

**АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**INTERNATIONAL JOURNAL
OF APPLIED AND
FUNDAMENTAL RESEARCH**

Журнал основан в 2007 году
The journal is based in 2007
ISSN 1996-3955

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,580

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ = 0,286

№ 2 2021

Научный журнал
Scientific journal

Журнал International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований) зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС 77-60735.

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – ПИ140

Электронная версия размещается на сайте www.rae.ru

The electronic version takes places on a site www.rae.ru

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

к.м.н. Н.Ю. Стукова

Ответственный секретарь

к.м.н. М.Н. Бизенкова

EDITOR

Natalia Stukova

Senior Director and Publisher

Maria Bizenkova

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.б.н., проф. Абдуллаев А. (Душанбе); к.б.н. Алиева К.Г. (Махачкала); д.х.н., к.ф.-м.н., проф. Алоев В.З. (Чегем-2); д.б.н., проф. Андреева А.В. (Уфа); к.географ.н., доцент Аничкина Н.В. (Липецк); к.ф.-м.н. Барановский Н.В. (Томск); д.б.н., доцент Белых О.А. (Иркутск); д.т.н., проф. Бурмистрова О.Н. (Ухта); д.т.н., доцент Быстров В.А. (Новокузнецк); д.м.н., проф. Гарбуз И.Ф. (Тирасполь); д.ф.-м.н., проф. Геворкян Э.А. (Москва); д.х.н., проф. Гурбанов Г.Р. (Баку); д.ветеринар.н., доцент Ермолина С.А. (Киров); к.т.н. Есенаманова М.С. (Атырау); к.ф.-м.н., д.п.н., проф. Ефремова Н.Ф. (Ростов-на-Дону); д.м.н. Жураковский И.П. (Новосибирск); д.т.н., доцент Ибраев И.К. (Темиртау); к.т.н., доцент Исмаилов З.И. (Баку); д.б.н., с.н.с. Кавцевич Н.Н. (Североморск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.б.н. Кокорева И.И. (Алматы); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); к.б.н., доцент Коротченко И.С. (Красноярск); к.с.-х.н., доцент Кряжева В.Л. (Нижний Новгород); д.ф.-м.н., доцент Кульков В.Г. (Волжский); д.б.н. Ларионов М.В. (Балашов); д.б.н., к.с.-х.н., доцент Леонтьев Д.Ф. (Иркутск); д.географ.н., к.б.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., с.н.с. Мельников А.И. (Иркутск); д.т.н., проф. Несветаев Г.В. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н. Никитин С.Н. (п. Тимирязевский); д.фарм.н., доцент Олешко О.А. (Пермь); д.с.-х.н., с.н.с., проф. Партоев К. (Душанбе); к.п.н., доцент Попова И.Н. (Москва); д.т.н., проф. Рогачев А.Ф. (Волгоград); д.м.н., с.н.с., доцент Розыходжаева Г.А. (Ташкент); д.г.-м.н. Сакиев К.С. (Бишкек); д.т.н., проф. Сугак Е.В. (Красноярск); д.ветеринар.н., проф. Трефилов Б.Б. (Санкт-Петербург); д.м.н., проф. Чарышкин А.Л. (Ульяновск); д.географ.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.б.н., проф. Шалпыков К.Т. (Бишкек); к.х.н. Шарифуллина Л.Р. (Москва); д.п.н., проф. Щирин Д.В. (Санкт-Петербург)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖУРНАЛ ПРИКЛАДНЫХ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED
AND FUNDAMENTAL RESEARCH

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals directory» в целях информирования мировой научной общественности.

Журнал представлен в ведущих библиотеках страны и является рецензируемым.

Журнал представлен в НАУЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКЕ (НЭБ) –
головном исполнителе проекта по созданию Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и имеет импакт-фактор Российского индекса научного цитирования (ИФ РИНЦ).

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,580.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,286.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО НИЦ «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 410056, г. Саратов, ул. им. Чапаева В.И., д. 56

ISSN 1996-3955

Тел. редакции – 8-(499)-704-13-41

Факс (845-2)-47-76-77

E-mail: edition@rae.ru

Зав. редакцией Т.В. Шнуровозова

Техническое редактирование и верстка Л.М. Байгузова

Корректор Е.С. Галенкина, Н.А. Дудкина

Подписано в печать – 27.02.2021

Дата выхода номера – 29.03.2021

Формат 60х90 1/8

Типография

ООО НИЦ «Академия Естествознания»

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, д. 5

Распространение по свободной цене

Усл. печ. л. 9,38

Тираж 500 экз.

Заказ МЖПиФИ 2021/2

© ООО НИЦ «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ЧИСЛОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ КАРОТИНСОДЕРЖАЩИХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ РАСТЕНИЙ	
<i>Колдаев В.М.</i>	5
ВЛИЯНИЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА CLONEX И VITROCLON ROOTING COMPLEX НА УКОРЕНЕНИЕ И КАЛЛЮСООБРАЗОВАНИЕ ЧЕРЕНКОВ <i>PICEA PUNGENS 'GLAUCA'</i>	
<i>Нурманбетова А.Т., Ахматов М.К.</i>	11
ОСОБЕННОСТИ МОЗГОВОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ ЗАДАЧИ	
<i>Чуб И.С., Борейко А.П., Кунавин М.А., Черкасова А.С., Преминина О.С.</i>	16
РЕСУРСНАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА (<i>ROSA CANINA</i> L.) В ОРЕХОВО-ПЛОДОВЫХ ЛЕСАХ ЮГА КЫРГЫЗСТАНА	
<i>Шалпыков К.Т., Рогова Н.А., Долотбаков А.К., Султангазиев О.Э., Тагаев Б. А.</i>	21

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЦИФРОВИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА И ЛОГИСТИКИ НА ТРАНСПОРТЕ В ХАНТЫ-МАНСКИЙСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ – ЮГРА	
<i>Горгоц К.Г., Горгоц О.В.</i>	28
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ	
<i>Еланцев В.В.</i>	32

ОБЗОРЫ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АВТОБУСОВ В ГОРОДСКОМ ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ	
<i>Шатманов О.Т., Исманов Ю.Х., Айдаралиев Ж.К., Исакова Ж.А.</i>	42

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ГИПОТЕЗА БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ В АСПЕКТЕ ВЛИЯНИЯ ГРАВИТАЦИИ НА СКОРОСТЬ СВЕТА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ МАЙКЕЛЬСОНА – МОРИИ И САНЬЯКА	
<i>Ромм Я.Е.</i>	49
О ДВИЖЕНИИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ОТСУТСТВИИ ВЫДЕЛЕННОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ	
<i>Сенницкий В.Л.</i>	67

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТАТЬИ

ИННОВАЦИОННАЯ КАВИТАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАПИТКОВ ИЗ ДИКОРЫСОВ	
<i>Ефанов М.В.</i>	72

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

ARTICLES

NUMERICAL INDICATORS OF ABSORPTION SPECTRA OF CAROTENE-CONTAINING EXTRACTS FROM PLANTS	
<i>Koldaev V.M.</i>	5
INFLUENCE OF GROWTH STIMULATORS CLONEX AND VITROCLON ROOTING COMPLEX ON ROOTING AND CALL FORMATION OF CUTTINGS <i>PICEA PUNGENS</i> 'GLAUCA'	
<i>Nurmanbetova A.T., Akhmatov M.K.</i>	11
FEATURES OF CEREBRAL HEMODYNAMICS IN STUDENTS IN THE PROCESS OF PERFORMING A COGNITIVE TASK	
<i>Chub I.S., Boreyko A.P., Kunavin M.A., Cherkasova A.S., Preminina O.S.</i>	16
RESOURCE ASSESSMENT OF ROSEHIP FRUIT STOCKS (<i>ROSA CANINA</i> L.) IN THE NUT AND FRUIT FORESTS OF SOUTHERN KYRGYZSTAN	
<i>Shalpykov K.T., Rogova N.A., Dolotbakov A.K., Sultangaziev O.E., Tagaev B.A.</i>	21

TECHNICAL SCIENCES

ARTICLES

THE ANALYSIS OF PROCESS OF DIGITALIZATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS ON TRANSPORT IN THE KHANTY-MANSI AUTONOMOUS DISTRICT YUGRA	
<i>Gorgots K.G., Gorgots O.V.</i>	28
TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT EFFICIENCY AND SAFETY OPERATION OF UNDERGROUND TUNNEL ESCALATORS. TECHNICAL STATE FORECASTING ALGORITHM	
<i>Elantsev V.V.</i>	32

REVIEWS

PROSPECTS FOR THE USE OF ELECTRIC BUSES IN URBAN PUBLIC TRANSPORT	
<i>Shatmanov O.T., Ismanov Yu.Kh., Aydaraliev Zh.K., Isakova Zh.A.</i>	42

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

ARTICLES

THE SHORT-RANGE HYPOTHESIS IN THE ASPECT OF GRAVITY INFLUENCE ON THE LIGHT SPEED IN MICHELSON – MORLEY AND SAGNAC EXPERIMENTS	
<i>Romm Ya.E.</i>	49
ON THE MOTION OF A VISCOUS LIQUID IN THE ABSENCE OF A PREDOMINANT DIRECTION IN SPACE	
<i>Sennitskiy V.L.</i>	67

CHEMICAL SCIENCES

ARTICLES

INNOVATION CAVITATION TECHNOLOGY OF OBTAINING FUNCTIONAL BEVERAGES FROM WILD PLANTS	
<i>Efanov M.V.</i>	72

СТАТЬИ

УДК 581.192.2:547.97:535.243.2

ЧИСЛОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПЕКТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ КАРОТИНСОДЕРЖАЩИХ ЭКСТРАКТОВ ИЗ РАСТЕНИЙ

Колдаев В.М.

*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, e-mail: info@biosoil.ru*

Целью работы являлись сравнительные исследования спектрофотометрических числовых показателей поглощающих свойств каротиноидов в экстрактах из растительного сырья. В исследованиях использовали абсорбционные спектры спиртовых экстрактов из желто-оранжевых лепестков цветков 16 видов растений, корнеплодов моркови и раствора лютеина. Определяли числовые показатели спектров (ЧПС) коэффициенты относительных экстинкций максимумов и интенсивностей поглощения, а также доли поглощения триады каротиноида в общем поглощении, используя площади между горизонтальной осью и контуром спектрограммы в пределах абсцисс точек перегиба. Показано, что примененные ЧПС имеют статистически значимые межвидовые различия, корреляционные взаимосвязи с содержанием каротиноидов в растительных экстрактах и более высокую валидность по сравнению с известными традиционными спектрофотометрическими характеристиками каротиноидов. Оценка растительных экстрактов по ЧПС поглощения каротиноидов малотрудоемка и не требует дополнительных реактивов, кроме экстрагента. Представленные нетрадиционные спектрофотометрические ЧПС целесообразно использовать на практике как тесты в мониторинге состояния каротиноидов растений, контроле качества растительных препаратов. Лепестки подсолнечника по содержанию каротиноидов не уступают корнеплодам моркови, а также лепесткам цветков календулы и могут служить источниками сырья в производстве каротинсодержащих фитопрепаратов.

Ключевые слова: каротиноид, абсорбционный спектр, числовой показатель, интенсивность поглощения, фитопрепарат

NUMERICAL INDICATORS OF ABSORPTION SPECTRA CAROTENE-CONTAINING EXTRACTS FROM PLANTS

Koldaev V.M.

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity,
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: info@biosoil.ru*

The aim of the work was comparative studies of spectrophotometric numerical indicators of the absorbing properties of carotenoids in extracts from plant raw materials. The studies used absorption spectra of alcohol extracts from yellow-orange flower petals of 16 plant species, carrot root crops and lutein solution. The numerical indices of the spectra (NIS) were determined, the coefficients of the relative extinctions of the maxima and absorption intensities, as well as the proportion of the absorption of the carotenoid triad in the total absorption, using the area between the horizontal axis and the spectrogram contour within the abscissa of the inflection points. It was shown that the applied NIS have statistically significant interspecies differences, correlations with the content of carotenoids in plant extracts, and higher validity in comparison with the known traditional spectrophotometric characteristics of carotenoids. Evaluation of plant extracts by NIS of absorption of carotenoids is not laborious and does not require additional reagents, except for the extractant. The presented non-traditional spectrophotometric NIS are advisable to be used in practice as tests in monitoring the state of plant carotenoids, and in controlling the quality of herbal preparations. In terms of carotenoid content, sunflower petals are not inferior to carrots, as well as calendula flower petals, and can serve as sources of raw materials in the production of carotene-containing phytopreparations.

Keywords: carotenoid, absorption spectrum, numerical indicator, absorption intensity, phytopreparation

Каротиноиды составляют обширную группу из более чем 600 разновидностей оранжево-желтых пигментов. В природе каротиноиды синтезируются бактериями, микроводорослями, грибами и высшими растениями. Типичный каротиноид включает в основе тетратерпеновую цепочку из восьми изопреновых блоков. В зеленых растениях каротиноиды участвуют в перераспределении энергии света в антеннах фотосинтетического аппарата, а также, благодаря своим высоким антиоксидантным свойствам, защищают хлорофилл от активных форм кислорода и внешних фотонов избыточных энергий [1]. Млекопитающие не способны синтезировать

каротиноиды и вынуждены получать их извне с пищей для обеспечения своих жизненных процессов. Человеку требуется сравнительно небольшой набор различных каротиноидов. В частности, бета-каротин, ликопин и лютеин с зеаксантином необходимы для нормального функционирования зрения. Каротиноиды оказывают лечебное действие при патологических состояниях окислительного стресса, расстройствах сердечно-сосудистой и нервной систем, некоторых видах рака и других заболеваниях [2].

Исследования каротиноидов сосредоточены в основном на нескольких соединениях, участвующих в аспектах здоровья

человека или в процессах фотосинтеза растений [3]. Одним из основных методов исследования каротиноидов наряду с жидкостной хроматографией и масс-спектроскопией служит абсорбционная молекулярная спектрофотометрия [4]. Абсорбционный спектр каротиноида, как правило, включает три максимума поглощения в синей области оптического диапазона [5], так называемую «синюю триаду», что обусловлено электронно-колебательными переходами π -электронов двойных связей изопреновых блоков [6] и является характерным признаком каротиноида. Соответственно, в анализе каротиноидов традиционно используют длины волн максимумов поглощения и показатели тонкой структуры триад.

Однако числовые спектрофотометрические показатели абсорбции световой энергии каротиноидами мало разработаны, хотя вполне могут служить характеристиками при идентификации каротиноидов или в оценках состояния каротин-хлорофиллового комплекса фотосинтетической системы растений. Числовые показатели спектров (ЧПС) каротиноидов особенно мало представлены в спектрофотометрии экстрактов из растительного сырья,

числовых показателей каротинсодержащих экстрактов из растительного сырья.

Материалы и методы исследования

В работе использованы лепестки желто-оранжевых цветков растений 16 видов из разных семейств, корнеплоды моркови и для сравнения лютеин (РеалКапс, Россия). Цветки собирали в середине фазы цветения, корнеплоды в фазе увядания наземной части, из которых немедленно после сбора готовили экстракты в 95 %-ном этаноле методом простой мацерации [7]. Абсорбционные спектры (АС) экстрактов регистрировали на спектрофотометре UV-2501PC (Shimadzu, Япония) в диапазоне 220–510 нм с шагом 1 нм, определяли длины волн и абсорбции спектральных максимумов, точки перегиба контура полосы поглощения по описанной ранее авторской методике [8].

Поскольку интегральная интенсивность поглощения численно равна площади между осью абсцисс и контуром полосы в заданных пределах, то эту площадь определяли по формуле Симпсона для численного интегрирования [9]. В качестве пределов интегрирования использовали абсциссы точек перегиба (точки b, c, d на рис. 1).

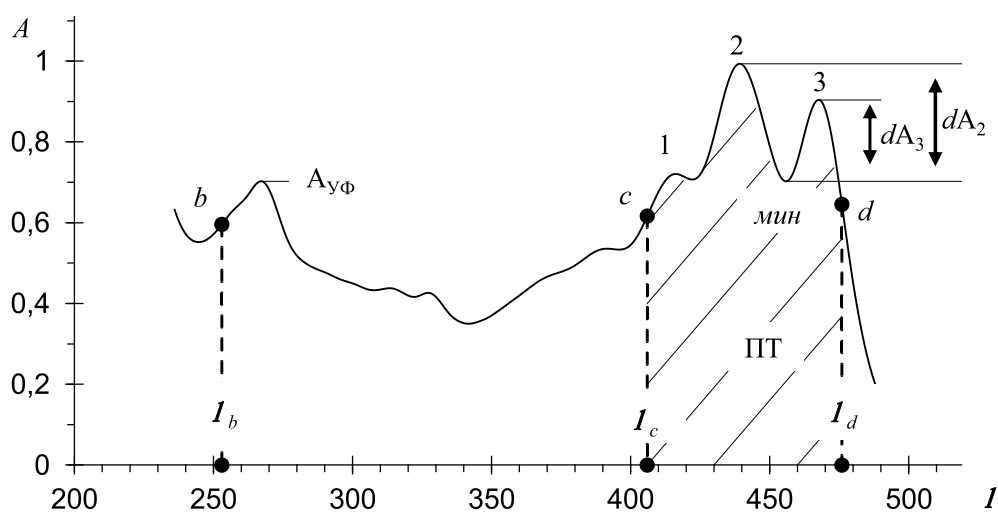


Рис. 1. АС спиртового экстракта из лепестков цветков лапчатки гусиной: 1, 2, 3 – номера максимумов синей триады, мин – минимум, dA_1 , dA_2 – превышения 2 и 3-го максимумов над минимумом, $A_{уф}$ – абсорбция наибольшего максимума в УФ диапазоне, b, c, d – точки перегиба, $\lambda_b, \lambda_c, \lambda_d$ – абсциссы точек перегиба, ПТ – площадь, соответствующая интенсивности поглощения триады. По горизонтали – длина волны λ в нм, по вертикали – абсорбция A в усл. ед.

хотя могли бы использоваться для тестирования его качества или при отборе перспективных видов растений для производства каротинсодержащих фитопрепаратов.

Целью работы явились сравнительные исследования спектрофотометрических

Например, в АС экстракта из цветков лапчатки гусиной площадь (ПТ) под контуром полосы на участке, ограниченном абсциссами λ_c и λ_d точек перегиба c и d (рис. 1, косая штриховка), соответствует интегральной интенсивности поглощения

триады. Площадь (П) под контуром полосы на участке в пределах абсцисс λ_b и λ_d точек b , d перегиба соответствует общей интенсивности поглощения каротиноида в исследуемой полосе, а разность (ПУФ) указанных площадей

$$\text{ПУФ} = \text{П} - \text{ПТ}$$

численно равна интегральной интенсивности поглощения в УФ диапазоне.

Используя значения абсорбций и площадей, определяли следующие нетрадиционные ЧПС:

– абсорбционный коэффициент триады (КТ) как отношение абсорбций второго максимума триады (A_2) и наибольшего максимума ($A_{\text{уф}}$) в УФ области полосы поглощения:

$$\text{КТ} = A_2/A_{\text{уф}},$$

– долю (Д) интенсивности поглощения триады в общем поглощении:

$$\text{Д} = \text{ПТ}/\text{П},$$

– коэффициент относительной интенсивности поглощения триады (КОПТ) в видимой и УФ областях оптического диапазона:

$$\text{КОПТ} = \text{ПТ}/\text{ПУФ}.$$

Для сравнения определяли традиционные ЧПС – длины волн λ_1 , λ_2 , λ_3 максимумов и показатель тонкой структуры (ПТС, в %) триад:

$$\text{ПТС} = 100dA_3/dA_2,$$

где dA_2 , dA_3 – превышения 2 и 3-го максимумов над минимумом между ними (рис. 1).

Суммарное содержание каротиноидов в экстрактах определяли стандартно по бихромату калия [10]. От каждого вида растения брали по 5–6 рандомизированных проб в 14–16 час дня в сухую солнечную погоду. Результаты исследования обрабатывали статистически методами малой выборки и корреляционного анализа [11].

Результаты исследования и их обсуждение

В видимой синей области оптического диапазона АС большинства исследованных экстрактов включают триаду максимумов (таблица), за исключением АС экстрактов из лепестков цветков калужницы болотной, осота огородного и календулы лекарственной, в АС которых первые или третий из максимумов триады редуцированы до ступенек (пример на рис. 2).

Характеристики абсорбционных спектров экстрактов из лепестков цветков, корнеплода моркови, раствора лютеина и содержание каротиноидов (СК, мг/100 г) в экстрактах

№ п/п	Наименование	Длина волны максимума триады			ПТС ^a	Числовой показатель поглощения			СК
		λ_1	λ_2	λ_3		КТ	Д	КОПТ	
1	Брокколи, <i>Фюеска</i> , <i>Brassica oleracea</i> Plenck.	416 ± 0,11	439 ± 0,11	468 ± 0,12	57,1 ± 4,8	0,35 ± 0,02	0,19 ± 0,01	0,25 ± 0,02	4,8 ± 0,3
2	Горчица сарептская, <i>Brassica juncea</i> (L.) Czern.	416 ± 0,13	439 ± 0,12	469 ± 0,11	72,1 ± 6,9	0,78 ± 0,06	0,34 ± 0,03	0,52 ± 0,04	8,8 ± 0,6
3	Девясил японский, <i>Inula japonica</i> Thunb.	423 ± 0,11	442 ± 0,11	467 ± 0,07	24,1 ± 2,2	0,49 ± 0,04	0,32 ± 0,03	0,47 ± 0,04	10,2 ± 0,8
4	Календула лекарственная, <i>Calendula officinalis</i> L.	422 ± 0,08	447 ± 0,1	–	–	0,62 ± 0,05	0,24 ± 0,02	0,31 ± 0,02	12,7 ± 0,8
5	Калужница болотная, <i>Caltha palustris</i> L.	–	443 ± 0,11	471 ± 0,12	43,9 ± 3,7	1,14 ± 0,9	0,38 ± 0,02	0,6 ± 0,05	11,6 ± 0,7
6	Лютик ползучий, <i>Ranunculus repens</i> L.	415 ± 0,12	437 ± 0,11	466 ± 0,12	47 ± 3,9	0,96 ± 0,08	0,35 ± 0,02	0,54 ± 0,04	10 ± 0,8
7	Недотрога обыкновенная, <i>Impatiens noli-tangere</i> L.	417 ± 0,11	439 ± 0,13	468 ± 0,12	55,3 ± 4,7	0,69 ± 0,06	0,28 ± 0,02	0,39 ± 0,03	9,6 ± 0,8
8	Огурец посевной, <i>Ерофей</i> , <i>Cucumis sativus</i> L.	420 ± 0,11	440 ± 0,09	469 ± 0,1	45,9 ± 4,1	0,38 ± 0,02	0,23 ± 0,02	0,3 ± 0,02	7,2 ± 0,5
9	Одуванчик лекарственный, <i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	419 ± 0,08	441 ± 0,11	467 ± 0,1	40,3 ± 3,2	0,94 ± 0,08	0,32 ± 0,03	0,47 ± 0,04	10,6 ± 0,8
10	Осот огородный, <i>Sonchus oleraceus</i> L.	–	442 ± 0,12	467 ± 0,11	26,3 ± 1,98	1,52 ± 0,11	0,37 ± 0,03	0,58 ± 0,04	11,4 ± 0,8
11	Подсолнечник зерновой, <i>Орешек</i> , <i>Helianthus annuus</i> L. ^d	417 ± 0,11	439 ± 0,09	467 ± 0,12	71,6 ± 6,8	1,86 ± 0,14	0,51 ± 0,04	1,06 ± 0,11	16,4 ± 0,9
12	Репешок обыкновенный, <i>Agrimonia eupatoria</i> L.	418 ± 0,11	440 ± 0,11	469 ± 0,11	73 ± 7	0,33 ± 0,02	0,23 ± 0,02	0,3 ± 0,02	6,2 ± 0,4

Окончание таблицы									
№ п/п	Наименование	Длина волны максимума триады			ПТС ^а	Числовой показатель поглощения			СК
		λ_1	λ_2	λ_3		КТ	Д	КОПТ	
13	Рудбекия расцвеченная, <i>Rudbeckia laciniata</i> × <i>hybrid</i> ^d	424 ± 0,12	445 ± 0,08	472 ± 0,1	24,5 ± 1,8	0,93 ± 0,07	0,52 ± 0,04	1,07 ± 0,11	14,8 ± 1,1
14	Томат обыкновенный, <i>Деба-пао</i> , <i>Solanum lycopersicum</i> L.	417 ± 0,11	440 ± 0,12	469 ± 0,09	64,3 ± 5,6	0,99 ± 0,08	0,38 ± 0,03	0,62 ± 0,06	11,8 ± 0,9
15	Топинамбур, <i>Helianthus tuberosus</i> L. ^d	422 ± 0,1	445 ± 0,11	472 ± 0,13	44,5 ± 3,2	0,93 ± 0,08	0,45 ± 0,03	0,83 ± 0,07	14,2 ± 1,2
16	Чистотел азиатский, <i>Chelidonium asiaticum</i> (H. Hara) Krahulc.	420 ± 0,12	439 ± 0,11	469 ± 0,08	71,7 ± 6,5	0,55 ± 0,04	0,28 ± 0,01	0,39 ± 0,02	4,2 ± 0,3
17	Морковь, <i>Королева осени</i> , <i>Carota sativa</i> Rupr.	426 ± 0,1	448 ± 0,12	473 ± 0,1	16,1 ± 1,1	0,93 ± 0,08	0,55 ± 0,04	1,21 ± 0,11	17,2 ± 1,4
$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$		419,6 ± 0,77	441,5 ± 0,76	468,8 ± 0,51	48,6 ± 4,75	0,85 ± 0,09	0,35 ± 0,02	0,58 ± 0,07	–
Коэффициент вариации (%)		0,73	0,69	0,51	37,88	45,88	28,57	48,27	–
Лютеин		424 ± 0,1	446 ± 0,11	473 ± 0,1	54,2 ± 4,9	2,99 ± 0,24	0,61 ± 0,05	1,58 ± 0,09	–

Примечание. ^а – показатель тонкой структуры, ^d – лепестки венчика.

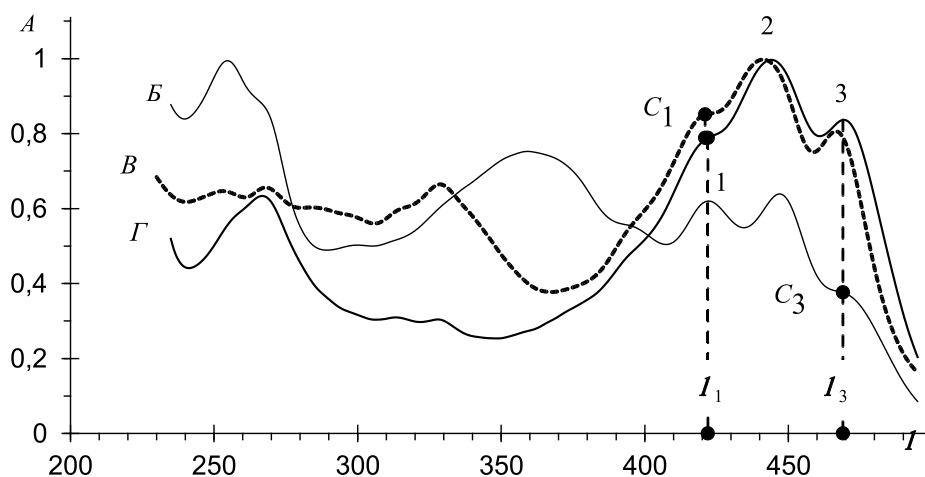


Рис. 2. АС этанольных экстрактов из лепестков цветков календулы лекарственной (Б), осыа огороного (В) и калужницы болотной (Г). C_1 , C_2 , C_3 – ступеньки Остальные обозначения по рис. 1

Для традиционных числовых показателей АС получено, что первые максимумы триад совпадают на длинах волн 416, 422, 417 и 420 нм, вторые – на 439, 440 и 445 нм, третьи – на 467, 469, 473 и 472 нм. В целом для соответствующих максимумов триад найдено 5–7 различий по длинам волн из 17 исследованных АС. Нулевая гипотеза принимается, поскольку для ее опровержения (при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$) согласно непараметрическим критериям для выборки объемом 17 элементов необходимо не менее 13 различий [11], следовательно, различия по длинам волн адек-

ватных максимумов триады в АС экстрактов для разных видов растений статистически незначимы ($p > 0,05$). При этом отклонения длин волн максимумов триад от средних значений находятся в пределах 1,2–1,4%, а коэффициент вариации не превышает 1%. Таким образом, традиционные ЧПС длин волн максимумов поглощения триад имеют низкую валидность и, по-видимому, подходят только для предварительных оценок каротиноидов. Наряду с этим отклонения ПТС от среднего значения достигали 49,59–150,2%, а коэффициент вариации в 51,89–74,27 раз больше по сравнению с вариация-

ми длин волн, и можно сказать, что второй традиционный ЧПС каротиноидов из разных видов растений имеет статистически значимые межвидовые различия и высокую валидность. В целом полученные результаты по традиционным ЧПС не противоречат литературным данным [4].

При определении нетрадиционных ЧПС наибольшие значения КТ в пределах 0,93–1,86 получены для АС экстрактов из лепестков венчика подсолнечника, топинамбура и корнеплодов моркови, а самые меньшие, в 5,31–5,64 раза, для лепестков цветков брокколи и репешка. При этом показатель КТ имел отклонения 38,83–218,82% от среднего значения при коэффициенте вариации 59,21%. Величина показателя КОПТ для моркови составила $1,21 \pm 0,11$, а для подсолнечника и топинамбура в 1,13–1,46 раза меньше. Размах отклонений КОПТ от среднего был в 1,17–1,33 раза ниже по сравнению с КТ, но статистически мало значим ($p > 0,05$). Значения Д имели наибольшее значение $0,55 \pm 0,04$ для АС экстрактов из моркови, подсолнечника и топинамбура, а самые меньшие – в 2,89 раза для брокколи.

Наибольшее содержание каротиноидов в пределах 12,7–17,2 мг/100 г сырой массы получено в корнеплодах моркови, лепестках подсолнечника, топинамбура и календулы, а в лепестках цветков других видов растений в 1,46–3,58 раза меньше. При этом выявлена тесная взаимосвязь нетрадиционных ЧПС с содержанием каротиноидов при коэффициентах корреляции 0,905–0,907 с высокой достоверностью ($p < 0,001$).

Приведенные нетрадиционные ЧПС в спектрофотометрическом анализе каротинсодержащих экстрактов из растений использованы впервые, поэтому сопоставления интегральных интенсивностей поглощения с литературными данными исключаются. Можно только иметь в виду, что в растительном сырье присутствуют каротиноиды нескольких разновидностей, но обычно преобладает концентрация одного из них, чаще всего бета-каротина, который и определяет абсорбционные свойства экстракта [12]. Конечно, вещества «некаротиноидной» природы искажают АС каротинсодержащего экстракта. Безусловно, АС растительного экстракта отличается, иногда даже значительно, от АС очищенного каротиноида. Например, для АС лютеина (таблица) значения КТ в 3,11, КОПТ в 2,47 и Д в 1,69 раза превышают средние значения соответствующих показателей экстрактов из растительного материала.

В целом по вариациям, валидности и корреляционным связям использо-

ванные нетрадиционные ЧПС подходят для практического применения в оценках каротиноидов. По-видимому, для растительных экстрактов, где присутствует сумма каротиноидов, показатели АС на основе интегральных интенсивностей поглощения могут служить видовыми признаками растения, из которого приготовлен экстракт.

Можно заметить, что в традиционных ЧПС используется один параметр АС – или длина волны максимума триады, или же превышение абсорбции (как при вычислении ПТС). В отличие от этого нетрадиционные ЧПС основаны на площадях полос поглощения, которые, как известно, представляют собой произведения абсорбций (высот) и шага длины волны (основания), т.е. включают два параметра. Очевидно, высокая валидность, размах значений от вида к виду, межвидовая специфичность использованных нетрадиционных ЧПС обусловлены именно таким обобщенным подходом, учитывающим и длину волны, и абсорбцию. К тому же площади для спектрофотометрии удобны еще и тем, что их несложно представить в энергетических единицах, например в эВ (если это необходимо для анализа), заменив длины волн полос поглощения на энергии соответствующих квантов.

