лалак Походило Аналіз методів визначення загальної твердості води. Вимірювальна техніка та метрологія. 2009. № 70. С. 177-181.

**Borysov O.O.**

*an environmental engineer*

**Kofanova O.V.**

*doctor of pedagogics, PhD in chemistry, professor, professor of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**Yevteyeva L.I.**

*PhD in engineering, senior lecture of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**Kofanov O.E.**

*PhD in engineering, PhD in economics, senior lecture of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

### EVALUATION AND EXPRESS-CONTROL OF RISK TO HUMAN HEALTH ON THE URBAN RECREATIONAL AREAS

**Борисов А. А.**

*инженер по охране окружающей среды*

**Кофанова Е. В.**

*доктор педагогических наук, кандидат химических наук, профессор, профессор Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"*

**Евтеева Л. И.**

*кандидат технических наук, старший преподаватель Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"*

**Кофанов А. Е.**

*кандидат технических наук, кандидат экономических наук, старший преподаватель Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"*

### ОЦЕНКА И ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ НА РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ГОРОДА

**Summary.** The scientific paper describes the results of a study aimed at assessing the impact of motor transport pollution on the ecological state of recreational areas of cities. The paper assesses the non-carcinogenic risk to the health of people resting in the investigated urban recreational areas. The comparison of the obtained results with the data on the developed by the author complex indicator of technogenic load CITL was done. It was concluded that predicting the dangerous levels of recreational areas located nearby roads requires precision monitoring data on the content and volumes of emissions of the main environmental pollutants, knowledge of their chemical and physico-chemical properties, potential toxicological effects on human health, etc. The results of the corresponding calculations are presented. The objects of study (recreational areas), which are the most attractive for urban residents (containing a water body or a park zone), and at the same time are susceptible to significant effects of emissions from motor vehicles and can be potentially dangerous for the population, have been identified.

**Аннотация.** Описаны результаты оценивания влияния автотранспортного загрязнения на экологическое состояние рекреационных территорий городов. В работе оценен неканцерогенный риск для здоровья людей, отдыхающих на исследуемых городских территориях рекреационного назначения, проведено сравнение с разработанным авторским комплексным показателем техногенной нагрузки. Сделан вывод о том, что для прогнозирования уровней опасности прилегающих к дорогам рекреационных территорий требуются прецизионные мониторинговые данные по содержанию и объемам выбросов основных загрязнителей окружающей среды, знание их химических и физико-химических свойств,

потенциального токсикологического воздействия на здоровье людей. Приведены результаты соответствующих расчетов. Определены объекты исследования (рекреационные зоны), которые являются наиболее привлекательными для городских жителей (содержат водный объект или парковую зону) и при этом поддаются значительному воздействию выбросов двигателей автотранспортных средств и могут быть потенциально опасными для населения.

*Keywords: environmental safety, risk, saline contamination, exhausted gases pollutants, recreational territories, traffic flow, vehicle emissions, technogenic load.*

*Ключевые слова: экологическая безопасность, риск, солевое загрязнение, выбросы автотранспортных средств, рекреационные территории, автотранспортный поток, выбросы от автотранспорта, техногенная нагрузка.*

**Problem statement.** Environmental pollution significantly affects the processes that occur in ecosystems. Anthropogenic load on the natural ecosystems, including from the motor transport complex (MTC), in particular from vehicles, degrades the quality of soils, surface and groundwater, residential areas, etc., and, therefore, poses a significant threat to public health, especially in recreational urban areas designed for relaxation and recovery of citizens.

**Literature review and methods of research.** Information on the state of the environment and the health of the population living in a certain area is necessary for solution of the environmental protection problems at both the national and local levels. And the quantitative assessment of the potential health risk for the population of citizens, who during their lives rest in urban recreational territories, many of which are located near roads and motor transport infrastructure objects is especially important today.

It was determined that the development of the city of Kyiv has an environmentally unfavorable structure of the road network, especially in the central areas of the city, including the recreational territories (parks, squares, water bodies etc.). Additional ecological problems are created by the almost undeveloped car parking system in the capital of Ukraine, which, in turn, contributes to the formation of traffic jams, reducing the speed of vehicles. A serious threat is posed by the growth of road areas, reduction of greenery, and the use of anti-icing agents in winter, in particular, sand-salt mixtures. All these factors cause the deterioration of the ecological state of the territories located near highways, degradation of groundwater and surface water bodies, has a negative impact on wildlife, human health, etc.

Gichev Yu. P. [1] has developed a classification of ecologically significant human diseases and identified three main groups of pathological processes that depend on the state of the environment. These include:

- indicator ecological pathology (oncological diseases, perinatal mortality, congenital pathology, genetic defects, occupational diseases, allergic reactions, etc.);
- ecologically dependent pathology, indicators of which are mortality of infants and young children, general infant mortality, chronic bronchitis and children pneumonia, secondary immunodeficiencies, exacerbation of major respiratory and cardiovascular diseases because of the meteorological conditions worsening in cities;
- ecologically determined pathology, for the characterization of which statistical data on pathologies

of pregnancy, chronic bronchitis diseases and adult pneumonia, children anemia, major diseases of the cardiovascular system, etc. can be used.

The method described in [2–5] was used to determine the technogenic load from the emissions of vehicle engines on the urban recreational areas. Data on the harmful effects of the vehicle exhausts ingredients on human health have been analyzed in [6]; methods of sampling and application of methods of express-analysis are discussed in [7, 8]. Methods of express-analysis of environmental components (in particular, methods of conductometry, potentiometry, optical methods and methods of analytical determinations, as well as densimetry, viscosimetry and stalagmometry) in combination with mathematical modeling methods are especially important for the study of geocological state of urban recreational areas. This is due to the fact that the express determination of abrupt changes in the characteristics of a particular object of study (water body, soil cover, precipitation, etc.) allows to identify sources of pollution and make the right (and, if necessary, even urgent) management decisions [6, 9].

For example, the study of changes in the specific conductivity of aquatic environments over time makes it possible to conclude about the presence in the water body (from the soil, precipitation, etc.) of electrolyte substances, their accumulation or, conversely, neutralization, deposition, etc. The pH value is also an important characteristic of the quality of the environment, as the hydrogen index of natural water or soil solution is usually a constant value. This is due to the presence of a buffer system consisting of an aqueous solution of carbon dioxide and bicarbonates. Therefore, any noticeable changes in the pH of the medium are a signal of water pollution, for example, by domestic and/or industrial effluents, the impact of MTC, etc.

In this case, the simultaneous entry into the water body or soil environment of both electrolytes and surfactants through the formation of a double electric layer on the surfaces of colloidal particles significantly worsens the geocological state of the natural object. Therefore, optical methods were used for express-analysis, in particular, refractometry, which allows, firstly, to identify the contaminant, and, secondly, to quickly control the quality of the investigated environment and on this basis to make decisions about sources of toxicants possible appearance and their neutralization, potential impact on the human health, etc. [10, 11].

Thus, the generalization of the existing in national and international practice approaches and methods of assessing the geoecological conditions of urban areas (including recreational territories), measures to improve their ecological safety proves the need and relevance of improving the system of environmental monitoring of urban areas located nearby roads, using methods of express-analysis and comprehensive assessment of technogenic load.

**Determination of the previously unsolved aspects of the problem.** The implementation of the concept of sustainable development on urban areas involves the use of reliable mechanisms for managing the environment, human health and natural balance on the basis of precise monitoring data. In this regard, we have chosen for investigation recreational urban areas (on the example of the city of Kyiv), near which the roads are located. Particular attention was paid to recreational areas, where there are also natural and artificial water bodies, park areas, etc. near the roads.

Harmful substances can get into the natural environment in different ways and in different aggregation states – from atmospheric air, with precipitation and groundwater, because of anti-icing agents usage, etc. Among the main air pollutants there are oxides of Nitrogen, Carbon and Sulfur, polycyclic hydrocarbons (in particular, benzo[a]pyrene), formaldehyde, and other aldehydes. Compounds of heavy and other metals (Pb, Cd, Ni, Mo, Zn, Cu, Hg, Sn, Fe, etc.), as well as dust of various origins can be present in the fine state too.

Soils and the aquatic environment are also polluted with nitric and sulfuric acids, sulfates, nitrates and other toxicants. As a result, there is a significant change in acidity – hydrogen indicator pH, salt composition, etc. Due to the possible chemical and biochemical transformations, the toxicity of primary pollutants in the environment can increase significantly, creating additional threats to human health.

**The aim of the study** is to investigate the level of ecological safety of urban recreational areas located near motor transport roads, as well as to improve the system of their ecological monitoring and control through a comprehensive assessment of technogenic load depending on the type of human activity and recreation.

**Results and discussion.** In the system of ecological monitoring of the city a very difficult task is the control of the whole spectrum of environmental toxicants. Therefore, electrical conductivity (conductometry method), pH acidity (potentiometry method) and optical properties of natural solutions (in particular, using refractometry) were chosen as indicators in order to assess the ecological safety of the studied areas and to investigate the dynamics of changes in the quality of environmental components. Such physico-chemical analysis methods as density (densimetry), viscosity (viscosimetry) and surface tension (by stalagmometry) determination were also used. Organoleptic characteristics of samples were also studied for water bodies.

These characteristics were chosen because, firstly, they fairly accurately characterize the complex impact of many factors on the quality of environmental components, and, secondly, they can be easily measured, including with the help of portable devices.

It is known that the dispersion of pollutants in the air is influenced by temperature and humidity, wind regime, orography of the area (including the data on the nature and density of urban development, if available). Therefore, to study the dispersion of motor transport emissions ingredients and to assess environmental risks, the climatic conditions of the city of Kyiv were analyzed, the orography of the studied areas, as well as the features of urban development were studied. This allows to predict the level of technogenic load on the surface air from the emissions of motor transport engines (taking into account meteorological conditions and orography of the particular territory) using methods of mathematical modeling and computational experiment and on this basis to comprehensively assess the level of environmental hazards for recreational areas and risk to human health using express analysis methods.

As a quantitative criterion of salt contamination in the soil solution the indicator  $K_{s.c.}$  (%) was used, which was defined as the ratio of the concentration of chlorine ions in the soil extract of the sample taken at a certain observation point  $C(Cl)$ , to the value of the background concentration of ions  $Cl^-$   $C_f(Cl^-)$  at the control point:

$$K_{s.c.} = C(Cl) 100 \% / C_f(Cl^-). \quad (1)$$

As a consequence of the acid-salt contamination of the soils of the studied areas in the spring, after the snow melting, a significant change in the acidity of soil solutions was recorded in the range from (5.9... 8.0) units (at a control value of 5.7) to (7.5...9.0) units (at a control value of 6.1). So, in almost all studied areas alkalization of the soil was observed after the snow cover melting leading to the pollution of the territory by the remnants of anti-icing reagents.

Qualitative and/or quantitative analyzes of the content of mobile forms of chemical elements in the soil solution and water samples, which are the most bioavailable and therefore the most dangerous for humans, other living organisms and the natural environment, were used to assess the degree of pollution of recreational areas [12]. For determination of the degree of ecological load on the recreational areas of the city of Kyiv, the content of such chemical elements as Pb, Cd, Hg and Zn (first hazard class), as well as Cu and Cr (second hazard class) was assessed.

Insoluble (immobile) forms of chemical elements are also not completely safe for living organisms and the environment, because in the form of fine dust and due to adsorption on the soot particles they can enter the respiratory system of humans, higher animals, etc., and be transported over long distances, form local hazardous areas of secondary pollution and then under the new environmental conditions they can turn into water-soluble, bioavailable forms.