Заключение

Разработанный способ оценок каротиноидов растительных экстрактов по ЧПС не очень трудоемок по сравнению, скажем, с масс-спектроскопией или жидкостной хроматографией, не требует дополнительных реактивов, кроме экстрагента, что немаловажно в полевой практике, и достаточно точен. Описанные нетрадиционные ЧПС можно использовать на практике в качестве спектрофотометрических тестов в мониторинге состояния каротиноидов растений, контроле и стандартизации растительных препаратов.

Лепестки венчика подсолнечника зернового по содержанию каротиноидов не уступают корнеплодам моркови и лепесткам цветков календулы и могут служить сырьем для каротинсодержащих фитопрепаратов, но в фармацевтической промышленности не используются. По-видимому, здесь требуется специальная технология, однако ее разработка выходит за рамки заявленной тематики проведенного исследования.

Список литературы

1. Хелдт Г.-В. Биохимия растений. М.: Бином, 2011. 471 с.

2. Eggersdorfer M., Wyss A. Carotenoids in human nutrition and health. Archives of biochemistry and biophysics. 2018. Vol. 652. P. 18–26.
3. Young A.J., Lowe G.L. Carotenoids – antioxidant properties. Antioxidants. 2018. Vol. 7. No. 2. P. 28–36.
4. Курегян А.Г. Спектрофотометрия в анализе каротиноидов // Фундаментальные исследования. 2015. № 2. С. 5166–5172.
5. Araki G., Murai T. Molecular structure and absorption spectra of carotenoids. Progress of theoretical physics. 1952. Vol. 8. No. 6. P. 639–654.
6. Monego D.L., Rosa M.B., Nascimento P.C. Applications of computational chemistry to the study of the antiradical activity of carotenoids. Food chemistry. 2017. Vol. 217. P. 37–44.
7. Государственная фармакопея СССР. Издание XI. Выпуск 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье. М.: Медицина, 1990. 360 с.
8. Колдаев В.М. Числовые показатели спектров поглощения извлечений из листьев растений Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2018. 120 с.
9. Composite Simpson's rule. [Электронный ресурс]. URL: https://en.m.wikipedia.org/wiki/simpson's_27s_rule (дата обращения: 18.01.2021).
10. Benea A., Ciobanu C., Cojocaru-Toma M., Ciobanu N. Determination of carotenoids in extracts from species of Tagetes and Calendula. Moldova medical journal. 2020. Vol. 63. No. 4. P. 23–26.
11. Колдаев В.М., Кропотов А.В. Основные приемы статистики в медико-биологических исследованиях. Владивосток: Медицина ДВ, 2019, 104 с.
12. Дейнека В.И., Гостищев И.А., Третьяков М.Ю., Индина И.В. Каротиноиды лепестков цветков календулы // Научные ведомости БелГУ. Естественные науки. 2011. Т. 15. № 9–2 (104). С. 277–285.

УДК 631.535:674.032.475.242(575.2)

ВЛИЯНИЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА CLONEX И VITROCLON ROOTING COMPLEX НА УКОРЕНЕНИЕ И КАЛЛЮСООБРАЗОВАНИЕ ЧЕРЕНКОВ *PICEA PUNGENS* 'GLAUCA'

Нурманбетова А.Т., Ахматов М.К.

Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, Бишкек, e-mail: medet60@mail.ru

Проведены исследования влияния стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на укоренение и каллюсообразование черенков *Picea pungens* 'Glaucа'. Черенкование проводили весной, осенью и летом. Типы черенков – с пяткой и без пятки. Стимуляторы роста Clonex и VitroClon Rooting Complex положительно влияют на укоренение черенков *Picea pungens* 'Glaucа'. У обработанных VitroClon Rooting Complex укорененных черенков насчитывается до 31%, а препаратом Clonex до 10%. Наличие корней выявлено как у черенков с пяткой, так и без нее. Оптимальным сроком черенкования является весна, а лучшим месяцем март. При выкопке черенков в опытных вариантах выявлено наличие каллюса. У черенков, обработанных стимулятором роста VitroClon Rooting Complex формируется до 29% каллюса и небольшое количество до 8% под влиянием препарата Clonex. Видимо, это связано с правильностью заготовки черенков, времени черенкования и места их нарезки в кроне. При соблюдении всех этих требований, можно получить больший процент укорененных черенков. В противном случае, или образуется каллюс, или ничего.

Ключевые слова: стимуляторы роста, черенки, укоренение, каллюсообразование, сроки черенкования

INFLUENCE OF GROWTH STIMULATORS CLONEX AND VITROCLON ROOTING COMPLEX ON ROOTING AND CALL FORMATION OF CUTTINGS *PICEA PUNGENS* 'GLAUCA'

Nurmanbetova A.T., Akhmatov M.K.

Kyrgyz State University named after I. Arabyev, Bishkek, e-mail: medet60@mail.ru

Studies of the effect of growth stimulants Clonex and VitroClon Rooting Complex on rooting and callus formation of cuttings of *Picea pungens* 'Glaucа' have been carried out. Cuttings were carried out in spring, autumn and summer. Types of cuttings – heel and no heel. Growth stimulants Clonex and VitroClon Rooting Complex have a positive effect on the rooting of cuttings of *Picea pungens* 'Glaucа'. Root cuttings treated with VitroClon Rooting Complex have up to 31%, and with Clonex – up to 10%. The presence of roots was revealed both in cuttings with a heel and without it. The optimal time for cuttings is spring, and the best month is March. When digging cuttings in experimental variants, the presence of callus was revealed. In cuttings treated with VitroClon Rooting Complex growth stimulant, up to 29% of callus and a small amount of up to 8% are formed under the influence of Clonex. Apparently, this is due to the correct preparation of cuttings, the time of cuttings and the place of their cutting in the crown. If all these requirements are met, you can get a higher percentage of rooted cuttings. Otherwise, callus is formed, or nothing.

Keywords: growth stimulants, cuttings, rooting, callus formation, terms of cuttings

Хвойные растения пользуются большим спросом в садоводстве, озеленении, ландшафтной архитектуре, питомниководстве и лесном хозяйстве. В достаточном количестве и ассортименте хвойные растения можно получать при наличии соответствующей технологии размножения посадочного материала. Имеются отдельные технологии, дающие неплохие результаты. Однако следует помнить, что одна и та же технология может с разной степенью эффективности влиять на укоренение черенков хвойных в зависимости от вида и формы растений.

Picea pungens 'Glaucа', как садовую форму для сохранения голубого цвета хвои необходимо размножать только вегетативным способом. Однако, в Кыргызской Республике ее размножают семенным способом, что приводит к расщеплению признаков и получению некачественного посадочного материала. В связи с этим, весьма актуаль-

ной проблемой является усовершенствование технологий вегетативного размножения *Picea pungens* 'Glaucа', в условиях интродукции Чуйской долины.

Вегетативный способ размножения черенками основан на биологическом свойстве растений к регенерации, которое заключается в способности отдельных частей или органов, восстанавливать целостный организм [1]. Размножение растений черенками, позволяет получать генетически однородный посадочный материал, с полным сохранением его ценных хозяйственных и биологических признаков и свойств. Ценные хозяйственно- биологические признаки у них намного выше, чем у растений, размножаемых семенами [2].

Рядом ученых изучалось влияние стимуляторов роста на укоренение черенков елей. Так, испытаны биологически активные препараты: гетероауксин, циркон, корневин,

эпин, экофус, феровит, экстрасол, силиплант. Установлена различная степень влияния препаратов на регенерационную способность черенков декоративной формы ели сизой и на показатели последующего развития надземной части и корневых систем [3].

В работе Кульковой А.В. [4] рассмотрено влияние различных стимуляторов роста на каллюсообразование и пострегенерационное развитие одревесневших черенков ели колючей формы голубой. Опыт заложен с применением четырех различных видов стимуляторов (раствор корневина, опудривание корневином, р-р гетероауксина, р-р гумата). Малосиевой Г.В. с соавторами [5] изучено влияние эпина на укоренение черенков некоторых представителей *Abies Mill.* и *Picea A. Dietr.*

Были проведены исследования особенностей вегетативного размножения ели колючей на юго-востоке Казахстана [6] и некоторых видов и сортов хвойных пород в Западной Сибири [7]. Группой ученых усовершенствована технология вегетативного размножения хвойных растений методом черенкования и изучено влияние срока черенкования и способа обработки черенков на укоренение, длину и количество корней сортов рода *Picea A. Dietr.* [8–10].

Цель исследования: изучить влияние стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на укоренение и каллюсообразование черенков *Picea pungens* 'Glaucous'.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являлись растения *Picea pungens* 'Glaucous'. Исследования проведены в неотапливаемой в зимнее время теплице лаборатории экспериментальной ботаники Ботанического сада им. Э. Гарева НАН КР. В качестве субстрата использовали чистый речной песок, который предварительно обрабатывали фунгицидом «Байлетон». Черенкование проводилось на бетонных стеллажах высотой 30 см. Заправку стеллажей производили следующим образом: нижний дренажный слой толщиной в 5 см состоит из мелкого щебня, на него слоем в 20 см насыпается питательная почва, состоящая из смеси почвы листовой и почвы из-под хвойных пород в соотношении 1:1. Поверх почвы насыпали хорошо перебитый речной песок слоем 4–5 см.

Использовали два вида стимуляторов роста:

1. Clonex (4-indolyl-3-butyric acid 3) (произведено в Великобритании) – вязкий гель содержащий полный набор микроэлементов. Это гель – поэтому он не может так же легко высохнуть или быть стряхнутым как жид-

кость. В отличие от жидкостей и порошков, Clonex остаётся в контакте со стеблем на протяжении всего периода укоренения.

2. VitroClon Rooting Complex (произведено в Испании) – это 100% органический продукт в гелевом формате, специально созданный и разработанный для ускоренного укоренения черенков, произведенный в Испании. Его происхождение из натуральных растительных экстрактов, а также микроэлементов, витаминов B1, B2, B6, B12, A, C и аминокислот делает его, одним из лучших продуктов для черенкования. Кроме того, важно подчеркнуть большую антимикробную и антиоксидантную силу, которую он добавляет к своим свойствам, значительно уменьшает потери из-за патогенов или других нежелательных агентов, получая столь положительные результаты.

Для черенкования брали черенки с молодых и здоровых растений, как с верхушечных, так и боковых побегов прироста текущего года. Черенки срезали незадолго до посадки, а в жаркую погоду – рано утром. После того, как черенки растений срезали, погружали два сантиметра черенка в гель для правильного впитывания и пропитки стимулятора роста. После этого, сажали их в желаемую среду для выращивания. Необходимо поддерживать благоприятную температуру и влажность для правильного и хорошего процесса укоренения черенков.

Черенкование проводили весной, осенью и летом. Типы черенков – с пяткой и без пятки. Количество черенков для каждого объекта исследования в каждом варианте опыта – 100 шт. (50 с пяткой и 50 без пятки). Повторность опытов четырехкратная. Через 2–3 месяца проводили учет черенков укорененных и с каллюсом в %.

Результаты исследования и их обсуждение

В 2013–2016 гг. были продолжены исследования по влиянию стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на укоренение черенков с пяткой и без пятки *Picea pungens* 'Glaucous'. В табл. 1, где представлены результаты влияния синтетических стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на укоренение черенков с пяткой *Picea pungens* 'Glaucous', можно отметить, что оба стимулятора роста стимулируют корнеобразование. Но, если обработка Clonex увеличивает количество укорененных черенков незначительно и составило 6 и 10%, а в контроле 4 и 5%, тогда как в варианте с VitroClon Rooting Complex укорененных черенков с пяткой насчитывалось до 31%. Лучшим сроком черенкования оказался май месяц.

Таблица 1

Влияние стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на укоренение черенков с пяткой *Picea pungens* 'Glausa', в % (2013–2016 гг.)

№ п/п	Варианты опытов	Даты черенкования				
		15.05.13	11.10.13	27.03.14	20.06.14	15.10.14
		2013–2014 гг.				
1	Clonex	4 ± 0,24	0	6 ± 0,34	0	0
2	VitroClon Rooting Complex	15 ± 0,14	0	28 ± 0,41	0	0
3	Контроль	0	0	0	0	0
		2015–2016 гг.				
		20.04.15	10.06.15	24.05.16	13.07.16	20.03.16
1	Clonex	0	0	10 ± 0,09	0	0
2	VitroClon Rooting Complex	17 ± 0,16	0	31 ± 0,27	0	0
3	Контроль	0	0	0	0	0

Таблица 2

Влияние стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на укоренение черенков без пятки *Picea pungens* 'Glausa', в % (2013–2016 гг.)

№ п/п	Варианты опытов	Даты черенкования				
		15.05.13	11.10.13	27.03.14	20.06.14	15.10.14
		2013–2014 гг.				
1	Clonex	0	0	3 ± 0,34	0	0
2	VitroClon Rooting Complex	15 ± 0,13	0	18 ± 0,41	0	0
3	Контроль	0	0	0	0	0
		2015–2016 гг.				
		20.04.15	10.06.15	24.05.16	13.07.16	20.03.16
1	Clonex	0	0	4 ± 0,11	0	0
2	VitroClon Rooting Complex	11 ± 0,08	0	21 ± 0,18	0	0
3	Контроль	0	0	0	0	0

В табл. 2 представлены результаты влияния синтетических стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на укоренение черенков без пятки *Picea pungens* 'Glausa' в 2013–2016 гг. Из приведенных экспериментальных данных видно, что у черенков без пятки черенков с корнями на порядок меньше, чем у черенков с пяткой. Так, в варианте с Clonex укорененных черенков 3 и 4%, а VitroClon Rooting Complex 11, 18 и 21 %. В контроле наличие корней на черенках без пятки не наблюдается. Таким образом, во-первых, черенки с пяткой лучше укореняются, чем без пятки, во-вторых, более эффективным оказался стимулятор роста VitroClon Rooting Complex.

Результаты исследований влияния стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на каллюсообразование черенков с пяткой *Picea pungens* 'Glausa' (табл. 3) показали, что каллюс образуется при весеннем черенковании, и в конце марта больше, чем в мае. Это связано с тем, что у этих черен-

ков концентрация ауксинов и цитокининов одинакова, и это является причиной образования каллюса. Наибольшее количество отмечено у черенков обработанных VitroClon Rooting Complex – 29%. В контрольном варианте наличие каллюсов не выявлено.

В табл. 4 представлены экспериментальные данные влияния стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на каллюсообразование черенков без пятки *Picea pungens* 'Glausa'. Результаты исследований показали, что черенки обработанные стимулятором роста VitroClon Rooting Complex имеют каллюсов до 26%. Каллюсообразование наблюдается только при весеннем черенковании. У контрольных черенков и обработанных Clonex каллюсов не обнаружено. Черенки с каллюсом внешне не отличаются от укорененных, т.е. не высохшие и без опавшей хвои. Только после выкопки черенков из песочного субстрата можно обнаружить наличие корней или каллюса.

Таблица 3

Влияние стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на каллюсообразование черенков с пяткой *Picea pungens* 'Glaucia', в % (2013–2016 гг.)

№ п/п	Варианты опытов	Даты черенкования				
		15.05.13	11.10.13	27.03.14	20.06.14	15.10.14
		2013–2014 гг.				
1	Clonex	0	0	3 ± 0,12	0	0
2	VitroClon Rooting Complex	17 ± 0,11	0	24 ± 0,21	0	0
3	Контроль	0	0	0	0	0
		2015–2016 гг.				
		20.04.15	10.06.15	24.05.16	13.07.16	20.03.16
1	Clonex	0	0	8 ± 0,04	0	0
2	VitroClon Rooting Complex	15 ± 0,09	0	29 ± 0,19	0	0
3	Контроль	0	0	0	0	0

Таблица 4

Влияние стимуляторов роста Clonex и VitroClon Rooting Complex на каллюсообразование черенков без пятки *Picea pungens* 'Glaucia', в % (2013–2016 гг.)

№ п/п	Варианты опытов	Даты черенкования				
		15.05.13	11.10.13	27.03.14	20.06.14	15.10.14
		2013–2014 гг.				
1	Clonex	0	0	5 ± 0,44	0	0
2	VitroClon Rooting Complex	21 ± 0,18	0	19 ± 0,31	0	0
3	Контроль	0	0	0	0	0
		2015–2016 гг.				
		20.04.15	10.06.15	24.05.16	13.07.16	20.03.16
1	Clonex	0	0	3 ± 0,11	0	0
2	VitroClon Rooting Complex	23 ± 0,21	0	26 ± 0,25	0	0
3	Контроль	0	0	0	0	0

Заключение

Стимуляторы роста Clonex и VitroClon Rooting Complex положительно влияют на укоренение черенков *Picea pungens* 'Glaucia'. У обработанных VitroClon Rooting Complex насчитывается до 31% укорененных черенков, а препаратом Clonex до 10%. В контрольном варианте черенки не укореняются. Можно черенковать, как черенки с пяткой, так и без. Оптимальным сроком черенкования является весна, а лучшим месяцем март. Положительные результаты укоренения черенков со стимулятором роста VitroClon Rooting Complex можно объяснить его большой антимикробной и антиоксидантной силой, что значительно уменьшает потери среди черенков из-за патогенов. При выкопке черенков в опытных вариантах выявлено наличие каллюса. Видимо, это связано с правильностью заготовки черенков, времени черенкования и места их нарезки в кроне. При соблюде-

нии всех этих требований, можно получить больший процент укорененных черенков. В противном случае, или образуется каллюс, или ничего.

Список литературы

1. Ермаков Б.С. Размножение древесных и кустарниковых растений зеленым черенкованием. Кишинева: Штиинца, 1981. 222 с.
2. Ермаков Б.С. Биолого-агротехнические особенности зеленого черенкования древесных растений: дис. ... докт. с.-х. наук. Москва, 1992. 49 с.
3. Кулькова А.В., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Применение стимулирующей обработки в укоренении черенков ели коника // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической Академии. 2020. № 232. С. 79–91.
4. Кулькова А.В. Влияние различных стимуляторов роста на корнеобразование черенков ели колючей формы голубой (*Picea pungens* Engelm.) в условиях г. Нижнего Новгорода // Перспективы развития агропромышленного и лесного производства союзного государства России и Белоруссии: материалы международной научно-практической конференции (Нижний Новгород, 26 сентября 2019 года). Нижний Новгород: Издательство Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2019. С. 172–178.

5. Малосиева Г.В., Андрейченко Л.М., Мусуралиев Т.С., Бурцев Д.С. Влияние эпина на укоренение черенков некоторых представителей *Abies* Mill. и *Picea* A. Dietr. // Наука и новые технологии. 2013. № 2. С. 90–92.
6. Кентбаев Е.Ж., Жумагулов Ж.Ж. Вегетативное размножение ели колючей на юго-востоке Казахстана // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. 2011. № 14. С. 52–55.
7. Пинаева Н.В., Дорохова А.И. Опыт вегетативного размножения некоторых видов и сортов хвойных пород // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири: материалы VII Международной научной интернет-конференции (Томск, 25 января 2015 г.). Томск: Издательство Издательский Дом ТГУ, 2015. С. 121–128.
8. Чумакова Н.И. Усовершенствование технологии вегетативного размножения хвойных растений методом черенкования // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной Академии. 2011. № 5. С. 161–164.
9. Чумакова Н.И., Исачкин А.В., Буханцов В.Г. Влияние срока черенкования и способа обработки черенков на укоренение, длину и количество корней сортов рода *Picea* A. Dietr. // Актуальные проблемы современной науки. 2012. № 2 (64). С. 132–135.
10. Исачкин А.В., Чумакова Н.И. Разработка элементов технологии вегетативного размножения декоративных видов и сортов рода *Picea* A. Dietr. методом черенкования // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. серия: естественные и технические науки. 2012. № 2. С. 60–67.

УДК 612.13

ОСОБЕННОСТИ МОЗГОВОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ КОГНИТИВНОЙ ЗАДАЧИ

Чуб И.С., Борейко А.П., Кунавин М.А., Черкасова А.С., Преминина О.С.

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
Архангельск, e-mail: i.chub@narfu.ru*

Когнитивная деятельность человека опосредована состоянием мозгового кровотока. В силу отсутствия запасов энергетических субстратов в тканях ЦНС и высоких запросов в них со стороны нейронов головного мозга необходимо, чтобы механизмы регуляции церебральной гемодинамики работали слаженно и бесперебойно. В последнее время отмечается рост числа подобных заболеваний в молодом возрасте, только за одно пятилетие частота таких патологий увеличивается в 2–2,5 раза. Среди факторов риска, встречающихся во всех возрастно-половых группах, в том числе и у студентов, выделяют стресс, злоупотребление никотином и алкоголем, избыточную массу тела и ожирение, погрешности в диете, низкую физическую активность. Исходя из актуальности работы сформулирована цель – изучить особенности мозговой гемодинамики у студентов в процессе выполнения когнитивной деятельности разного уровня сложности. В исследовании принимали участие 20 студентов-юношей САФУ в возрасте от 18 до 22 лет (средний возраст группы составил $20,0 \pm 0,37$ года). Регистрация реоэнцефалограмм проводилась методом тетраполярной РЭГ на аппаратно-программном комплексе «Рео-спектр-2» («Нейрософт», Иваново). РЭГ регистрировалась в покое и при выполнении когнитивных задач разного уровня сложности. Групповой анализ параметров мозгового кровообращения у студентов в покое показал, что состояние кровотока по большинству показателей соответствует физиологическим нормам. Наблюдается снижение тонуса сосудов распределения. Параметры церебральной гемодинамики различаются при выполнении когнитивных задач разной сложности. Простая когнитивная задача вызывает повышение сосудистого тонуса в сосудах распределения в левой ветви вертебро-базиллярного бассейна, при этом увеличиваются сосудистое сопротивление и венозный отток в задних отделах мозга. Выполнение сложной когнитивной задачи приводит к снижению пульсового кровенаполнения во всех отделах сосудистого русла, особенно в левом полушарии. При этом повышается тонус сосудов распределения в бассейне левой общей сонной артерии, усиливается венозный отток из данного региона.

Ключевые слова: студенты, мозговая гемодинамика, реоэнцефалография, когнитивная задача, стресс

FEATURES OF CEREBRAL HEMODYNAMICS IN STUDENTS IN THE PROCESS OF PERFORMING A COGNITIVE TASK

Chub I.S., Boreyko A.P., Kunavin M.A., Cherkasova A.S., Preminina O.S.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, e-mail: i.chub@narfu.ru

Human cognitive activity is mediated by the state of cerebral blood flow. Due to the lack of reserves of energy substrates in the tissues of the central nervous system and high demands in them from the neurons of the brain, it is necessary that the mechanisms of regulation of cerebral hemodynamics work smoothly and smoothly. Recently, there has been an increase in the number of such diseases at a young age; in just one five-year period, the frequency of such pathologies increases 2–2.5 times. Among the risk factors found in all age and sex groups, including students, stress, abuse of nicotine and alcohol, overweight and obesity, inaccuracies in the diet, and low physical activity are distinguished. Based on the relevance of the work, the goal was formulated – to study the features of cerebral hemodynamics in students in the process of performing cognitive activities of different levels of complexity. The study involved 20 NarFU male students aged 18 to 22 years (the average age of the group was 20.0 ± 0.37). Registration of rheoencephalograms was carried out by the tetrapolar REG method on the hardware-software complex «Rheo-spectrum-2» («Neurosoft», Ivanovo). REG was recorded at rest and when performing cognitive tasks of various levels of complexity. A group analysis of the parameters of cerebral circulation in students at rest showed that the state of blood flow for most of the indicators corresponds to physiological norms. There is a decrease in the tone of distribution vessels. Cerebral hemodynamic parameters differ when performing cognitive tasks of varying complexity. A simple cognitive task causes an increase in vascular tone in the distribution vessels in the left branch of the vertebrobasilar basin, an increase in vascular resistance and venous outflow in the posterior parts of the brain. Performing a complex cognitive task leads to a decrease in pulse blood filling in all parts of the vascular bed, especially in the left hemisphere. At the same time, the tone of the distribution vessels in the basin of the left common carotid artery increases, and the venous outflow from this region increases.

Keywords: Students, cerebral hemodynamics, rheoencephalography, cognitive task, stress

Студенческий возраст характеризуется высокой готовностью центральной нервной системы к когнитивным нагрузкам, обеспечивающей оптимальный уровень умственной работоспособности. Вследствие этого предъявляются повышенные требования к обеспечению интенсивного мозгового

кровообращения, которое характеризуется значительной степенью ауторегуляции и независимости от центральной гемодинамики. В исследованиях различных авторов отмечается повышение общего уровня обменных процессов до 16% относительно покоя даже при выполнении легкой когни-

тивной задачи в виде чтения про себя; если чтение осуществляется вслух, уровень обмена повышается на 46% [1]. Выполнение корректурных проб в условиях ограничения времени, сопровождающееся значительным психоэмоциональным напряжением, приводит к повышению у студентов уровня систолического артериального давления, частоты пульса, снижению вариабельности кардиоритма [2]. При интенсивном восприятии новой информации увеличивается длительность сердечных циклов [3]. Отмечается снижение репаративных механизмов реализации генетической информации в связи с интенсивным психоэмоциональным напряжением у обучающихся в период экзаменационной сессии [4]. Обеспечение должного уровня кровообращения головного мозга является лимитирующим фактором освоения учебных программ студентами [5]. Изменения мозговой гемодинамики под влиянием когнитивных нагрузок усугубляются воздействием специфических эколого-климатических условий Европейского Севера. Здесь дезадаптирующими факторами служат гипоксия и экстремальный температурный режим. Вследствие их совокупного действия повышается напряжение работы сердца, увеличивается сосудистое сопротивление в тканях мозга, что может привести к гипертензии.

Целью исследования явилось определение реакций мозгового кровообращения студентов на предъявляемые когнитивные задачи разного уровня сложности.

Материалы и методы исследования

В исследовании принимали участие 20 студентов-юношей Северного (арктического) федерального университета в возрасте от 18 до 22 лет (средний возраст группы составил $20,0 \pm 0,37$ года). Участники обследования не имели хронических заболеваний кардиореспираторной системы, на момент исследования были соматически здоровы. Обследование проводилось с соблюдением этических принципов Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (World Medical Association, WMA), от всех участников исследования было получено письменное согласие. Эксперимент предусматривал регистрацию показателей мозгового кровообращения в полувертикальном положении тела в следующих состояниях: 1) состоянии спокойного бодрствования, 2) когнитивная проба № 1 (в тексте: счет без усложнения, простая когнитивная проба, простой счет), 3) когнитивная проба № 2 (в тексте: счет с усложнением, сложная когнитивная проба). После каждой

когнитивной задачи испытуемым предоставлялся отдых в течение 2 мин. В качестве когнитивной пробы № 1 испытуемым предлагалось решить ряд несложных математических примеров на различные действия, когнитивная проба № 2 заключалась в выполнении 2 последовательных математических операций с предъявляемым числом. Реоэнцефалограммы фиксировались непрерывно в течение 2 мин проведения физиологических проб, анализ реограмм осуществлялся по четырем реоволнам в конце временного промежутка. РЭГ регистрировалась на АПК «Рео-Спектр-2» («Нейрософт») по тетраполярной схеме наложения электродов. Коррекция автоматической установки реперных точек осуществлялась визуально по согласованию с ЭКГ-сигналом и дифференциальной реограммой. В нашем исследовании применялась общеизвестная схема двух отведений от следующих областей: фронтально-мастоидальная область (FM) – отражает изменения гемодинамики в бассейне левой и правой внутренних сонных артерий; окципито-мастоидальная область (OM) – отражает кровоток в бассейне базиллярных сосудов. Полученные реограммы подвергались визуальному и количественному анализу [6]. Анализировались показатели артериального кровотока, тонуса и эластичности артерий, показатели гемодинамики в венозном русле. Статистическая обработка количественных показателей реограмм проводилась с помощью программной среды IBM Statistics SPSS версии 22.0. Ввиду отсутствия нормальности распределения использовали непараметрические методы анализа, результаты представлены в виде медиан и квартильных коридоров. Значимость отличий параметров реограмм между полушариями в одинаковых отведениях устанавливались с помощью критерия Mann–Whitney. Достоверность физиологических сдвигов после проведения физиологических проб выявлялась с использованием критериев Fridman, Wilcoxon.

Результаты исследования и их обсуждение

Количественные характеристики мозговой гемодинамики (пульсовое кровенаполнение, периферическое сосудистое сопротивление и состояние венозного оттока) в состоянии спокойного бодрствования у всех обследованных нами студентов находились в пределах физиологических норм. Отмечается снижение тонуса в магистральных артериях в бассейне левой вертебральной артерии на 3% по сравнению с нормативными значениями, при этом то-

нус сосудистых стенок в остальных бассейнах головного мозга находится в пределах нормы. Также признаки сниженного тонуса наблюдаются в крупных артериях во всех исследованных бассейнах в обоих полушариях: на 10% тонус снижен в бассейне внутренних сонных артерий и на 17% – в бассейне позвоночных артерий. Гипотонусом также характеризуются средние и мелкие артерии бассейна позвоночных артерий (медиана на 17,5% выше физиологических норм). Индивидуальные значения параметров мозгового кровотока демонстрируют, что у большинства испытуемых пульсовое кровенаполнение артериальной сети не соответствует физиологической норме. Более чем у 80% испытуемых отмечается сниженный тонус крупных, а также средних и мелких артерий всех исследуемых бассейнов обоих полушарий. Периферическое сосудистое сопротивление соответствует физиологическим нормам у 80% студентов. Признаки затрудненного венозного оттока отмечаются у 50% респондентов.

Количественные характеристики реограмм не обнаруживают различий между одинаковыми бассейнами обоих полушарий, а также между бассейнами общих сонных и базилярных артерий внутри каждого полушария в отдельности. Данные результаты свидетельствуют о наличии хорошо развитого, симметричного церебрального кровотока у студентов исследуемой выборки.

Таким образом, анализ параметров мозгового кровообращения у студентов в состоянии относительного покоя позволил установить признаки гипотонуса сосудов среднего и мелкого калибра, т.е. сосудов распределения, играющих ключевую роль в распределении крови между функционально активными областями головного мозга. Сниженный тонус может приводить к потере эластичности сосудистой стенки, ее перерастяжению поступающей кровью и повышению артериального давления. В исследованиях различных авторов продемонстрировано, что рано диагностированная артериальная гипертензия в виде вегетососудистой дистонии переходит в устойчивую гипертензию в зрелом возрасте без яркой симптоматики в связи с пограничными значениями артериального давления [7, 8]. Таким образом, необходимо уделять более пристальное внимание состоянию сердечно-сосудистой системы у студентов с признаками вегетативной дисфункции и гипотонусом сосудов разного калибра для предупреждения развития гипертонической болезни.

Исследования ряда авторов показали влияние незначительных изменений психоэмоционального статуса на обменные процессы в нейронах коры больших полушарий и, следовательно, на параметры кровотока в локальных активных областях мозга [9, 10]. Проведение различных видов сенсорной стимуляции демонстрирует синхронность изменений локальной мозговой гемодинамики совместно с изменениями биоэлектрической активности функционально активных областей мозга.

Анализ параметров мозгового кровообращения при решении простой математической задачи позволил установить у испытуемых минимальные изменения гемодинамики. Медиана ЧСС в процессе выполнения данного варианта пробы увеличилась на 5% по сравнению с фоном ($p = 0,783$). **Выполнение простой когнитивной задачи не вызвало значимого изменения параметров кровотока в магистральных сосудах исследуемых бассейнов обоих полушарий мозга.** Однако установлена тенденция к повышению тонуса сосудов крупного, а также среднего и мелкого калибров. Наиболее выраженное повышение тонуса в указанных сосудах артериальной сети наблюдалось в бассейне левой вертебральной артерии. Анализ изменения периферического сосудистого сопротивления демонстрирует значимый прирост его величины в бассейне вертебральных артерий обоих полушарий на 34,4–39,2% (Oms и Omd соответственно). **При этом в бассейне внутренних сонных артерий периферическое сосудистое сопротивление остается без изменений по сравнению с исходными (фоновыми) значениями.** Величина сосудистого сопротивления выходит за границы физиологической нормы. Решение математической задачи отражается на динамике венозного оттока. Наблюдается тенденция выраженного усиления оттока по венозному руслу из всех исследуемых бассейнов, в особенности из вертебро-базилярного (147,6–193,3%). Значения медиан ПВО выше физиологических норм в бассейне правой позвоночной артерии на 10%, левой – на 30%.

Анализ различий в параметрах мозгового кровотока в симметричных отведениях разных полушарий и в различных отведениях одного полушария обнаружил значимые расхождения в величине коэффициента асимметрии реографического индекса, отражающего разницу кровенаполнения внутри исследуемого органа. В частности, установлена незначительная асимметрия кровенаполнения в бассейнах левой и правой позвоночных артерий, с фокусом

в правую ветвь ($p = 0,002$). Также выявлены различия в величине объемного кровотока в различных артериальных бассейнах левого полушария: в частности, объемная величина кровотока в области левой общей сонной артерии на 68,9% выше, чем в вертебро-базилярном бассейне ($p = 0,032$). Это, по-видимому, может быть связано с функциональной активностью левой фронтальной коры.

Выполнение когнитивной пробы с усложнением сопровождается статистически значимым снижением величины пульсового кровенаполнения в артериальной сети всех исследованных бассейнов обоих полушарий.

Несколько более выраженное снижение наблюдается в левом полушарии. Суммарно объем пульсового кровенаполнения снижается в бассейне внутренней сонной артерии на 15,8–17,4%, в вертебро-базилярном бассейне – на 10,2–18,0% по сравнению с фоном. Данные значения находятся ниже физиологических норм для бассейна общих сонных артерий и левой базилярной артерии. Эластикотонические свойства сосудов разного калибра при выполнении когнитивной пробы проявляются в повышении тонуса средних артерий и артериол в системе левой внутренней сонной артерии (повышение на 17,2% по сравнению с фоном, $p = 0,041$). Статистически значимых изменений периферических сосудов установлено не было, однако выявлена тенденция усиления сосудистого сопротивления во всех исследуемых бассейнах. Показатели венозного оттока превышают физиологическую норму в бассейнах правого полушария, при этом венозный отток из общей сонной артерии вырос на 212% по сравнению с фоном ($p = 0,049$). Данные изменения носят дезадаптивный характер, так как сочетание вазоконстрикции с повышенным тонусом сосудов распределения снижает эффективность кровотока, а соответственно и успешность когнитивной деятельности, что может быть связано с малоподвижным сидячим образом жизни современных студентов.

Различий в величине параметров мозгового кровотока в симметричных отведениях обоих полушарий и между разными отведениями в пределах одного полушария при выполнении сложной математической задачи установлено не было.

Сравнение реографических показателей при выполнении когнитивных задач разной сложности позволило установить, что сложная умственная работа сопровождается более выраженным снижением параметров пульсового кровенаполнения,

эластических свойств сосудов и венозного оттока, причем данные изменения более заметны в бассейне внутренней сонной артерии. Усложнение когнитивной задачи неодинаково отражается на состоянии артериальных сосудов разного калибра. Так, установлено, что сложная когнитивная задача повышает тонус как крупных артерий, так и артерий среднего калибра и артериол в системе левой внутренней сонной артерии (на 20% и 11% соответственно; $p = 0,023$; $0,010$). При этом в правом полушарии повышается тонус исключительно крупных артерий (на 8,5% по сравнению с результатом в простой когнитивной пробе, $p = 0,013$). Различий в величинах периферического сосудистого сопротивления в когнитивных задачах разного уровня сложности не наблюдалось.

Заключение

Анализ результатов исследования демонстрирует некоторые специфические особенности влияния деятельности, связанной с решением когнитивных задач различного уровня сложности, на состояние мозговой гемодинамики в различных бассейнах артериовенозной сети головного мозга. При этом общей чертой воздействия на мозговую гемодинамику всех видов предъявляемых когнитивных задач является повышение активности объемного кровотока во фронто-мастоидальных отведениях (внутренние сонные артерии) по сравнению с окципито-мастоидальным отведением (базилярные артерии). Простая когнитивная задача активирует кровоток в задних отделах мозга, при этом повышаются тонус сосудов распределения, периферическое сосудистое сопротивление и венозный отток. Сложная когнитивная задача вызывает неблагоприятные сдвиги в церебральной гемодинамике. В частности, снижается пульсовое кровенаполнение, особенно в бассейне левой общей сонной артерии, при этом повышается тонус сосудов распределения в данном регионе, усиливается венозный отток.

Список литературы

1. Навроцкий В.К. Гигиена труда. М., 1974. 440 с.
2. Alvaro B., Tang R., Zhu C. The effect of mental stress on heart rate variability. NJ Governor's School of Engineering & Technology. 2011. 12 p.
3. Надежкина Е.Ю., Новикова Е.И., Мужиченко М.В., Филимонова О.С. Влияние экзаменационного стресса на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и уровень тревожности у студентов с различными типами высшей нервной деятельности // Вестник ВолГМУ. 2017. №2 (62). С. 115–118.
4. Алексеева Э.А., Шантанова Л.Н., Петунова А.Н., Иванова И.К. Оценка функционального состояния организ-

ма студентов в период экзаменационного стресса // Вестник Бурятского гос. ун-та. 2010. № 12. С. 108–113.

5. Апокин В.В., Семёнова А.А., Нифонтова О.Л. Состояние сердечно-сосудистой системы студентов. Теория и практика физической культуры. 2014. № 9. С. 95–97.

6. Комплекс реографический «Рео-спектр». Методические указания. Иваново: ООО «Нейрософт», 2010. 143 с.

7. Дубинин К.Н., Хлопина И.А., Плакуев А.Н., Суханова Н.С. Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний у студентов медиков // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 8–3 (39). С. 94–101.

8. Юшманова Л.С., Совершаева С.Л. Кровоснабжение мозга в бассейне сонных артерий у нормо- и гипотензивных

лиц юношеского возраста // Фундаментальные исследования. 2014. № 10–1. С. 189–192.

9. Капилевич Л.В., Ежова Г.С., Захарова А.Н., Кабачкова А.В., Кривошеков С.Г. Биоэлектрическая активность головного мозга и церебральная гемодинамика у спортсменов при сочетании когнитивной и физической нагрузки // Физиология человека. 2019. Т. 45. №2. С. 58–69.

10. Мельник С.Н., Мельник В.А., Сукач Е.С., Ткаченко П.В. Влияние физической и умственной нагрузки на состояние центральной и мозговой гемодинамики молодых людей в зависимости от типа кровообращения и церебральной микроциркуляции // Человек и его здоровье. 2016. №1. С. 117–123.

УДК 581.9(575.2)

РЕСУРСНАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА (*ROSA CANINA* L.) В ОРЕХОВО-ПЛОДОВЫХ ЛЕСАХ ЮГА КЫРГЫЗСТАНА

¹Шалпыков К.Т., ¹Рогова Н.А., ¹Долотбаков А.К., ²Султангазиев О.Э., ²Тагаев Б. А.

¹Институт химии и фитотехнологий Национальной академии наук
Кыргызской республики, Бишкек, e-mail: alhor6464@mail.ru;

²Международная природоохранная организация «Fauna & Flora International»,
Бишкек, e-mail: ormon.sultangaziev@fauna-flora.org

В данной статье представлены материалы экспедиционных исследований по ресурсной оценке запасов шиповника в орехово-плодовых лесах южного Кыргызстана. Исследования показали, общий биологический запас плодов шиповника по итогам второй экспедиции составляет 649,4 т, из них ежегодно можно заготавливать можно порядка 216,5 т. сухих плодов шиповника, без ущерба в природной среде. Наибольшие площади имеют Кызыл-Унгурский лесхоз – 3495 га, с биологическим запасом 199,3 т., затем Ачинский лесхоз – 2324 га с биологическим запасом сухих плодов 335,3 т., затем ГПЗ «Дашман» – 750 га, с биологическим запасом плодов 28,2 т., замыкает по площади Арстанбап-Атинский лесхоз – 338 га с запасом плодов – 86,6 т. Наиболее продуктивными оказались заросли Арстанбап-Атинском лесхозе – в среднем 256,21 кг/га сухих плодов шиповника, затем Ачинский лесхоз- 144,28 кг/га плодов, затем Кызыл-Унгурский лесхоз- 57,02 кг/га плодов, самое низкое продуктивность в ГПЗ «Дашман» – 37,6 кг/га. На всех исследованных лесных хозяйствах наибольшие биологические запасы наблюдались в Ачинском (335,3 тонны), далее следует Кызыл-Унгурский лесхоз с биологическим запасом 199,3 т., Арстанбап-Атинский лесхоз – с запасом плодов – 86,6 т и замыкает по площади ГПЗ «Дашман» с биологическим запасом плодов 28,2 т.

Ключевые слова: биологический запас, эксплуатационный запас, шиповник, растительность, плоды

RESOURCE ASSESSMENT OF ROSEHIP FRUIT STOCKS (*ROSA CANINA* L.) IN THE NUT AND FRUIT FORESTS OF SOUTHERN KYRGYZSTAN

¹Shalpykov K.T., ¹Rogova N.A., ¹Dolotbakov A.K., ²Sultangaziev O.E., ²Tagaev B.A.

¹Institute of Chemistry and Phytotechnology National Academy of Sciences
of the Kyrgyz Republic, Bishkek, e-mail: alhor6464@mail.ru;

²International environmental organization «Fauna & Flora International»,
Bishkek, e-mail: ormon.sultangaziev@fauna-flora.org

This article presents the materials of the expedition research on the resource assessment of rosehip stocks in the nut and fruit forests of southern Kyrgyzstan. Studies have shown that the total biological stock of rosehip fruits according to the results of the second expedition is 649.4 tons, of which about 216.5 tons of dry rosehip fruits can be harvested annually, without damage to the natural environment. The largest areas are Kyzyl-Unkur forestry – 3495 hectares, with biological reserve 199.3 so, then Achinsk forestry – 2324 hectare biological supply dry fruits 335.3 so, then GPP «Dashman» – 750 hectares, with a biological inventory of the fruit of 28.2 t., closes the area Arstanbap-Ata forestry – 338 hectares with a stock of fruits – 86.6 T. The most productive were the thickets of Arstanbap-Ata forestry-an average of 256.21 kg / ha of dry rosehip fruits, then Achinsk forestry – 144.28 kg/ha of fruits, then Kyzyl-Unkur forestry – 57.02 kg/ha of fruits, the lowest productivity in the GPP «Dashman» – 37.6 kg/ha. In all the studied forestry largest biological reserves were observed in Achinsk (335.3 tons), followed Kyzyl-Unkur forestry biological reserve 199.3 t., Arstanbap-Ata forestry – with a stock of fruits – 86.6 t and closes in area GPP «Dasman» of biological reserve fruits of 28.2 t.

Keywords: biological stock, operational stock, rosehip, vegetation, fruits

Флора Кыргызстана насчитывает более 4100 видов высших растений. Приблизительно 1600 видов растений имеют экономическую и/или полезную ценность, около 800 видов используется в лекарственных целях.

В настоящее время практически все экосистемы Кыргызстана подвержены антропогенному влиянию. Биологическое разнообразие находится под угрозой сокращения в результате человеческой деятельности. Чрезмерный выпас скота на пастбищах ухудшил многие из сообществ растений и значительно уменьшил размеры лесных экосистем.

Считается, что горные районы являются источником получения высококачественного, экологически чистого растительного сырья, которое обычно используется как промышленностью, так и местным населением.

Многолетняя практика заготовок дикорастущих растительных ресурсов без соответствующих правил привела к сокращению запасов многих лекарственных растений в горных и предгорных районах страны, в частности солодки голой (*Glycyrrhiza glabra* L.), душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.), зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.), тимьяна Маршалла, (*Thymus marschallianus* L.) шипов-

ников (*Rosa sp.*), боярышника, барбариса и др. Не регулируемый массовый сбор приводит к уменьшению численности их популяций. Можно глубокой уверенностью сказать, что идет чрезмерный сбор плодов шиповника, барбариса, без учета их восстановительной способности. Не определена научно-обоснованная ежегодная квота на сбор плодов, исходя из их биологических запасов.

К числу таких интенсивно заготавливаемых растений относятся шиповники. По нашим данным ежегодно из страны заготавливается и вывозится от 350–500 тонн дикорастущих шиповников, внутри страны перерабатывается и используется порядка 5–6% (15–20 тонн), а все остальное вывозится в виде сырья в основном Россию (250–300 тонн), нелегально в Таджикистан, например плоды шиповника и смола Ферулы вонючей, а в Турцию в основном сушеные плоды дикорастущих яблонь, грецкий орех, каперсы колючие. В Таджикистан (50–60 тонн приблизительно, нет точных данных), в Турцию (100–150 тонн).

В Кыргызстане произрастает порядка 25 видов шиповников, из них некоторые широко распространены, например шиповник собачий (*Rosa canina* L.), Беггера (*R. beggeriana* Schrenk), Альберта (*R. alberti* Regel), вонючий (*R. foetida* Herzm.), Эчисона (*R. ecae* Aitch.), Самаркандский (*R. maracandica* Bunge) и другие. Имеются субэндемичные виды: шиповник Акбуринский (*R. achburensis* Chrshan.), Федченко (*R. fedtschenkoana* Regel), кокандский (*R. kokanica* (Regel) Juz.), карликовый (*R. nanothamnus* Bouleng.) и др. Также у нас встречаются и эндемичные виды: шиповник Алабукинский (*R. alabukensis* Tkatsch.), превосходный (*R. divina* Sumn. ex Tkatsch.), иссык-суевский (*R. issyk-suensis* Tkatsch.), кокиримский (*R. kokirimensis* Tkatsch.), караалминский (*R. karalimensis* Tkatsch.) и др. [1].

Из-за сложности определения видовой принадлежности в систематике шиповников очень много не ясного. Особенно это касается изучения шиповников юга Кыргызстана, где сосредоточены более 70% видового разнообразия шиповников, встречающихся в Кыргызстане.

Настало время изучить их видовой принадлежности и плотности их популяций в изучаемых нами двух массивах: Арстанбабе и Кызыл-Ункуре. К сожалению, до настоящего времени нет литературных данных по запасам шиповников юга Кыргызстана. Имеются по лесхозам старые приближенные данные только по площади шиповников, среди кустарниковой растительности.

В основном имеются сведения исследования шиповников Чуйской и Иссык-Кульской котловины Кыргызстана за последние 10 лет [2, 3]. В советское время в условиях Ботанического сада им. Э. Гарева НАН КР в целях интродукции в изучены биологические особенности шиповников Средней Азии В.И. Ткаченко [4]. На достаточно высоком уровне проведены исследования шиповников Западного Памира (Горный Бадахшан) д.б.н., профессором А.А. Мамдризохоновым [5], проведены исследования по запасам плодов шиповника в Коми-Пермяцком округе Пермского края [6], разрабатываются методы экстракции плодов шиповника [7].

Поэтому мы не можем сказать в реальности, были-ли снижения запасов шиповников за последние годы. Но, кризис после развала Советского Союза имели последствия во всех сферах. Так как, местное население начали интенсивно проводить сбор плодов шиповника для получения прибыли, в основном в эти работы привлекаются дети школьного возраста. Также очевиден факт увеличения численности КРС и МРС в орехово-плодовых лесах юга Кыргызстана, которые поедают как молодые зеленые поросли, так и плоды шиповников. Также мы заметили тот факт, что шиповники, растущие в затененных деревьями участках сильно вытягиваются высоту в поисках солнечного света (до 5–6 метров) и плодоносит на верхушках, где сбор плодов не возможен и он естественным образом может источником, как семенного возобновления, так и пищей для диких птиц и зверей в лесу.

Лекарственные растительные средства пользуются все большей популярностью. Это способствует развитию заготовок дикорастущего лекарственного сырья, а также служит одним из видов доход приносящей деятельности для местного населения [8, 9].

С другой стороны, важно разработать и точно оценить запасы шиповника в дикой природе. Это жизненно важно для того, чтобы уровни сбора урожая не ставили под угрозу будущее выживание шиповников в лесу.

С этой целью Международная природоохранная организация «Fauna & Flora International» поручила оценить состояние запасов шиповников в орехово-плодовых лесах на юге Кыргызстана. Сосредоточившись на лесных территориях в Ачинском, Арсланбаб-Атинском, Кызыл-Ункурском лесхозах и Государственном заповеднике «Дашман» и в непосредственной близости от них.

Ставились следующие основные задачи:

– Определить участки леса с запасами шиповника и собрать соответствующие данные о местах обитания (например, о вы-

соте над уровнем моря, растительности, сопутствующих видах и т.д.);

- Оценить площадь, покрытую шиповником на каждом участке исследования;

- Оценить плотность кустарников розовых на каждом участке исследования;

- Оценить запасы шиповника, имеющиеся на каждом участке исследования;

- Оценить количество шиповника, которое может быть собрано на ежегодной основе (т.е. квота на сбор урожая), без ущерба для популяции шиповника.

Материалы и методы исследования

Все исследования проводились на территории, прилегающей к Ачинскому, Арстанбап-Атинскому и Кызыл-Ункурскому лесхозам и государственному природному заповеднику «Дашман» или в непосредственной близости от них. Эти территории были выбраны потому, что имеются сведения о том, что местное население с давних времен проводят заготовки шиповников, а также участки расположены близко друг другу. Сведений по продуктивности на других участках юга Кыргызстана нам не известны. Поэтому есть необходимость в дальнейшем также обратит внимание и на другие участки по определению запасов шиповников.

Прежде чем приступить к определению запасов шиповников, экспедиционная группа совместно с представителем Фауны и Флоры интерншнл на юге Кыргызстана – Болотом Тагаевым встречались с руководством Арстанбап-Атинского, Кызыл-Ункурского лесхозов и Государственного природного заповедника «Дашман». В ходе встречи нами дана информация, с какой целью проводятся исследования запасов шиповников на территории лесхозов и заповедника.

По итогам совещаний экспедиционная группа определила ряд конкретных областей для проведения полевых исследований. Те сведения, которые нам дали в лесхозах, несомненно, были положительными и нам помогли с определением мест для оценки запасов шиповника, в частности в Кызыл-Ункурском и Арстанбап-Атинском лесхозах. Были случаи, когда мы выбирали места для оценки исходя из сведений заготовителей, местного населения, лесников.

Для определения запаса шиповника использовалась методика ВИЛАР (Российский институт лекарственных и ароматических растений), разработанная А.И. Шретером и др. [8].

Результаты исследования и их обсуждения

Кызыл-Ункурский лесхоз, ущ. Чырак-Таш. 1 участок. Высота над уровнем моря 1539 м, N 41°24'79.9", E 073°03'712".

Шиповник собачий (*Rosa canina* L.) – средний пояс гор. Растительность сообщества состоит из 3-х ярусов: 1 ярус – орех грецкий (*Juglans regia*); 2 ярус – яблоня Сиверса (*Malus sieversii*), боярышник туркестанский (*Crataegus turkestanica*), каркас кавказский (*Celtis caucasica*), кизильники (*Cotonoaster* sp.), роза собачья (*Rosa canina*), алыча согдийская (*Prunus sogdiana*); 3 ярус – разнотравье: цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), мята лесная (*Mentha silvestris*), душица мелкоцветковая (*Origanum tyttanthum*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), лопух войлочный (*Arctium tomentosum*), пустырник туркестанский (*Leonurus turkestanicus*), Melissa лекарственная (*Melissa officinalis*), подорожник большой (*Plantago major*), пырей ползучий (*Agropiron repens*), мятлики (*Poa* sp.), желтушники (*Erysimum* sp.), клевер ползучий (*Trifolium repens*), лапчатка ползучая (*Potentilla reptans*) и др.

На 100 м² произрастает 1 куст шиповника, на 1 га – 100 кустов. Вес свежих плодов с 1 куста, в среднем, 375 г, сухих – 165 г. Сырой вес плодов с 1 га – 37,5 кг, сухой вес – 16,5 кг.

2. Там же. Высота над уровнем моря 1617 м, N 41°24'94.3", E 073°03'84.8". Верхняя граница произрастания шиповника собачьего. В этой зоне распространены шиповник кокандский (*Rosa kokanica*) начиная от верхней границы орехово-плодового леса, растет он, преимущественно, на открытых участках, образуя куртины, в которых, в среднем, по 10 плодоносящих кустов и 5–8 мелких. Размножается шиповник кокандский семенами и корневой порослью.

Растительность сообщества состоит из 3-х ярусов: 1 ярус – иногда встречается орех грецкий (*Juglans regia*); 2 ярус – яблоня Сиверса (*Malus sieversii*), боярышник туркестанский (*Crataegus turkestanica*); 3 ярус – разнотравье: шток-роза голоцветковая (*Alcea nudiflora*), норичники (*Scrophularia* sp.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), душица мелкоцветковая (*Origanum tyttanthum*), пустырник туркестанский (*Leonurus turkestanicus*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), молочай низкий (*Euphorbia humilis*), бородач кровоостанавливающий (*Bothriochloa ischaetum*), мятлики (*Poa* sp.), осоки (*Carex* sp.).

Средняя плотность шиповника кокандского, в среднем, 3 куста на 100 м², или 300 кустов на 1 га. На кустах отмечены единичные плоды, урожайность определить не удалось. Плоды данного вида мелкие и, обычно, не подлежат заготовке.

3. Там же. Высота над уровнем моря 1414 м, N 41°24'65.6", E 073°03'45.8". Шиповник собачий произрастает на крутом северном склоне, спускающемся к ручью. Растительность из трех ярусов: 1 ярус – орех грецкий (*Juglans regia*); 2 ярус – яблоня Сиверса (*Malus sieversii*), боярышник туркестанский (*Crataegus turkestanica*), каркас кавказский (*Celtis caucasica*), кизильники (*Cotonoaster sp.*), роза собачья (*Rosa canina*), алыча согдийская (*Prunus sogdiana*), вишня магалебская (*Cerasus mahaleb*), клен туркестанский (*Acer turkestanica*); 3 ярус –

разнотравье: тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), буквица олиственная (*Betonica betoniciflora*), мята лесная (*Mentha silvestris*), мелисса лекарственная (*Melissa officinalis*), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*), душица мелкоцветковая (*Origanum tyttanthum*), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), морковь дикая (*Daucus carota*), норичники (*Scrophularia sp.*), котовник кошачий (*Nepeta cataria*).

Плодоносящие кусты составляют 20–30%. На 1 га, в среднем, 350 кустов шиповника.

Таблица 1

Запасы воздушно сухого сырья плодов шиповника собачьего (*Rosa canina* L.) в орехово-плодовых лесах юга Кыргызстана по итогам двух экспедиций

№ п/п	Местность	Площадь, га	Продуктивность, кг/га	Биологический запас, т	Эксплуатационный запас, т
1	Кызыл-Ункурский лесхоз Ущ. Чирак-Таш Там же Ущ. Ак-Коргон Среднее	75	16,5 189 45,6 83,7	6,3	2,1
2	Арстанбап-Атинский лесхоз, Местность Кок-Ой	252	495	62,4	20,8
3	Там же Ущ. Кызыл-Куль	36	516	18,6	6,2
4	Там же Ущ. Дарбаза Жангак 1 участок 2 участок Местность Арал среднее	15	64,8 105 18,6 62,8	0,94	0,3
5	Пойма р. Арстанбап, Джарадар	50	132	5,6	1,87
6	ГПЗ «Дашман» Ущ. Ак-Булак 1 участок 2 участок среднее	10	310,4 490 400,2	4,0	1,33
7	ГПЗ «Дашман», ущ. Аир-Таш.	200	45,0	8,1	2,7
8	Кызыл-Ункурский лесхоз. Ущ. Ак-Терек Ущ. Эшек-Арт	720	35,5	25,6	8,53
9	Кызыл-Ункурский лесхоз. Местность Тюлеберди	1500	54,0	81,0	27
10	Кызыл-Ункурский лесхоз, Место Кара-Конуз ГПЗ «Дашман», выше турбазы «Кооператор»	1200	72,0	86,4	28,8
11	ГПЗ «Дашман», Ущ. Жалпак-Таш Там же, ущ. Алмурут Там же, ущ. Жантык	540	29,8	16,1	5,37
12	Ачинский лесхоз. Ущ. Кызыл-Суу, Муйуз-Терек, Чымчык-Жар, Капа, Карал-Добо, Пана	2000	127,5	255	85,0
13	Ачинский лесхоз. ущ. Могол, Кок Алма, Кок-Бель, Шамалды-Кыр	324	247,7	80,3	26,77
	Всего:	6909	Ср. 93,95	649,4	216,5

Вес свежих плодов с 1 куста, в среднем, 1140 г, сухих – 540 г. Сырой вес плодов с 1 га – 399 кг, сухой вес – 189 кг.

Кызыл-Ункурский лесхоз, ущ. Ак-Коргон. Высота над уровнем моря 1470 м, N 41°26'83.9", E 073°01'65.9". Шиповник собачий произрастает в пойме реки и на склонах. Растительность сообщества состоит из 3-х ярусов: 1 ярус – орех грецкий (*Juglans regia*); 2 ярус – береза тянь-шаньская (*Betula tianschanica*), яблоня (*Malus sieversii*), боярышник туркестанский (*Crataegus turkestanica*), алыча согдийская (*Prunus sogdiana*), барбарис продолговатый (*Berberis oblonga*), ежевика сизая (*Rubus caesius*); 3 ярус – разнотравье: гравилат речной (*Geum rivale*), подорожник большой (*Plantago major*), фиалка (*Viola sp.*), костяника каменистая (*Rubus saxatilis*), герань холмовая (*Geranium collinum*), бересклет Коопманна (*Euonymus koopmannii*).

На 100 м², в среднем, 2 куста, на 1 га – 200 кустов. Сырой вес плодов с 1 куста – 500 г, с 1 га – 100 кг. Сухой вес плодов с 1 куста – 228 г, с 1 га – 45,6 кг.

Общая площадь произрастания шиповника в данных трех участках Кызыл-Ункурского лесхоза – 75 га. На данной площади биологический запас сырых плодов шиповника составляет 13,4 т, сухих плодов – 6,3 т.

Далее нами по такой же схеме были проведены исследования по другим 12 участкам, растительность и ярусность идентичны. Поэтому нами не были данной статье даны эти сведения, а они сведены к табл. 1.

Таким образом, общий биологический запас плодов шиповника по итогам второй экспедиции составляет 649,4 т, из них ежегодно можно заготавливать можно порядка 216,5 т. сухих плодов шиповника, без ущерба в природной среде.

Наибольшие площади имеют Кызыл-Ункурский лесхоз – 3495 га, с биологическим запасом 199,3 т., затем Ачинский лесхоз – 2324 га с биологическим запасом сухих плодов 335,3 т., затем ГПЗ «Дашман» – 750 га, с биологическим запасом плодов 28,2 т., замыкает по площади Арстанбап-Атинский лесхоз – 338 га с запасом плодов – 86,6 т.

Наиболее продуктивными оказались заросли Арстанбап-Атинском лесхозе – в среднем 256,21 кг/га сухих плодов шиповника, затем Ачинский лесхоз – 144,28 кг/га плодов, затем Кызыл-Ункурский лесхоз – 57,02 кг/га плодов, самое низкое продуктивность в ГПЗ «Дашман» – 37,6 кг/га.

Таким образом, разница между наибольшей и наименьшей продуктивности составляет порядка 6,8 раз. По-видимому,

это в первую очередь связано с тем, что в Арстанбап-Атинском лесхозе практически все заросли шиповника расположены в пойме реки Арстанбап, где водообеспеченность намного выше, а также эти участки наиболее открыты, затененность кустов наименьшая. Это говорит о том, что шиповники предпочитают открытые участки с относительно благоприятным влагообеспечением.

Также нужно обратить особое внимание на ежегодно возможных объемах заготовки шиповников, без причинения ущерба природной среде, т.е. эксплуатационные запасы плодов. Наиболее оптимальными считается сбор 1/3 части от биологической продуктивности (33,33%).

Важность шиповников для орехово-плодового леса в целом велика, так как они являются частью фитоценозов и играют большую роль в сохранении биоразнообразия леса.

На всех исследованных предприятиях лесного хозяйства наибольшие биологические запасы наблюдались в Ачинском (335,3 тонны) лесхозе, далее следует Кызыл-Ункурский лесхоз с биологическим запасом 199,3 т., Арстанбап-Атинский лесхоз – с запасом плодов – 86,6 т и замыкает по площади ГПЗ «Дашман» с биологическим запасом плодов 28,2 т.

По нашему мнению Ачинский лесхоз в основном расположен на высоте не выше 1700–1800 метров над у. м. и практически меньше лесу затеняющих кусты шиповника высоких деревьев, что является экологически благоприятными условиями для роста и развития шиповников. К сожалению, во всех 4-х лесхозах работники лесхозов мало обращают внимание на сбор шиповников, не ведут никаких ограничительных мер в отношении сбора. Для них важным является только сбор урожая грецкого ореха.

Как видно из данных табл. 2 все изученные виды шиповников юга Кыргызстана отличаются по морфометрическим характеристикам плодов и семян. Самыми длинными плодами отличаются *R. fedtschenkoana*, *R. canina* и *R. laxa* (1,7–2,2 см), почти в два раза меньше у *R. beggeriana* и *R. kokanika* (0,8–1,1 см). По ширине плодов максимальна у *R. laxa* и *R. fedtschenkoana* (1,6–1,8 см), а у остальных трех видов от 0,7 до 1,2 см.

По количеству воздушно сухих плодов в 100 г максимально у *R. beggeriana* (526 шт.), затем *R. kokanika* (154 шт.), замыкают *R. fedtschenkoana* и *R. laxa* (66–86 шт.). Наиболее распространенного вида – *R. canina* 107 шт.

Таблица 2

Характеристика воздушно сухих плодов 5 видов шиповника, собранных в орехово-плодовых лесах юга Кыргызстана

№ п/п	Виды шиповника	Размер плодов, длина-ширина, см	Кол-во плодов в 100 г, шт.	Вес 1000 плодов, г	Вес околоплодника, %	Вес семян в плодах, %	Кол-во семян в 1 плоде, шт.	Масса 1000 семян, г
1	<i>Rosa beggeriana</i>	0,8–0,7	526	190	57,9	42,1	14	5,7
2	<i>R. canina</i>	1,8–1,2	107	930	56,5	43,5	23	17,7
3	<i>R. fedtschenkoana</i>	2,2–1,6	86	1162	54,4	45,6	21	29,5
4	<i>R. kokanika</i>	1,1–1,1	154	650	65,6	34,4	11	19,1
5	<i>R. laxa</i>	1,7–1,8	66	1516	51,0	49,0	28	27,5

По массе 1000 шт. плодов также все изученные виды резко отличаются. Так наибольшую массу имел *R. laxa* (1516 г), затем *R. fedtschenkoana* (1162 г), в середине находятся *R. kokanika* и *R. canina* (650–930 г соответственно). Минимальную массу 1000 плодов имел *R. beggeriana* (190 г).

Нами отмечено, что по весу околоплодника и семян рассматриваемые виды шиповников также варьировали. *R. kokanika* околоплодник составляет 65,6%, минимальна у *R. laxa* (51,0%), у остальных трех видов колеблется от 54,4 до 57,9%. Соответственно *R. kokanika* минимальна процент содержание семян в плоде – 34,4%, тогда как у *R. laxa* 49,0%. У остальных трех видов – 42,1–45,6%.

В плодах изученных видов количество семян также отличалось. *R. laxa* – 28 шт., *R. fedtschenkoana* и *R. canina* – 21–23 шт. Минимальна у *R. kokanika* – 11 шт. По массе 1000 семян шиповники юга Кыргызстана варьировали почти в 5 раз. Минимальна у *R. beggeriana* – 5,7 г., максимально у *R. laxa* и *R. fedtschenkoana* (27,5–29,5 г). В середине отмечалось у *R. canina* и *R. kokanika* (17,7–19,1 г соответственно).

Основные угрозы подразделяются на антропогенные, абиотические и биотические. Из антропогенных: хищнический, никем не контролируемый сбор плодов шиповника; выкорчевка кустов для освобождения мест для посадки картофеля местным населением. Из биотических: уничтожение зеленых однолетних приростов и части урожая скотом; распространение в лесу заносных видов растений, в частности ежемалины; к уничтожению могут привести также болезни (Ржавчина роз – *Phragmidium micronatum* Wallr., налет с белыми пятнами – «Ведьмина метла» – Прагмидиум опустошающий – *Phragmidium devastatrix* Sorok., вредители (Орехотворки розанной листовой – *Diplolepis centifolia* (Hartig) и паразиты растений – повеликой Леманна – *Cuscuta lehmanniana* Bunge).