In order to establish the level of air pollution in urban recreational areas, field observations on the



characteristics of traffic flows moving on the roads located near the studied areas were conducted. Then, by the mathematical modeling method using the differential equation of turbulent diffusion [13, 14] in the MathCad software environment, a computational experiment was performed in order to predict the pollution levels of the air and adjacent to the roads areas in different weather conditions.

The results of the research have shown that due to the refusal to use leaded gasoline for MTC power supply in Ukraine, as well as due to significant renewal of the Kyiv car park, the share of water-soluble forms of heavy metals (HM) in the soil generally has not exceeded the permissible norms. This means that mobile, biologically active forms of HM, although involved in technogenic flows and food chains, do not pose a significant threat to biota. However, the same cannot be said, for example, about soil solutions and surface waters, especially intended for swimming. Although the studied water bodies on average have shown safe concentrations of water-soluble compounds of HM, they can be potentially dangerous for aquatic organisms and plants, for example, due to a bioaccumulation and sorption in bottom sediments.

According to the empirical data on the acid and salt contamination of surface water samples and soil extracts [7], the indicator of acid-salt contamination ( $K_{a-s.c.}$ ) was calculated. It was determined for each observation area separately at different periods of the year as an unweighted sum of the change of the acid-base equilibrium of the studied area (in terms of  $pH_i/pH_f$ ) and the relative indicator of salt contamination of the soil ( $C_{sal,i}/C_{sal,f}$ ), which was determined similarly to the rate of  $K_{s.c.}$  (formula (1)). The linear dependences of  $K_{a-s.c.}$  from salt contamination of the soil of the studied recreational areas ( $R^2$  is approaching 0.99) were obtained:

– in the autumn-winter period of the year:

$$K_{a-s.c.} = 1.0391 C_{sal,i} / C_{sal,f} + 0.9616; \quad (2)$$

– in the spring period of the year:

$$K_{a-s.c.} = 1.0136 C_{sal,i} / C_{sal,f} + 1.1399. \quad (3)$$

For the acid contamination, similar dependences also have a linear character, except for those areas where there is an increase in acidity both in the autumn-winter period of the year and in the spring period, after the snow melts. This, in our opinion, is caused by special conditions of location and specific types of anthropogenic activity near the studied territories. Thus, we conclude that there is a close interdependence of acid and salt contamination, especially in the spring.

The qualitative chemical analysis revealed the presence of HM ions in some soil and water samples, such as Zn, Cd, Pb (first hazard class) and Cu (second hazard class). The content of these ions increases significantly in the spring, which is due not only to emissions from vehicle engines, but also because of the rotary transshipment of snow on roadside soils, which

takes place in Kyiv.  $Hg^{2+}$  ions were not detected in the studied samples. In addition, no radiation contamination was found in any of the studied territories.

Environmental risk assessment usually includes such basic steps as: hazard identification; establishing the dependence "dose/concentration – response"; assessment of the impact (exposure) of chemical compounds on humans and risk characterization; comparison of the calculated risks with acceptable levels; ranking of risks according to the degree of significance; setting priorities, as well as those risks that need to be reduced to an environmentally friendly level or even prevent their occurrence [15]. In this case, depending on the purpose of risk assessment, the number of stages may vary; sometimes it is sufficient to conduct, for example, only a screening evaluation.

In the study, the non-carcinogenic health risk from the appearance of harmful substances (ingredients of MTC emissions) into the human body during rest was assessed using inhalation exposure [16–18]. To determine the risk to the health of the population resting in the studied areas, the monitoring data from the Borys Sreznevsky Central Geophysical Observatory on the ingredients of air pollution of the capital were analyzed. Within the studied recreational areas, averaged concentrations of pollutants were calculated – for Carbon monoxide, Nitrogen oxides in terms of  $NO_2$ , particulate matter PM up to  $10 \mu m$  in size. The computational experiment was used to predict the levels of exceeding the maximum permissible concentrations of pollutants in the investigated areas, as well as to establish environmentally friendly distances from the road at which the harmful effects of MTC pollution are almost absent.

Quantitative assessment of non-carcinogenic effects was carried out according to the method described in [19–21] by calculating the hazard factor  $HQ$  for a particular pollutant during its inhalation:

$$HQ = C(X) / RfC(X), \quad (4a)$$

$$HQ = AD / RfD, \quad (4b)$$

where  $C(X)$  is the average concentration of the substance,  $mg/m^3$ ;  $RfC(X)$  – its reference concentration,  $mg/m^3$ ;  $AD$  – average dose,  $mg/kg$ ;  $RfD$  – reference pollutant dose,  $mg/kg$ .

In the process of the risk assessing, it was considered that if the  $HQ$  does not exceed the value of 1, the probability of appearance of harmful effects for humans from exposure to the toxicant over a period of time is negligible. Otherwise, the probability of negative effects on human health increases in proportion to the value of  $HQ$  (Table 1). To assess the risks due to chronic exposure to harmful substances, we used the average annual concentrations of toxicants, as well as their upper 95 % confidence limits. When determining the risks of acute effects (up to 24 hours) we have used the maximum concentrations of pollutants [19–21].

Table 1.

Criteria for non-carcinogenic risk of toxicants [15]	
Risk characteristics	Risk factor $HQ$
The risk of negative effects is considered to be negligibly small	< 1
A limit value that does not require urgent action, but cannot be considered as enough acceptable one	1
The probability of developing negative effects increases in proportion to the increase in $HQ$ value	> 1

The peculiarity of this methodology of health risk assessment is that the emphasis is on the long-term exposure to relatively low concentrations of the pollutant, such as chronic exposure to the particular substance every day or in our case – during the rest-time. Exceeding the reference dose does not always lead to harmful effects on human health, but it is necessary to emphasize that the higher is the exposure to the pollutant and the more times it exceeds the reference dose, the greater is the likelihood of harmful effects for the humans and population in general.

The magnitude of the danger to human health is assessed using the dose-response relationship and the study of the full range of harmful effects [19–21]. Therefore, the result of exposure assessment based on reference doses and concentrations of pollutants are hazard factors for individual ingredients of the mixture, which is harmful to the human body,  $HQ_i$  (formulas (4a) and (4b)) and hazard indices  $HI$ , which are determined in the case of combined exposure to pollutants:

$$HI = \sum_i HQ_i \quad (5)$$

Analysis of the literature shows that most often (but not always) the combined effect of toxicants is manifested by the effect of summation, i.e. there is an additive harmful effects of pollutants on the human body [19]. Therefore, taking into account the summation effects, although can provide slightly higher values of danger to human health, but, according to the international experts, has certain advantages over assessing the impact of each pollutant individually.

The resulting stage of health risk assessment is to inform the public in general, public organizations, and local governments about the risk. In particular, in our study, when calculating the risk of non-carcinogenic effects in the population, it was found that for the two studied recreational areas of Kyiv city, the ecological risk was unacceptable for the population (under the previously mentioned conditions of exposure to

pollutants). This allowed to focus attention of the management on eliminating the drawbacks and providing environmentally friendly conditions for recreation of the urban population in these areas.

In a further study, the results of risk assessment were compared with the values of the developed complex indicator of technogenic load (CITL), which takes into account the type of human activity and recreation and was proposed by us to establish the level of environmental hazard of urban recreational areas. CITL was calculated on the basis of pre-established indicators of geochemical pollution of individual components of the environment – air, soil, natural and artificial water bodies, etc. by the following formula:

$$CITL = \sum_{i=1}^n k_i \cdot x_i, \quad (6)$$

where  $n$  is the total number of indicators included in the CITL;  $k_i$  – weighting coefficient for each of the studied indicators;  $x_i$  – the value of each of the contamination indicators that form the CITL.

Indicators of geochemical pollution of soils and water bodies were determined using express-analysis methods (conductometry, potentiometry, optical research methods, stalagmometry, densimetry and viscosimetry), as well as using the method of analytical determinations. Levels of geochemical pollution of atmospheric air and, as a consequence, areas located nearby roads were established by field observations of traffic flows and by modeling the dispersion fields of pollutants – the main ingredients of vehicle engine emissions. Using a computational experiment and the created fields of dispersion of toxicants in the surface air layer of the studied recreational areas (modeled under different meteorological conditions), the multiplicity of exceeding the maximum permissible concentrations was established and on this basis the conclusions about the level of their environmental hazards in the inhalation of the pollutants were made [22]. The results for risk and CITL calculation are presented in Table 2.

**The results of the assessment of the non-carcinogenic risk to the health of humans resting in the studied urban areas and data on CITL**

Objects of research	Object characteristics	CI TL *	Acceptability of the non-carcinogenic risk to human health
Recreational area near the lake (1)	The status of the lake – it is a landscape reserve of local significance	5	Extremely acceptable
Recreational area near the lake (2)	Located in the residential area; the lake was formed as a result of alluvium for the construction of a residential area	4	Extremely acceptable
Recreational area near the lakes (3)	Located in the residential area; located next to a loaded highway of international importance	6	Unacceptable for the population
Recreational area near the lake (4)	Located next to a loaded highway	5	Extremely acceptable
Recreational area near the lakes (5).	The area is polluted with household waste	4	Extremely acceptable
Recreational area near the lake (6).	It is located in a residential area, a park is planned to be built near the lake	4	Extremely acceptable
Recreational area near the lakes (7).	Located in a residential area, it is planned to build a fitness park near the lake	6	Extremely acceptable
The system of ponds (8).	Located in the residential area, the area is contaminated with household waste	6	Extremely acceptable
Pond (9).	Located in the suburbs, it is a place of rest for residents of the capital, the area is contaminated with household waste	5	Extremely acceptable
Recreational area near the lake in the park (10).	It is located in a residential area, a loaded highway passes nearby	6	Unacceptable for the population
Recreational areas on the banks of the Dnieper river (11).	The area is polluted with household waste	4	Extremely acceptable
Recreational areas on the Dnieper river seafront (12).	The area is clean enough, next to it a residential area is located.	4	Extremely acceptable
Park in the city center (13)	The area is located next to a loaded highway of international importance, near the residential area is located	5	Extremely acceptable
Park in the city center (14)	The area is located next to a loaded highway of international importance, near the residential area is located	5	Extremely acceptable
Recreational area in the park (15)	The area is located next to a loaded highway of international importance, near the residential area is located	5	Extremely acceptable
Mini-park (16).	The area is located next to a loaded highway of international importance and intersections in two levels, near it the residential area is located	4	Extremely acceptable

Note. \*without taking into account the pollution of water bodies and their use for swimming.

**Conclusions.** Thus, the analysis of the scientific literature, as well as our own experimental studies have led to the conclusion that in order to predict the level of environmental danger for the recreational areas located nearby roads, we need the accurate monitoring data on the content and emissions of major pollutants, knowledge of their chemical and physical properties, potential toxicological effects on human health, as well as data on the life time of toxicants in the environment, their possible transformations under the influence of various factors, the average time of development of these processes, etc.

It was found that important information can be taken from the study of motor transport emissions from traffic flows along the studied areas. As for recreational areas outside the city, located near the loaded traffic

"arteries", these observations in Ukraine are now almost unorganized. Therefore, all this requires additional research in the field of studying the impact of traffic flows on urban and suburban recreational areas, as well as in the field of risk assessment for the health of people who rest in these areas.