Абиотические: изменения климата, сопровождающее с потеплением мест произ-

растания шиповников, что также скажется плотности популяций шиповников в отрицательную роль.

Устойчивая квота на сбор урожая. Общий биологический запас плодов шиповника по итогам второй экспедиции в обследованных 4-х лесхозах юга республики оставляет 649,4 т, из них ежегодно можно заготавливать можно порядка 216,5 т. сухих плодов шиповника, без ущерба в природной среде. Эти объемы взяты из общеизвестных научно-обоснованных рекомендациях по сбору плодов ягодных кустарников (черной смородины, облепихи, голубики, барбариса и др.), в том числе и для шиповников. Насколько нам известно, ежегодно официально в республике собираются порядка 300 тонн плодов шиповника, а по данным местных сборщиков изученных нами лесхозах собирают от 50 до 150 тонн, что ниже рекомендуемого нами лимитов. При всем желании сборщики не могут собирать плоды шиповников выше 1,5–2 м, также сильная колючесть мешают сбору с середины куста. Поэтому практически остаются плоды не собранными, особенно у старых и мощных кустах шиповника порядка 60-70%.

Очень уязвимыми являются молодые, еще не окрепшие кусты, у которых практически собираются 100% плодов;

Нами рекомендуется посадка шиповниками в качестве живой изгороди вокруг огородных участков, в земельных наделах фермеров, с которых последующем можно провести сбор плодов шиповников.

Заключение

Для промышленной эксплуатации шиповника на юге Кыргызстана мы рекомендуем использовать участки, которые занимают относительно большие площади и находятся в легкодоступных местах, экономически жизнеспособные и относительно ровные гипсометрические зоны плоского грунта, где популяции шиповника имеют плотные запасы, являются прогрессивными и стабильными. По наблюдениям, полу-

ченным в ходе настоящего исследования, в число участков, обладающих наибольшим потенциалом для обеспечения достаточного количества запасов, которые могут быть рационально заготовлены, входят участки, обладающие наибольшим потенциалом для устойчивого сбора урожая: Ачинский лесхоз, и участки вдоль бассейнов рек Арстанбап и Кызыл-Ункур лесхоз, а также при условии уничтожения паразитов участок «Ак-Булак» в ГПЗ «Дашман».

В популяциях, находящихся в труднодоступных участках для заготовки и транспортировки сырья считаем, что можно использовать для заготовки посадочного материала и сбора семенного материала.

При заготовке лекарственных, технических и пищевых растений на территории Кыргызской республики необходимо руководствоваться следующими законами, законодательными актами КР: Закон Кыргызской Республики «Об охране и использовании растительного мира» от 20 июня 2001 года № 53 (В редакции Законов КР от 24 июня 2003 года № 114, 26 февраля 2007 года № 21); Закон Кыргызской Республики «О ставках платы за пользование природными объектами животного и растительного мира» от 11 августа 2008 года № 200; ПРАВИЛА сбора лекарственных растений и допустимые нормы (лимиты) сбора, Приложение к приказу Государственного агентства по охране окружающей среды и лесному хозяйству при Правительстве Кыргызской Республики от 18 июня 2008 года № 01-13/112. Этот Закон регулирует все вопросы, связанные сбором дикорастущего сырья на территории Кыргызской республики по перечню. В перечень входит свыше 50 наименований лекарственных, пищевых, технических растений и съедобных грибов. Законом также запрещается сбор видов занесенных в Красную Книгу Кыргызской республики, за исключением в научных целях.

Физическим и юридическим лицам, заготавливающим лекарственное сырье следует помнить, что их задача заключается не только собрать определенное количество сырья, но и в том, чтобы сохранить имеющиеся запасы в популяциях лекарственных растений и принять меры к их воспроизводству. Собирая части растения (почки, кору, листья, траву, плоды, ягоды, корни, корневища, луковицы, семена и т.д.), сборщики должны заботиться о сохранности зарослей растений, избегать хищнических приемов заготовки и сбора, которые могут привести к полному исчезновению части популяций конкретной местности. Мы рекомендуем, чтобы общее количество собранного урожая растений соответствовало согласованным квотам.

В частности, для шиповника мы рекомендуем собирать не более 216,5 тонн в год. Это гарантирует отсутствие ущерба для вида и окружающей среды. Другие, более редкие, более чувствительные виды потребуют гораздо меньших и более строгих квот, чтобы избежать чрезмерного сбора урожая.

Все надземное сырье собирается в ясную, сухую погоду, при отсутствии утренней или вечерней росы. Присутствие в сырье не должно попадать другие органические (посторонние растения или их части) и минеральные (камни, земля, песок) примеси. Нельзя проводить заготовки вдоль транспортных магистралей, вблизи промышленных предприятий, городов, а также поврежденных болезнями (ржавчина, мучнистая роса и др.) и вредителями. Отдельные части растения подвергаются сбору в такие времена, когда накапливаются максимальное количество действующих веществ.

Для защиты ключевых участков шиповника (и шиповниковых плантаций) от воздействия домашнего скота (вытаптывание, поедание молодняка, в котором заложены плодоносящие бутоны на следующий год этого года).

Организовать гребенчато-пахотное орошение существующих шиповниковых плантаций.

Восстановить старые участки и плантации шиповника, то есть удалить высохшие кусты, срезать в кустах завядшие ветки и посадить молодые кусты шиповника на свободных местах.

Список литературы

1. Лазыков Г.А., Султанова Б.А. Кадастр флоры Кыргызстана. Сосудистые растения. Бишкек, 2014. 125 с.
2. Кудайбергенова А.К. Биологические особенности *Rosa acicularis* Lindl. в условиях Иссык-Кульской области Кыргызстана: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Бишкек, 2012. 23 с.
3. Шалпыков К.Т., Рогова Н.А., Долотбаков А.К., Кайыркулова А.К. Биологические ресурсы плодов барбариса, шиповника, рябины в предгорных и горных районах Иссык-Кульской котловины Кыргызстана // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 1. С. 16–21.
4. Ткаченко В.И. Среднеазиатские шиповники, интродуцированные в Ботанический сад академии наук Киргизской ССР. Фрунзе: «Илим», 1986. 93 с.
5. Мамадризохонов А.А. Шиповники Западного Памира. Душанбе, 2005. 181 с.
6. Айзенман С., Зауров Д.Э., Шалпыков К.Т., Струве Л. Лекарственные растения Средней Азии: Узбекистан и Кыргызстан. Бишкек: Изд-во «Имак-Офсет», 2014. 431 с.
7. Касьянов З.В., Турышев А.Ю., Белоногова В.Д., Олешко Г.И. Запасы плодов шиповника в Коми-Пермяцком округе Пермского края // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5436> (дата обращения: 14.01.2021).
8. Грецкий С.В., Павлова Л.А. Метод исчерпывающей экстракции плодов шиповника собачьего // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18879> (дата обращения: 14.01.2021).
9. Крылова М.К., Шретер А.И. Методические указания по изучению запасов дикорастущих лекарственных растений. М.: ВИЛР, 1986. 50 с.

СТАТЬИ

УДК 629(571.122)

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЦИФРОВИЗАЦИИ
ТРАНСПОРТА И ЛОГИСТИКИ НА ТРАНСПОРТЕ
В ХАНТЫ-МАНСЬИЙСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ – ЮГРА****Горгоц К.Г., Горгоц О.В.***ФГБОУ «Югорский государственный университет», Ханты-Мансийск, e-mail: ugrasu@ugrasu.ru*

Целью данной статьи является анализ процесса цифровизации работы транспорта при реальном внедрении цифровизации, это определено условиями развития шестой технологической революции. Установлена значимость развития цифровизации транспорта, в том числе и логистики на транспорте, для обеспечения экономического, политического, технологического суверенитета России. Рассмотрен ряд федеральных и региональных документов по организации новых цифровых технологий – навигационных, больших данных, предикативной аналитики, а также проанализировано появление в перспективе беспилотного транспорта. В России на транспорте уже созданы и функционируют несколько информационных инфраструктур, охватывающих почти всю Российскую Федерацию. При эксплуатации автомобильного транспорта возникли новые инфраструктуры государственных систем: «Платон», ЭРА-ГЛОНАСС, дополняющие друг друга, кроме того, на железнодорожном транспорте их дополняет инфраструктура корпоративных систем РЖД. Такая системность не встречается в других странах, это преимущество следует использовать в целях повышения эффективности. Рассмотрена система ГЛОНАСС как информационная инфраструктура с федеральным охватом, для этого приведен пример функционирования региональной навигационно-информационной системы Ханты-Мансийского автономного округа – Югра (ХМАО – Югра) на базе технологий ГЛОНАСС и ГЛОНАСС/GPS (далее – РНИС), определены роли участников информационного обмена. РНИС – это государственная автоматизированная система, которая обеспечивает учет и обработку навигационных данных. В статье рассмотрены цели, задачи исследования, методики его исполнения.

Ключевые слова: цифровизация транспорта и логистики на транспорте, шестая технологическая революция, системы «Платон», ЭРА-ГЛОНАСС, РНИС, новые цифровые технологии, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО – Югра)

**THE ANALYSIS OF PROCESS OF DIGITALIZATION
OF TRANSPORT AND LOGISTICS ON TRANSPORT
IN THE KHANTY-MANSI AUTONOMOUS DISTRICT YUGRA****Gorgots K.G., Gorgots O.V.***Yugra State University, Khanty-Mansiysk, e-mail: ugrasu@ugrasu.ru*

The purpose of this article is to analyze the process of digitalization of the work of transport during the real implementation of digitalization, this is considered in the conditions of the development of the sixth technological revolution. The importance of the development of the digitalization of transport, including logistics in transport, was determined to ensure the economic, political, technological sovereignty of Russia. A number of federal and regional documents on the organization of new digital technologies – navigation, big data, predicative analytics, as well as the appearance of unmanned vehicles in the future, were considered. In Russia, several information infrastructures have already been created and are functioning in transport, covering almost the entire Federation. During the operation of road transport, new infrastructures of state systems arose: Plato, ERA-GLONASS, complementing each other, in addition, in railway transport they are supplemented by the infrastructure of corporate systems of Russian Railways. Such a system does not occur in other countries, this advantage should be used to increase efficiency. The GLONASS system is considered as an example of information infrastructures with federal coverage, for this we will consider an example of the functioning of the regional navigation and information system of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra (Khanty-Mansi Autonomous Okrug) based on GLONASS and GLONASS/GPS technologies (hereinafter – RNIS) and the role of participants in information exchange. RNIS is a state automated system that provides accounting and processing of navigation data, the article considers the goals, objectives of research, methods of its execution.

Key words: digitalization of transport and logistics in transport, the sixth technological revolution, Plato system, ERA-GLONASS, RNIS, new digital technologies, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra (Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra)

Когнитивные технологии рассматриваются в шестой технологической революции, которая происходит в мире, многими исследователями в качестве действий, направленных на основной предмет эпохи глобальной конкуренции, которые характерны для глобализации в условиях доминирования глобальных монополий.

Сейчас в России одновременно применяются технологии разных, существующих

ранее технологических укладов: третьего уклада – это машины и механизмы, изобретенные в XX в.; четвертого уклада – технологии добычи углеводородов; пятого уклада – нанотехнологии для повышения износоустойчивости инструментов добычи ресурсов. Создается «Архитектура шестой технологической революции – платформы знаний, входящей в состав интеллектуальной оболочки» [1]. Платформой знаний

является цифровая грамотность, которая служит основой для создания и функционирования новых технологий.

Шестую технологическую революцию нередко именуют цифровой.

Целью данной статьи является анализ процесса цифровизации транспорта при реальном его внедрении.

Материалами для исследования послужили работы иностранных и отечественных исследователей: экономическая парадигма экономиста Карлоты Перес (Carlota Perez) (Венесуэла), которая представляет собой развитие теории «циклов Кондратьева»; работы В.В. Овчинникова по теории глобальной конкуренции, работы А. Ионина по цифровизации дорожной инфраструктуры, работы исследователей по радионавигации, радиосвязи А.И. Перова, В.Н. Харисова, которые создали принципы построения спутниковой радионавигационной системы (СРНС) ГЛОНАСС, дали ее системные характеристики.

Методы исследования: анализ и синтез объектов в соответствии с аспектом сравнения, системный анализ, социокультурный анализ.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28.07.2017 г. № 1632-р утверждена Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», в которой определены основные направления государственной политики Российской Федерации по формированию цифровой (электронной) экономики. «Модернизация традиционных производственных отраслей и отраслей услуг, организация торгово-закупочных процедур, смежных финансовых и логистических операций, изменение структуры потребления на фоне быстрого проникновения информационных технологий и цифровизации экономических процессов создают основу для формирования новых рынков и их функционирования, а также новых подходов к прогнозированию, анализу и, соответственно, принятию соответственно новых управленческих решений» [2].

Такая глобальная сфера, как транспорт, в том числе и логистика на транспорте, должна обеспечить экономический, политический и технологический суверенитет России.

Территория России, протянувшаяся через часть Европы и Азии, имеет свое конкурентное преимущество перед территорией других стран – транспортное сообщение между Европой и Азией осуществляется при помощи разных видов транспорта: железнодорожного, авиационного, водного, автомобильного, что обусловлено географическими условиями и потребностями международной торговли.

Новые цифровые технологии: навигационные, больших данных, предикативной аналитики, а также появление в перспективе беспилотного транспорта приводят к цифровым преобразованиям составляющих транспортной системы транспортных средств, законодательства, дорожной инфраструктуры.

Реальное внедрение цифровых технологий на транспорте сопряжено с рядом проблем.

«Сложность обусловлена самой новизной технологий. Технологии настолько инновационны, что информацией об их возможностях и рисках, направлениях и темпах развития владеют только сами разработчики» [3].

В России при эксплуатации автомобильного транспорта возникли новые инфраструктуры государственных систем: «Платон», ЭРА-ГЛОНАСС, дополняющие друг друга, кроме того, на железнодорожном транспорте их дополняет инфраструктура корпоративных систем РЖД.

Рассмотрим это на примере системы ГЛОНАСС.

«ГЛОНАСС – российская спутниковая система навигации, одна из двух существующих в мире систем, принятых в эксплуатацию. Позволяет в абсолютно любой точке Земного шара, а также в космическом пространстве вблизи планеты определять местоположение и скорость объектов» [4].

На основании Приказа Министерства транспорта РФ и МВД России от 11.03.2016 г. № 58/119 [5] установлен порядок информационного взаимодействия между оператором системы «ЭРА-ГЛОНАСС» и территориальными органами МВД России по субъектам Федерации. Цель – обработка информации о дорожно-транспортных и иных происшествиях на автодорогах, если в регионе не введена в эксплуатацию система вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112».

Изначально создание и использование системы ГЛОНАСС России предполагалось в военных целях; система предназначалась для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа пользователей наземного, морского, воздушного и космического базирования.

«Основой системы являются 24 спутника, движущихся над поверхностью Земли в трех орбитальных плоскостях с наклоном орбитальных плоскостей 64,8 и высотой орбит 19100 км» [6].

В России, как упоминалось ранее, на транспорте уже созданы и функционируют несколько информационных ин-

фраструктур, охватывающих почти всю Российскую Федерацию. Такой системности нет нигде в мире, это преимущество следует использовать в целях повышения эффективности.

Одно из направлений цифрового развития связано с наличием отраслевых и национальных особенностей транспортной инфраструктуры.

Формирование автодорожной сети идет с доисторических времен и до наших дней. В 1930-е гг. возник беспилотный автотранспорт, которому необходима другая инфраструктура. С 2017 г. развивается направление беспилотных автомобилей на базе подразделения «Яндекс.Такси». В России в г. Иннополис (Татарстан) начались первые в Европе испытания автономных такси.

Дороги модернизируются благодаря большому капитальным вложениям, их цифровизацию надо начинать уже сейчас.

Дорожная инфраструктура в большой степени влияет на безопасность водителей, пассажиров, пешеходов и обеспечение технологического суверенитета страны. Основные ресурсы государства в ходе цифровой трансформации логистики необходимо сконцентрировать именно на цифровой транспортной инфраструктуре.

У тех стран, которые заинтересованы в обеспечении своего политического и экономического суверенитета, существует большой интерес к российским цифровым решениям по транспортной инфраструктуре. Получить российскую технологию по цифровой транспортной инфраструктуре для многих стран мира предпочтительнее, чем получить технологию от американских или китайских компаний, поскольку часто такое сотрудничество связано с политическим давлением со стороны этих компаний.

«Инфраструктура создана и успешно функционирует по всей стране, сегодня необходимо расширять ее возможности под новые государственные задачи, потребительские сервисы для бизнеса и граждан, обеспечить сопряжение между собой и другими государственными и корпоративными, российскими и зарубежными системами в интересах мультимодальных и трансграничных перевозок» [7].

В Ханты-Мансийском автономном округе – Югре принято Положение, которое определяет цели, задачи, структуру назначения, состав региональной навигационно-информационной системы Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на базе технологий ГЛОНАСС и ГЛОНАСС/GPS (далее – РНИС) и роли участников информационного обмена.

В соответствии с Положением с изменениями, внесенными постановлением Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры от 14.08.2015 г. № 266-п; от 20.07.2018 г. № 221-п, РНИС предназначена для обеспечения безопасности перевозок и контроля качества транспортных услуг.

Одной из задач задачей РНИС является расширение услуг в области навигационно-информационных технологий и повышение их качества для различных категорий потребителей на территории ХМАО – Югра.

«Главным распорядителем бюджетных средств, предусмотренных на реализацию мероприятий по внедрению спутниковых навигационных технологий с использованием системы ГЛОНАСС и ГЛОНАСС/GPS, является Департамент информационных технологий автономного округа» [7].

«РНИС – единая государственная распределенная многопользовательская автоматизированная система, обеспечивающая сбор, учет и обработку навигационных данных» [7].

РНИС состоит из модулей и включает в свой состав функциональные подсистемы мониторинга:

- диспетчеризацию транспортных средств по грузоперевозкам крупногабаритных, тяжеловесных и опасных грузов на территории автономного округа;

- подсистему автоматизации задач планирования, контроля и управления указанных перевозок;

- единый реестр маршрутов с плановыми остановочными пунктами в целях повышения качества перевозок пассажиров и багажа;

- подсистему контроля исполнения государственных и муниципальных контрактов;

- подсистему транспортных средств, осуществляющих мониторинг перевозок школьников на территории автономного округа;

- подсистему транспортных средств жилищно-коммунального хозяйства на территории автономного округа для автоматизации процессов управления транспортными средствами;

- подсистему транспортных средств скорой медицинской помощи автономного округа;

- подсистему транспортных средств, закрепленных в установленном порядке за исполнительными органами государственной власти автономного округа и подведомственными им организациями и органами местного самоуправления автономного округа для обеспечения контроля передвижения указанных транспортных средств;

- иные транспортные подсистемы, включаемые по мере необходимости.

РНИС осуществляет администрирование, обеспечение функционирования процессов резервного копирования, резервирования данных (backup) и восстановления данных (recovery), отдельный вид восстановления – disaster recovery, DR, т.е. восстановление при форс-мажорных обстоятельствах, которое также называют «катастрофоустойчивость» [8]:

- телематической платформы РНИС;
- данных систем мониторинга ТС;
- контроля исполнения пользователями своих обязанностей;
- иных приложений и сервисов РНИС.

Данная система обеспечивает одну из программ развития автономного округа АПК «Безопасный город» в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Создана межведомственная рабочая группа, утверждены состав и Положение [9].

Автоматизированная система, которая обеспечивает сбор и обработку навигационных данных в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, также:

- за счет обеспечения функционирования сегментов фотовидеофиксации и решения организационных вопросов рассылки уведомлений о нарушениях проводит своевременный сбор штрафов от административных правонарушений правил дорожного движения, которые поступают в бюджет автономного округа на развитие и поддержание работоспособности сегментов АПК «Безопасный город»;

– реализует направления АПК «Безопасный город» через государственные программы автономного округа в соответствии с компетенцией, а также в рамках муниципальных программ;

– реализует единую государственную политику в сфере информационно-коммуникационных технологий для обеспечения комплексной безопасности за счет организации согласования технических заданий.

Таким образом, можно сделать вывод, что единая государственная распределенная многопользовательская автоматизированная система, обеспечивающая сбор, учет и обработку навигационных данных в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, в плане развития соответствует выполнению Программы российской единой Государственной автоматизированной системы, обеспечивающей сбор, учет и обработку навигационных данных.

В данном исследовании была показана реализация транспортной политики цифровизации транспорта на примере Ханты-Мансийского автономного округа – Югры.

Следует анализировать предпосылки разработки и реализации социально-

экономической стратегии модернизации транспорта и транспортной логистики Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) – Югры. Система автодорог ХМАО является составной частью системы магистральных автомобильных дорог в Западно-Сибирском регионе. Уже несколько лет существует прогноз, предусматривающий падение объемов нефтедобычи в ХМАО и углубление процессов диверсификации региональной экономики, оценивается рост объемов перевозок традиционными видами транспорта и выявляется невысокая обеспеченность территории дорожной сетью, что служит фактором сдерживания процессов диверсификации экономики.

Список литературы

1. Овчинников В.В. Анатомия глобальных технологических революций // АНО «Центр междисциплинарных исследований им. С.П. Курдюмова «Сретенский клуб»: экономика, кризисы, риски, безопасность, самоорганизация [Электронный ресурс]. URL: <http://spkurdyumov.ru/economy/anatomya-globalnyx-technologicheskix-revolyucij-ovchinnikov> (дата обращения: 25.02.2021).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года №1632-р. утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://innclub.info/wp-content/uploads/2017/05/strategy.pdf> (дата обращения: 25.02.2021).
3. Ионин А.Г. В поисках «золотого звена»: что связывает цифровой транспорт и логистику [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/885696/andrei-ionin/v-poiskakh-zolotogo-zvena-chto-svazyvaet-tcifrovoy-transport-i-logistiku> (дата обращения: 25.02.2021).
4. ГЛОНАСС – Российские космические системы. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 (редакция 5.1). Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения (2008) [Электронный ресурс]. URL: <http://russianspacesystems.ru/bussines/navigation/glonass/> (дата обращения: 25.02.2021).
5. Приказ Министерства транспорта РФ и МВД России от 11 марта 2016 г. № 58/119 «Об утверждении Порядка информационного взаимодействия между оператором Государственной автоматизированной информационной системы «ЭРА-ГЛОНАСС» и территориальными органами Министерства внутренних дел Российской Федерации по субъектам Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://garant.ru/products/ipo/prime/doc/71274436/> (дата обращения: 25.02.2021).
6. ГЛОНАСС – Российские космические системы. Интерфейсный контрольный документ (редакция 5.1) Обзор различных навигационных систем [Электронный ресурс]. URL: http://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2016/08/ICD_GLONASS_rus_v5.1.pdf (дата обращения: 25.02.2021).
7. В поисках «золотого звена»: что связывает цифровой транспорт и логистику [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/885696/andrei-ionin/v-poiskakh-zolotogo-zvena-chto-svazyvaet-tcifrovoy-transport-i-logistiku> (дата обращения: 25.02.2021).
8. Резервное копирование данных [Электронный ресурс]. URL: <https://itelon.ru/blog/rezervnoe-kopirovanie-dannykh/> (дата обращения: 25.02.2021).
9. Распоряжение Губернатора Ханты-Мансийского автономного округа-Югры от 21.05.2015 года N 98-рг «Об организации функционирования АПК «Безопасный город» в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре» [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.ru/51639466-Realizaciya-koncepcii-postroeniya-i-razvitiya-aparatno-programmnogo-kompleksa-bezopasnyy-gorod-v-hanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre.html> (дата обращения: 25.02.2021).

УДК 621.867

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ЭСКАЛАТОРОВ МЕТРОПОЛИТЕНА. АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Еланцев В.В.*Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I,
Санкт-Петербург, e-mail: evv3012@gmail.com*

Петербургский метрополитен – самый популярный вид городского пассажирского транспорта, выполняющий одну из важнейших социальных функций по перемещению пассажиров от мест проживания на работу и обратно. Государственное предприятие городского пассажирского транспорта, так же как и предприятия других форм собственности, испытывает на себе значительное влияние постоянно меняющейся экономической обстановки и постоянного дефицита всех видов ресурсов. Статья посвящена актуальному вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена через концептуальное изменение управления ограниченными ресурсами. Научной новизной в данной работе является использование комбинации известных моделей и методов, включая нейронные сети и элементы нечеткой логики, в приложении к построению прогноза технического состояния тоннельных эскалаторов метрополитена. В начале статьи приводятся объект и предмет исследования, которыми являются эскалаторное хозяйство и прогноз технического состояния соответственно. Кроме того, описывается цель работы, под которой понимается определение алгоритма разработки прогноза технического состояния эскалаторов. Далее в статье приводится математический аппарат, раскрывающий особенности сбора исходных данных и их адаптацию, архитектуру нейронной сети, построения прогнозной модели и верификации полученных результатов. В завершение статьи обозначены этапы построения прогноза и даны рекомендации по практическому применению скомпилированного алгоритма как компонента, интегрированного в информационное пространство.

Ключевые слова: эскалатор, прогнозирование, техническое состояние, нейронная сеть, машинное обучение

TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT EFFICIENCY AND SAFETY OPERATION OF UNDERGROUND TUNNEL ESCALATORS. TECHNICAL STATE FORECASTING ALGORITHM

Elantsev V.V.*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg,
e-mail: evv3012@gmail.com*

The St. Petersburg metro is the most popular type of urban passenger transport, performing one the most important social functions for moving passengers from their places of residence to work and back. The state-owned enterprises of urban passenger transport, as well as enterprises of other forms of ownership, are significantly affected by the constantly changing economic situation and the constant shortage of all types of resources. This article is devoted to the topical issue of increasing the efficiency and safety operation of underground tunnel escalators through a conceptual change in the management of limited resources. In this work, scientific novelty is the use of combination well-known models and methods, including neural networks and elements of fuzzy logic, as applied to the construction of technical state forecasts of underground tunnel escalators. At the beginning of this article, the object and the subject of research are given, which are the escalator service department and the technical condition forecast respectively. In addition, the purpose of this work is to determine the algorithm for developing technical condition forecast of escalators, is described. Then the article presents a mathematical apparatus that reveals the features of collecting initial data and their adaptation, and architectures of a neural network, building a predictive model and verification of the obtained results. At the end of this article, the stages of forecasting are outlined and recommendations are given on the practical application of the compiled algorithm as a component integrated into the information space.

Keywords: escalator, forecasting, technical condition, neural network, machine learning

Постоянным актуальным требованием к организации производственной деятельности предприятий любой формы собственности, является их устойчивость, зависящая в первую очередь от способности эффективно распоряжаться (управлять) имеющимися ресурсами.

Для предприятия городского пассажирского транспорта, такого как Петербургский метрополитен, ежедневно удовлетворяющей потребности пассажиров в перемещении

из одной части города в другую, основным ресурсом, от которого зависит его эффективность, является определяющее объем перевозимого пассажиропотока [1] техническое состояние эксплуатируемого парка техники, в том числе эскалаторного хозяйства.

Вместе с тем техническое состояние парка техники – переменная, на которую в каждый момент времени оказывает влияние множество внутренних и внешних факторов, взаимосвязь и результирующий

эффект которых описывается вероятностными зависимостями.

При принятии стратегических и тактических управленческих решений [2–4] по поддержанию технического состояния на достаточном уровне в условиях неопределенности, формируется необходимость извлекать максимум информации из имеющихся потоков, циркулирующих от элементов подсистем к оператору и обратно, описанных в работе [5], а также руководствоваться результатами построения прогноза.

Однако согласно работам [6–8] на сегодняшний день существует многообразие подходов к построению прогноза технического состояния, которые необходимо адаптировать к конкретным условиям применения.

Объектом исследования в данной работе выступает эскалаторное хозяйство метрополитена, а предметом – прогноз технического состояния.

Цель данной работы – определить алгоритм, который упорядочивает совокупность операций и адаптирует их для разработки прогноза технического состояния эскалаторов.

В качестве научной новизны выступает целенаправленное использование комбинации известных моделей и методов, включая нейронные сети, в приложении к построению прогноза технического состояния тоннельных эскалаторов метрополитена.

Определение последовательности построения прогноза технического состояния

Первоначально выполняется преобразование информационных потоков, содержащих большой объем структурированных и неструктурированных данных [9] об объектах эскалаторного хозяйства и связанных с ним объектов инфраструктуры. Преобразование этих потоков осуществляется через сбор исходной информации и ее представление в специальном виде посредством использования комплексного электронного документа – наряда-допуска, структура которого представлена в работе [10].

В результате выполненного преобразования формируется возможность извлекать из электронного документа причинно-следственную информацию, которая в дальнейшем используется нейронной сетью прямого распространения для распознавания подобия и различия, а также обобщения входных данных, в том числе по отношению к ранее не встречавшимся.

Иными словами, при поступлении на вход нейронной сети исходных данных, включающих в том числе параметрические,

полученные от контрольно-измерительного оборудования, являющиеся компонентами вектора причин X входного вектора ситуаций $\{S_i\}$, $i = 1, \dots, N$ при сохранении определенной части исходных признаков причин, не происходит изменение реакции Y^{i+1} нейронной сети на исходные следствия, и в зависимости от того, с каким из выделенных подмножеств сеть нашла наибольшее совпадение, формируются следующие рекомендации:

1. Элемент подсистемы эскалатора находится в работоспособном состоянии. Негативная динамика изменения технического состояния отсутствует. Нет потребности в корректирующем воздействии.

2. Элемент подсистемы эскалатора находится в работоспособном состоянии. Негативная динамика изменения технического состояния присутствует. Есть потребность в корректирующем воздействии.

3. Элемент подсистемы эскалатора находится в работоспособном состоянии. Негативная динамика изменения технического состояния присутствует. Нет потребности в корректирующем воздействии.

4. Элемент подсистемы эскалатора находится в неработоспособном состоянии. Негативная динамика изменения технического состояния отсутствует. Есть потребность в корректирующем воздействии.

5. Элемент подсистемы эскалатора находится в неработоспособном состоянии. Негативная динамика изменения технического состояния присутствует. Есть потребность в корректирующем воздействии.

6. Нет полного совпадения поступивших исходных данных ни с одним электронным документом в информационном пространстве. Установлено частичное совпадение исходных данных с рядом электронных документов, хранящихся в информационном пространстве. Формируется ранжированный перечень совпадений, из которого отбирается наиболее подходящий. Есть потребность в корректирующем воздействии. Создается новый электронный документ.

7. Нет полного совпадения поступивших исходных данных ни с одним электронным документом в информационном пространстве. Установлено частичное совпадение исходных данных с рядом документов, хранящихся в информационном пространстве. Формируется ранжированный перечень совпадений, из которого отбирается наиболее подходящий. Нет потребности в корректирующем воздействии. Создается новый электронный документ.

8. Нет полного совпадения поступивших исходных данных ни с одним электронным документом в информационном

пространстве. Не установлено частичное совпадение исходных данных ни с одним электронным документом в информационном пространстве. Нет потребности в корректирующем воздействии. Создается новый электронный документ.

9. Нет полного совпадения поступивших исходных данных ни с одним электронным документом в информационном пространстве. Не установлено частичное совпадение исходных данных ни с одним электронным документом, хранящимся в информационном пространстве. Есть потребность в корректирующем воздействии. Создается новый электронный документ.

Реализация вышеописанного механизма получения рекомендаций на основе множества данных о состоянии элементов подсистем эскалатора и сопутствующей информации, хранящейся в информационном пространстве, осуществляется за счёт выделения подмножества идентификационных признаков причин $\Theta_i = \{\lambda_i\}_{i=1}^L$ (при фиксированном объеме N обучающей выборки Ω_1 (части библиотеки нарядов-допусков), которые являются общими и для вновь поступающей информации, среди которой также присутствует множество причин X , способствующих формированию следствий $\{Y_i^{t+1}\}_{i=1}^j$ определяющих техническое состояние элементов подсистем эскалатора. В качестве признаков предлагается использовать компоненты векторов из нарядов-допусков и библиотек, такие как код классификатор, вид работ и т.д.

Общий принцип обучения нейронных сетей [11], заключается в увеличении весов для двух одновременно активных нейронов, который формализован выражением

$$dw_{js} = \varphi \cdot f(c_j) \cdot f(u_s), \quad (1)$$

где dw_{js} – величина изменения синапса w_{js} ; c_j и u_s – уровни возбуждения j -го и s -го нейронов; f – преобразующая функция; φ – константа, определяющая скорость обучения.

При условии полновязной структуры сети увеличение числа активных нейронов компенсируется равным уменьшением пассивных нейронов. Веса w_{js} элементов нейронной сети, обрабатывающих подмножество выделенных признаков $\{\lambda_i\}_{i=1}^L$ причин, присутствующих во всех подобных входных множествах причин X , будут многократно поощрены.

Перераспределение весов в нейронной сети выполняется при формировании наряда-допуска. Заполненные идентификационные характеристики наряда-допуска соотносятся с выделенными подмножествами дополнительных признаков λ_i причин X ,

$i=1, \dots, N$ нарядов-допусков, хранящихся в библиотеках, при этом наблюдается усиление синоптических связей нейронов, связанных с обработкой конкретного признака.

В результате обучения нейронной сети на фиксированном объеме N обучающей выборки Ω_1 (части библиотеки нарядов-допусков) образуется гиперповерхность A , отражающая состояние элементов подсистем эскалатора и рекомендации, принятые за «эталонные». В процессе использования «эталонных» рекомендаций при реальной эксплуатации, образуется гиперповерхность B и набор дополнительных параметров E :

$$\vec{A} = \vec{B} + \vec{E}, \quad (2)$$

где E – дополнение параметров гиперповерхности B до «эталонной» A .

Получившаяся гиперповерхность B описывается моделью $P(\{w\}, \{b\}, V, \{r_i\}, f)$:

$$\begin{aligned} w_{ij}^A &= w_{ij}^B + w_{ij}^E \\ b_k^A &= b_k^B + b_k^E, k = \overline{1, \vartheta}, \end{aligned} \quad (3)$$

где w_{ij}^A – значение весового коэффициента между i -м и j -м нейронами соседних слоев при обучении на выборке Ω_1 ; w_{ij}^B – значение весового коэффициента по результатам обучения нейронной сети при реальной эксплуатации, w_{ij}^E – дополнение w_{ij}^B до истинного w_{ij}^A .

Параметры w и b примем статистически усредненными по обучающей выборке, поэтому выражение (2) запишем в виде

$$\{X, Y^{y+1}\}_A = \{X, Y^{y+1}\}_B + \{X, Y^{y+1}\}_E, \quad (4)$$

где $\{X, Y^{y+1}\}_E$ – входная и выходная последовательности обучающей выборки за период $T_E = T_A + T_B$.

Выражения (2)–(4) показывают, что дополнение E гиперповерхности A зависит от величин приращений элементов нейронной сети, выполняющих функцию запоминания информации. Эффект доопределения гиперповерхности B до «эталонной» A получается подбором признаков (подмножеств) входных причин X и сопоставим с увеличением времени наблюдения технического состояния элементов подсистем эскалатора.

В процессе работы алгоритм соотносит поступившие текущие значения параметров с ближайшим параметром из подмножества, хранящегося в информационном пространстве.

Для сопоставления новой информации и информации, хранящейся в информационном пространстве, при условии евклидо-

вой метрики (евклидова расстояния) обоих информационных массивов показатель сходства определяется по формуле расстояния Хэмминга:

$$d(X_j, \Theta_i) = f \left(\sum_{i=1}^J \sum_{j=1}^n v_j (y_j - \omega_j^i) \right),$$

$$i = \overline{1, J}, j = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где f – функция расстояния между данными; J – количество классов $\Theta_i = (w_i^1, \dots, w_i^n)$, прогнозируемых следствий Y^{i+1} ; n – количество признаков вектора Y технического состояния элементов подсистем эскалатора; v_j – коэффициент значимости j -го выделенного признака.

Данное расстояние является разностью по координатам многомерного пространства и идентично евклидовому. Преимуществом расстояния Хэмминга является малая чувствительность к выбросам (отдельным большим разностям), что обеспечивается отсутствием возведения в квадрат.

В случае если признак $y_j = \lambda_j$ находится на пересечении признакового пространства двух образов Y_A и Y_B и коэффициент v_j его значимости превышает определенную величину суммарной значимости остальных, то оба образа будут неразличимы:

$$d(Y_A, \Theta_i) = d(Y_B, \Theta_i). \quad (6)$$

Поэтому для повышения качества распознавания следствий Y и преодоления недостатка априорной информации вводится ассоциативный признак (группы ассоциативных признаков) в исходное множество признаков $\{Y_i\}_{i=1}^J$, ускоряющих формирование прогнозной модели P .

Ассоциативный признак ρ – коэффициент подобия, отражает степень проявления эффекта обобщения или различия с бинарной функцией выхода:

$$\rho = \Psi_{AB} - \left(\frac{\Psi_A \Psi_B}{2} \right) - e, \quad (7)$$

где Ψ_{AB} – доля элементов нейронной сети, реагирующих как на признаки причин, хранящиеся в информационном пространстве XA , так и на вновь поступившие XB ; Ψ_A – доля элементов нейронной сети, реагирующих на признаки XA ; Ψ_B – доля элементов нейронной сети, реагирующих на признаки XB ; $e > 0$ – компонента потерь.

Функция Ψ – это соотношение значений входных признаков и хранящихся в информационном пространстве, определяется выражением

$$\Psi = \Psi(\{x_i\}_{i=1}^N). \quad (8)$$

Коэффициент подобия $\rho < 0$ в случае, когда вектор Ψ_A не подобен Ψ_B , а также (пренебрегая компонентой e) при равнозначности признаков входных данных и одинаковом объеме суммарных величин поощрений полученных нейронной сетью в результате многократного появления подобных данных.

В результате обучения нейронной сети коэффициент подобия принимает значения больше нуля и любая входная информация, содержащая признак $\{\lambda_i\}_{i=p}^L$, активирует Ψ_{AB} часть сети.

После определения основных принципов, используемых для построения прогноза, перейдем к конкретизации нейросетевой модели через определение ее параметров, таких как число слоев, число нейронов в каждом слое и функцию активизации нейронов.

Для этого используем одну из известных архитектур – полносвязную сеть прямого распределения с двумя промежуточными слоями, представленную на рис. 1 и описанную выражением (9). Предложенная нейронная сеть выполняет разделение на классы множества признаков выпуклыми гиперплоскостями и обобщение по преобладанию (сходству).

$$\begin{cases} c_j = f \left(\sum_{i=1}^r a_i \alpha_{ij} + \chi_j \right); \\ u_s = f \left(\sum_{j=1}^{r1} c_j \beta_{js} + \eta_s \right); \\ q_h = f \left(\sum_{s=1}^{r2} u_s \gamma_{sh} + v_h \right), \end{cases} \quad (9)$$

где a_i – значение i -й компоненты причинной составляющей X ситуации наряда-допуска, $i = 1, \dots, r$. Элементы a_i , $i = 1, \dots, r$ описывают распределительный слой нейронной сети; c_j – значение выхода j -го нейрона первого скрытого слоя нейронной сети, $j = 1, \dots, r_1$; u_s – значение выхода s -го нейрона второго скрытого слоя нейронной сети, $s = 1, \dots, r_2$; q_h – значение выхода h -го нейрона выходного слоя нейронной сети, $h = 1, \dots, n$; f – функция активизации нейрона; α, β, γ – коэффициенты синаптических связей; χ, η, v – смещения нейронов первого и второго скрытых и выходного слоев; r – размерность входного вектора (задачи прогнозирования), это количество параметров ситуации из наряда-допуска; $r = n + m + l$, n – количество параметров технического состояния элементов подсистем эскалатора; m – количество факторов прогнозного фона; l – количество управляющих воздействий/индекс переменных, характеризующих режимы функционирования эскалатора.

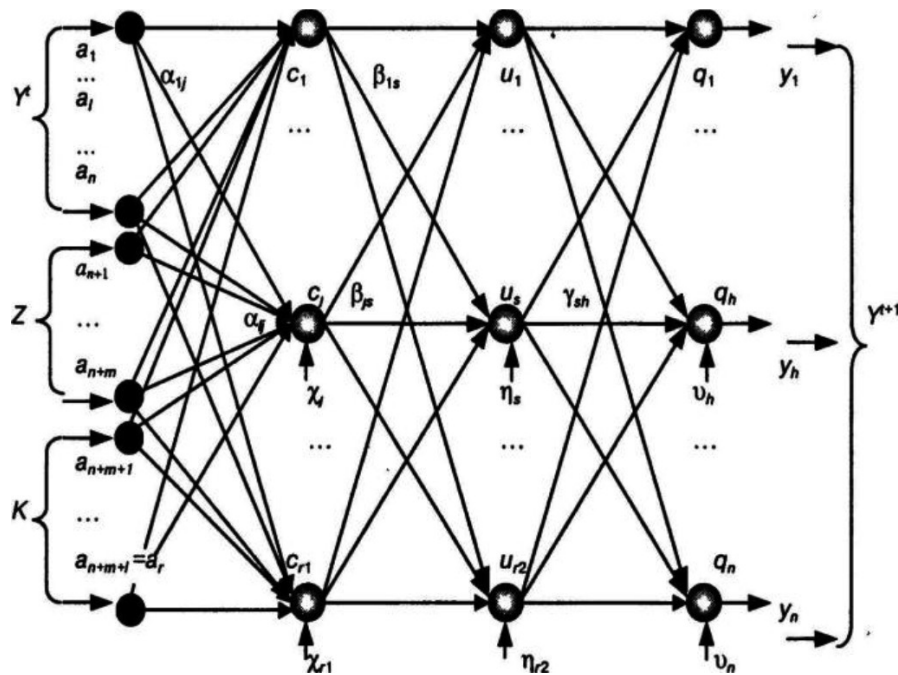


Рис. 1. Архитектура прогнозирующей НС

Модель, описанная выше, осуществляет обобщение по подобию, формируя изолированные области на множестве компонентов (признаков) входных векторов причин (исходных данных) за счёт работы первого промежуточного слоя. Ограничение прогностической способности сети зависит только от количества нейронов. Однако при увеличении числа скрытых слоев более двух происходит увеличение трудоемкости обучения.

Для исключения нарушения работы нейронной сети из-за чрезмерного увеличения весовых коэффициентов синаптических связей используется сигмоидная функция активизации нейронов, которая асимптотически приближается к предельным значениям, никогда не достигая их (рис. 2). Функция активизации (передаточная функция) нейронов определяет выходное значение сигнала относительно входного в зависимости от результата работы сумматора и порогового значения.

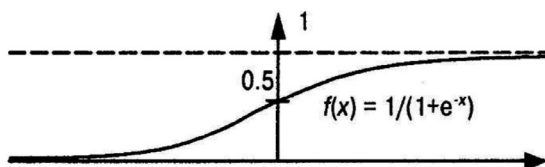


Рис. 2. Сигмоидная функция активизации нейрона

Далее подберем значения весов α , β , γ и величин смещения χ , η , v , обеспечивая наименьшее значение показателя Φ при подаче на вход вектора причин $X_i = (Y'_i, Z_i, K_i)$:

$$\Phi = \frac{1}{2} \|Q_i + Y_i\|^2, i = \overline{1, N} \quad (10)$$

где $Q = (q_1, \dots, q_n)$ – вектор выходных данных; N – число ситуаций, характеризующих текущее техническое состояние элементов эскалатора.

В случае евклидовой нормы выражение (10) записывается в виде

$$\Phi_i = \frac{1}{2} \sum_{h=1}^n (q_h^i - y_h^i)^2, i = \overline{1, N}, h = \overline{1, n}, \quad (11)$$

где n – размерность вектора параметров технического состояния элементов подсистем эскалатора.

Для оптимизации механизма подбора введем критерий формирования параметров прогнозной модели:

$$\max(\Phi_i) \leq \Delta, \quad (12)$$

где Δ – предел относительной погрешности H восстановления ситуации S_i , $i \in \Omega_1$, $i = 1, \dots, N$.

Используя метод градиентного спуска (градиентный метод поиска) для минимизации функции Φ получим производные по модифицируемым параметрам прогнозирующей двухслойной нейронной сети (рис. 1):

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi_i}{\partial \gamma_{sh}} = -u_s q_h (1 - q_h)(y_h^i - q_h) = -u_s e_h, e_h = (1 - q_h)(y_h^i - q_h); \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial \beta_{js}} = -c_j u_s (1 - u_s) \sum_{h=1}^n \gamma_{sh} e_h = -c_j \sigma_s, \sigma_s = u_s (1 - u_s) \sum_{h=1}^n \gamma_{sh} e_h; \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial \alpha_{lj}} = -a_l c_j (1 - c_j) \sum_{s=1}^{r_2} \beta_{js} \sigma_s = -a_l \delta_j, \delta_j = (1 - c_j) \sum_{s=1}^{r_2} \beta_{js} \sigma_s; \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi_i}{\partial v_h} = -e_h; \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial \eta_s} = -\sigma_s; \\ \frac{\partial \Phi_i}{\partial \chi_j} = -\delta_j. \end{cases} \quad (14)$$

В результате имеем ошибки восстановления прецедентов e_h, σ_s, δ_j нейронов выходного, скрытых первого и второго слоев, которые в дальнейшем используются для вычисления градиентов, в последующем применяемых для изменения множества весовых коэффициентов $\{w\} = \{\alpha_{lj}, \beta_{js}, \gamma_{sh}\}$ и множества $\{b\} = \{\chi_j, \eta_s, v_h\}$ величин смещения нейронов.

Для первичной настройки сети для задания множества весовых коэффициентов и множества величин смещений используем следующую последовательность шагов:

а) задание множеств весовых коэффициентов $\{w\}$ и величин смещения $\{b\}$ случайными числами в диапазоне $([0,1]$ или $[-1,1])$;

б) активизация нейронов входного слоя нейронной сети вектором причин $\{X_i\}$, $i = 1, \dots, N$ для каждой ситуации наряда-допуска

$$x_l^i = a_i, i = \overline{1, N}, l = \overline{1, r}; \quad (15)$$

в) расчет выходных величин нейронов выходного слоя q_h , $h = 1, \dots, n$ в соответствии с системой уравнений (9);

г) вычисление ошибки между полученными на предыдущем этапе выходными величинами нейронов q_h и компонентами y_h выходного вектора следствий Y^{t+1} обучающей выборки Ω_1 (библиотек нарядов-допусков) с последующим пересчетом величины ошибки для всех нейронов двух нижележащих слоев согласно выражениям

$$\begin{cases} e_h = q_h (1 - q_h)(y_h - q_h), h = 1, \dots, n; \\ \sigma_s = u_s (1 - u_s) \sum_{h=1}^n \gamma_{sh} e_h; \\ \delta_j = c_j (1 - c_j) \sum_{s=1}^{r_2} \beta_{js} \sigma_s. \end{cases} \quad (16)$$

д) перерасчет весовых коэффициентов и пороговых величин (метод градиентного спуска):

$$\begin{cases} \gamma'_{sh} = \gamma_{sh} + \phi u_s e_h, h = 1, \dots, n, s = 1, \dots, r_2; \\ \beta'_{js} = \beta_{js} + \phi c_j \sigma_s, j = 1, \dots, r_1; \\ \alpha'_{lj} = \alpha_{lj} + \phi a_l \delta_j, l = 1, \dots, r; \end{cases} \quad (17)$$

$$\begin{cases} v'_h = v_h + \varphi e_h, h = 1, \dots, n; \\ \eta'_s = \eta_s + \varphi \sigma_s, s = 1, \dots, r_2; \\ \chi'_j = \chi_j + \varphi \delta_j, j = 1, \dots, r_1; \end{cases} \quad (18)$$

где $\varphi > 0$ – **скорость обучения** нейронной сети, определяемая экспериментальным путем;

е) в соответствии с (19) вычисление максимальной относительной погрешности восстановления h -й компоненты y_h вектора Y_i^{t+1} , $i \in \Omega_1$ параметров технического состояния элементов подсистем эскалатора:

$$H = \max \left(\left| \frac{e_h}{q_h(1 - q_h)} \right| \right). \quad (19)$$

Сравнение ошибок $H_h^i, h = 1, \dots, n; i = 1, \dots, N$ для всех N примеров $\{S_i\}$, $i \in \Omega_1$ обучающей выборки Ω_1 . При $H_h > \Delta$ переход к шагу б) настоящего алгоритма. В случае $H_h \leq \Delta$ нейронной сети считается обученной, а параметры и структура прогнозной модели определенными.

Для обучения нейронной сети по текущим данным, включая измеренные параметры элементов эскалатора, выберем алгоритм Левенберга – Марквардта, обеспечивающий большую скорость обучения (сходимости)

относительно метода обратного распространения ошибки (градиентного спуска).

Данный алгоритм оптимизирует параметры (18) нейронной сети по критерию среднеквадратической ошибки. Работа алгоритма заключается в последовательном приближении заданных начальных значений параметров нейронной сети к искомому локальному оптимуму.

Алгоритм Левенберга – Марквардта отличается от метода градиентного спуска тем, что использует матрицу Якоби, а не градиент вектора параметров, а от алгоритма Гаусса-Ньютона тем, что использует параметр регуляризации. Взаимная зависимость алгоритмов приведена на рис. 3 и в таблице. Визуализация свойств, приведенных в таблице, изображена на рис. 4.

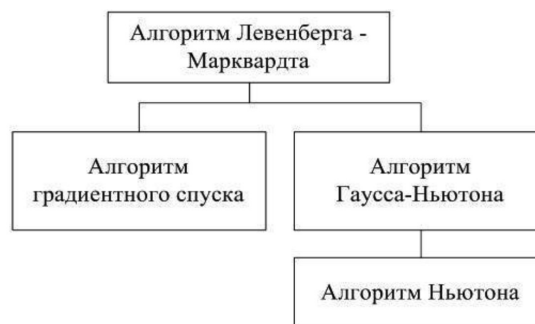


Рис. 3. Зависимость алгоритмов

Сравнительный анализ методов

	Алгоритм градиентного спуска	Алгоритм Ньютона	Алгоритм Ньютона – Гаусса	Алгоритм Левенберга – Марквардта
Целевая функция	дифференцируемая	дважды дифференцируемая	нелинейный метод наименьших квадратов	нелинейный метод наименьших квадратов
Достоинства	– простота реализации; – низкая ресурсоемкость	– высокая скорость сходимости вблизи экстремума; – использует информацию о кривизне пространства	– очень высокая скорость сходимости; – хорошо работает с задачей линейной аппроксимации	– наибольшая устойчивость среди рассмотренных методов; – хорошо работает с задачей линейной аппроксимации; – очень высокая скорость адаптивной сходимости; – высокая вероятность найти глобальный экстремум
Недостатки	– сложный поиск глобального минимума; – низкая скорость сходимости вблизи экстремума	– функция должна быть дважды дифференцируема; – высокая вероятность не найти локальный экстремум; – большая ошибка, при условии вырожденности матрица Гессе (отсутствие обратной)	– линейная независимость столбцов матрицы Якоби; – отсутствуют ограничения на вид целевой функции	– линейная независимость столбцов матрицы Якоби; – отсутствуют ограничения на вид целевой функции; – сложность реализации
Сходимость	локальная	локальная	локальная	локальная

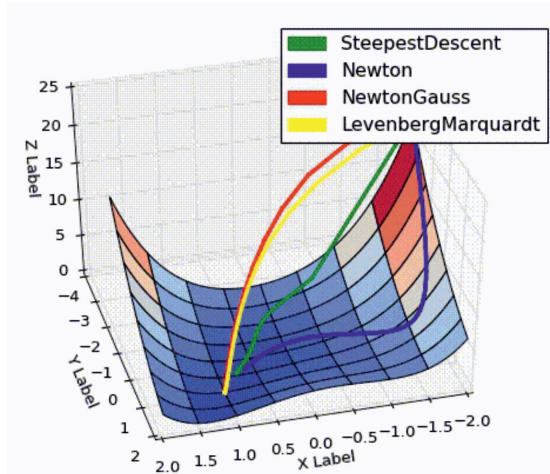


Рис. 4. Совмещённый результат работы алгоритмов

В ходе реализации данного алгоритма (в частности, при вычислении показателя Φ , подобного показателю (10)) не осуществляется вычисление матрицы Гессе:

$$H = \left\| \frac{\partial^2 \Phi'(w)}{\partial w_i \partial w_j} \right\|; i, j = 1, r, \quad (20)$$

требующее больших объемов памяти ЭВМ для обучения сети.

Вместо этого матрица Гессе аппроксимируется:

$$H = J^T J, \quad (21)$$

и градиент/величина коррекции весовых коэффициентов и величин смещения нейронов (выражения (13), (14)) вычисляется как $J^T e'$. Где J – определитель Якоби из частных производных первого порядка ошибок весовых коэффициентов и смещений, а e' – вектор ошибки между вычисленными выходными величинами нейронов q_h и компонентами y_h выходного вектора следствий Y^{n+1} обучающей выборки.

Вычисление определителя Якоби

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{11}} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{12}} & \dots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1n}} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{21}} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{22}} & \dots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_n}{\partial w_{n1}} & \frac{\partial e_n}{\partial w_{n2}} & \dots & \frac{\partial e_n}{\partial w_{nm}} \end{vmatrix} \quad (22)$$

требует гораздо меньше ресурсов по сравнению с использованием матрицы Гессе

при вычислении вторых производных функции ошибки.

Выражение, описывающее модификацию весовых коэффициентов сети, выглядит как

$$w'_{ij} = w_{ij} - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e', \quad (23)$$

где μ – скалярная величина; I – единичная матрица.

В случае $\mu = 0$ это метод Ньютона, где матрица Гессе аппроксимируется на каждой итерации с использованием градиента. В случае $\mu \gg 0$ коррекция весов и величин смещения нейронов пропорциональна производным сетевой ошибки по этим весам и смещениям, за счет чего выполняется минимизация общей сетевой ошибки.

Алгоритм обучения Левенберга – Марквардта использует для поиска оптимума показатель (10) или сочетание линейной аппроксимации и градиентного спуска (11) в зависимости от успешности линейной аппроксимации.

После выбора архитектуры нейронной сети и способов ее обучения, опишем механизм получения прогноза.

Для получения прогноза технического состояния элементов эскалатора на входной слой a_i обученной нейронной сети подается вектор причин $\{X_i\} = (x_1^i, \dots, x_r^i)$ реальной выборки, не равной обучающей $\Omega \neq \Omega_1$. В результате чего формируется отклик нейронной сети в выходном слое q_h , характеризующий прогнозную оценку будущего вектора следствий Y^{n+1} параметров технического состояния элементов подсистем эскалатора. Здесь $i = 1, \dots, r, l = 1, \dots, M, h = 1, \dots, n$. Однако поведение контролируемых параметров элементов подсистем эскалатора в каждый момент времени случайно, поэтому результат настройки весовых коэффициентов и величин смещения нейронной сети имеет вероятностный смысл. Поэтому для параметров y_h технического состояния элементов подсистем эскалатора примем, что компоненту y_h вектора $Y_l^{n+1}, l = 1, \dots, N$ соответствует условная плотность вероятности, описываемая нормальным законом распределения:

$$P_h \left(\frac{y_h^l}{X_L}, \{w\} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp \left(-\frac{(y_h^l - y_h(X_l, \{w\}))^2}{2\sigma_y^2} \right), \quad h = 1, \dots, n; l = 1, \dots, N, \quad (24)$$

где $y_h(X_l, \{w\})$ – функция, значение которой в точке X_l соответствует математическому ожиданию случайной величины y_h^l ; σ_y – среднее квадратичное отклонение случайной величины y_h^l .

Следовательно, результатом функционирования прогнозирующей нейронной сети можно считать вычисленный нейронной сетью вектор $\{y_h\}_{h=1}^n$ параметров технического состояния, компоненты которого являются результатом статистического усреднения по всей обучающей выборке.

Полученный результат прогнозирования верифицируется через оценку достоверности/точности и проверку обоснованности прогноза, с учётом качества используемой исходной информации. Под верификацией прогноза и прогнозной модели P , синтезированной по данным обучающей выборки Ω_1 (части библиотеки нарядов-допусков), будем понимать интегрированную оценку достоверности по проверочной выборке $\Omega_2 \neq \Omega_1$.

В соответствии с критерием (19) все данные, структурированные электронным документом, разбиваются на обучающую выборку Ω_1 для синтеза параметров прогнозной модели и проверочную выборку Ω_2 для ее верификации.

В случае если условие (19) выполняется, задача синтеза прогнозной модели принимается решенной, иначе последовательность операций выполняется заново.

Результаты исследования и их обсуждение

Вышеописанная последовательность действий (операций) формирует алгоритм прогнозирования, поиск которого и был целью данной работы.

Таким образом, прогнозирование технического состояния элементов эскалатора включает: сбор исходных данных и их адаптацию; выбор (построение) прогнозирующей архитектуры нейронной сети и ее параметров; выбор (построение) прогнозной модели; получение прогноза; верификация прогнозной модели и результатов ее работы.

Заключение

Описанный выше алгоритм прогнозирования скомпилирован с учетом недостатка исходных данных, интеллектуализации управления ресурсами и имеющихся возможностей качественной и количественной оценки выходных данных. В качестве одного из преимуществ применения алгоритма является возможность его реализации стандартными инструментами ряда специализированных многофункциональных программных платформ и созданных на их основе программных комплексов и компонентов [12].

Вместе с тем за счёт возможности выбора метода прогнозирования и использования нечеткой логики, алгоритм способен

адаптироваться к конкретной исходной информации, поступившей после анализа конкретной ситуации.

При построении прогноза технического состояния, для каждой ситуации (в том числе технического воздействия), описанной электронным документом, входными ограничениями являются объем ресурсов, включая финансовые, отклонение от срока и качества работ, а одним из выходных ограничений – оценка эффективности выполненных работ, при этом каждое из ограничений может иметь нечеткие отображения.

Также предложенный алгоритм является одним из инструментов, который возможно использовать в информационном пространстве, предназначенном для обеспечения доступа к хранилищам знаний, формирования различных отчетов/справок/таблиц/матриц/журналов, а также сокращения времени обработки и предоставления информации. Однако внедрение информационного пространства с интегрированным в него прогностическим компонентом в существующие организационные связи между подразделениями сопряжено с появлением следующих компонентов:

- Баз данных (знаний) по всем направлениям управления ресурсами.

- Использование баз данных обеспечивает раздельный учет ресурсов и их совместный анализ при отслеживании показателей бюджетного баланса для прогнозирования возможных вариантов отклонения от заданных технических и экономических показателей.

- Комплексной (комплексированной) информации.

Обобщение аккумулируемой информации о техническом состоянии эскалаторного парка осуществляется через создание объектно-элементной модели эскалаторного хозяйства, построенной по результатам обработки электронных документов, описывающих свойства, особенности динамики и взаимосвязи с факторами внешней и внутренней среды, а также совокупностью гипотез о свойствах каждого из более 300 эскалаторов. Собранная таким образом информация о характеристиках парка формализуется в том числе через словесно-описательные модели, которые уточняются в процессе обучения нейронной сети.

- Признакового пространства

Для повышения качества построения прогноза технического состояния используется признаковое пространство, выделяемое при анализе электронных документов, хранящихся в информационном пространстве, содержащем формализованную модель эскалаторного хозяйства.

– Эталонных объектов

В связи с тем, что невозможно учесть множество факторов, определяющих динамику эксплуатационных процессов и погрешности измерений, при обучении нейронной сети возникает несоответствие модели и реального объекта (процесса), которое не должно превышать установленных отклонений. При этом величина допустимых отклонений определяется объемом обучающей выборки, а показатели точности модели характеризуются степенью приближения моделируемых данных к фактическим наблюдениям. Для приведения реальных объектов эскалаторного хозяйства и связанных с ними объектов инфраструктуры к эталонным применяется ряд переводных коэффициентов, при этом выполняется сравнение построенной модели и характеристик и свойств реального объекта. По результатам сравнения осуществляется уточнение прогнозной модели.

– Древовидной структуры построения прогноза.

В силу вероятностного характера достаточно достоверным прогноз будет, если в периоде упреждения, конфигурация причинно-следственных связей объектно-элементной структуры эскалаторного хозяйства будет идентичной или близкой к той, которая была на этапе обучения, что достаточно сложно реализуемо. Для упрощения построения прогноза предлагается выполнять частные прогнозы на каждом из уровней древовидной иерархии эскалаторной службы, используя для построения прогноза на следующем уровне только полученные результаты, не транслируя служебную информацию. Таким образом, прогноз технического состояния всего эскалаторного парка будет сводиться к обобщённому прогнозу от нескольких структурных подразделений.

Созданное с учётом вышеописанных компонентов и моделей/алгоритмов прогнозирования, информационное пространство обеспечивает выработку рекомендаций, способствующих повышению эффективности и безопасности эксплуатации эскалаторного хозяйства метрополитена.

Список литературы

1. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Анализ пассажиропотока // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2020. № 3(62). С. 41–50.
2. Скобелев П.О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени // Онтология проектирования. 2012. № 1. С. 6–39.
3. Варшавский П.Р., Алехин Р.В. Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов // International Journal «Information Models and Analyses». 2013. № 4. С. 385–392.
4. Мадера А.Г. Метод определения вероятностей прогнозируемых событий при принятии решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 2. С. 38–45.
5. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. История формирования системы технического обслуживания и ремонта эскалаторного хозяйства метрополитена // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 5. С. 98–104.
6. Попов В.А., Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Прогнозирование технического состояния эскалатора // Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. № 7 (Санкт-Петербург, 10–12 ноября 2020 г.). СПб.: Изд-во ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. С. 19–26.
7. Абрамов О.В. Контроль и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 4 (24).
8. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Современные методы прогнозирования последствий управленческих решений // Управленческое консультирование. 2015. № 7 (79). С. 12–24.
9. Ковалев С.М., Колоденкова А.Е. Построение базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рисков ситуаций для этапа проектирования сложных технических систем // Онтология проектирования. 2017. Т. 7. № 4 (26). С. 398–409.
10. Еланцев В.В. К вопросу повышения эффективности и безопасности эксплуатации тоннельных эскалаторов метрополитена. Механизмы управления ресурсами // Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. № 7 (Екатеринбург, 11 марта 2020 г.). НН: Изд-во Ареал, 2020. С. 19–26.
11. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. СПб.: Наука и Техника, 2003. 384 с.
12. Черняховская Л.Р., Никулина Н.О., Малахова А.И., Низамутдинов М.М., Осипова И.В. Оценка эффективности инновационного проекта методом параметрического прогнозирования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 12. С. 75–81.

ОБЗОРЫ

УДК 656.1/.5

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АВТОБУСОВ
В ГОРОДСКОМ ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ****Шатманов О.Т., Исманов Ю.Х., Айдаралиев Ж.К., Исакова Ж.А.***Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры
им. Н. Исанова, Бишкек, e-mail: i_yusupjan@mail.ru*

В статье дана единая оценка конкурентных возможностей и технологических особенностей современных электрических автобусов с целью определить направление развития этих технологий и перспектив использования электрических автобусов в транспортной структуре городов. Проведен анализ трех основных характеристик электрических автобусов – их экономическая, экологическая и эксплуатационная эффективность. Большинство работ в этом направлении показывают, что эти характеристики сильно зависят от типа источника энергии, используемого электрическими автобусами, и особенностей эксплуатации этих автобусов. То есть однозначно сказать, какой вид электрических автобусов наиболее выгоден с точки зрения указанных характеристик, не представляется возможным. Однако большинство исследований сходятся на том, что электрические автобусы на аккумуляторных батареях и на топливных элементах, использующих экологически чистое топливо, такое как водород, имеют наибольшие перспективы использования, так как они обеспечивают практически нулевые выбросы вредных газов в атмосферу. Основным препятствием на пути полной электрификации общественного транспорта является общая стоимость затрат на создание транспортных сетей на базе электрических автобусов. Поэтому на современном этапе использование гибридных автобусов, представляющих собой, по сути, сочетание обычных автобусов с двигателями внутреннего сгорания и электрических автобусов, представляется наиболее эффективным как с экономической точки зрения, так и с точки зрения эксплуатации.