#### References:

1. Гичев Ю. П. Здоровье человека как индикатор экологического риска промышленных регионов // Вестн. Рос. АМН. 1995. № 8. С. 52–54. [Gichev Yu. P. Zdorov'e cheloveka kak indikator ekologicheskogo riska industrial'nykh regionov // Vestn. Ros. AMN. 1995. № 8. S. 52–54.].
2. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у

повітря від транспортних засобів. Наказ Державного комітету статистики України № 452 від 13.11.2008. URL : [http://uazakon.com/documents/date\\_3a/pg\\_gmcywc/index.htm](http://uazakon.com/documents/date_3a/pg_gmcywc/index.htm). [Metodyka rozrakhunku vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn ta parnykovykh haziv u povitria vid transportnykh zasobiv. Nakaz Derzhavnoho komitetu statystyky Ukrainy # 452 vid 13.11.2008].

3. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. М. : Госкомитет РФ по охране окружающей среды, 1999. 15 с. [Metodyka opredeleniya vybrosov avtotransporta dlya provedeniya svodnykh raschetov zagryazneniya atmosfery gorodov. M. : Goskomitet RF po okhrane okruzhayushchey sredy, 1999. 15 s.].

4. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ передвижными источниками. Донецк : УкрНТЭК, 1999. 107 с. [Metodyka rascheta vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv peredvizhnyimi istochnikami. Donetsk : UkrNTEK, 1999. 107 s.].

5. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. СПб., 2010 15 с. ; Фирма "Интеграл"; от 20.10.16. URL: <http://forum.integral.ru/viewtopic.php?f=64&t=16815>. [Metodyka opredeleniya vybrosov avtotransporta dlya provedeniya svodnykh raschetov zagryazneniya atmosfery gorodov. SPb., 2010 15 s. ; Firma "Integral"; ot 20.10.16].

6. Борисов О. О., Кофанова О. В. Комплексний аналіз геохімічного стану придорожніх територій великого міста // Вісник Нац. техніч. ун-ту "ХПІ". Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях. X : НТУ "ХПІ". 2017. № 32 (1254). С. 91–97. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.32.15>.

[Borysov O. O., Kofanova O. V. Kompleksnyi analiz heokhimichnoho stanu prydorozhnykh terytorii velykoho mista // Visnyk Nats. tekhnich. un-tu "KhPI". Ser. : Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. Kh. : NTU "KhPI". 2017. # 32 (1254). S. 91–97].

7. Борисов О. О. Геоэкологична оцінка ризику кислотно-сольового забруднення приміських ділянок педосфери (на прикладі міста Києва) // Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. № 4(96). С. 41–48. [Borysov O. O. Heoekolohichna otsinka ryzyku kyslotno-solovoho zabrudnennia prymahistralnykh dilianok pedosfery (na prykladi mista Kyieva) // Tekhnika, enerhetyka, transport APK. 2016. # 4(96). S. 41–48.].

8. Борисов О. О., Кофанова О. В. Потенціометрія, кондуктометрія і рефрактометрія як методи експрес-контролю якості ґрунтів і поверхневих вод у зонах відпочинку людей. // Науковий вісник ТДАТУ. 2019. № 9 (1). URL : <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/231/215> <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2019-1-44>. [Borysov O. O., Kofanova O. V. Potentsiometriia, konduktometriia i refraktometriia yak metody ekspres-kontroliu yakosti gruntiv i poverkhnyvykh vod u zonakh vidpochynku liudei. // Naukovyi visnyk TDATU. 2019. # 9 (1)].

9. Борисов А. А. Опасность изменения кислотно-солевого баланса городских приавтомобильных почв. Электроэнергетика, гидроэнергетика, надежность и безопасность : Материалы Республиканской науч.-практ. конф., 24 груд. 2016 р. Душанбе : Промекспо, 2016. С. 290–293. [Borisov A. A. Opasnost' izmeneniya kyslotno-solevogo balansa gorodskikh priavtomagistral'nykh pochv. Elektroenergetika, gidroenergetika, nadezhnost' i bezopasnost' : Materialy Respublikanskoy nauch.-prakt. konf., 24 grud. 2016 r. Dushanbe : Promekspo, 2016. S. 290–293].

10. Иоффе Б. В. Рефрактометрические методы анализа в химии. Л.: Химия, 1983. 352 с. [Ioffe B. V. Refraktometricheskie metody analiza v khimii. L.: Khimiya, 1983. 352 s].

11. Стороженко И. П., Тиманюк В. А., Животова Е. Н. Методы рефрактометрии и поляриметрии. Х.: Изд-во НФаУ, 2012. 64 с. [Storozhenko I. P., Timanyuk V. A., Zhivotova E. N. Metody refraktometrii i polyarimetrii. Kh.: Izd-vo NFaU, 2012. 64 s].

12. Антипов, М. А., Голицын М. С. Подвижные формы тяжелых металлов в почвах и грунтах зоны аэрации // Геоэкологические исследования и охрана недр: обзор. М. : ООО "Геоинформцентр", 2002. 64 с. [Antipov, M. A., Golitsyn M. S. Podvizhnye formy tyazhelykh metallov v pochvakh i gruntakh zony aeratsii // Geoekologicheskie issledovaniya i okhrana neдр: obzor. M. : ООО "Geoinformtsentr", 2002. 64 s].

13. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 448 с. [Berlyand M. E. Sovremennye problemy atmosfernoу diffuzii i zagryazneniya atmosfery. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 448 s].

14. Холоднов В. А., Решетиловский В. П., Лебедева М. Ю., Боровинская Е. С. Системный анализ и принятие решений. Компьютерное моделирование и оптимизация объектов химической технологии в Mathcad и Excel: учеб. пособ. СПб:СПбГТИ (ТУ), 2007. 425 с. [Kholodnov V. A., Reshetilovskiy V. P., Lebedeva M. Yu., Borovinskaya E. S. Sistemnyy analiz i prinyatie resheniy. Komp'yuternoe modelirovanie i optimizatsiya ob"ektov khimicheskoy tekhnologii v Mathcad i Excel: ucheb. posob. SPb:SPbGTI (TU), 2007. 425 s].

15. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. МР 2.2.12-142-2007. Київ : МОЗ України, 2007. 40 с. [Otsinka ryzyku dlia zdorovia naseleennia vid zabrudnennia atmosfernoho povitria. MR 2.2.12-142-2007. Kyiv : MOZ Ukrainy, 2007. 40 s].

16. Осипова Н. А., Иванова Э. В., Василенко Д. В. Определение риска развития неканцерогенных эффектов для здоровья населения г. Томска от загрязнения атмосферы // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8711>. [Osipova N. A., Ivanova E. V., Vasilenko D. V. Opredelenie riska

rozvitiya nekantserogennykh effektov dlya zdorov'ya naseleniya g. Tomsk ot zagryazneniya atmosfery // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013. № 2].

17. Окружающая среда и здоровье: подходы к оценке риска; под ред. А. П. Щербо. СПб. : МАПО, 2002. 370 с. [Okruzhayushchaya sreda i zdorov'e: podkhody k otsenke riska; pod red. A. P. Shcherbo. SPb. : MAPO, 2002. 370 s].

18. Трифонова Т. А., Ширкин Л. А. Оценка и сравнительный анализ рисков для здоровья населения (на примере г. Владимир). Владимир: ВООО ВОИ ПУ "Рост", 2010. 80 с. [Trifonova T. A., Shirkin L. A. Otsenka i sravnitel'nyy analiz riskov dlya zdorov'ya naseleniya (na primere g. Vladimir). Vladimir: VOOO VOI PU "Rost", 2010. 80 s].

19. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 184 від 13.04.2007 р. Про затвердження методичних рекомендацій "Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря". URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0184282-07#Text>. [Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy # 184 vid 13.04.2007 r. Pro zatverdzhennia metodychnykh rekomendatsii "Otsinka ryzyku dlia zdorovia naselennia vid zabrudnennia atmosferneho povitria"].

20. Руководство Р 2.1.10.1920-04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при

воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду; утв. гл. гос. санитарным врачом РФ Г. Г. Онищенко від 05.03.2004. [Rukovodstvo R 2.1.10.1920-04 Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu; utv. gl. gos. sanitarnym vrachom RF G. G. Onishchenko vid 05.03.2004].

21. Онищенко Г. Г., Новиков С. М., Рахманин Ю. А. и др. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду; под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. М., 2002. 408 с. [Onishchenko G. G., Novikov S. M., Rakhmanin Yu. A. i dr. Osnovy otsenki riska dlya zdorov'ya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veshchestv, zagryaznyayushchikh okruzhayushchuyu sredu; pod red. Yu. A. Rakhmanina, G. G. Onishchenko. M., 2002. 408 s].

22. Кофанова Е. В., Борисов А. А., Евтеева Л. И. Рассеивание вредных веществ в природоохранном пространстве вблизи водных объектов г. Киева // Горная механика и машиностроение. 2018. № 2. С. 31–38. [Kofanova E. V., Borisov A. A., Evteeva L. I. Rasseivanie vrednykh veshchestv v pridorozhnom vozdushnom prostranstve vblizi vodnykh ob"ektov g. Kiev // Gornaya mekhanika i mashinostroenie. 2018. № 2. S. 31–38].

УДК 621.35

**Rutkovska K.S.**

*PhD student,*

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*

**Tulskyi H.H.**

*doctor of technical sciences, professor, head of the department of technical electrochemistry,*

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*

**Bairachniy V.B.**

*PhD, associate professor of chemical engineering and industrial ecology,*

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*

**Homozov V.P.**

*PhD, associate professor of the department technical electrochemistry,*

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*

## TITLE SELECTION OF THE CATALYTIC COATING OF A GAS DIFFUSION CATHODE FOR ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF NACLO

**Рутковская Екатерина Сергеевна**

*аспирант,*

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

**Тульский Геннадий Георгиевич**

*доктор технических наук, профессор, зав. каф. технической электрохимии,*

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

**Байрачный Владимир Борисович**

*кандидат технических наук, доцент кафедры химической техники и промышленной экологии*

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

**Гомозов Валерий Павлович**

*кандидат технических наук, доцент кафедры технической электрохимии,*

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

## ВЫБОР КАТАЛИТИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ГАЗОДИФФУЗИОННОГО КАТОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА NaClO

**Summary.** To increase the concentration of aqueous solutions of sodium hypochlorite obtained by the diaphragmless electrolysis of sodium chloride solutions, a gas diffusion cathode with a catalytically active coating was developed. The following materials were studied as a catalytically active coating material: manganese oxides, cobalt oxides, ruthenium oxides. A study of the kinetics of combined cathodic processes in the electrochemical synthesis of sodium hypochlorite showed that metal oxide coatings inhibit the process of cathodic reduction of hypochlorite ion. Catalytic activity increases in the series  $MnO_2 > Co_2O_3 > RuO_2$ . The intensification of the process of molecular oxygen reduction in an aqueous NaCl solution is achieved through the use of a gas diffusion cathode. The study of the influence of the gas diffusion regime on the kinetics of cathodic processes made it possible to substantiate the ranges of potentials and current densities in the electrochemical synthesis of NaClO. Due to the use of the developed gas diffusion cathode, it was possible to achieve a concentration of NaClO of 28...30 g/dm<sup>3</sup> with diaphragm-free electrolysis of sodium chloride solutions.

**Аннотация.** Для увеличения концентрации водных растворов гипохлорита натрия, полученного при бездиафрагменном электролизе растворов хлорида натрия, разработан газодиффузионный катод с каталитически активным покрытием. В качестве материала каталитически активного покрытия были исследованы: оксиды марганца, оксиды кобальта, оксиды рутения. Исследование кинетики совмещенных катодных процессов в электрохимическом синтезе гипохлорита натрия показало, что оксидометаллические покрытия тормозят процесс катодного восстановления гипохлорит-иона. Каталитическая активность возрастает в ряду  $MnO_2 > Co_2O_3 > RuO_2$ . Интенсификация процесса восстановления молекулярного кислорода в водном растворе NaCl достигается за счет применения газодиффузионного катода. Исследование влияния газодиффузионного режима на кинетику катодных процессов позволило обосновать диапазоны потенциалов и плотностей тока в электрохимическом синтезе NaClO. За счет использования разработанного газодиффузионного катода удалось достигнуть концентрации NaClO более 30 г/дм<sup>3</sup> при бездиафрагменном электролизе растворов хлорида натрия.

**Key words:** oxygen reduction, gas diffusion electrode, electrosynthesis, cathode depolarization, sodium hypochlorite, current-voltage dependence

**Ключевые слова:** восстановление кислорода, газодиффузионный электрод, электросинтез, деполяризация катодного процесса, гипохлорит натрия, вольт-амперная зависимость

**Введение.** В связи с ростом числа заболеваний, связанных с вирусным или бактериальным заражением, большое внимание уделяется производству дезинфицирующего раствора гипохлорита натрия в локальных установках, непосредственно на месте применения таких растворов. Локальные установки электрохимического синтеза гипохлорита натрия работают, в основном, по бездиафрагменной схеме. Максимально возможное содержание гипохлорита натрия, полученного в таких установках, составляет 10...14 г·дм<sup>-3</sup>. Дальнейший рост концентрации гипохлорита натрия лимитируется катодным восстановлением гипохлорит-ионов. Одним из путей усовершенствования существующих методов электрохимического синтеза водных растворов NaClO является разработка электродных материалов, обладающих высокой электрокаталитической активностью и стабильностью [1–4].

Так же, важной задачей являются снижение удельного расхода электроэнергии, повышение селективности электродных процессов, стабильность показателей электролиза. Наиболее перспективным способом интенсификации электрохимического синтеза водных растворов NaClO является использование деполяризации катодного процесса. А именно – применение кислородной (воздушной) деполяризации при использовании пористых газодиффузионных электродов [2–5]. Таким образом, появляется

возможность синтезировать водные растворы гипохлорита натрия с более высокими концентрациями. А снижение потенциала катода приведет к снижению напряжения электролиза в целом.

Поэтому использование газодиффузионного катода при бездиафрагменном электролизе водного раствора NaCl является перспективным направлением совершенствования бездиафрагменного синтеза гипохлорита натрия [3].

**Постановка задачи.** Для установления возможности применения газодиффузионного катода в электрохимическом синтезе водных растворов гипохлоритов необходимо обосновать состав газодиффузионного катода, исследовать влияние газодиффузионного режима на кинетику катодных процессов, определить диапазоны потенциалов и плотности тока протекания совмещенных катодных реакций.

Для интенсификации электрохимического синтеза водных растворов гипохлоритов необходимо подобрать и определить оптимальный состав активных покрытий газодиффузионных электродов, обеспечивающих максимальное снижение потенциала электрода, его высокую электропроводность и износостойкость. В качестве перспективных каталитических покрытий газодиффузионного электрода были выбраны: оксиды марганца, оксиды кобальта, оксиды рутения [5–9].

**Методика.** Для исследования кинетики электродных процессов использовали графитовый газодиффузионный электрод. В качестве пористого токоподвода для проведения исследований использовали пористый графит ПГ-50 с закрепленной с фронтальной стороны сеткой полотняного плетения из 08X18Н10Т. Графит ПГ-50 обладает высокой химической стойкостью в широком диапазоне концентраций, пористость составляет 50 %, что позволяет использовать его в качестве основы газодиффузионного электрода. Катодный процесс протекал в гетерофазной среде на поверхности сетки полотняного плетения из 08X18Н10Т. Поверхность сетки активировалась каталитическими в кислородной реакции материалами: оксиды марганца, оксиды кобальта, оксиды рутения. Нанесение оксидных материалов осуществляли термическим разложением соответствующих покровных растворов.

Подача кислорода была организована от воздушного компрессора с тыльной стороны

графитового электрода с возможностью управления подаваемого объемом воздуха.

Нанесение каталитически активного слоя оксиднометаллических покрытий осуществлялось методом термического разложения покровных растворов. Для улучшения адгезии композиционного покрытия стальную основу подвергали электрохимическому обезжириванию в растворе (г·дм<sup>-3</sup>): NaOH – 30, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – 30, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 30. Плотность тока 5 А·дм<sup>-2</sup>, температура 303 К, время обработки 3 минуты. Травление оксидных пленок с поверхности стальных образцов проводили химически в растворе (г·дм<sup>-3</sup>): HNO<sub>3</sub> – 100, KF – 50. Время обработки 15 минут [2].

На сухую подготовленную поверхность образца, с помощью кисти, наносился покровный раствор так, чтобы количество покровного раствора не приводило к образованию капель и наплывов. Составы растворов представлены в таблице.

Таблица 1

**Состав растворов для нанесения активного оксиднометаллического покрытия**

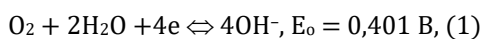
Покровное покрытие	Компоненты раствора	Содержание компонентов, (г·дм <sup>-3</sup> )
RuO <sub>2</sub>	Ru(OH)Cl <sub>3</sub>	150
	HCl	36
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	3
MnO <sub>2</sub>	Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	300
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	3
Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	300

После нанесения покровного раствора образцы помещались в сушильный шкаф и сушились до полного удаления влаги при температуре 313...323 К. Затем, образцы помещались в муфельную печь и подвергались термической обработке при температуре 593...673 К.

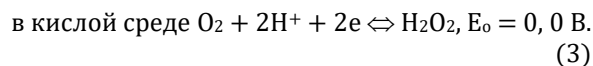
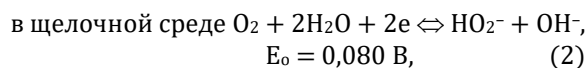
Предварительная сушка покровного раствора позволяет избежать растрескивания покрытия при нагревании образца в муфельной печи выше температуры вскипания покровного раствора. После охлаждения цикл обработки повторяли 3 раза.

Вольт-амперные зависимости получали с помощью импульсного потенциостата МТех РGP-550М. Скорость развертки потенциала от 10 до 100 мВ/с. Катод – газодиффузионный, анод – платиновый. Электрод сравнения – хлорсеребряный. Все значения потенциалов пересчитаны относительно водородного электрода.

**Результаты.** В водных растворах гипохлоритов, до достижения потенциалов водородной реакции, реализуется восстановление молекулярного кислорода по следующим реакциям [4–5]:

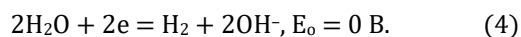


или через промежуточное образование пероксида водорода:



Исследования методом меченых атомов [4–5] показали, что механизмы (2) и (3) являются энергетически более предпочтительными. Реализация механизма (1) невозможна из-за необходимости одновременного переноса четырех электронов за один электрохимический акт.

Выделение водорода на катоде описывается следующей реакцией:



При анализе полученных циклических вольт-амперных зависимостей необходимо учитывать значение равновесных потенциалов каждого из приведенных процессов для определения диапазонов потенциалов и плотностей тока протекания данных процессов.

Исследование восстановления кислорода на сетке полотняного плетения из 08X18Н10Т позволили определить диапазоны потенциалов и плотностей тока, на которых протекают: только восстановление кислорода, восстановление кислорода и выделение водорода, и преимущественное выделение водорода. На первых двух диапазонах катодные процессы протекают с

низкой скоростью. Так, для диапазона восстановления кислорода плотность тока достигает  $3 \text{ mA/cm}^2$ . На участке совмещенного восстановления кислорода и выделения водорода плотность тока достигает  $8 \text{ mA/cm}^2$  [3]. Такие незначительные значения плотности тока требуют поиска новых материалов, которые позволят повысить скорость катодного процесса. Поэтому, для интенсификации электрохимического восстановления молекулярного кислорода были

подобраны электродные материалы с низким перенапряжением кислородной и, одновременно, с высоким перенапряжением водородной реакции, а именно: оксиды марганца, оксиды кобальта, оксиды рутения.

Результаты обработки вольт-амперных циклических зависимостей на нанесенных оксидно-металлических покрытиях катодов в  $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaCl}$  без подачи воздуха и с подачей воздуха представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

**Вольт-амперные зависимости в  $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaCl}$  без подачи воздуха и с подачей воздуха при скорости развертки –  $100 \text{ мВ/с}$**

E, В	j, $\text{mA/cm}^2$							
	Сетка из 08X18H10T		Оксиды марганца		Оксиды кобальта		Оксиды рутения	
	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.
0	0,25	0,07	2,45	2,29	1,67	0,99	1,41	0,97
-0,1	0,52	0,29	4,57	4,31	3,22	3,33	2,29	1,96
-0,3	1,41	0,92	8,53	8,43	6,47	7,08	4,11	3,93
-0,5	2,71	2,85	12,81	13,27	10,35	11,39	6,15	6,03
-1	5,76	6,51	24,98	26,82	22,33	24,21	14,07	13,91

Исходя изданных табл. 2, для всех исследуемых материалов наблюдаются определенные участки восстановления кислорода и совместного восстановления кислорода и выделения водорода. Первый участок восстановления кислорода наблюдается до равновесных потенциалов водородной реакции (приблизительно  $-0,42$ ). Скорость восстановления кислорода небольшая и составляет  $3 \dots 5 \text{ mA/cm}^2$ . На втором участке (при потенциалах более отрицательных, чем равновесный водородной реакции) наблюдается значительный рост скорости катодной реакции за счет выделения водорода. Кислород, при этом, восстанавливается на предельной плотности тока. На третьем участке (более  $-1,5 \text{ В}$ ) скорость катодного процесса

практически полностью определяется скоростью выделения водорода.

В случае реализации газодиффузионного режима ход зависимостей значительно не изменился. Отсутствие значительного влияния объясняется большой скоростью развертки потенциала ( $100 \text{ мВ/с}$ ), при которой электролит не успевал обеднеть по растворенному кислороду. Для определения влияния концентрации кислорода, растворенного в электролите, были получены вольт-амперные зависимости со скоростью развертки потенциала  $10 \text{ мВ/с}$ . Вольт-амперные зависимости катодного процесса на полученных оксидометаллических покрытиях представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Вольт-амперные зависимости в  $3 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaCl}$  без подачи воздуха и с подачей воздуха при скорости развертки –  $10 \text{ мВ/с}$**

E, В	j, $\text{mA/cm}^2$							
	Сетка из 08X18H10T		Оксиды марганца		Оксиды кобальта		Оксиды рутения	
	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.
0	0,27	0,19	0,94	0,31	0,46	0,07	0,58	0,44
-0,1	0,59	0,53	1,85	1,21	0,99	0,87	0,91	0,88
-0,3	1,51	1,55	3,46	3,08	2,29	2,32	1,73	1,93
-0,5	2,71	2,88	5,11	5,05	4,03	4,16	2,75	3,14
-1	6,39	7,12	10,35	10,44	9,65	10,09	5,98	6,77

В условиях обеднения электролита растворенным кислородом значение плотности тока в исследуемом диапазоне потенциалов значительно изменились (табл. 3). Реализация газодиффузионного режима работы пористого катода повлияла лишь на третьем участке вольт-амперной зависимости – преимущественное выделение водорода. Катодный ток на этом участке был значительно снижен. Рассчитанные парциальные вольт-амперные зависимости показали, что выход по току водорода на этом

участке значительно уменьшается, а восстановление кислорода, соответственно, растет.

Следующей стадией исследований стало определение влияния на скорость совмещенных реакций катодного процесса при добавлении в хлоридный раствор гипохлорита натрия в количестве  $0,08 \text{ моль/дм}^3$  (табл. 4).