Ключевые слова: электрический автобус, гибридный автобус, аккумулятор, топливный элемент, экология, время зарядки

**PROSPECTS FOR THE USE OF ELECTRIC BUSES
IN URBAN PUBLIC TRANSPORT****Shatmanov O.T., Ismanov Yu.Kh., Aydaraliev Zh.K., Isakova Zh.A.***Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov,
Bishkek, e-mail: i_yusupjan@mail.ru*

The article provides a unified assessment of the competitive capabilities and technological features of modern electric buses in order to determine the direction of development of these technologies and the prospects for using electric buses in the transport structure of cities. The analysis of the three main characteristics of electric buses – their economic, environmental and operational efficiency. Most of the work in this direction shows that these characteristics are highly dependent on the type of energy source used by electric buses and the characteristics of the operation of these buses. That is, it is not possible to unambiguously recommend which type of electric buses are the most advantageous in terms of these characteristics. However, most studies agree that battery and fuel cell electric buses, using clean fuels such as hydrogen, are the most promising because they provide virtually zero emissions of harmful gases into the atmosphere. The main obstacle to the full electrification of public transport is the total cost of building transport networks based on electric buses. Therefore, at the present stage, the use of hybrid buses, which are, in fact, a combination of conventional buses with internal combustion engines and electric buses, seems to be the most efficient both from an economic point of view and from the point of view of operation.

Keywords: electric bus, hybrid bus, battery, fuel cell, ecology, charging time

Выбросы транспорта – это часто основная причина высокой степени загрязненности городского воздуха, а в глобальном масштабе это одна из причин повышения средней температуры воздуха на нашей планете (выбросы транспорта содержат большое количество CO_2 – двуокиси углерода). Влияние транспорта на качество жизни людей, в особенности жителей городов, проявляется и в таких факторах, как постоянный шум, заторы на дорогах, формирование вредного для здоровья смога и др. Принимая во внимание тот факт, что транспортный поток только нарастает, необходимо делать все для уменьшения воздействия

всех указанных факторов на экосистему человека. В противном случае говорить об устойчивом развитии транспортной системы не имеет смысла [1]. Применительно к транспорту парниковый эффект проявляется за счет выброса в атмосферу двуокиси углерода CO_2 , метана CH_4 и азота N_2O [2]. Снижение загрязненности воздуха и в целом улучшение экологической ситуации, в первую очередь в крупных городах, посредством максимального увеличения доли электрических автобусов в общественном транспорте является наиболее эффективным подходом [3]. Электрический автобус – это экологически чистый

транспорт, позволяющий в кратчайшие сроки максимально снизить загрязненность воздуха в городах [4, 5]. То есть использование электрических автобусов – это стратегическое направление решения экологических проблем, стоящих перед современным обществом [6].

Если говорить о сходстве и отличиях электрических автобусов и автобусов, использующих дизельный или бензиновый двигатель, то внешне они абсолютно одинаковы. Отличие, и отличие кардинальное – это тип используемого двигателя. Основа обычных автомобилей – это двигатели, использующие в качестве источника энергии результат сгорания либо бензинового, либо дизельного топлива, которое сопровождается выбросами в атмосферу вредных газов. В электрических автобусах чаще всего источниками энергии являются аккумуляторные батареи, работа которых не сопровождается выбросами газов в атмосферу. Существенным моментом обычных автобусов является то, что по сравнению с электрическими автобусами, которые имеют подвижные части в основном только в двигателе, они имеют значительно больше движущихся частей в общей структуре автобуса. То есть обычные автобусы требуют значительно больших затрат на их регулярное обслуживание: замену масла, настройку выхлопных устройств и т.д. Электрические автобусы, использующие герметичные аккумуляторные батареи, подобного, достаточно затратного обслуживания не требуют. То есть всесторонняя оценка преимуществ электрических автобусов по сравнению с обычными, показывает, что электрические автобусы обеспечивают выигрыш не только с точки зрения экономики, но и в первую очередь с точки зрения защиты окружающей среды. Несомненно, что хорошо спроектированные рабочая система и система управления электрическим автобусом, обладающие высокой производительностью и надежностью, позволяют электрифицировать не только частный транспорт, но и общественный. Если говорить об аккумуляторной системе, то здесь за последние годы произошел значительный прогресс – емкости аккумуляторов резко возросли, значительно снизилось время их зарядки. Все это позволяет значительно улучшить характеристики проектируемых электрических автобусов. Тем не менее существуют важные факторы, которые тормозят развитие городской транспортной системы на основе электрических автобусов. В первую очередь это ограниченность заряда аккумуляторов – фактор, сильно влияющий на длительность пробега

электрического автобуса без подзарядки. Современные аккумуляторы, при всех их достоинствах, обладают характеристиками, которые сильно влияют на дальнейшее развитие городских транспортных линий на базе электрических автобусов. Это их достаточно высокая стоимость, вес, значительное, при всех достижениях в этом направлении, время зарядки и др. Указанные факторы сильно влияют на широкое использование электрических автобусов в городских транспортных сетях [7, 8]. Однако эти факторы не являются непреодолимыми ограничениями. Просто необходимо при проектировании электрических автобусов учитывать эти факторы, а не использовать без раздумий обычные автобусы, рассчитанные на дизельные или бензиновые двигатели.

Целью данной статьи является анализ возможности замены автобусов, использующих двигатели внутреннего сгорания, электрическими автобусами посредством оценки их преимуществ (включая финансовые и экологические преимущества) при различных сценариях.

Рынок электрических автобусов

Современные тенденции в развитии общественного транспортного рынка – это увеличение доли электрических автобусов. Эта тенденция особенно ярко проявляется в плане закупок электрических автобусов. На 2013 г. доля закупок электрических автобусов составляла 7% [9, 10]. К основным покупателям можно отнести страны Азиатско-Тихоокеанского региона, Европу и Северную Америку. Оценка перспектив роста доли электрических автобусов в общем количестве используемого городского транспорта была проведена в работе [11]. Оценки, полученные в этой работе, достаточно оптимистичны с точки зрения использования электрических автобусов. Эти оценки показывают, что доля электрических автобусов в 2021 г. достигнет 16%, а общий годовой прирост достигнет 27,5%. Если говорить о распределении по странам, то основная доля придется на страны Азиатско-Тихоокеанского региона, в первую очередь Китай и Индию. Среднегодовой темп роста доли электрических автобусов для этих стран достигнет 7,3%. Для Европы этот рост составит 4,1%, для Северной Америки 3,8% и 7% для Латинской Америки. Если принять во внимание, что на Азиатско-Тихоокеанский регион приходится почти половина мирового автобусного парка, то на долю этого региона придется более двух третей мирового парка электрических автобусов [9].

Надо также учесть, что прогнозы на 2021 г. показывают, что парк электрических автобусов в Северной Америке будет пополняться в основном за счет автобусов, использующих гибридную технологию.

Оценки, сделанные в работе [12], что две трети общего парка электрических автобусов будут составлять автобусы на базе гибридных технологий. То есть доля чисто аккумуляторных электрических автобусов не будет превышать одной четвертой общего парка электрических автобусов [13]. Однако в Европе доля аккумуляторных электрических автобусов будет быстро расти, что, по расчетам, приведет к 2031 г. к превышению над долей гибридных электрических автобусов. Однако необходимо учитывать, что прогнозы основаны на уровне развития сегодняшних технологий, которые достаточно быстро изменяются, что не позволяет абсолютно точно делать прогнозы в этом направлении [14].

Характеристики, определяющие целесообразность использования электрических автобусов

Электрические автобусы по многим характеристикам существенно отличаются от автобусов на базе двигателей внутреннего сгорания [15]. Поэтому при оценке целесообразности создания транспортной структуры на базе электрических автобусов следует учитывать эти особенности. Оценка целесообразности включает учет таких важнейших факторов, как [16]:

- экономический фактор, включающий общие затраты на построение транспортной структуры, расходы на обслуживание и эксплуатацию;
- проблемы эксплуатации, к которым можно отнести такие, как радиус обслуживания, ускорение, длительность зарядки, доступность и инфраструктура;
- фактор экологии, который должен учитывать выбросы загрязняющих газов, шум и степень загрязнения воздуха;
- энергетический фактор, учитывающий тип источника энергии и его эффективность.

Влияние экономических факторов на использование электрических автобусов

Введение в эксплуатацию транспортной системы на основе электрических автобусов требует значительных суммарных затрат, что в конечном счете является чуть ли не основным фактором, препятствующим развитию такой транспортной структуры [17–19]. К основным компонентам указанных суммарных затрат можно отнести стоимость изготовления электрических

автобусов, затраты на обслуживание, эксплуатацию, распределение энергии для зарядных станций, создание инфраструктуры, снижение выбросов, страховые гарантии и др. [20]. Чаще всего, судя по литературным источникам [20–22], за базовую компоненту общих затрат берутся затраты на эксплуатацию. Однако были предложены схемы общих затрат на основе других факторов, что создает достаточную неопределенность при расчете общих затрат [18]. Как показывают различные модели расчета общих затрат, на затраты сильно влияют такие факторы, как стоимость топлива, даже если в качестве топлива рассматривать электричество [17]. Сильно влияют на общие затраты уровень штрафных санкций за загрязнение окружающей среды, величины налогов и др. [13, 18].

В целом средняя стоимость электрического автобуса выше стоимости автобуса на базе двигателя внутреннего сгорания, что обусловлено наличием дорогостоящих электрических составляющих – аккумуляторной батареи, электродвигателя и др. [23].

Если речь идет о туристических электрических автобусах на аккумуляторах, курсирующих в пределах небольшой зоны, то они значительно дешевле, чем рейсовые электрические автобусы, использующие аккумуляторы больших размеров [18, 23]. Сравнение электрических автобусов аккумуляторных, гибридных и на базе топливных элементов показывает, что самыми дорогими являются электрические автобусы на топливных элементах. Их цена достигает в среднем миллиона долларов США, и это является важнейшим препятствием для их широкого внедрения, хотя они обладают таким важным качеством, как длительность работы от одной подзарядки до другой. Аккумуляторные электрические автобусы значительно дешевле, но они требуют обеспечения очень дорогой инфраструктурой. Так, например, некоторые оценки показывают, что плотность точек зарядки для них предполагает расположение этих точек через каждые 10–15 км [24]. И тем не менее снижение эксплуатационных расходов при использовании электрических автобусов в сравнении с автобусами с двигателями внутреннего сгорания достигает 80%, в то время как гибридные электрические автобусы дают снижение расходов только на 9–15%.

В работе [25] проведена оценка общих расходов на создание транспортной сети на базе электрических автобусов в Европе, причем за основу берутся в основном эксплуатационные расходы. В целом при оценке суммарных общих затрат на создание

такой сети учитывались все возможные факторы: затраты на покупку, финансирование, эксплуатационные и инфраструктурные расходы и даже штрафы за загрязнение окружающей среды. При расчетах они исходили из того, что средний пробег электрического автобуса за год достигает 65000 км, а среднее время эксплуатации автобуса равно 11,5 годам. Расчеты показали, что самыми дорогими в эксплуатации являются аккумуляторные электрические автобусы, рассчитанные на дальние рейсы, а значит, имеющие большие и дорогие аккумуляторы, за ними следуют электрические автобусы на топливных элементах. Последними идут аккумуляторные электрические автобусы туристического типа, имеющие небольшие аккумуляторы и гибридные автобусы. Однако оценки, приведенные в других работах [18, 24, 26], показали, что на конкурентоспособность электрических автобусов сильно влияют не только стоимость электрических компонентов, которая, кстати, постоянно снижается, но и потребность в услугах транспорта. Иными словами, в час пик и даже вне его, при умеренных нагрузках, электрические автобусы становятся вполне конкурентоспособными даже при нынешних ценах на электрические компоненты автобусов. Большинство оценок говорят, что суммарная стоимость создания транспортной сети на электрических автобусах значительно снизится к 2030-м гг., а стоимость сети автобусов с двигателями внутреннего сгорания снизится максимум на 1,5–4,5%.

Длина пробега и время зарядки электрических автобусов

Как показывают большинство исследований, основным препятствием для широкого внедрения в транспортные сети городов электрических автобусов является дальность действия электрических автобусов без очередной зарядки [27]. Однако, как показывают многие публикации, эту проблему стараются решить различными способами, и успехи в этом направлении несомненны [28]. В первую очередь это касается электрических автобусов с гибридными двигателями. Некоторые современные модели гибридных электрических автобусов по дальности пробега без подзарядки сравнимы с автобусами с двигателями внутреннего сгорания и даже иногда превышают их возможности [29]. Разработаны модели электрических автобусов на топливных элементах, длина пробега которых без дополнительной подзарядки достигает 4500 км [30]. Если же говорить об электрических автобусах, использующих аккумуля-

торы, то здесь существуют явные проблемы: максимальная дальность действия этих автобусов без подзарядки достигает 260 км, а большинство так называемых автобусов туристического класса имеют дальность, ограниченную 35–45 км [31].

Схема и технология эксплуатации электрических автобусов, а в целом и эффективность использования электрических автобусов зависят не только от дальности пробега без подзарядки, но времени зарядки. Отсюда возникла необходимость ввести характеристику, учитывающую оба этих фактора [32]. Этот показатель называется эксплуатационной гибкостью [33]. В работе [34] авторы утверждают, что электрические автобусы на аккумуляторных батареях негибки в эксплуатации, так как они ограничены в своем графике движения из-за жесткого следования времени зарядки по расписанию. Они также утверждали, что из-за ограничений по дальности и времени зарядки возникает ситуация, когда для того, чтобы не сбить график движения, один автобус с двигателем внутреннего сгорания необходимо заменить двумя электрическими автобусами, использующими аккумуляторы. Однако здесь же утверждается, что на больших расстояниях и при условии, что время дозаправки автобуса с двигателем внутреннего сгорания и время подзарядки электрического автобуса не превышает 5 минут, все электрические автобусы обеспечивают характеристики, не отличающиеся от значений для автобусов с двигателем внутреннего сгорания. В настоящее время существует несколько технологий, позволяющих значительно сократить время подзарядки для электрических автобусов на аккумуляторных батареях. На некоторых городских транспортных сетях вместо подзарядки используются пункты замены аккумуляторов, что значительно увеличивает конкурентоспособность электрических автобусов, использующих аккумуляторы [35]. Результаты исследований показывают, что при налаженной инфраструктуре электрические автобусы на аккумуляторных батареях могут работать круглые сутки.

Особенности инфраструктуры

Важным моментом эффективной работы транспортной сети на основе электрических автобусов является отлаженная и настроенная на электрические автобусы инфраструктура. Когда речь идет о гибридных автобусах, то здесь не возникает никаких проблем. Эти автобусы могут использовать обычную инфраструктуру, созданную под автобусы с двигателями внутреннего сгорания [36]. Для электрических автобусов с топлив-

ными элементами необходимо установить заправочные станции, обеспечивающие водородом. Причем с целью снижения выбросов парниковых газов в атмосферу эти станции желательно размещать в автобусных депо [34]. Для транспортной структуры на базе электрических автобусов на аккумуляторных батареях возможны несколько вариантов построения инфраструктуры. Если речь идет об аккумуляторных электрических автобусах с мощными аккумуляторами, способными работать без подзарядки достаточно длительное время, то здесь существует основная проблема – время зарядки. То есть в инфраструктуре должны быть предусмотрены станции сверхбыстрой зарядки или, если есть такая возможность, станции замены аккумуляторов. Аккумуляторные электрические автобусы способны работать с различными типами инфраструктурных элементов зарядки: точки зарядки, воздушные зарядные столбы и индуктивная зарядка [37]. В принципе, установка точек или воздушных зарядных столбов не требует значительной модернизации существующей инфраструктуры. Однако если учесть, что этих точек или столбов должно быть и достаточно много, да к тому же возникает проблема их распределения, то это становится существенным препятствием при построении инфраструктуры для транспортной сети электрических автобусов. Другой значительной помехой является возникающая при этом дополнительная нагрузка на коммунальные электрические линии, особенно в крупных городах [38]. По другим параметрам, таким как шум, вибрация, доступность и др., электрические автобусы ни в чем не уступают автобусам с двигателями внутреннего сгорания и даже имеют ряд преимуществ. По уровням шума и вибрации электрические автобусы явно более приемлемы для городов, чем автобусы с двигателями внутреннего сгорания [39]. Все сказанное относится также и к электрическим автобусам на топливных элементах.

Экологические показатели

Важнейшим аргументом в пользу использования электрических автобусов в городской транспортной сети являются их несомненные экологические преимущества [40].

Оценку выбросов так называемых парниковых газов (диоксид углерода CO_2 , закись азота N_2O , метан CH_4 и др.) проводят как в глобальных масштабах – от момента добычи топлива до момента непосредственного использования его в транспортных средствах, так и только на этапе эксплуатации транспортного средства [41]. Нас интересует только второй этап – выбро-

сы на стадии эксплуатации автобусов. Результаты оценки выбросов загрязняющих атмосферу газов на стадии эксплуатации транспортных средств, в нашем конкретном случае автобусов, сильно привязаны к условиям эксплуатации. К этим условиям можно отнести возможные заторы, среднюю скорость движения автобуса, количество остановок и др. Подобные оценки проводятся либо на основании эксплуатационных данных, либо с помощью имитационных моделей транспортных средств [42]. Проведенные исследования показали, что для стандартного 12-метрового электрического автобуса, как с использованием топливного элемента, так и на основе аккумулятора, выбросы парниковых газов равны нулю. В случае гибридных электрических автобусов выбросы парниковых газов зависят от степени гибридизации тяги автобуса [43]. Выброс парниковых газов гибридным автобусом, использующим в качестве дополнительного топлива дизельное топливо, эквивалентен выбросу в среднем 800–980 г CO_2 /км, а в случае использования биотоплива в качестве дополнительного топлива – в среднем 650–750 г CO_2 /км [44].

Заключение

Проведен обзор исследований по перспективам использования электрических автобусов в современных транспортных сетях. Рассмотрены основные технологии, используемые при разработке электрических автобусов. Технологии, которые рассматриваются в качестве базовых при разработке моделей электрических автобусов – это гибридные технологии, технологии, использующие аккумуляторы и топливные элементы. В обзоре сделана попытка провести единую оценку конкурентных возможностей и технологических особенностей современных электрических автобусов с целью определить направление развития этих технологий и перспектив использования электрических автобусов в транспортной структуре городов.

Сделан анализ трех основных характеристик электрических автобусов: их экономической, экологической и эксплуатационной эффективности. Большинство работ в этом направлении показывают, что эти характеристики сильно зависят от типа источника энергии, используемого электрическими автобусами, и особенностей эксплуатации этих автобусов. То есть однозначно сказать, какой вид электрических автобусов наиболее выгоден с точки зрения указанных характеристик, не представляется возможным. Однако большинство исследований сходятся на том, что электрические авто-

бусы на аккумуляторных батареях и на топливных элементах, использующих экологически чистое топливо, такое как водород, имеют наибольшие перспективы использования, так как они обеспечивают практически нулевые выбросы вредных газов в атмосферу.

Основным препятствием на пути полной электрификации общественного транспорта является общая стоимость затрат на создание транспортных сетей на базе электрических автобусов. Поэтому на современном этапе использование гибридных автобусов, представляющих собой, по сути, сочетание обычных автобусов с двигателями внутреннего сгорания и электрических автобусов, представляется наиболее эффективным как с экономической точки зрения, так и с точки зрения эксплуатации.

Список литературы

1. Juan A.A., Mendex C.A., Faulin J., Armas J.D., Grasman S.C. Electric vehicles in logistics and transportation: A survey on emerging environmental, strategic and operational challenges. *Energies*. 2016. No. 9. P. 1–21.
2. Ong H.C., Mahlia T., Masjuki H.H. A review on emissions and mitigation strategies for road transport in Malaysia. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011. No. 15. P. 3516–3522.
3. Doucette R., McCulloch M. Modeling the CO₂ emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries. *Energy Policy*. 2011. No. 39. P. 803–811.
4. Foltynski M. Electric fleets in urban logistics. In: 1st International Conference Green Cities 2014 – Green Logistics for Greener Cities. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2014. No. 151. P. 48–59.
5. Kakuhami Y., Kato J., Fukuizumi Y., Watabe M., Fujinaga T., Tada T. Next-generation public transportation: Electric bus infrastructure project. *Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev.* 2011. No. 48. P. 1–4.
6. Miles J., Potter S. Developing a viable electric bus service: the Milton Keynes demonstration project. *Res. Transport. Econ.* 2014. No. 48. P. 357–363.
7. Gill J., Bhavsar P., Chowdhury M., Johnson J., Taiber J., Fries R. Infrastructure cost issues related to inductively coupled power transfer for electric vehicles. In: 5th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies. *Procedia Computer Science*. 2014. No. 32. P. 545–552.
8. Li J.Q. Transit bus scheduling with limited energy. *Transport. Sci.* 2014. No. 48. P. 521–539.
9. Frost S. Strategic analysis of global hybrid and electric heavy-duty transit bus market (NC7C-01). New York: Frost & Sullivan Publication, 2013. 367 p.
10. Raslavičius L., Azzopardi B., Keršys A., Starevičius M., Bazaras Ž., Makaras R. Electric vehicles challenges and opportunities: Lithuanian review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2015. No. 42. P. 786–800.
11. Poullikkas A. Sustainable options for electric vehicle technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015. No. 41. P. 1277–1287.
12. Hurst D. Thinking outside the car: using electricity for two wheel vehicles, trucks, buses, locomotive, and off-road vehicles. USA: Pike Research, 2011. 423 p.
13. Hao H., Wang H., Ouyang M. Fuel consumption and life cycle GHG emissions by China's on-road trucks: future trends through 2050 and evaluation of mitigation measures. *Energy Policy*. 2012. No. 43. P. 244–51.
14. Al-Alawi B.M., Bradley T.H. Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling studies. *Renew Sustain Energy Rev.* 2013. No. 21. P. 190–203.
15. Miles J., Potter S. Developing a viable electric bus service: the Milton Keynes demonstration project. *Res. Transport. Econ.* 2014. No. 23. P. 125–134.
16. Lee J., Lee B.-J., Park G.-L., Kim Y.C. Web service based tour-and-charging scheduler framework for rent-a-car systems employing electric vehicles. *International Journal of Control and Automation*. 2013. Vol. 6. No. 4. P. 141–151.
17. Song Z., Hofmann H., Li J., Hou J. Electric vehicles with hybrid energy storage system. *Appl. Energy*. 2014. No. 134. P. 321–331.
18. Pattnaik S.B., Mohan S., Tom V.M. Urban bus transit route network design using Genetic algorithm. *J. Transport. Eng.* 1998. No. 124. P. 368–375.
19. Baouche F., Billot R., Trigui R., Faouzi N. E. El. Efficient allocation of electric vehicles charging stations: optimization model and application to a dense urban network. *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.* 2014. No. 4. P. 231–241.
20. Hua T., Ahluwalia R., Eudy L., Singer G., Jermer B., Asselin-Miller N. Status of hydrogen fuel cell electric buses worldwide. *J. Power Sources*. 2014. No. 269. P. 975–93.
21. Kliucininkas L., Matulevicius J., Martuzevicius D. The life cycle assessment of alternative fuel for urban buses and trolley buses. *J. Environ. Manage.* 2012. No. 99. P. 98–103.
22. Li J.-Q. Battery-electric transit bus developments and operations: a review. *Int. J. Sustain. Transp.* 2014. No. 4. P. 1–22.
23. Göhlich D., Kunith A., Ly T. Technology assessment of an electric urban bus system for Berlin. *WIT Trans. Built Environ.* 2014. No. 138. P. 137–149.
24. Lajunen A. Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.* 2014. No. 38. P. 1–15.
25. Offer G.J., Howey D., Contestabile M., Clague R., Brandon N. P. Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy*. 2010. No. 38. P. 24–9.
26. Ribau J.P., Silva C.M., Sousa J.M.C. Efficiency, cost and life cycle CO₂ optimization of fuel cell hybrid and plug-in hybrid urban buses. *Appl. Energy*. 2014. No. 129. P. 320–335.
27. Chan C.C. The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proc. IEEE*. 2007. No. 95. P. 704–18.
28. Жумалиев К.М., Алымкулов С.А., Исманов Ю.Х., Исмаилов Д.А. Анализ голографических интерферограмм // *Известия КГТУ им. И. Раззакова*. 2016. № 3 (39). Ч. I. С. 56–60.
29. Исманов Ю.Х. Интерферометрия на основе метода бесцелевой радужной голографии // *Вестник КГУСТА*. 2015. № 4 (40). С. 194–198.
30. Исманов Ю.Х. Голографическая интерферометрия на основе эффекта Тальбота // *Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики*. 2015. № 2. С. 20–23.
31. Maripov A., Ismanov Y. The Talbot effect (a self imaging phenomenon) in holography. *Journal of Optics (0150-536X)*. 1994. Vol. 25. No. 1. P. 3–8. DOI: 10.1088/0150-536X/25/1/001.
32. Исманов Ю.Х. Восстановление изображения волнами различной длины // *Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики*. 2015. № 4. С. 30–33.
33. Rogger M., Wollny S., Sauer D.U. Fast charging battery buses for the electric feasibility study focusing on charging infrastructure and energy storage requirements. *Energies*. 2015. No. 8. P. 4587–4606.
34. Nykvist B., Nilsson M. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nat. Clim. Chang.* 2015. No. 5. P. 329–332.

35. Tzeng G.H., Lin C.W., Opricovic S. Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*. 2005. No. 33. P. 1373–1383.
36. Zhu Z.-H., Gao Z.-Y., Zheng J.-F., Du H.-M. Charging station location problem of plug-in electric vehicles. *J. Transp. Geogr.* 2016. No. 52. P. 11–22.
37. Zhu C., Chen X. Optimizing battery electric bus transit vehicle scheduling with battery recharging: model and case study. *Proc. Soc. Behav. Sci.* 2013. No. 96. P. 2725–2736.
38. Song Z., Hofmann H., Li J., Hou J., Han X., Ouyang M. Energy management strategy comparison for electric vehicles with hybrid energy storage system. *Appl. Energy*. 2014. No. 134. P. 321–331.
39. Pternea M., Kepaptsoglou K., Karlaftis M.G. Sustainable urban transit network design. *Transp. Res. Part A*. 2015. No. 77. P. 276–291.
40. Kumar L., Jain S. Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014. No. 29. P. 924–940.
41. Ke B.-R., Chung C.-Y., Chen Y.-C. Minimizing the costs of constructing an all plug-in electric bus transportation system: a case study in Penghu. *Appl. Energy*. 2016. No. 177. P. 649–660.
42. McKenzie E.C., Durango-Cohen P.L. Environmental life-cycle assessment of transit buses with alternative fuel technology. *Transp. Res. Part D*. 2012. No. 17. P. 39–47.
43. Kühne R. Electric buses – an energy efficient urban transportation means. *Energy*. 2010. No. 35. P. 4510–4513.
44. Ou X.M., Zhang X.L., Chang S.Y. Alternative fuel buses currently in use in China: Life-cycle fossil energy use, GHG emissions and policy recommendations. *Energy Policy*. 2010. No. 38. P. 406–418.

СТАТЬИ

УДК 539:53.09

**ГИПОТЕЗА БЛИЗКОДЕЙСТВИЯ В АСПЕКТЕ ВЛИЯНИЯ
ГРАВИТАЦИИ НА СКОРОСТЬ СВЕТА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
МАЙКЕЛЬСОНА – МОРЛИ И САНЬЯКА****Ромм Я.Е.***Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) ФГБОУ ВО РГЭУ (РИНХ),**Таганрог, e-mail: romm@list.ru*

Описана гипотеза близкодействия на основе электрон-позитронной модели вакуума и вещества, которая включает следующие компоненты. Наименьшим элементом близкодействия электрического, магнитного поля, а также поля гравитации является устойчивая вращающаяся электрон-позитронная пара. Электрон (аналогично позитрон) в паре представляет собой замкнутый тороидальный вихрь, направленный вдоль окружности как оси вращения. Аннигиляция в паре исключена одноименностью обращенных друг к другу полюсов магнитного поля, образуемого однонаправленным вращением параллельных вихрей электрона и позитрона. Пара сохраняет устойчивость вследствие притяжения противоположных зарядов и индуктивного взаимодействия вихрей. Предположение распространяется на структуру нуклона в ядре атома, этим объясняется формирование силовых линий поля. Нейтральность вакуума обусловлена дискретным поточечным объединением пар противоположных электрических зарядов и разноименных магнитных полюсов. Электрическое, магнитное и гравитационное поле различаются способом соединения элементов силовых линий и характером их взаимодействия. Поля небесных тел через взаимодействие элементов влияют на окружающее вакуумное пространство. Среда вакуумного пространства сопровождает орбитальное движение Земли вследствие притяжения ее элементов полем гравитации Земли. Среда также сопровождает суточное вращение земной поверхности вслед за круговым смещением атомов вещества, порождающих силовые линии гравитационного поля. Электрон-позитронная среда вакуумного пространства является средой распространения света. Если источник зафиксирован на земной поверхности, то луч света в прямом и обратном направлении имеет одинаковую скорость, поскольку среда локально неподвижна относительно источника. Этим объясняется постоянство скорости света в опытах Майкельсона и Майкельсона – Морли. Если источник света зафиксирован на платформе и два луча проходят по ее кольцевому контуру во встречном направлении, то при вращении платформы скорость распространения света в прямом и обратном направлении различна, поскольку среда не увлекается вращением платформы вследствие малой силы ее гравитации. Среда распространения света априори локально неподвижна относительно неподвижной платформы и сохраняет локальную неподвижность при вращении платформы. Этим объясняется различие скорости света в прямом и обратном направлении в интерферометре Саньяка.

Ключевые слова: эксперименты Майкельсона – Морли и Саньяка, измерение скорости света интерферометрами, структура вакуума и вещества, структура электромагнитного и гравитационного поля, влияние поля гравитации на среду распространения электромагнитных волн

**THE SHORT-RANGE HYPOTHESIS IN THE ASPECT OF GRAVITY INFLUENCE
ON THE LIGHT SPEED IN MICHELSON – MORLEY AND SAGNAC EXPERIMENTS****Romm Ya.E.***A.P. Chekhov Taganrog Institute (branch) of Rostov State University of Economics,**Taganrog, e-mail: romm@list.ru*

The hypothesis of close interaction based on the electron-positron model of vacuum and matter, which includes the following components, is described. The smallest element of the short-range electric, magnetic, and gravitational fields is a stable rotating electron-positron pair. An electron (similarly, a positron) in a pair is a closed toroidal vortex directed along a circle as the axis of rotation. Annihilation in a pair is excluded by the eponymous nature of the poles of the magnetic field facing each other, formed by the unidirectional rotation of the parallel vortices of the electron and positron. The pair remains stable due to the attraction of the opposite charges and the inductive interaction of vortices. The assumption extends to the structure of the nucleon in the nucleus of an atom, which explains the formation of field lines of force. The neutrality of the vacuum is due to the discrete pointwise union of pairs of opposite electric charges and opposite magnetic poles. The electric, magnetic, and gravitational fields differ in the way in which the elements of the lines of force are connected and in the nature of their interaction. The fields of celestial bodies through the interaction of elements affect the surrounding vacuum space. The vacuum space environment accompanies the Earth's orbital motion due to the attraction of its elements by the Earth's gravity field. The medium also accompanies the diurnal rotation of the Earth's surface following the circular displacement of the atoms of matter that generate the lines of force of the gravitational field. The electron-positron medium of vacuum space is the medium of light propagation. If the source is fixed on the Earth's surface, then the light beam in the forward and backward directions has the same speed, since the medium is locally fixed relatively to the source. This explains the constancy of the light speed in the Michelson and Michelson – Morley experiments. If the light source is fixed on the platform and two beams pass along its circular contour in the opposite direction, then when the platform rotates, the speed of light propagation in the forward and backward directions is different, since the medium is not carried away by the rotation of the platform due to the small force of its gravity. The light propagation medium is a priori locally fixed relatively to the stationary platform and retains local immobility when the platform rotates. This explains the difference in the speed of light in the forward and backward directions in the Sagnac interferometer.