Добавление гипохлорит-иона практически не влияет на плотность тока на первом и втором участках вольт-амперных зависимостей. Наблюдается снижение катодной плотности тока при потенциалах, более негативных от



равновесного потенциала водородной реакции. Это указывает на определенное торможение процесса выделения водорода.

Таблица 4

**Вольт-амперные зависимости в 0,08 моль/дм<sup>3</sup> NaClO без подачи воздуха и с подачей воздуха.  
Скорость развертки – 10 мВ/с**

E, В	<i>j</i> , мА/см <sup>2</sup>							
	Сетка из 08X18H10T		Оксиды марганца		Оксиды кобальта		Оксиды рутения	
	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.	б. воз.	воз.
0	0,41	0,44	1,52	1,13	1,52	2,01	0,62	0,67
-0,1	0,55	0,60	2,34	1,76	2,42	3,45	0,90	0,93
-0,3	0,94	1,07	4,46	3,26	4,56	5,91	1,80	1,56
-0,5	1,71	1,85	6,57	4,85	7,01	7,98	3,39	2,54
-1	5,39	4,80	13,49	10,57	14,21	14,62	8,94	6,19

На третьем участке плотность тока тоже уменьшается (табл. 4). Это значит, что гипохлорит-ионы в количестве 0,08 моль/дм<sup>3</sup> не принимают участие в катодном восстановлении. При использовании плоских электродов в этих диапазонах потенциалов уже происходит катодное восстановление гипохлорит-ионов с ВТ 10...15 %.

Это указывает на положительный результат применения газодиффузионного режима работы катода в электрохимическом синтезе гипохлорита натрия.

Влияние подачи воздуха в газодиффузионный катод наблюдается при сравнении обратного хода циклических вольтамперных зависимостей табл. 5.

Таблица 5

**Обратный ход вольт-амперных зависимостей в 3 моль/дм<sup>3</sup> NaCl при *j*=0 мА/см<sup>2</sup>**

Скорость развертки	Сетка из 08X18H10T		Оксиды марганца		Оксиды кобальта		Оксиды рутения	
	Без возд.	Возд.	Без возд.	Возд.	Без возд.	Возд.	Без возд.	Возд.
10	-0,74	-0,58	-0,58	-0,42	-0,75	-0,68	-0,75	-0,48
100	-0,94	-0,94	-0,55	-0,53	-0,74	-0,73	-0,82	-0,69

На поверхности стальной сетки наблюдается рост тока обратного хода в диапазоне потенциалов -1,0 до 0 В (табл. 5). Что указывает на увеличение адсорбированных частиц, участвующих в катодном процессе. Как было показано ранее, этот диапазон потенциалов соответствует 1-й и 2-й участкам полученных зависимостей (табл. 2-4), на которых происходят преимущественное восстановления кислорода. Поэтому, рост тока обратного хода, при потенциалах позитивнее -1,0 В, можно объяснить влиянием адсорбции кислорода на поверхности газопроницаемых сетчатых стальных катодов при подаче воздуха. Для катодов с покрытием оксидами металлов эффект от подачи воздуха наиболее проявлен на Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>. На RuO<sub>2</sub> подача воздуха не привела к увеличению тока обратного хода.

Анализ обратного хода вольт-амперных зависимостей указывает на снижение адсорбции водорода при потенциалах обратного хода до -1 В, что указывает на увеличение выхода по току совмещенной реакции восстановления кислорода.

Таким образом, все три оксидометаллических покрытия показали возможность увеличения плотности тока на всех исследовательских участках вольт-амперной зависимости при работе газодиффузионного катода. В порядке возрастания катодной плотности тока их можно расположить в следующий ряд: оксиды рутения, оксиды кобальта, оксиды марганца.

Полученные циклические зависимости позволили определить диапазоны потенциалов и плотностей токов для различных режимов работы

газодиффузионного электрода. Результаты указывают на расширение диапазона потенциалов, в котором восстановления кислорода протекает с высоким выходом по току.

Проведенные вольт-амперные исследования позволили установить технологические показатели электрохимического синтеза водного раствора NaClO, полученного бездиафрагменным электролизом водного раствора 3 моль/дм<sup>3</sup> NaCl с деполаризацией катодного процесса кислородом воздуха. Так, при *j* = 0,2 А/см<sup>2</sup>, Т = 290 К был синтезирован водный раствор NaClO с концентрацией более 30 г/дм<sup>3</sup>. Полученная концентрация гипохлорита натрия представляет коммерческий интерес и может быть реализована в локальных установках синтеза водных растворов NaClO.

**Выводы.** Исследование кинетики совмещенных катодных процессов на газодиффузионном электроде в водном растворе 3 моль/дм<sup>3</sup> NaCl позволило установить диапазоны электродного потенциала, плотность тока протекания реакции восстановления кислорода, совмещенного восстановления кислорода и преимущественно выделения водорода.

Обоснованно состав активных покрытий газодиффузионных электродов, обеспечивающих максимальное снижение потенциала электрода, его высокую электропроводность и износостойкость. По показателям тока обмена катодного процесса в 3 моль/дм<sup>3</sup> NaCl каталитически активные покрытия расположились в следующий ряд

$\text{MnO}_2 > \text{Co}_2\text{O}_3 > \text{RuO}_2$ . Для сетчатых катодов с покрытием оксидами металлов эффект от подачи воздуха наиболее проявленный на  $\text{Co}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ . На  $\text{RuO}_2$  подача воздуха не привела к увеличению тока обратного хода. В растворе гипохлорита натрия наибольший предельный ток в реакции восстановления кислорода выявлен на оксидах кобальта. Это указывает, что наибольшую каталитическую активность имеют сетчатые электроды с каталитически активным покрытием  $\text{Co}_2\text{O}_3$ .

Рекомендованной плотностью тока, для исследуемой конструкции газодиффузионного катода составляет  $15 \text{ mA/cm}^2$  при температуре 291...293 К. Катодное восстановление гипохлорит-ионов, при этих условиях, снижается на 55...60 %.

#### Список использованной литературы

1. Kim H.J. Effects of a low concentration hypochlorous acid nasal irrigation solution on bacteria, fungi, and virus / H.J. Kim, J.G. Lee, J.W. Kang, H.J. Cho // *Laryngoscope*. – 2008. – Vol.118. – P. 1862–1867.
2. Гиренко Д. В. Синтез низкоконцентрированных растворов гипохлорита натрия в электролизерах без разделения межэлектродного пространства / Д. В. Гиренко, А. Б. Величенко // *Вопр. химии и хим. технологии*. – 2018. – № 4. С 82–91.
3. Гиренко Д.В. Электролиз низкоконцентрированных растворов хлорида натрия в электролизере с неразделенным электродным пространством. Влияние концентрации  $\text{NaCl}$  / Д.В. Гиренко, А.А. Пилецкая, А.Б. Величенко // *Вопр. химии и хим. технологии*. – 2013. – № 3. – С. 199–204.
4. Тарасевич М.Р. Неплатиновые катодные катализаторы для топливных элементов со щелочным электролитом (обзор) / М.Р.Тарасевич, Е.С. Давыдова // *Электрохимия*. – 2016. – Том 52, №3.– С. 1–30. DOI: 10.7868/S0424857016030117.
5. Тарасевич М.Р. Оптимизация газодиффузионного катода для щелочного электролита / М.Р. Тарасевич, Б.В. Клейменов, П.В. Мазин, Л.Н. Кузнецова // *Электрохимическая энергетика*. – 2008. – Т. 8, № 3.– С.174–179.
6. Тульская А.Г. Композиционные газодиффузионные аноды для реализации сульфатнокислотного способа получения водорода / Б.И. Байрачный, А.Г. Тульская, В.Б. Байрачный // *Журнал прикладной химии*. – 2013. – Т. 86. – Вып. 11. – С. 1780–1785.
7. Nefedov V.G. Analysis of the conditions of the formation of gas bubble nuclei in the course of water electrolysis / V.G. Nefedov, A.G. Atapin // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2019, No. 4, pp. 120–126.
8. Нефедов В.Г. Оценка факторов, влияющих на аномалии электропроводности тонких слоев жидкости у поверхности воздух-электролит / В.Г. Нефедов, Д.В. Бондарь // *Вопр. химии и хим. технологии*. – 2007. – № 4. – С 121–126.
9. Штефан В.В. Вольтамперометрия осаждения сплаву  $\text{CO-MO}$  / В.В. Штефан, А.С. Єпіфанова, О.В. Кобзєв, М.М. Метеньканич // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія*. Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. –№ 39 (1315).– С. 80–83. doi: 10.20998/2079-0821.2018.39.16.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Igor B. Krasnyuk, Andrey E. Zabolotin

Donetsk Institute for Physics and Engineering of NASU,  
72, R. Luxemburg Str., 83114, Donetsk, Ukraine,  
Institute of Marine Geology and Geophysics of RAS,  
1 Nauki Str., 693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

## OSCILLATIONS IN HYPOTHALAMIC-PITUITARY-ADRENAL AXIS

**Abstract.** A structured model of the HPA axis that includes the glucocorticoid receptor (GR) is considered. The model includes nonlinear dynamics of pituitary GR synthesis. The nonlinear effect arises from the fact that GR homodimerizes after cortisol activation and induces its own synthesis in the pituitary. This homodimerization makes possible two stable steady states (low and high) and one unstable state. The model includes also delay on stress. It is shown that concurrence between trajectories of dynamical system, which are produced by the unstable manifold and the value of delay time  $\tau$  produce slow oscillating asymptotic periodic oscillations of cortisol with a period, which is greater than  $2\tau$ . It is shown that such oscillations exist only in an interval  $\tau_1 < \tau < \tau_2$ , where exact formulas for  $\tau_1$  and  $\tau_2$  has been obtained. Such oscillation arise when an initial values of stress are larger of some threshold.

**Keywords:** hypothalamic-pituitary-adrenal axes • asymptotic periodic oscillations • negative feedback • difference-differential delay equations • normal state.

### Introduction

We consider *HPA* dynamics which includes stored *CRH*, circuiting *CRH* and *ACTH*, cortisol and glucocorticoid receptor that plays a role of 'dispatcher' that drives by distributions of hormones in the system. Our model incorporate a self-upregulation of *CRH* release, a negative and positive feedback effect on cortisol in *CRH* synthesis and a delay in *ACTH*-activated on cortisol synthesis [12]. Remind that hypothalamic-pituitary-adrenal (*HPA*) axis is a neuroendocrine system that regulates hormones. The regulation is mediated by the inhibition of peptide hormones such as corticotropin-releasing hormone (*CRH*) and adrenocorticotropic hormone (*ACTH*) by circulating glucocorticoids such as cortisol (*CORT*).

Notice that in this paper, we have not begun with local linear stability theory, because as noted by our experience suggests that, while as cited in [14]: 'Many experimentalists have excellent intuition about rates of change at their fingertips, the abstraction of eigenvalues presents a road block'. Our model includes three equilibria states for *HPA* system, one of which is unstable and another two are stable. We developed a dynamical model of *HPA* axis to describe interactions between key hormones and the glucocorticoid receptor (*GR*). Notice that well known mediate feedback activity of cortisol. For example, in [8] it has been considered a model when in *HPA* system arise two attracting limit cycles over which cortisol and that *ACTH* oscillate with an ultradian (hourly) rhythms. For our model, there are two oscillating states, one with lower cortisol level is associated with the normal state. Within this model, stress-induced secretion of *CRH* can trigger transition between normal and diseased states, respectively. Such simple attractor of the dynamical system of hyperbolic that contains two attractive fixed points and one repelling fixed point of codimension 1 (saddle type

point) forms slow oscillating asymptotic periodic oscillations of cortisol in the *HPA* axis.

In the present paper, we follow to [11] and discuss *HPA* axis model of [12] that capture the basic feedback mechanism and includes an intracellular glucocorticoid receptor *GR* as one of the four state variables of the dynamical system, where variables [*CRH*], [*ACTH*], [*GR*] and [*COR*] define concentrations. Here, [*GR*] is bounded to cortisol. The resulting complex *COR*-*GR* determines general behavior of solutions of the model. It turns out that  $GR := \Phi(COR)$ , where  $\Phi$  is a given nonlinear function (see, [11], Fig.1) which plays the main role in the quantitative behavior of limit distributions of cortisol in a physiological system.

We define  $[GR] := u$  and assume that: (1)  $\Phi(I) \subset I$  for each  $u \in I$ , where  $I$  is an open bounded interval. Then from (1) it follows that all solutions of the problem are bounded for all  $t > 0$ . The phase diagram [11] shows that a state variable [*GR*] is a cubic type function of the concentration [*COR*]  $:= u$  of cortisol. Hence, for a certain stress region, the system exhibits two stable steady states and one unstable steady state.

It will be shown that a corresponding dynamical system in  $R^3$  (3D - dimensional space) can be reduced to the planar system with two delay equations:

$$\dot{x}(t) = y(t) - \rho_1 x(t), \quad (1)$$

$$\dot{y}(t) = -f(x(t-1)) - \rho_2 y(t), \quad (2)$$

where  $\rho_1$  and  $\rho_2$  are given parameters. A function  $f$  is determined from a graphics of a function  $\Phi: I \rightarrow I$ , which is determined from phase diagram of 'pitchfork' type that follows from computer experiments in [10].

Thus, *HPA* mathematical model can be reduced to the study of solutions for system (58,59). Equivalently, the planar system can be reduced to an

autonomous second order differential-difference delay equation:

$$\ddot{x} + (\rho_1 + \rho_2)\dot{x}(t) + \rho_1\rho_2x(t) = -f(x(t-1)), \quad \tau := 1 \quad (3)$$

that explains oscillating behavior for solutions of delay differential difference equations. It is known that the delay system has a nonconstant periodic solutions with a period grater then 2 [9].

Below, using these mathematical results, we found that (for the *HPA* axis) there are slow oscillating asymptotically periodic solutions, which describe distributions of cortisol. It will be found a role of delay in the *HPA* problem. It turns out that oscillating solutions are stable if and only if

$$\tau_1 < \tau < \tau_2, \quad (4)$$

where delay  $\tau_1$  and  $\tau_2$  are estimated exactly and ones depend on given parameters of the physiological problem. It will be found exact analytical formulas for  $\tau_1$  and  $\tau_2$ , depending on parameters.

### Postulation of problem

The *HPA* axis has three components which represent the hypothalamus, pituitary and adrenal. The equation for the hypothalamus is:

$$\frac{dC}{dT} = \frac{K_c+F}{1+\frac{O}{K_n}} - K_{cd}C \quad (5)$$

where  $-K_{cd}C$  describes a constant degradation rate of *CRH*. Following [12] we assume that  $\frac{O}{K_n} \ll 1$ . Then from (5) we arrive et

$$\frac{dC}{dT} = (K_c + F) \left(1 + \frac{O}{K_n}\right) - K_{cd}C. \quad (6)$$

(Here, all undetermined constants can be found in [12]). Next, from (6) it follows that if  $C = \frac{K_c+F}{K_{cd}}$ , then we can put  $\frac{dC}{dT} \equiv 0$  with accuracy  $O(\epsilon)$ , where  $\epsilon = \frac{O}{K_n}$ .

We write for the hypothalamus [12]

$$\dot{c} = \frac{1+f}{1+\frac{o}{k_1}} - k_{cd}c, \quad (7)$$

for the pituitary

$$\dot{a} = \frac{c}{1+\frac{o}{k_2}} - k_{ad}a, \quad (8)$$

Equation (8) models the degradation rate of *ACTH* and *ACTH* production terms with a cortisol inhibition factor,

$$\dot{r} = \frac{(or)^2}{k+(or)^2} + k_{cr} - k_{rd}r \quad (9)$$

For the adrenal we have

$$\dot{o} = -o + a(t - \tau) \quad (10)$$

with delay response  $\tau$ .

If in (8) we put  $c := a$  (for unification with [5]) and consider only equilibrium  $c' = 0$ , then we obtain the well-known model [5]

$$\dot{a} = \frac{A}{1+p_2o(t)r(t)} - p_3a(t), \quad (11)$$

$$\dot{r}(t) = \frac{p_4}{p_4+(o(t)r(t))^2} + 1 + p_5 - p_6r(t), \quad (12)$$

$$\dot{o}(t) = -o(t) + a(t - \tau). \quad (13)$$

as a particular case of the model [12] to the model [5]. Thus, we have a projection of trajectories of the dynamical system from  $R^4$  into  $R^3$ . The assumption  $c'=0$  determines only  $c$ - null-cline that describes a curve

$$\frac{1+f}{1+\frac{o}{k_1}} - k_{cd}c = 0 \quad (14)$$

The projection on  $R^3$  require that must be at least  $\frac{o}{k_1} \ll 1$ . We neglect this small term in the first approximation.

Remind [12] that stress to the *HPA* axis ( $f$ ) stimulates the hypothalamus to secrete *CRH*( $c$ ). Further, *CRH*( $c$ ) signals the induction of *ACTH* synthesis ( $a$ ) in the pituitary. Thus, our assumption means that a velocity of stimulation of *ACTH* signals is constant, i.e.  $c = \frac{1+f}{k_{cd}}$ . Mathematically, it means that the function  $\mu = or$  can be considered as a parameter (et lest asymptotically). Effect of changing of parameters on  $c$  - null-cline has been considered by Kim et. al. [8].

### 3 Determination of fixed points for the HPA problem

It is known that these equations have three positive steady states (there is also negative state which is not used). These steady states arise beacons of homodimerization of the *GR* with cortisol. From ([12], Fig.1) it follows that  $o = f_1(p_6)$  and  $r = f_2(p_6)$ , where another parameters are fixed. Here,  $f_1$  and  $f_2$  are multivalued functions.

$$\frac{dC}{dT} = (K_c + F) \left(1 + \frac{O}{K_n}\right) - K_{cd}C. \quad (15)$$

Next, from (6) it follows that if  $C = \frac{K_c+F}{K_{cd}}$ , then we can put  $\frac{dC}{dT} = 0$  with accuracy  $O(\epsilon)$ , where  $\epsilon = \frac{O}{K_n}$ .

As a result, we can consider the following approximation [5]:

$$\dot{a}(t) = \frac{A}{1+p_2o(t)r(t)} - p_3a(t), \quad (16)$$

$$\dot{r}(t) = -\frac{p_4}{p_4+(o(t)r(t))^2} + 1 + p_5 - p_6r(t), \quad (17)$$

$$\dot{o}(t) = -o(t) + a(t - \tau). \quad (18)$$

The main role hear plays equation (17), which describes the production of *GR* in the pituitary. The term  $-\frac{p_4}{p_4+(o(t)r(t))^2} + 1$  is in Michaelis-Menten form (see, [12] beacons we assumed that the bound

glucocorticoid receptor ( $or$ ) in the dimensionless form dimerizes with fast kinetics, so that the amount of dimer is in constant quasi-equilibrium and ones depends on the excess of  $or$ . The model also assumes that cortisol ( $o$ ) and the glucocorticoid receptor ( $r$ ) bind to each other with very fast kinetics, which is compared to the rate of change of the 4 state variables ( $A$ ,  $C$ ,  $O$ , and  $R$ ), so that OR stays in quasi-equilibrium as well. These are reasonable assumptions, given that high affinity receptor-ligand kinetics are often much faster than enzyme kinetics, as is assumed in the Michaelis-Menten equation (see, [12]). Equation (17) models a linear production term  $K_c r$  and a degradation term  $K_{rd} R$  for pituitary  $GR$  production. Below, in the dimensional form for the model, these coefficients are defined as 1 and  $p_6$ , respectively.

#### 4 Remark 1

Notice that ( $c$ ) represents the level of circuiting  $CRH$ , ( $a$ ) defines the level of circuiting  $ACTH$ , ( $r$ ) describes the level of glucocorticoid receptor in the pituitary, and ( $o$ ) is the level of circuiting cortisol. In equations for ( $a$ ) and ( $r$ ), the cortisol - receptor complex ( $or$ ) is assumed to form and dissociate under fast dynamics [8]. Below mathematically it will be proved that it is indeed true beacons there are so-called slow oscillating distributions of cortisol [8]. It has been shown that this level can be approximated as 'steady state' by the production ( $or$ ).

Indeed, let us define  $\mu = or$ . Then the origin problem in  $R^3$  can be unfolds as the system in  $R^3$ , so that

$$\dot{a} = \frac{A}{1+p_2\mu} - p_3 a, \quad (19)$$

$$\dot{r} = -\frac{p_4}{p_4+\mu^2} + 1 + p_5 - p_6 r, \quad (20)$$

$$\dot{o}(t) = -o + a, \quad (21)$$

$$\dot{\mu} = \dot{o}r + \dot{r}o. \quad (22)$$

where, in (21),  $a := a(t)$  or  $a := a(t-\tau)$ .

From these equations it follows that fixed points lie on the curves

$$a = \frac{1}{p_3} \left( \frac{A}{1+p_2\mu} \right), \quad (23)$$

$$r = \frac{1}{p_6} \left( -\frac{p_4}{p_4+\mu^2} + 1 + p_5 \right). \quad (24)$$

Since fixed points lie on diagonal  $o = a$ , multiplying these relations and substituting  $o = a$ , and putting at a fixed point  $\dot{\mu} = 0$ , we obtain that  $\mu$  is a solution of 4 order algebraic equation. Indeed,

$$or = \mu = \frac{1}{p_6 p_3} \left( \frac{A}{1+p_2\mu} \right) \left( -\frac{p_4}{p_4+\mu^2} + 1 + p_5 \right). \quad (25)$$

Let  $v = \frac{A}{p_6 p_3}$ . Then from (25) we arrive at  $p_4 \mu^4 + \mu^3 + (p_2 p_4 - (1 + p_5)) \mu^2 + p_4 \mu - v p_5 p_4 = 0$ .  
(26)

From Descartes' rule it follows that this equation has 3 or 1 positive roots and 1 negative root which can not be considered. Descartes' rule means that the

number of positive roots of the polynomial is either equal to the number of sign differences between coefficients, or is less than it by an even number. From this property it follows that if we assume that

$$p_2 p_4 < 1 + p_5, \quad (27)$$

then (26) has 3 positive roots  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$ . Then from (23), (29) we can find three fixed point of the problem.

Thus, there are on the hyperplane  $\dot{\mu} = 0$  in  $R^4$  - space that is included in  $R^4$  - space, where  $\mu$  can be considered as a parameter. Since the basis in  $R^4$  is not a family of independent vectors, we can use this observation to find conditions when trajectories of the dynamical system in  $R^4$  are attractive by trajectories in  $R^3$ . If this is true, then the function  $\mu(t)$  in  $R^4$  is a constant function in  $R^3$ . A condition when it is possible can be easy found. Indeed, let  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$  be eigenvalues of the problem. It means that

$$a' = \lambda_1 a, \quad \dot{r} = \lambda_2 r, \quad \dot{o} = \lambda_3 o, \quad \dot{\mu} = \lambda_4 \mu. \quad (28)$$

From these equations it follows that

$$\dot{\mu} = \lambda_4 \mu = \dot{o}r = (\lambda_2 + \lambda_3) \lambda. \quad (29)$$

It follows that if  $\lambda_2 + \lambda_3 < 0$ , then  $\dot{\mu} \rightarrow 0$  as  $t \rightarrow +\infty$ . It means that  $\mu$  can be considered as a parameter in asymptotic sense.