Keywords: Michelson – Morley and Sagnac experiments, measurement of the light speed by interferometers, the structure of vacuum and matter, the structure of the electromagnetic and gravitational fields, the influence of the gravitational field on the medium of electromagnetic waves propagation

Результаты экспериментов Майкельсона по измерению скорости света трактуется как экспериментальное подтверждение специальной теории относительности, они широко известны и представляют актуальный предмет обсуждения свыше ста лет с момента проведения. Эксперименты были поставлены, чтобы обнаружить отставание эфира от орбитального движения Земли и от суточного вращения ее поверхности. Для измерения скорости света использовался сконструированный Майкельсоном интерферометр. Когерентность волн в нем обеспечивало деление входного луча света на два луча, которые распространялись прямолинейно под прямым углом друг к другу, затем зеркально отражались обратно. Через полупрозрачное зеркало разделённые лучи направлялись на экран, где интерферировали. Числовая обработка параметров интерференционной картины с учетом влияния компонентов конструкции позволяла сравнительно точно на момент проведения эксперимента определить скорость света. Предполагалось, что несущая свет среда эфира отстает от движения Земли, поэтому свет покажет различные интерференционные картины при движении луча в прямом и обратном направлении. Опыт дал нулевой эффект: картины в обоих случаях оказались одинаковыми в соответствии равным скоростям света в противоположных направлениях. Было принято теоретическое объяснение, состоявшее в том, что среда эфира не существует. Однако не исключено и другое – гипотетическая среда движется вместе с Землей, что соответствовало бы тем же результатам эксперимента. В эксперименте Майкельсона – Морли интерферометр имел повышенную чувствительность, несущая конструкция могла поворачиваться по всем горизонтальным направлениям. При любом направлении луча света скорость распространения оказывалась равной скорости распространения в обратном направлении. Предположение об отсутствии материальной среды распространения света получало дополнительное экспериментальное подтверждение. Однако допустимо предположить, что среда движется вместе с Землей не только в орбитальном направлении, но и сопровождает вращение Земли вокруг оси, что в равной мере соответствовало бы результатам экспериментов. Сопровождающее движение среды, предположительно, следствие гравитационного притяжения Земли и всей массы вращающейся земной материи. Напротив, если масса платформы на поверхности Земли невелика, то ее гравитационное притяжение не увлекает за собой среду: сложение

сил притяжения Земли и платформы сохранит направление притяжения только к Земле. Такое объяснение можно предполагать для эффекта эксперимента Саньяка. В эксперименте разделенный надвое луч света обегал с помощью зеркал кольцевой периметр платформы во встречных направлениях и собирался на экране в интерференционную картину. Пока платформа была неподвижной, интерференционные полосы оставались одинаковыми, когда платформа приводилась во вращение, полосы расходились. Саньяк трактовал эффект как отставание среды распространения света от поверхности вращения. Майкельсон неоднократно воспроизводил этот опыт и признавался, что если бы сначала выполнил этот эксперимент, то считал бы, что среда эфира существует и отстает от локального движения тел.

Статья посвящена определению условий, при которых результаты экспериментов Майкельсона, Майкельсона – Морли и Саньяка могли бы однозначно объясняться наличием, а не отсутствием материальной среды передачи электромагнитных волн.

Цель исследования – привести расчеты, показывающие, что из результатов данных экспериментов не следует отрицание материальной среды вакуумного пространства как среды распространения электромагнитных волн, а следует лишь отрицание ее абсолютной неподвижности. Вычисления опираются на предположение близкодействия, механизм которого связывает материю вакуума с веществом, электромагнетизмом и гравитацией. На этой основе требуется представить численные соотношения взаимодействия гравитационного поля с материей вакуумного пространства, из которых следует движение среды вакуумного пространства вместе с локальным источником гравитации, что служило бы единым объяснением, казалось бы, противоречащих друг другу результатов экспериментов.

Гипотеза близкодействия

Необходимое для дальнейшего изложение основной части гипотезы заимствуется из [1], в условиях гипотезы трактуются эффекты классических экспериментов по измерению скорости света. Предполагается, что наименьшим физическим элементом близкодействия электрического и магнитного полей, а также поля гравитации является устойчивая вращающаяся электрон-позитронная пара. Электрон в паре представляет собой замкнутый тороидальный вихрь, направленный вдоль окружности как оси вращения. Предполагается, что в данном состоянии электрон обладает свойством

кругового витка постоянного тока и имеет два противоположных магнитных полюса. Позитрон в паре находится в аналогичном состоянии с такими же двумя магнитными полюсами. Оба вихря механически вращаются в одинаковом направлении с одинаковой скоростью в параллельных плоскостях, расстояние между которыми соизмеримо с радиусом оси вращения (рис. 1, а). Предполагается, что в этом случае оба вихря сохраняют свойства электрических токов взаимно противоположного направления (рис. 1, б), поэтому обращены друг к другу одноименными магнитными полюсами. Вращение в паре предполагается абсолютно устойчивым (как при сверхпроводимости – в вакууме нет сопротивления), электрон и позитрон сохраняют постоянные единичные заряды противоположного знака и поэтому взаимно притягиваются. Одноименная магнитная полярность на обращенных друг к другу сторонах круговых витков исключает критическое сближение, как следствие исключена возможность аннигиляции в паре.

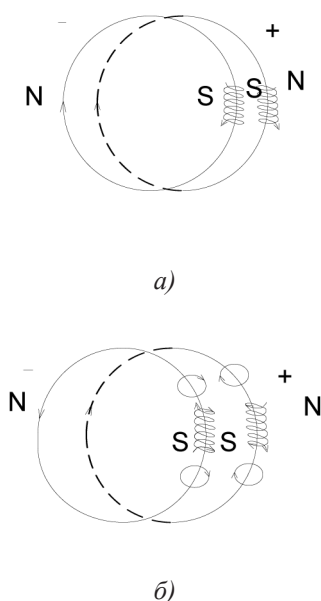


Рис. 1. Расположение магнитных полюсов в вихревой электрон-позитронной паре, механическая винтовая (а) и электрическая (б) ориентация вихревых витков на взаимное отталкивание

Предполагается также, что в силу вихревой природы вращения каждый компонент пары имеет винтовые вихревые витки, которые в компонентах пары ориентированы во взаимно противоположном направлении. С учетом знака заряда это приводит

к противоположности направлений элементов их токов на обращенных друг к другу сторонах компонентов пары (рис. 1). Такие вихревые витки создают локальные изменения магнитного поля, ориентированные на взаимное отталкивание компонентов пары, что дополнительно противодействует возникновению аннигиляции. Следующее предположение заключается в том, что компоненты электрон-позитронной пары обладают свойством электрических токов в макроскопических проводниках, а именно электромагнитной индукцией. При этом взаимная индукция препятствует любому изменению локальных элементов магнитных полей круговых и вихревых токов компонентов пары. Именно данное свойство обеспечивает устойчивость состояния электрон-позитронной пары, благодаря которому компоненты среднестатистически остаются на одном и том же расстоянии друг от друга, сохраняют размеры и форму. Однако это так только при отсутствии внешнего электромагнитного возмущения, наличие которого может влиять на геометрические, пространственные и физические параметры компонентов пары. Необходимо учесть особенности гипотетических электрон-позитронных пар, относящиеся к их взаимодействию с внешними объектами. Они имеют диаметр существенно меньший диаметра свободного электрона. Это следует из того, что равнодействующая винтовых вихревых витков электрона (аналогично, позитрона) всегда направлена к центру оси вращения [2], в результате замкнутый тороидальный вихрь должен оказаться сжатым до «точечных» размеров. На сравнительно удаленном расстоянии пара воспринимается как электрически нейтральная (противоположные заряды складываются в «одной точке» в нулевое действие). На аналогичном расстоянии пара воспринимается как немагнитный объект (две пары противоположных магнитных полюсов сконцентрированы в «одной точке»). Поэтому рассматриваемый объект микромира нейтрален по отношению к любому заряженному и намагниченному объекту, находящемуся на относительном удалении. Так, сдвоенный замкнутый электрон-позитронный вихрь должен восприниматься как электрически и магнитно нейтральный объект в межатомном и межмолекулярном пространстве, тем более – на макроскопическом от него расстоянии. Поэтому он не обнаруживает себя в известных взаимодействиях микро- и макромира. Принципиальное для дальнейшего предположение заключается в том, что рассматриваемые электрон-позитронные пары заполняют все

вакуумное пространство вселенной, а также все свободное межатомное пространство вещества, где обладают «неограниченной» проникающей способностью. Нейтральные в макроскопическом измерении точечные заряды и магнитные полюса элементов приводят к физическому восприятию вакуума как пустоты без физических объектов и свойств. Возможность аннигиляции различных пар исключена тем, что все пары обращены друг к другу только одноименными магнитными полюсами: те пары, у которых вовне были обращены взаимно противоположные полюса, аннигилировали, их не осталось в пространстве вакуума. Несмотря на взаимную нейтральность, на достаточно малом расстоянии друг от друга вихревые электрон-позитронные пары могут определять взаимную пространственную ориентацию. Кроме того, их взаимную пространственную ориентацию, от элемента к элементу, определяет также заряд достаточно близко расположенного ядра атома и его магнитное поле, аналогично заряд и магнитное поле макроскопического физического тела. Непосредственно ниже предположение об электрон-позитронной структуре вакуума с видоизменением распространяется на структуру нуклонов атомного ядра, что влечет гипотетическую связь гравитации и электромагнетизма. Отсюда будет вытекать, что гравитационное поле атомов и макроскопических тел оказывает влияние на взаимное положение и пространственную ориентацию электрон-позитронных пар вакуума посредством передачи действия от элемента к элементу. Именно, предполагается, что нуклоны состоят из таких же вихревых электрон-позитронных пар, которые заполняют вакуумное пространство. В силу симметрии действия на элементы вакуума нуклон имеет шарообразную форму, замкнутые вихревые пары располагаются равномерно по его сферической поверхности (рис. 2). Пусть вначале рассматривается нейтрон. Его электрическую нейтральность обуславливает следующая особенность структуры. Перпендикулярные плоскостям вращения оси электрон-позитронных пар нейтрона попарно повернуты друг относительно друга на $\approx 180^\circ$, чередуя на внешней стороне поверхности заряды $+$ и $-$ в порядке клеток шахматной доски:

$$\begin{array}{cccc} + & - & + & - \\ - & + & - & + \\ + & - & + & - \\ - & + & - & + \end{array} \quad (1)$$

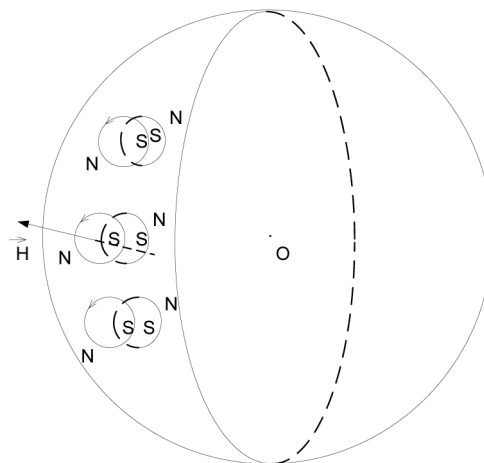


Рис. 2. Магнитная ориентация электрон-позитронных пар на сфере нуклона

Под каждым $+$ из (1), расположенным на внешней стороне поверхности нейтрона, с внутренней стороны этой поверхности, вдоль оси электрон-позитронной пары, располагается сдвоенный с ним $-$, и аналогично под каждым $-$ располагается сдвоенный с ним $+$. Оси располагаются радиально к центру нейтрона. Пары удерживаются на поверхности взаимным притяжением электрических зарядов, а также винтовых вихревых витков, которые в данном расположении направлены на притяжение на участках «касания». Кроме того, замкнутые вихревые пары попарно чередуют смещение вдоль осей к центру нейтрона и обратно, усиливая взаимное притяжение за счет смещения внешних магнитных полюсов соседних пар к внутренним, им противоположным. Предполагается, что протон возникает из нейтрона вследствие того, что чередование (1) в окрестности некоторой точки поверхности нейтрона является однократно нарушенным относительно расположения отрицательных зарядов:

$$\begin{array}{cccc} + & - & + & - \\ - & + & - & + \\ + & - & (-) & - \\ - & + & - & + \end{array} \quad (2)$$

Соседние отрицательные заряды выталкивают лишний «внутренний» между ними заряд $(-)$, восстанавливая расположение (1). Но тогда на поверхности остается не скомпенсированный позитрон с зарядом $(+)$ в состоянии устойчивого замкнутого вихря. В результате нейтрон распадается на про-

тон и электрон, протон остается с зарядом позитрона, по модулю равным заряду электрона. Эта реакция известна как β -распад: в свободном состоянии нейтрон распадается на протон, электрон и электронное антинейтрино: ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + e^- + \bar{\nu}_e$. После распада протон остается в абсолютно устойчивом состоянии.

Можно допустить, что в ядре атома образовавшийся заряд протона (+), будучи не скомпенсированным, ориентируется на зону отрицательного участка поверхности нейтрона вокруг (–), как иллюстрирует (2). Все вместе это влечет особенности ядра, на основе которых объяснимо равенство модулей зарядов протона и электрона, происхождение орбитальных электронов атома, равенство их количества числу протонов ядра, наглядно объясняется есте-

ственная радиоактивность, с некоторыми оговорками – искусственная радиоактивность. Данные аспекты детализируются в [2], ниже они не обсуждаются.

Принимается, что нуклоны ядра с описанной гипотетической структурой в непосредственной близости от себя ориентируют замкнутые вихревые электрон-позитронные пары пространства. На поверхности нуклона присутствуют магнитные полюса одного типа (внешние полюса замкнутых вихревых пар). Пусть условно это полюса N (рис. 2). В этом случае ближайшая к полюсу N замкнутая вихревая пара пространства повернется сдвоенным внутренним полюсом S . В свою очередь, к ее сдвоенному полюсу S соседняя с ней пара повернется полюсом N . В продолжение процесса получится цепочка вида

$$\begin{array}{ccccc} N & & N & & N \\ S & & S & & S \\ (n)NSSN & NSSN \dots & NSSN & NSSN & NSSN(n) \\ S & & S & & S \\ N & & N & & N \end{array} \quad (3)$$

В скобках обозначено положение начального и конечного нуклона атомов двух тел, между которыми протянулась цепочка замкнутых сдвоенных вихрей. Изображение (3) условно. На самом деле в промежутках между ортогональными

комбинациями полюсов может оказаться не одна комбинация полюсов вихревой пары $NSSN$, а несколько таких последовательных комбинаций – по причине взаимной ориентации согласно зарядам по схеме

$$(e^+, e^-), (e^+, e^-), (e^+, e^-), \dots, (e^+, e^-), (e^+, e^-), (e^+, e^-) \quad (4)$$

(так ориентированы элементы силовых линий стационарных электрических зарядов противоположного знака [1]). Если эти заряды справа от ортогональной комбинации заканчивались знаком +, то наиболее вероятно, что слева цепочка продолжится знаком – **вследствие притяжения** противоположных зарядов. Однако притяжение зарядов ослаблено расстоянием, и не исключено, что комбинация полюсов $NSSN$ развернется на 180° . Это означает, что продольные элементы цепочки могут иметь различную ориентацию зарядов, комбинируемых по типу (4). В результате сила, с которой действует один элемент цепочки на конечный объект, будет существенно слабее (ввиду частичного противодействия промежуточных элементов), чем это было в случае кулоновского взаимодействия [1]. У протона образуются аналогичные цепоч-

ки, но среди них могут быть и те, которые начинаются с продольной (а не ортогональной) комбинации $NSSN$, по причине наличия у него заряда +. В дальнейшем своем продолжении цепочки примут вид, аналогичный (3). Можно заметить, что расположение вдоль поверхности нуклона точечных комбинаций полюсов вида $NSSN$ (рис. 2) делает нуклон объектом со скомпенсированным магнетизмом для относительно удаленных физических тел.

Пусть вначале принимается предположение, что действие гравитационного притяжения одного тела на другое передается вдоль силовой линии от ее элемента к ее элементу (в дальнейшем будет оговариваться, что в передаче действия участвуют также элементы среды вакуумного пространства, окружающей силовые линии). За продольную ось силовой линии грави-

тации точечного тела принимается комбинация замкнутых тороидальных вихревых электрон-позитронных пар, образующих цепочку вида (3). В среде вакуумного пространства у цепочки вида (3), входящей в силовую линию, есть ответвления, продолжающие ортогональные комбинации полюсов, которые в своем продолжении также имеют ответвления. Поэтому силовые линии гравитационного поля имеют древовидную структуру. В целом, как и в случае электростатических силовых линий [1], элемент силовой линии гравитации состоит из хаотичного набора подвижных замкнутых электрон-позитронных вихрей, в котором доминирующая магнитная ориентация соответствует (3). В стационарном состоянии действие всегда направлено на взаимное притяжение элементов, а суммарное действие – на притяжение начального и конечного объектов. Вероятность нахождения любого элемента силовой линии в положении из (3) в каждый момент времени больше 2^{-1} .

Ниже, пока не оговорено иное, силовая линия поля понимается как линия движения пробного тела под действием элементов среды.

Аналогично, как отмечалось, в соответствии с (4), определяется силовая линия электрического заряда [1]. Наименьшие физические элементы силовых линий статического электричества и гравитации в данных предположениях одни и те же, механизм передачи действия от элемента к элементу сохраняется, передача действия в этих двух полях, с означенными оговорками, различается количественно – в конечной оценке – значениями коэффициентов пропорции. Поскольку речь идет о действии элемента на элемент, то в количественном выражении такого действия должно предполагаться наличие инертной массы элемента. Это обстоятельство требует различать между сколь угодно малым элементом вакуума в макроскопическом измерении и минимальным физическим элементом микромира вакуума – замкнутой вихревой электрон-позитронной парой. Требуемое различие проводится в дальнейшем по ходу обсуждения действия гравитации на физические тела и на вакуум.

Всюду ниже, если не оговорено иное, синоним «электрон-позитронная пара» понимается только как рассмотренная выше замкнутая вихревая электрон-позитронная пара.

Интерпретация закона всемирного тяготения в аспекте близкодействия

Пусть даны два точечных тела массой M и m , расположенных в центрах o и o_1 , на ма-

кроскопическом расстоянии R друг от друга. Пусть сила взаимного притяжения их компонентов единичной массы обозначена f . Вначале модель близкодействия рассматривается в упрощенной форме. Принимается, что все силовые линии двух рассматриваемых тел замкнуты и попарно симметричны относительно линии центров oo_1 . Симметричные элементы, понимаемые как векторные элементы действия (но не наименьшие физические элементы), проектируются на отрезок oo_1 , сумма их попарно симметричных проекций по направлениям соответствует (3). Проекция векторов обратных направлений взаимно уничтожаются с проекциями векторов продолжений таких силовых линий до перпендикулярных границ линии центров. В результате любой сколь угодно малый элемент действия суммы проекций всех силовых линий направлен в соответствии с (3). Элемент силовой линии (не элемент действия) здесь понимается как множество электрон-позитронных пар, заключенных в сколь угодно малом объеме пространства, взятом в макроскопическом измерении.

Действие передается от одного элемента к другому, при этом передача действия на конечное тело может терять силу на каждом передаточном элементе вследствие колебаний взаимной ориентации электрон-позитронных пар. Более точно, действие точечного тела передается на ближайший к нему элемент силовой линии, тот в свою очередь передает это действие на следующий элемент, при этом в процессе передачи элемент может потерять часть переданной ему силы, вместе с тем присоединит к ослабленному действию силу своего собственного притяжения к ближайшему элементу. Такой механизм воспроизводится в продольном направлении силовой линии до окончательной передачи действия тела массой M вместе с действием всех промежуточных элементов силовой линии телу массой m .

За элемент действия тела единичной массы в составе M на тело единичной массы в составе m на расстоянии r от первого принимается полностью переданное действие на второе тело от элемента суммы действий, спроектированных на линию центров oo_1 силовых линий, находящегося на расстоянии r от точки o . Абсолютная величина элемента действия обозначается df , где $f = f(r)$.

Полное рассматриваемое действие определяется как интегральная сумма элементов действий. При описании интегрального суммирования термин «элемент» понимается только в макроскопическом измерении.

Как гипотеза принимается, что элемент действия обратно пропорционален кубу расстояния с экспоненциальным весом. Более точно предполагается, что абсолютная величина элемента действия тела единичной массы в составе M на тело единичной массы в составе m , в случае если элемент действия находится на расстоянии r от первого тела, может быть представлена дифференциалом

$$df = \left(-\frac{2k}{r^3 e^{\frac{k_0}{r}}} + \frac{kk_0}{r^4 e^{\frac{k_0}{r}}} \right) dr, \quad (5)$$

где k, k_0 – некоторые постоянные (согласуемые в дальнейшем с законом всемирного тяготения), или

$$df = \left(\frac{k}{r^2} \times \frac{1}{e^{\frac{k_0}{r}}} \right)' dr. \quad (6)$$

Физически действие передается от одной электрон-позитронной пары к другой вдоль цепочки вида (3), через физически наименьшие элементы силовых линий, в то время как дифференциал (5) – сколь угодно малая величина в макроскопическом измерении. Он выражает модуль действия множества физически наименьших элементов – электрон-позитронных пар, – обладающих суммарной ориентацией в соответствии с (3), заключенных в сколь угодно малых объемах пространства в макроскопическом измерении, взятых вокруг проектируемых на линию центров точек силовых линий. Формально дифференциал выражает модуль суммы проекций элементов действий вдоль силовых линий на отрезок длины dr на линии центров. Дифференциал – модуль элемента интегральной суммы. Действие этого интегрального элемента складывается во взаимное притяжение с любым таким же элементом в соответствии с суммарной ориентацией составляющих физически наименьших элементов.

В предположении относительно (5) целесообразно абстрагироваться от конкретного описания (исключительного значения) силовых линий. В самом деле, окружающие силовые линии элементы среды вакуумного пространства, состоящие из электрон-позитронных пар, ориентируются на элементы цепочек вида (3), следовательно, они взаимодействуют с ними и участвуют в передаче гравитационного действия одного тела на другое. Соответствующие элементам векторы сил складываются таким образом, что вектор их полной суммы коллинеарен цепочке (3) и направлен только на притяжение одного тела к другому. В макроскопиче-

ском измерении силовые линии заполняют пространство непрерывно, сливаясь друг с другом. Они разделяются в измерении микромира, где между ними образуются расстояния, соизмеримые с расстояниями между ядрами атомов, нуклоны которых порождают их продольные оси – цепочки вида (3).

Искомое предположение можно сформулировать в следующем виде. Для двух рассматриваемых макроскопических тел с центрами o и o_1 на расстоянии R друг от друга элементы силовых линий и окружающей их вакуумной среды пространства ориентируются и взаимодействуют таким образом, что дифференциал, понимаемый в макроскопическом измерении, взятый от проекции суммы действий всего множества таких элементов на линию центров oo_1 на расстоянии $r < R$ от точки o , по абсолютной величине выражается из (5).

Согласно (5) абсолютная величина силы действия тела единичной массы в составе M (включающая действия окружающих элементов силовых линий) на тело единичной массы в составе m на расстоянии R между ними выразится как интеграл

$$f = \int_0^R \left(-\frac{2k}{r^3 e^{\frac{k_0}{r}}} + \frac{kk_0}{r^4 e^{\frac{k_0}{r}}} \right) dr.$$

Отсюда, с учетом (6),

$$f = \frac{k}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}} - \lim_{r_0 \rightarrow 0} \frac{k}{r_0^2} e^{-\frac{k_0}{r_0}}. \quad (7)$$

В (7) предельное вычитаемое равно нулю. Таким образом,

$$f = \frac{k}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}}. \quad (8)$$

Из разложения экспоненты в ряд Лорана

$$e^{-\frac{k_0}{R}} = 1 - \frac{k_0}{R} + \frac{1}{2} \left(\frac{k_0}{R} \right)^2 - \frac{1}{2 \cdot 3} \left(\frac{k_0}{R} \right)^3 + \dots + (-1)^k \frac{1}{k!} \left(\frac{k_0}{R} \right)^k + \dots, \quad (9)$$

с учетом чередования знаков членов сходящегося ряда (при условии $R \neq 0$), получится, что модуль разности между силой притяжения тел с единичной массой по закону всемирного тяготения (f_N) в канонической форме и выражением (8) (при условии $k = \gamma$) составит

$$|f - f_N| = O(R^{-3}).$$

Из (8), (9) следует представление силы гравитационного притяжения в виде

$$f = k \left(\frac{1}{R^2} - \frac{k_0}{R^3} + \frac{1}{2} \frac{k_0^2}{R^4} - \frac{1}{2 \cdot 3} \frac{k_0^3}{R^5} + \dots + (-1)^k \frac{1}{k!} \frac{k_0^k}{R^{k+2}} + \dots \right), \quad (10)$$

или

$$f = k \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{1}{k!} \frac{k_0^k}{R^{k+2}}.$$

Согласно теореме Лейбница об остатке сходящегося знакопеременного ряда из (10), в частности, следует

$$f = \frac{k}{R^2} - \frac{k k_0}{R^3} + \frac{1}{2} \frac{k k_0^2}{R^4} + O\left(\frac{1}{R^5}\right). \quad (11)$$

Появление весового множителя $e^{-\frac{k_0}{R}}$ в (8) обусловлено спецификой модели, в рамках которой выполняется вывод формулы (8). Если этот множитель не вводить, то интегральное суммирование вдоль линии центров повлечет бесконечное значение вычитаемого предела в (7). С другой стороны, формальное наличие весового множителя $e^{-\frac{k_0}{R}}$ может отражать физическую (статистическую) закономерность убывания силы действия элемента на расстоянии R в (5) и (6). Имеет значение также то, что наличие веса $e^{-\frac{k_0}{R}}$ в (8) избавляет закон обратных квадратов от некорректности при $R = 0$. Закон всемирного тяготения

$$F_{Mm} = \gamma \frac{Mm}{R^2} \quad (12)$$

дает бесконечное значение силы притяжения при $R = 0$ для любых двух тел с ненулевой массой ($M = \text{const}, M \neq 0, m = \text{const}, m \neq 0$, и $\lim_{R \rightarrow 0} F_{Mm} = \infty$), что противоречит наблюдаемому поведению реальных макроскопических тел при их взаимном сближении на нулевое расстояние. Формула (8) в то же время в пределе обращает эту силу в ноль с переходом к физическим параметрам и расстояниям микромира ($\lim_{R \rightarrow 0} \frac{k}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}} = 0$).

Соотношение (8) дано для двух точечных тел с единичной массой. Наличие массы M по построению модели M -кратно увеличивает действие точечного тела с единичной массой в составе M : $f_M = \frac{k}{R^2} \times M e^{-\frac{k_0}{R}}$. Это соответствует M -кратному росту числа нуклонов, каждый из которых порождает рассмотренное выше действие. Поскольку f_M

относится к действию на тело единичной массы, $m_1 = 1$, то $f_M = \ddot{R} m_1 = \ddot{R}$. Отсюда

$$\ddot{R} = \frac{k}{R^2} \times M e^{-\frac{k_0}{R}}. \quad (13)$$

Обе части равенства (13) можно умножить на массу второго тела m :

$$m \ddot{R} = \frac{k}{R^2} \times M m e^{-\frac{k_0}{R}}, \quad (14)$$

или

$$f_{Mm} = \frac{k}{R^2} \times M m e^{-\frac{k_0}{R}}. \quad (15)$$

В равенстве (14) массы m всегда можно сократить, тем самым, согласно (13), ускорение $\ddot{R}$ не зависит от массы тела, которое притягивается к центру гравитации. Если теперь принять k равным гравитационной постоянной γ , то полученное соотношение (15) примет вид аналога (12) с поправкой:

$$f_{Mm} = \gamma \frac{Mm}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}}. \quad (16)$$

Поскольку $\lim_{R \rightarrow \infty} e^{-\frac{k_0}{R}} = 1$, то при достаточно больших значениях R множителем $e^{-\frac{k_0}{R}}$ можно пренебречь, и выражение (16) перейдет в (12).

Аналог, сходный с соотношением (11), для закона всемирного тяготения рекомендовал использовать Ньютон, использовали Клеро ($f = \frac{m}{R^2} + \frac{\alpha m}{R^4}$ или $f = \frac{m}{R^2} + \frac{\beta m}{R^3}$) и Даламбер с целью вывода из этого закона численных значений смещения перигея орбиты Луны [3]. Непосредственно из канонической формы закона независимо друг от друга Клеро и Даламбер вывели все численные значения особенностей лунной орбиты, определяющиеся известными соотношениями в неравенствах, при этом, однако, смещение перигея получалось более чем вдвое превосходявшим наблюдавшееся в астрономии значение, такой же результат получался у Ньютона [3]. Применение аналогичного (11) соотношения при ответственном выборе коэффициентов позволило Клеро и Даламберу дать правильное

на тот момент численное значение смещения перигея Луны.

Из (13), (14) следует, что для сколь угодно малого элемента массой m_d независимо от этой его массы, выполнено

$$\lim_{m_d \rightarrow 0} \ddot{R} = \lim_{m_d \rightarrow 0} \gamma \frac{M}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}}$$

и

$$\ddot{R} = \lim_{m_d \rightarrow 0} \gamma \frac{M}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}}. \quad (17)$$

Согласно (17) закономерность (13) формально сохраняется для элементов не только с любой ненулевой (в том числе сколь угодно малой) массой, но также для материальных элементов с нулевой инертной массой. Однако тот факт, что эта закономерность применима к элементам вакуума, можно лишь предполагать, как и то, что элементы вакуума находятся под действием поля гравитации, создающего у них наряду с веществом центростремительное ускорение (13), где $k = \gamma$.

Вместе с тем эти предположения нельзя не сделать: в условиях близкого действия тело массой M передает свое гравитационное действие через элементы вакуума, следовательно, оно взаимодействует с элементами вакуума. При этом оно передает действие, количественно равное (16), действуя с такой же силой на множество элементов вакуума, аккумулирующих и передающих это действие непосредственно на тело массой m .

Абсолютная величина элемента действия df тела единичной массы в составе M на физический элемент, как отмечалось выше, понимается в макроскопическом измерении силы. Но такая сила подчиняется второму закону Ньютона. В этой трактовке элемент силовых линий, как и элемент окружающего их пространства, должен, поскольку он передает действие, обладать инертной массой m_d , $m_d \neq 0$, при этом действие в макроскопическом измерении (в соответствии с трактовкой дифференциала) сколь угодно мало. Действия всех данных элементов суммируются таким образом, что они эквивалентно передают действие одного тела макроскопической массы другому телу, также обладающему макроскопической массой. С другой стороны, сама по себе электрон-позитронная пара является физически наименьшим элементом силовой линии и окрестного вакуумного пространства. Она заключена в объеме макроскопической «меры нуль», ее масса в макроскопическом измерении абстрактно может

предполагаться нулевой. Такие трактовки мер элементов были необходимы в представлении интегральной оценки гравитационного взаимодействия двух тел, элементы «меры нуль» при этом игнорировались.

У физически наименьшего элемента вакуумного пространства (электрон-позитронной пары), существование которого на данный момент лишь предположение, в условиях его абстрактной локальной неподвижности, вопрос о наличии ненулевой инертной массы является открытым. Соответственно, открыт вопрос о наличии или отсутствии инертной массы у элемента вакуума, рассматриваемого в макроскопическом измерении. Поэтому ниже будут рассмотрены два случая: $m_d \neq 0$ и $m_d = 0$. В этом аспекте необходимо заметить, что предположение о наличии ненулевой массы у элемента вакуума не является необходимым для вывода формулы (16). Достаточно априори предполагать, что действие от элемента к элементу таково, что вызывает ускорение каждого элемента (каждого элемента силовых линий гравитации и окружающего их вакуумного пространства). Более подробно, дифференциал (5) можно переписать только для ускорения, учитывая, что это выражение составлено для действия тела с единичной массой m_1 . Тогда $df = m_1 d\ddot{r} = d\ddot{r}$, и (5) перейдет в соотношение

$$d\ddot{r} = \left(-\frac{2k}{r^3 e^{\frac{k_0}{r}}} + \frac{kk_0}{r^4 e^{\frac{k_0}{r}}} \right) dr. \quad (18)$$

Именно закономерность для ускорения (18) в этом случае должна априори предполагаться вместо закономерности (5) для силы: для двух рассматриваемых макроскопических тел с центрами o и o_1 на расстоянии R друг от друга элементы силовых линий гравитации и окружающего их вакуумного пространства взаимодействуют таким образом, что дифференциал, понимаемый в макроскопическом измерении, взятый от проекции суммы ускорений всего множества таких элементов на линию центров oo_1 на расстоянии $r < R$ от точки o , по абсолютной величине выражается из (18).