#### 5 Geometric method of determination of fixed points of the problem

Now we assume that there is a component  $o = o^*$  of a fixed point in  $R^3$ . Then from equation (20) for cortisol we see that  $\dot{r} = 0$  if  $G(r, o) \equiv 0$ , where find from (17) the ( $o, r$ ) - nullcline structure that is determined as a curve  $r := r(o)$  such that  $G(r(o), o) \equiv 0$  for each admissible  $o$  from some interval (corresponding numerical simulation is in ([8], Fig.4)). To make it, we assume that there is a component of fixed

$$G(r, o) := -p_6 o^2 r^3 + (1 + p_5) o^2 r^2 - p_4 p_6 r + p_4 p_5 = 0, \quad (30)$$

where  $o$  can be considered as a parameter. Thus, there is (multi-valued) curve  $r := r(o)$  such that  $G(r(o), o) = 0$  for each positive fixed  $o$ . This curve has been found by numerical simulation in ([8], Fig.4)). The curve has  $S$  form as graphic of a cubic polynomial.

#### 6 Applications of the singularity theory for the HPA problem

If we find from (30) the curve  $S = r(o)$ , then on this curve  $\dot{r} = 0$  that follows from the second equation of the  $HPA$  problem for the function  $r(t)$ . Results of computer experiments can

be found in [8]. On this curve, which has  $S$  - form (that leads to bistability), the function  $r(t)$  is constant.

The behaviour of the  $RG$  receptor can be analyzed by the singularity theory [13]. The graphic  $r := r(o)$  is multi-valued, and ones form  $S$  - form curve as shown, for example, in ([10], Fig. 3). From [13] it follows that there is irreversibility if

$$G = G_r = G_{rr} = 0, \quad G_{rrr} \neq 0. \quad (31)$$

From equation  $G(r, o) = 0$  it follows that there are one or three fixed points for each fixed positive  $a$ . From equation  $G_{rr} = 0$ , i.e.,

$$-3p_6o^2r + (1 + p_5)o^2 = 0, G_{rrr} \neq 0 \quad (32)$$

it follows that we have here the vertical inflection point value  $r = \frac{1+p_5}{3p_6}$ , which is independent on  $o$  as a parameter. Ignition and extinction points in the  $(r - o)$  locus (see, [10]) are determined by the solutions  $G = G_r = 0$  with  $G_{rr} = 0$ .

They satisfy to the quadratic equation

$$-(1 + p_5)o^2r^2 + 2p_4p_5r - 3p_4p_5 = 0. \quad (33)$$

that leads to the values

$$r_{1,2} = \frac{-p_4p_5 \pm \sqrt{(p_4p_5)^2 - 3(1+p_5)p_4p_5}}{-(1+p_5)}. \quad (34)$$

In the case of bistability, these points separate three fixed states (one unstable saddle point is between two stable states). From here we see that the inequality

$$(p_4p_5)^2 \geq 3(1 + p_5)p_4p_5 \quad (35)$$

must be satisfied (it is necessary condition) for the bistability to exist.

Notice that according to Descartes' rule of signs the number of the positive roots of a polynomial is equal to the number of sign changes in the coefficients or less than the sign changes by a multiple of 2. Hence polynomial (30) has one or three positive roots. These roots lie on the curve  $r(o)$ . Intersection of this curve with the line  $o = a$  (which follows from (18)) we obtain that  $\mu = ar(a)$ . Here,  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3)$ . Using (52), we find fixed points of the problem, which are  $p_k = (a^k, a^k, r^k = r(a^k))$ ,  $k = 1, 2, 3$ .

Notice also that according interpretation in ([12], Fig. 3) it has been obtained the variations of steady state for  $GR$  and cortisol  $r$ , respectively, with  $a$  as the parameter. There are three intervals  $I_1, I_3$  and  $I_2$ . If  $a \in I_1 \cup I_3$ , then there are two attractive fixed points. If  $a \in I_2$ , we obtain a repelling fixed point.

### 7 2D nonlinear dynamics

Let us consider the system of equations

$$\dot{o}(t) = -o(t) + a(t - \tau), \quad (36)$$

$$\dot{a}(t) = -f[o(t) - p_3a(t)]. \quad (37)$$

Then

$$\dot{a}(t - \tau) = -f[o(t - \tau) - p_3a(t - \tau)]. \quad (38)$$

Define  $a(t - \tau) = y(t)$ . Then from (60) it follows that

$$\dot{y}(t - \tau) = -f[o(t - \tau) - p_3y(t)]. \quad (39)$$

In (58) we define (for unification with [9])  $o(t) = x(t)$ . Then (58), (61) can be written as

$$\dot{x}(t) = y(t) - x(t), \quad (40)$$

$$y'(t - \tau) = -f[o(t - \tau)] - p_3y(t), \quad (41)$$

$$y'(t) = y(t) - x(t). \quad (42)$$

Consequently, the first equation can be written as

$$\dot{y}(t) = \frac{A}{1 + p_2o(t)r(o(t))} - p_3y(t). \quad (43)$$

Notice that on each plane  $y'(t) \equiv 0$  the following functional relation  $r(t) \equiv \Phi(o(t))$  is satisfied, where  $\Phi$  is known irreversible function. Remind that a function  $\Phi$  represents the glucocorticoid receptor ( $GR$ ) that is included in the  $HPA$  axis (see, [12], Fig.3(a)) that includes the glucocorticoid. The nonlinear effect arises when  $GR$  homodimerizes (after cortisol activation) and induces its own synthesis in the pituitary. The form of graphics  $\Phi(o)$  plays the main role in the qualitative study of solutions. The graphic has  $S$  form that allows to find three fixed points. Two of these fixed points are attracting, but one of the points  $o_*$  must be repelling in  $R^1$ .

Indeed, below it will be shown that if  $o_*$  is attracting, then there in reality four fixed point (see prev stable solutions. So that there are no of oscillating solutions. If a unique

fixed point  $o_*$  is repelling then this point plays role of separator. Behaviour of a solution depends on an amplitude of initial data which is given on interval  $[-\tau, 0)$ . Let  $h(t)$  be an initial function on  $[-\tau, 0)$ . Then if  $0 < h(t) < o_*$ , a solution tends to a constant solution  $o(t) \rightarrow o_1 < o_3$  as  $t \rightarrow +\infty$ . If  $h(t) > o_*$  on interval  $[-\tau, 0)$  then  $o(t) \rightarrow o_1 < o_3$  as  $t \rightarrow +\infty$ . As a result, existence both of delay and repelling fixed point leads to the possibility of oscillating solutions of the problem if the initial data on  $[-\tau, 0)$  are large enough.

### 8 Planar case on RG null-isocline

Now, we return to the mathematical aspects of the problem. As shown above, there is i.e., to the equation (43). Define

$$-f(t) = \frac{A}{1 + p_2or(o)}, \quad (44)$$

where  $r(o)$  is defined by  $RG$  form of the  $RG$  curve. Then equation (43) can be rewrite as

$$\dot{y}(t) = -f(o) - p_3y(t). \quad (45)$$

Next, an important observation is that both equations (43) and (60) are equivalent to the system of equations

$$\dot{x}(t) = y(t) - p_1x(t), \quad (46)$$

$$\dot{y}(t) = -f(x(t - \tau)) - p_2y(t). \quad (47)$$

where for (46) we put  $\rho_1 = 1, \rho_2 = p_3, \tau = 1$ . Then from [9] it follows that system (46), (50) has a monotonic periodic solution with a period greater than 2 and, respectively,  $2\tau$  for the origin physiological problem.

Here, the following conditions must be satisfied: (i)  $a$  and  $b$  are positive constant, (ii)  $u f(u) > 0$  for all  $u$

$\neq 0$ , (iii) there is a positive constant  $\chi$  such that  $f(u) \geq -\chi$  for all  $u$ ,

$$\dot{f}(0) > \frac{(p_1+p_2)\gamma}{\sin \gamma}, \quad (48)$$

where  $\gamma$  satisfies  $0 < \gamma < \pi$ , and

$$\coth \gamma = \frac{1}{\gamma}(\gamma - p_1 p_2)(p_1 + p_2). \quad (49)$$

Remind that, for the physiological problem,  $\rho_1 = 1$  and  $\rho_2 = p_3$ . Hence, the condition (i) is satisfied. Next, the inequality (60) becomes

$$\dot{f}(0) > \frac{(1+p_3)\gamma}{\sin \gamma}, \quad (50)$$

Notice that in [9] there is only a unique fixed point 0. In our situation, there are three fixed points ( $o_1, o_2, o_3$ ), where  $o_1$  and  $o_3$  must be attractive fixed points, and

$o_2 = o^*$  be a repelling fixed point. So that inequality (62) becomes

$$\dot{f}(o_*) > \frac{(p_1+p_2)\gamma}{\sin \gamma}, \quad (51)$$

Further, the point  $o_*$  must be repelling. For example, in the limit  $\gamma \rightarrow 0$  we obtain  $\dot{f}(o_*) > 1 + p_3$  and, hence, the condition of the local unstability is satisfied. Since,  $p_3 \geq 0$ , this fixed point must be repelling at least for small  $\delta$ . In conclusion, the condition (iii) is the condition of local instability as it will be shown below.

## 9 Analyses

Define  $\alpha = \rho_1 + \rho_2, \beta = \rho_1 \rho_2, v = \dot{f}(0)$ . Then the characteristic equation is

$$\lambda^2 + \alpha\lambda + \beta + v e^{-\lambda} = 0, \quad (52)$$

where we assume that  $\tau = 1$ . If  $\tau \neq 1$  then the problem is reduced to the characteristic equation:

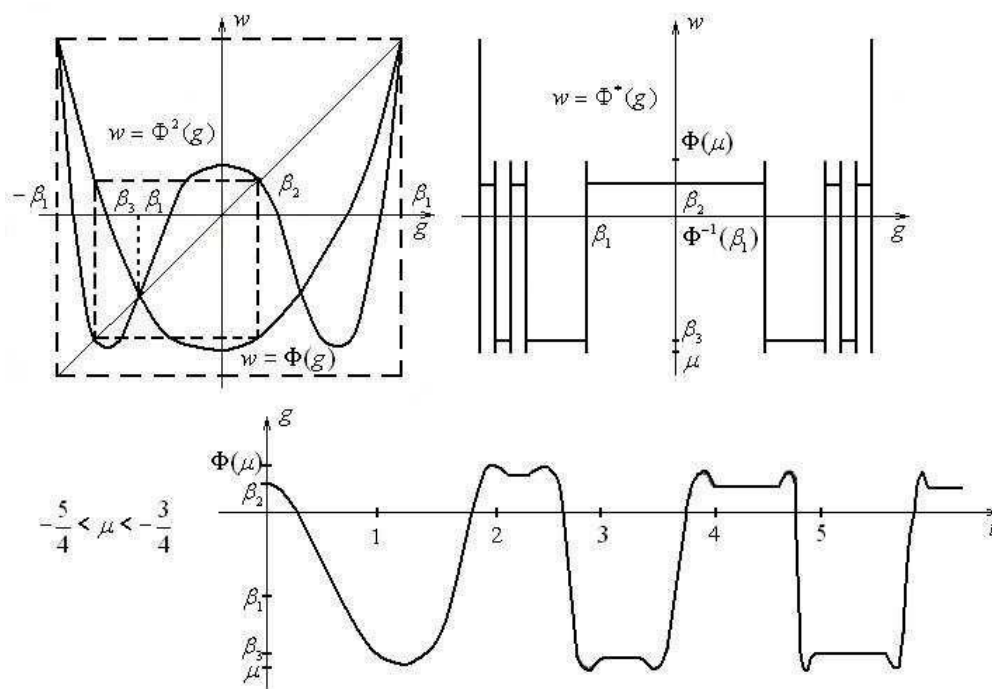


Figure 1: Slow oscillating distributions of cortisol.

$$z^2 + \alpha\tau z + \beta\tau^2 + v\tau^2 e^{-z} = 0, \quad (53)$$

where  $z = \lambda\tau, v \rightarrow v\tau^2, \alpha \rightarrow \alpha\tau$ , and  $\beta \rightarrow \beta\tau^2$ , and we assume that  $\tau \neq 0$ .

Further, we use results from ([9], Lemma 1). If  $\alpha, \beta, v$  be positive, and if  $\alpha^2 \geq 2\beta$ , then the following three conditions are equivalent: (1) Equation (52) has at least one solution.

The characteristic equation has precisely one solution  $\lambda$  with  $\Re \lambda > 0$  and  $\Im \lambda < \pi$ .

The following inequality is true

$$v > \frac{\alpha v_1}{\sin v_1}, \quad (54)$$

where  $0 < v_1 < \pi$  and

$$\coth v_1 = \frac{1}{\alpha} \left( v_1 - \frac{\beta}{v_1} \right), \quad (55)$$

Notice that there are many details about behaviour of trajectories of the dynamical system. We formulate this behaviour as distributions of concentrations of hormones  $a$  and  $o$  on the  $(o - a)$ -plane, where  $o$  is the distribution of cortisol. For example, there is an estimation

$$\dot{f}(0) > \frac{p_1 p_2}{e^{\min(p_1, p_2) - 1}}, \quad (56)$$

where  $0 \rightarrow o^*$  and  $\rho_1 = 1, \rho_2 = p_3$ , so that

$$\dot{f}(o_*) > \frac{p_3}{e^{\min(1, p_3) - 1}}, \quad (57)$$

Then a component  $o(t)$  has properties as follows:

(1) Zeroes for a graphic  $o(t)$  form an infinite series  $t_k, k = 1, 2, \dots$ , with  $o(t_k) = 0, t_{k+1}-t_k > 1$  and  $o'(t_{2k-1}) < 0, o'(t_{2k}) > 0$ , and  $o'(t_{2k-1}) < 0, o'(t_{2k}) > 0$ , and  $a(t_{2k-1}) < 0, a(t_{2k}) > 0$ , and  $a(t_{2k-1} + 1) < 0, a(t_{2k} + 1) > 0$ ;

(2) A function  $e^{\alpha t} o(t)$  is monotonic increasing on an interval  $(t_{2k}, t_{2k} + 1)$  and monotonic decreasing on  $(t_{2k-1}, t_{2k-1} + 1)$ , where  $\alpha = 1 + p_3$  (see, Fig. 1)

**10 A necessary and sufficient condition for existence of slow periodic solutions**

If  $\tau \neq 1$ , then we obtain the characteristic equation

$$z^2 + \alpha\tau z + \beta\tau^2 + \nu\tau^2\epsilon^{-z} = 0, \quad (58)$$

where  $z = \lambda\tau$ . Define  $\hat{\alpha} = \alpha\tau, \hat{\beta} = \beta\tau^2$  and  $\hat{\nu} = \nu\tau^2$ . Next, we must verify the assumption  $\hat{\alpha}^2 > \hat{\beta}^2$  from ([9], Lemma 1). Evidently that this assumption is satisfied for each  $\tau \neq 0$ .

Further, we assume that

$$\pi^2 + \frac{\hat{\alpha}^2}{4} - \hat{\beta}^2 > 0. \quad (59)$$

From (59) it follows the necessary condition on delay

$$\tau < \frac{2\pi}{\sqrt{4\beta - \alpha^2}}. \quad (60)$$

From (60) we obtain that must be  $2\beta < \alpha^2 < 4\beta$  that leads to the natural condition  $p_3 > 1$ .

The condition (59) allows to apply Lemma 1 from [9]. It means that characteristic equation (58) has precisely one solution  $z$  with  $\Re z > 0$  and  $0 < \Im z < \pi$ . Here,  $\hat{\nu}$  must be such that

$$\hat{\nu} > \frac{\hat{\alpha}\hat{\nu}_1}{\sin \hat{\nu}_1}, \quad (61)$$

where  $0 < \hat{\nu}_1 < \pi$ , and

$$\coth \hat{\nu}_1 = \frac{1}{\alpha} \left( \hat{\nu}_1 - \frac{\beta}{\hat{\nu}_1} \right), \quad (62)$$

(see, [9], conditions (2),(3) from Lemma 1). From (62) it follows that

$$\nu\tau^2 > \frac{\alpha\nu_1\tau^3}{\sin \nu_1\tau^2}. \quad (63)$$

In the limit  $\tau \rightarrow 0$ , from (63) it follows that

$$\tau > \frac{\alpha}{\nu} + O(\tau^2). \quad (64)$$

Remind that  $\nu = f(o^*)$ , where  $o^*$  is repelling fixed point of  $f$ . Together with (62) it gives

$$\frac{1+p_3}{f(o^*)} < \tau < \frac{2\pi}{\sqrt{4\beta - \alpha^2}}. \quad (65)$$

Inequality (65) gives necessary and sufficient conditions for existence of slow periodic solutions for the *HPA* problem in *2D* approximation.

**11 Conclusion**

In this paper, it has been considered physiological and mathematical mechanisms of formation of ultradian oscillations in the *HPA* axis. It is shown that here the main role plays the nonlinear connection between cortisol *COR* and the glucocorticoid receptor *GR* that forms a homodimer [3]. A coception of transcriptional regulation is that the *GR* feedback control works rather slowly compare to other cellular processes.

The corresponding differential-difference equations with delay argument have slow oscillating periodic solutions. The delay has been included because, for example, mammalian cells one can expect at least a delay of the down regulation in the range of 15 minute up to 2 hours (see,[14, 11]. It is proved that at least mathematically) this hypothesis has been confirmed as slow oscillating  $2\tau$  (or larger) periodic distributions of cortisol (Fig.1). Here we follows to a mechanistic *ODE* system model of the glucocorticoid feedback mechanisms within the anterior pituitary gland cell, adding to this model the delay  $\tau$ .

It is shown that important factor is the consequence between extracellular events such as changes in the *CRH* and cortisol induced inhibitory effect on anterior pituitary gland cells, which already occur after a few seconds [4, 1]. As a result, the slow oscillating periodic solutions of the mathematical mode explains qualitatively a phenomenon that can not be explained means of the genomic feedback mechanism [11]. An exact interval  $\tau_1 < \tau < \tau_2$  for existence of slow oscillating periodic distributions for cortisol it has been found.

**References**

[1] Losel R., Wehling M.: Nongenomic actions of steroid hormones, Nat. Rev. Mol. Cell. Biol., 4, 46â, 56, 2003.

[2] Alberts B., Johnson A., Lewis J., Ra M., Roberts K., Walter P., Molecular Biology of the Cell: Reference Edition: Garland, Science, 2007.

[3] Drouin J., Sun Y.L., Tremblay S., Lavender P., Schmidt T. J., de Lean A., Nemer M., Homodimer formation is rate-limiting for high a nity DNA binding by glucocorticoid receptor. Molecular Endocrinology, 6, 1299 1309,1992.

[4] Norman A.W., Mizwicki M.T., Norman D.P.: Steroid-hormone rapid actions membrane receptors and a conformational ensemble model. Nat. Rev. Drug. Discov., 3,27-41,2004.

[5] Rankin J., Walker J., Windle R., Lightman S.L., Terry J.R., Characterizing Dynamic Interactions between Ultradian Glucocorticoid Rhythmicity and Acute Stress Using the Phase Response Curve, PLoS. ONE. 7,2, 30978. doi:10.1371/journal.pone.0030978.

[6] S. Gupta, E. Aslakson, B. M. Gurbaxani and S. D. Vernon, Inclusion of the glucocorticoid receptor in a hypothalamic pituitary adrenal axis model reveals bistability, Theoretical Biology and Medical Modelling, 4,8,2007.

[7] K. Sriram, M. Rodriguez-Fernandez, F. J. Doyle, III 1, Modeling Cortisol Dynamics in the Neuro-endocrine Axis Distinguishes Normal, Depression, and



Post-traumatic Stress Disorder (PTSD) in Humans, PLoS. Comput. Biol. 2012 8,2,2012, 1002379. Published online 2012 Feb 16. doi: 10.1371/journal.pcbi.1002379

[8] L. U. Kim, M. R. Orsogna, and T. Chou, Perturbating the Hypothalamic Pituitary Adrenal Axis: the Hypotalamic- Pituitary-Adrenal Axis: A mathematical model for interpratating *PTSD* tests, Computer Psychiatria, 2018, 28-49.

[9] U. an der Heiden, Periodic Solutions of a Nonlinear Second Order Differential Equation with Delay, Journal of mathematical analysis and applications, 70, 599-609, 1979.

[10] S. Jelic, Z. Cupic, L. Kolar-Anic, Mathematical modeling of the hypothalamic "pituitary" adrenal system activity, Mathematical Biosciences, 197,173-197, 2005.

[11] C.A Zarzer, M.G Puchinger, G. Kohler and P. Kugler, Differentiation between genomic and non-genomic feedback controls yields an HPA axis model featuring Hypercortisolism as an irreversible bistable switch, Theoretical Biology and Medical Modelling, 10,65,2013.

[12] Gupta S., Aslakson E., Gurbaxani B.M., Vernon S.D., Inclusion of the glucocorticoid receptor in a hypothalamic pituitary adrenal axis model reveals bistability, Theoretical Biology and Medical Modelling, 4,8, 2007.

[13] P. Gray, S.K. Scott, Chemical Oscillations and Instabilities-non-linear Chemical Kinetics, Clarendon, Oxford, 1990.

[14] Computational Endocrinology, Editors: Duncan J. MacGeror, Gareth Leng, Masterclass in Neuroendocrino;oly, Series, Wiley Bleckwell, 2016.

#9(63), 2020 часть 4  
Восточно Европейский научный журнал  
(Москва, Россия)  
Журнал зарегистрирован и издается в России  
В журнале публикуются статьи по всем  
научным направлениям.  
Журнал издается на русском, английском,  
польском и немецком языках.

Статьи принимаются до 30 числа каждого  
месяца.

Периодичность: 12 номеров в год.

Формат - А4, цветная печать

Все статьи рецензируются

Каждый автор получает одну бесплатную  
печатную копию журнала

Бесплатный доступ к электронной версии  
журнала.

Редакционная коллегия

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)

#9(63), 2020 part 4  
Eastern European Scientific Journal  
(Moscow, Russia)  
The journal is registered and published in Russia  
The journal publishes articles on all scientific areas.  
The journal is published in Russian, English,  
Polish and German.

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 Dzedzic (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 экземпляров.  
Отпечатано в ООО «Логика+»  
125040, г. Москва, Россия  
проспект Ленинградский, дом 1,  
помещение 8Н, КОМ. 1  
«Восточно Европейский Научный Журнал»  
Электронная почта: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska  
im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Peter Clarkwood(University College London)**  
**Igor Dzedzic (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 by Logika + LLC  
125040, Moscow, Russia  
Leningradsky prospect, building 1,  
8N, flat. 1  
"East European Scientific Journal"  
Email: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com),  
<https://eesa-journal.com/>