В (18) $d\ddot{r}$ – элемент модуля ускорения. Модуль полного ускорения определяется как интегральная сумма элементов:

$$\int_0^R d\ddot{r} = \int_0^R \left(-\frac{2k}{r^3 e^{\frac{k_0}{r}}} + \frac{kk_0}{r^4 e^{\frac{k_0}{r}}} \right) dr. \quad (19)$$

С учетом соотношения (6), которое в рассматриваемом случае эквивалентно пе-

рейдет в соотношение $d\ddot{r} = \left(\frac{k}{r^2} \times \frac{1}{e^{\frac{k_0}{r}}} \right)' dr$,
получится

$$\ddot{R} = \frac{k}{R^2} \times e^{-\frac{k_0}{R}} - \lim_{r_0 \rightarrow 0} \frac{k}{r_0^2} \times e^{-\frac{k_0}{r_0}}.$$

Отсюда следует аналог (8) для ускорения:

$$\ddot{R} = \frac{k}{R^2} \times e^{-\frac{k_0}{R}}. \quad (20)$$

Для тела массой M вызванное им ускорение тела единичной массы возрастет M -кратно, и (20) соответственно перейдет в соотношение для ускорения:

$$\ddot{R}_M = \frac{k}{R_M^2} \times M e^{-\frac{k_0}{R_M}}, \text{ индекс } M \text{ ниже опускается. Умножение обеих частей на значение массы } m \text{ влечет } m\ddot{R} = \frac{k}{R^2} \times M m e^{-\frac{k_0}{R_M}},$$

или, $f_{Mm} = \frac{k}{R^2} \times M m e^{-\frac{k_0}{R_M}}$. Отсюда следует аналог (16), если принято $k = \gamma$. Опираясь на предположение (19) и на следствие из него, (20), можно оценивать значение не силы, действующей на тело, а пользоваться оценкой именно ускорения данного тела. В частности, для притяжения Земли ускорение будет центростремительным с оценкой (20) ($k = \gamma$) и не будет зависеть от массы тела m .

Электромагнитные волны в световом спектре согласно предложенной модели распространяются в электрон-позитронной среде пространства. На основе представленных соотношений требуется оценить влияние гравитационного поля Земли на эту среду и на скорость распространения в ней света.

Гравитационное действие на электрон-позитронную среду вблизи земной поверхности и эксперименты по измерению скорости света

Особенность обсуждаемой гипотезы в том, что электрон-позитронные пары окружающего вакуумного пространства предполагаются среднестатистически неподвижными относительно системы отсчета на поверхности Земли. Существование электрон-позитронных пар вакуума предполагала «дырочная» теория П. Дирака [4] (с поправкой Г. Вейля), однако без предположений о каком-либо локальном перемещении пар (и без предположений о структу-

ре их взаимного расположения). В развитие теории Дирак опубликовал исследования относительно волновой природы рассматриваемых частиц [5]. В обоих случаях вакуум трактовался как особое состояние материи, которое не наблюдаемо по аналогии с представлениями квантовой теории химической валентности. Существует сравнительно много фактов, косвенно указывающих на электрон-позитронную структуру вакуума, число таких фактов, как представляется, неуклонно растет. В частности, можно отметить теоретические и экспериментальные исследования по рождению электрон-позитронных пар непосредственно из вакуума [6–8].

Отличие предложенной гипотезы от квантово-механических концепций волнового дуализма элементарных частиц [9] принципиально. Возможно, оно отчасти нивелируется в границах следующей краткой трактовки волновых и корпускулярных явлений. Электрон-позитронные пары вакуума в сравнительно малой окрестности каждого небесного тела большой массы среднестатистически неподвижны относительно системы отсчета на его поверхности. Не исключено, что рассматриваемые пары сами по себе не обладают инертной массой (или же она «неизмеримо» мала). Среда вакуума переходит в волновое состояние исключительно от внешнего воздействия источника электромагнитных волн. Вследствие практической безынерционности передающих волновые колебания электрон-позитронных пар электромагнитные волны распространяются с предельно высокой скоростью относительно выбранной локальной системы отсчета. При столкновении с экранирующим препятствием волны ослабевают или прекращают распространение, оставляя на экране следы передававших их колебания корпускул. Корпускулы рассеиваются на экране в соответствии со свойствами волн, придавших им импульс. Корпускулы могут быть ансамблями электрон-позитронных пар и оставаться нейтральными, могут распадаться на пары электрона и позитрона, например, при прохождении космических лучей через атмосферу, образуя явление электрон-позитронных (электрон-позитронных фотонных) ливней. Процессы образования электрон-позитронных пар происходят при распаде γ -квантов в камере Вильсона ($\gamma \rightarrow e^+ + e^-$) [7–9], при генерации электрон-позитронной плазмы в сверхсильных лазерных полях [10]. Возможно, волновые свойства известных элементарных частиц в значительной мере зависят от электрон-позитронной среды их распространения.

Ниже детализируется предположение об электрон-позитронной среде вакуума (кратко – среда, если это не вызывает недоумения) и электрон-позитронной структуре силовых линий гравитации в окрестности центра Земли, а также вблизи от ее поверхности с целью применить предположение к экспериментам по измерению скорости света. Для дальнейшего необходимо скорректировать полученные ранее соотношения. Изменение сводится к тому, что действие гравитации распространяется не только на физические тела, но и непосредственно на элементы силовых линий и элементы окружающей их среды.

Сам факт действия поля гравитации тела на элементы силовых линий и окружающей электрон-позитронной среды является следствием концепции близкодействия. Действие источника гравитации от элемента к элементу, то есть его действие на элементы силовых линий и окружающей их электрон-позитронной среды пространства, использовалось как основа для вывода аналога (16) закона всемирного тяготения.

При этом предполагалось, что абсолютную величину элемента действия точечного тела единичной массы в составе M на точечное тело единичной массы в составе m , в случае если элемент действия находился на расстоянии r от первого тела, можно представить дифференциалом (5). Дифференциал выражал модуль элемента действия множества силовых линий и окружающей их среды в проекции на линию центров oo_1 . Физически передача действия происходила через промежуточные элементы силовых линий и окружающей их среды. Следовательно, действие в полном физическом и количественном выражении достигало ближайших к точке o_1 элементов и уже от этих элементов прилагалось к телу в точке o_1 . Аналогично это действие прилагалось к предшествующим элементам, проектировавшимся на линию центров. Поэтому в условиях близкодействия нет препятствий рассматривать элемент действия точечного тела массой M в точке o на любой элемент силовых линий и окружающей их среды.

Чтобы определить искомое действие гравитационного поля Земли на данные элементы, потребуется дополнительно охарактеризовать силовые линии гравитации и физические особенности элементов. Силовые линии гравитационного поля Земли на сравнительно малом расстоянии R от ее центра, незначительно выходящие за пределы земной поверхности, $R_z < R$, $R - R_z \ll R_z$, где R_z – средний радиус Земли, в первом приближении можно считать радиально направленными, а на локаль-

ном участке поверхности параллельными друг другу. Чтобы применить именно (5) (а не (18)) к рассматриваемым элементам силовых линий и окружающей их среды в качестве модуля элемента действия, необходимо формально предположить наличие массы рассматриваемых элементов. Существуют косвенные предпосылки допускать наличие массы элемента вакуума: электрон-позитронные пары состоят из компонентов, каждому из которых на основании экспериментов приписывается инертная масса. Однако масса элемента вакуума в макроскопическом измерении и масса физически минимального элемента вакуума – электрон-позитронной пары – принципиально различаются. Непосредственно ниже масса элемента силовых линий и окружающей их среды в макроскопическом измерении принимается как вспомогательное абстрактное понятие, используемое для количественной оценки действия поля гравитации Земли. Точнее, на время рассуждения первоначально абстрактно принимается предположение о наличии инертной массы рассматриваемого элемента, взятого в макроскопическом измерении.

Формально будут рассмотрены два случая. В первом – предполагается наличие инертной массы элемента силовых линий и окружающей их среды. Во втором – предполагается, что эта его масса равна нулю. В обоих случаях получатся эквивалентные выводы относительно скорости света противоположных направлений.

Пусть рассматривается первый случай. Каждая радиальная силовая линия гравитации Земли на рассматриваемом расстоянии от земной поверхности входит в пространство условно цилиндрической формы макроскопического диаметра, где состоит из элементов, расположенных вокруг продолжения от земной поверхности радиуса R как центральной высоты цилиндра. Диаметр цилиндрической поверхности с учетом масштаба источника гравитации можно считать достаточным, чтобы не оговаривать в дальнейшем возможность взятия внутри поверхности сколь угодно малого элемента в макроскопическом измерении. Суммы элементов действий силовых линий и окружающего их пространства можно рассматривать в проекции на центральную высоту цилиндра – на отмеченное продолжение радиуса R . Масса, входящая в элемент действия такой суммы, взятый в макроскопическом измерении, по-прежнему обозначается m_d .

Как отмечалось, силовые линии заполняют окружающее источник гравитации пространство в макроскопическом измере-

нии непрерывно (они разделяются в пространстве микромира на межатомные расстояния в соответствии порождающим их ядрам атомов).

Гравитационное действие Земли, с оговорками относительно сферической формы и плотности, можно считать действием точечного тела в центре Земли массой M_z [11]. Пусть этот центр обозначен o и рассматривается действие из него на элемент (во избежание путаницы терминологии непосредственно ниже – на компонент) силовых линий и окружающей их среды пространства, расположенный на расстоянии R в точке o_1 . Линия центров oo_1 располагается вдоль продолжения радиуса Земли R_z , которое, не умаляя общности, можно считать центральной осью силовой линии.

Вводится предположение, что элемент действия точечного тела единичной массы в составе M_z на компонент единичной массы m_1 множества силовых линий и окружающей их среды пространства, расположенный на расстоянии $r < R$ от центра Земли o в проекции на линию центров oo_1 , аналогично (5) по абсолютной величине может быть представлен дифференциалом

$$df_z = \left(-\frac{2k}{r^3 e^{\frac{k_0}{r}}} + \frac{kk_0}{r^4 e^{\frac{k_0}{r}}} \right) dr, \quad (21)$$

где

$$f_z = m_1 \ddot{r}. \quad (22)$$

Полное действие на рассматриваемый компонент единичной массы в точке o_1 , расположенный на конце радиуса R , по абсолютной величине выразится интегралом

$$f_z = \int_0^R \left(-\frac{2k}{r^3 e^{\frac{k_0}{r}}} + \frac{kk_0}{r^4 e^{\frac{k_0}{r}}} \right) dr. \quad (23)$$

Согласно (7), (8) и (21)–(23) полное действие Земли на рассматриваемый элемент массой m_d примет вид

$$f_{M_z m_d} = k \frac{M_z m_d}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}}, \quad (24)$$

где $f_{M_z m_d} = m_d \ddot{R}$. Здесь предполагается, что число цепочек вида (3) во множестве силовых линий пропорционально числу порождающих эти цепочки нуклонов центра гравитации (отсюда пропорция M_z). При выводе формулы, по аналогии с (7), (8) и (21), (22), сначала записывается соотношение для ускорения компонента единичной массы, $\ddot{R} = k \frac{M_z}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}}$, затем обе части

равенства умножаются на m_d , в результате получится (24).

В (24) k может не совпадать с гравитационной постоянной γ . При взаимодействии двух тел, как в случае (16), силовые линии не радиальны и замкнуты. В случае (24) силовые линии радиальны и не замкнуты в точке o_1 (на компонент массой m_d).

Тем не менее на время рассуждения (коэффициент k в преобразованиях сократится), принимается $k = \gamma$, – на том основании, что если бы на расстоянии R от центра Земли на месте рассматриваемого элемента находилось физическое тело массой m_d то для него притяжение определялось бы из (24) при $k = \gamma$. Кроме того, соотношение с гравитационной постоянной для элементов силовых линий уже использовалось в неявной форме при выводе (16) для случая двух тел: действие (16) передавалось на элементы, расположенные на концах силовых линий гравитации. Если раскрыть выражение силы $f_{M_z m_d}$, то (24) примет вид

$$m_d \ddot{R} = \gamma \frac{M_z m_d}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}}, \quad (25)$$

где на момент рассуждения $m_d \neq 0$. Из (25) центростремительное ускорение рассматриваемого элемента примет вид

$$\ddot{R} = \gamma \frac{M_z}{R^2} e^{-\frac{k_0}{R}}. \quad (26)$$

Соотношение (26) может быть получено без предположения о наличии ненулевой массы элемента силовых линий и окружающей их среды пространства. Для этого достаточно повторить рассуждения, выполненные относительно (18)–(20), применив их к рассматриваемому случаю. Содержание этих рассуждений и результат можно рассматривать как случай 2, в котором не предполагается наличие массы у элемента силовых линий и окружающей их среды пространства. Закономерность (18) для ускорения в этом случае должна априори предполагаться вместо закономерности (5). Отсутствие физического тела на расстоянии R внесит изменения в ранее принятую формулировку.

За элемент ускорения, вызванного действием точечного тела единичной массы в составе M_z на компонент множества силовых линий и окружающей их среды, расположенный на расстоянии R от центра Земли, принимается ускорение, вызванное полностью переданным действием на компонент на расстоянии R от элемента действия в проекции на линию центров,

расположенного на расстоянии r от центра Земли ($r < R$). Элемент ускорения обозначается $d\ddot{r}$ и по абсолютной величине может быть представлен дифференциалом (18), где $k = \gamma$.

Из этой модификации априорного предположения (18) следует вывод соотношения (26). Соотношения (25), (26) показывают, что в любом из двух рассмотренных случаев, независимо от предположения относительно наличия массы, элемент множества силовых линий и окружающей их среды пространства в гравитационном поле Земли будет испытывать центростремительное ускорение (26). Поскольку R было выбрано произвольно (при отмеченных ограничениях), это утверждение относится к любому элементу множества силовых линий и окружающей их среды пространства. Ясно, что вместе с элементом в макроскопическом измерении ускорение испытывают все элементы множества электрон-позитронных пар, физически составляющих данный элемент. Согласно (26) ускорение элементов множества силовых линий и окружающей их среды пространства гравитационного поля Земли совпадает с ускорением свободного падения физических тел над земной поверхностью. На малом расстоянии от поверхности в стандартном измерении оно численно равно $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$. Действие на элементы силовых линий и среды пространства в гравитационном поле таково, что вся среда вакуумного пространства в пределах радиуса длины R испытывает действие гравитационного притяжения Земли, оцениваемое, в зависимости от предположения, из (25) или (26). На малом удалении от поверхности вакуумная среда притягивается к центру Земли подобно физическим предметам на земной поверхности.

Независимо от принадлежности элемента силовым линиям или окружающей их пространству ниже как синонимы будут использоваться термины «элемент среды», «элемент вакуума», «элемент электрон-позитронной среды», «элемент среды вакуумного пространства». Термин «среда» будет синонимом термину «электрон-позитронная среда», при этом понятие «среда» и его синоним абстрагируются от понятия любой другой материальной среды пространства и от ее взаимодействия с электрон-позитронной средой.

Вследствие орбитального движения Земли вся окружающая электрон-позитронная среда, измеренная на расстоянии $R - R_z$ от поверхности Земли, $R_z < R$, $R - R_z \ll R_z$, сопровождает движение центра Земли. Среда движется вдоль орбиты

со скоростью центра, поскольку радиальные силовые линии образованы именно этим центром. Непрерывно пронизывая среду, своим взаимодействием с ней они определяют движение вместе с собой всей среды распространения света. Если луч света выпустить на земной поверхности по направлению орбитального движения Земли и в обратном направлении, то скорость движения луча в обоих направлениях будет одинаковой в силу того, что среда распространения света локально неподвижна относительно центра Земли. Это согласуется с эффектом постоянства скорости света в орбитальном и противоположном направлении и гипотетически объясняет эффект. В эксперименте Майкельсона [12] скорость света в двух направлениях – орбитальном и обратном – измерялась с помощью интерферометра на неподвижной платформе. Конструктивно интерферометр Майкельсона был выполнен так, что луч от источника раздваивался, часть его шла параллельно движению центра Земли, а часть – ортогонально. После отражения от зеркал лучи встречались в одной точке и создавали интерференционную картину. По результатам численной обработки интерференционной картины скорость света в обоих направлениях оказывалась одинаковой. Скорость вращения Земли вокруг оси в этом эксперименте не учитывалась.

Чтобы учесть суточное вращение Земли, необходимо принять во внимание, что во вращательном движении участвуют все элементы не только земной поверхности, но и всего заключенного в Земле объема материи. Это означает, что притяжение к центру Земли вдоль радиальных силовых линий гравитации будет происходить со смещением вслед за вращательным движением радиальных отрезков, на которых движущиеся вместе с ними нуклоны атомов порождают радиальные силовые линии. Точнее, действие Земли в любой точке окружающей среды является центростремительным, – в силу близкодействия оно направлено вдоль радиальных силовых линий гравитации, которые вращаются вместе со всей материей Земли и земной поверхности. В результате непрерывно заполняющие пространство радиальные силовые линии гравитации Земли и вся взаимодействующая с ними электрон-позитронная среда вблизи земной поверхности, в отмеченных границах расстояния R до центра Земли, $R_z < R$, $R - R_z \ll R_z$, не только сопровождают орбитальное движение центра Земли, но и участвуют в суточном вращении Земли, включая вращательное движение поверхности вокруг земной оси. На такое

движение оказывают влияние все вращающиеся элементы материи Земли, поэтому с учетом близкодействия вдоль радиальных силовых линий угловая скорость вращения среды равна угловой скорости суточного вращения Земли вокруг оси. Движение среды вдоль касательной к поверхности происходит с линейной скоростью ее вращения: среда, как и объекты на поверхности, вращается с линейной скоростью поверхности. Следовательно, в каком бы направлении на поверхности Земли ни выпустить луч света, скорость его движения в прямом и обратном направлении будет одинакова: среда распространения света локально неподвижна относительно источника, зафиксированного на поверхности Земли. Это согласуется с результатом эксперимента Майкельсона – Морли, согласно которому свет распространяется с одной и той же скоростью относительно произвольно расположенного источника на поверхности Земли [13]. В этом эксперименте интерферометр повышенной чувствительности, позволявшей учитывать скорость суточного вращения Земли, устанавливался на вращающейся платформе (массивная плита платформы плавала в ртути). Эксперимент проводился с установкой платформы по всем горизонтальным направлениям, в различное время суток, в различное время года, в течение года. Эффект постоянства скорости света в прямом и обратном направлении сохранялся во всех вариантах направления луча света. Современные эксперименты подтверждают этот эффект с применением лазерных излучателей и сверхчувствительных приборов регистрации скорости света [14].

Таким образом, изложенное выше предположение об электрон-позитронной среде пространства, движущейся с Землей в орбитальном направлении и вращающейся вместе с земной поверхностью, согласуется с результатами экспериментов Майкельсона, Майкельсона – Морли и дает им гипотетическое объяснение.

Эффект Саньяка заключается в разности фаз двух встречно распространяющихся световых волн по контуру при его вращении вокруг оси. Величина эффекта пропорциональна угловой скорости вращения интерферометра, частоте излучения и площади, охватываемой путем распространения световых волн в интерферометре: $\Delta v = \frac{4S\Omega}{\lambda L}$ [15, 16]. Ниже рассматривается кольцевой интерферометр Саньяка [16] («кольцевой интерферограф»), представляющий собой платформу с набором симме-

трично расположенных по кольцевому контуру зеркал. Платформа (стол) приводится во вращение на ртутной подушке. Два луча света выпускаются из одного источника (один луч, расщепленный призмой на две части) одновременно во встречных направлениях, оббегают с помощью зеркал кольцевой контур и возвращаются в точку вблизи источника, где интерферируют на экране. Пока платформа неподвижна, интерференционные полосы от обоих лучей на экране одинаковы. Когда платформа приводится во вращение, интерференционные полосы расходятся, что соответствует разной скорости движения лучей света во встречных направлениях вращения. При этом количественно эффект всегда выражается приведенной выше пропорцией угловой скорости, частоте электромагнитного излучения и площади, охватываемой движением луча. Закономерность инвариантна относительно размеров применяемых интерферометров и их веса [16–18]. Поэтому для оценок предполагаемого влияния гравитации Земли можно принять единичную массу интерферометра, $m_i = 1$ кг, единичный радиус кольцевой платформы, $r_i = 1$ м = 10^{-3} км. Понадобится также масса Земли, $M_z = 5,9736 \times 10^{24}$ кг, радиус Земли, $R_z = 6371$ км. Абсолютная величина силы действия Земли на элемент электрон-позитронной среды массой m_d непосредственно вблизи земной поверхности определяется из (24), (25). Это действие Земли в любой точке окружающей среды должно быть строго центристремительным, поскольку в силу близкодействия оно направлено вдоль радиальных силовых линий гравитационного поля Земли, которые, как отмечалось, вращаются вместе с материей Земли и земной поверхностью. Абсолютная величина аналогичной силы действия на этот же элемент со стороны ин-

терферометра – $\gamma \frac{m_i m_d}{r_i^2} \times e^{-\frac{k_0}{R}}$. Отношение сравниваемых сил составит

$$\frac{f_z}{f_i} = \gamma \frac{M_z m_d}{R_z^2} \times e^{-\frac{k_0}{R}} / \left(\gamma \frac{m_i m_d}{r_i^2} \times e^{-\frac{k_0}{R}} \right),$$

или

$$\frac{f_z}{f_i} = \frac{M_z}{m_i} \times \frac{r_i^2}{R_z^2}. \quad (27)$$

С учетом выбранных значений получится

$$\frac{f_z}{f_i} = \frac{5.9736 \times 10^{24}}{1} \times \frac{10^{-6}}{6371^2}.$$

Отсюда

$$\frac{f_z}{f_i} > 5.9736 \times 10^{24} \times \frac{10^{-6}}{10^8},$$

или

$$\frac{f_z}{f_i} > 5.9736 \times 10^{10} \quad (28)$$

Согласно (28) вектор $\vec{f}_z$ рассматриваемого действия Земли на элемент среды по абсолютной величине более чем в 10^{10} больше вектора $\vec{f}_i$ аналогичного действия на тот же элемент со стороны интерферометра. Поэтому, как бы ни был направлен вектор действия интерферометра, при сложении с вектором действия Земли вектор суммы этих двух действий, $\vec{f}_z + \vec{f}_i$, всегда будет направлен исключительно вдоль вектора действия Земли, то есть к центру Земли от любой точки «кольца» на платформе. При этом величина действия Земли на элемент среды при сложении двух данных векторов практически не изменится, $\vec{f}_z + \vec{f}_i \approx \vec{f}_z$. В результате вращение платформы интерферометра сохранит окрестную электрон-позитронную среду вакуума практически неподвижной относительно земной поверхности, каковой она являлась априори до начала вращения под действием силы $\vec{f}_z$ притяжения к центру Земли. Среда будет отставать от вращательного движения платформы, два встречно распространяющихся вдоль ее кольцевого контура световых луча придут к равноудаленной точке их приема за разное время, что выразится в сдвиге интерференционных полос на экране в точке приема лучей. Тот факт, что величина эффекта пропорциональна угловой скорости вращения интерферометра, окажется «механическим» следствием локальной неподвижности среды относительно системы отсчета, зафиксированной в центре вращения платформы.

Если, исходя из (26), аналогично сопоставлять непосредственно ускорения, создаваемые гравитацией Земли и кольцевого интерферометра, то, соответственно, получится: $\ddot{R}_z = \gamma \frac{M_z}{R_z^2} \times e^{-\frac{k_0}{R}}$, $\ddot{r}_i = \gamma \frac{m_i}{r_i^2} \times e^{-\frac{k_0}{R}}$, $\frac{\ddot{R}_z}{\ddot{r}_i} = \frac{M_z}{m_i} \times \frac{r_i^2}{R_z^2}$. Иными словами, отношение абсолютных величин центростремительных ускорений равно отношению абсолютных величин сил из (27). Следовательно,

$$\frac{\ddot{R}_z}{\ddot{r}_i} = \frac{5.9736 \times 10^{24}}{1} \times \frac{10^{-6}}{6371^2}$$

и согласно (28) $\frac{\ddot{R}_z}{\ddot{r}_i} > 5.9736 \times 10^{10}$. Отсю-

да вектор центростремительного ускорения $\vec{R}_z$ элемента электрон-позитронной среды по абсолютной величине более чем в 10^{10} больше вектора ускорения $\vec{r}_i$ того же элемента к центру масс интерферометра.

При любом направлении вектора $\vec{r}_i$ их сумма $\vec{R}_z + \vec{r}_i$ останется направленной к центру Земли, при этом центростремительное ускорение элемента среды под действием Зем-

ли практически не изменится, $\vec{R}_z + \vec{r}_i \approx \vec{R}_z$. Суммарный вектор ускорения в силу близкодействия направлен строго вдоль радиальных силовых линий гравитационного поля Земли, которые, как отмечено выше, вращаются вместе с материей Земли и земной поверхностью. Поскольку речь идет об ускорениях, а не о силах, этот вывод получается без использования предположения о наличии массы у элемента среды вакуума. Утверждение о центростремительном ускорении элемента среды относится и непосредственно к физически наименьшим элементам – к электрон-позитронным парам, заключенным в элементе среды, взятом в макроскопическом измерении. Эти наименьшие элементы в среднестатистическом состоянии не будут увлечены вращательным движением платформы интерферометра: они будут локально неподвижны относительно системы отсчета, зафиксированной на земной поверхности, сохраняя ориентацию в соответствии ускорению к центру Земли. Таким образом, вывод о локальной неподвижности среды вакуума вдоль контура кольцевого интерферометра получается независимо от предположения о наличии массы у элемента вакуума.

Необходимо добавить, что в экспериментах, проводившихся с кольцевым интерферометром Саньяка, а также с самым крупным в истории его аналогом – кольцевым интерферографом Майкельсона – Гейла – Пирса, не было зафиксировано отставание от поверхности Земли среды распространения света в процессе суточного вращения [16]. Поиск велся на основании аналогии с отсутствием вращательного движения среды вслед за вращением платформы в опыте Саньяка. Поиск и не мог привести к положительному результату, поскольку среда распространения света не отстает от вращающейся поверхности Земли в границах малого удаления от земной по-

верхности, определяемых расстоянием R до центра Земли, $R_z < R$, $R - R_z \ll R_z$.

Согласно изложенному гипотетическому объяснению электрон-позитронная среда вакуума не увлекается движением (в частности, вращательным) малого макроскопического тела по причине малого гравитационного действия на элементы среды, но сопровождает движение (в частности, вращательное вокруг оси) планет и небесных тел космического масштаба, гравитационное действие которых на элементы вакуумной среды влечет ее центростремительное притяжение.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе предложенной гипотезы результаты экспериментов Майкельсона, Майкельсона – Морли и Саньяка могут объясняться наличием, а не отсутствием материальной среды передачи электромагнитных волн. Результаты этих экспериментов не отрицают наличие материальной среды вакуума, а отрицают лишь ее абсолютную неподвижность.

Изложенное выше предположение о связи вакуума с электромагнетизмом, гравитацией и веществом не входит в противоречие с результатами данных экспериментов.

В аспекте такой связи может казаться спорным предположение о дифференциале действия вида (5), (6). Этот формализм можно было бы отнести к элементу любой (не обязательно электрон-позитронной) абстрактной среды со свойством близкого действия и вывести из него аналог закона всемирного тяготения (16). Допустив, что электромагнитные волны распространяются в такой среде, можно было бы повторить объяснение опытов Майкельсона, Майкельсона – Морли и Саньяка. Однако в случае принятия такой абстракции не получалось бы вывести закон Кулона, как это сделано в [1]. В этом случае не было бы возможности описать прозрачный механизм взаимосвязи и действия электрического, магнитного и гравитационного полей; согласно предложенной гипотезе эти поля – разновидности взаимной ориентации элементов электрон-позитронной среды пространства, отсюда вытекает механизм соответственного близкого действия. В то же время принятый механизм позволяет объяснить изменение веса соленоидов при прохождении по ним переменного электрического тока, наблюдавшееся в опытах, описанных в [1]. В абстрактной среде не просматривается связь вакуума с веществом, не объясняется структура атома. Соотношения (5), (6) не вполне абстракция, они соответствуют закономер-

ности взаимодействия электрических диполей, с которыми сходны электрон-позитронные пары. Предположение о биполярности вихревых элементов вакуума позволяет объяснить их происхождение в процессе зарождения вселенной на основе теории большого взрыва [1]. Ниже будет отмечено, что обсуждаемая модель вакуума, вещества, электромагнетизма и гравитации формализованно вытекает из предположения о связи инерции с гравитационным полем.

Как следствие изложенных предположений, электрон-позитронная среда вакуумного пространства сопровождает (вблизи поверхности) вращение небесных тел большой массы вокруг оси и движется с ними в орбитальном направлении. То же можно отнести к орбитальным и вращательным движениям звезд и галактик. Отсюда свет имеет постоянную скорость в сопровождающей среде относительно системы отсчета на поверхности небесного тела, аналогично относительно среды, сопровождающей движение звезд и звездных систем. Однако в системе отсчета, удаленной от сопровождающей среды и сопровождаемого центра гравитации, скорость света в локальной среде сложится со скоростью сопровождаемого небесного тела или системы тел по законам кинематики. Так, на поверхности Земли скорость света постоянна, а в системе отсчета в центре Солнца эта скорость будет складываться (с учетом направления) со скоростью движения Земли вокруг Солнца и со скоростью суточного вращения Земли. В системе отсчета в центре галактики эта скорость аналогично сложится со скоростью движения Солнца вокруг центра галактики и так далее.

Реальную информацию о скорости света в системах небесных тел несет свет, что создает сложность экспериментального наблюдения его скорости. Тем не менее большая часть кинематической информации, принимаемой от источников света (электромагнитных волн), является достоверной по следующим соображениям. Внутри отдельной галактики свет распространяется в электрон-позитронной среде, увлекаемой полем гравитации именно этой галактики. На удалении от звезд в этой же галактике среда распространения света представляется неподвижной относительно системы отсчета, помещенной на данном удалении в центр наблюдения, и относительно центра свет распространяется с постоянной скоростью в локально неподвижной среде. Если луч света проходит вблизи звездной или планетной системы, то в масштабе галактических расстояний – это малый отрезок на пути луча. В то же время скорость

движения среды вблизи системы небесных тел составляет около 10% от скорости света. По всей длине пути луча в галактическом пространстве эти относительно малые изменения асимптотически не отразятся на средней скорости распространения луча в галактике. Здесь подразумевается допущение, что скорость света всегда постоянна относительно системы отсчета в локальной среде его распространения и что перемещение среды не придает механического импульса лучу света, поэтому физически не меняет его скорость и направление в данной локальной среде.

Межгалактическое пространство заполняет среда распространения света, в которой его скорость локально не меняется. Изменения скорости света вблизи галактик на пути распространения асимптотически редки. В данном случае, как и в предыдущем, можно пренебрегать изменением скорости света на пути его распространения в смысле асимптотической меры. Иными словами, допустимо утверждать, что скорость света в пространстве вселенной постоянна в асимптотическом смысле по длине пути и времени его распространения.

В локальной области пространства изменения скорости света можно учитывать и корректировать на основе информации о скорости и направлении взаимного смещения центров гравитации на пути луча.

Одно из следствий предположения об электрон-позитронной структуре вакуумного пространства связано с прохождением луча света непосредственно вблизи звезды. Внутренние процессы звезд (например, термоядерные реакции внутри Солнца и электромагнитные возмущения на его поверхности) возмущают окружающую электрон-позитронную среду, меняя структуру связи ее элементов. Элементы утрачивают свойство «безынерционности» при передаче электромагнитных колебаний, что может замедлить распространение света и повлиять на его направление, может возникнуть эффект запаздывания луча света вблизи поверхности звезды. Возмущенная среда вакуума может не только в различной мере ослаблять, замедлять прохождение света, изменять его направление, но может совсем не пропускать свет, как, например, в окружающем пространстве астрофизических черных дыр.

Основная гипотеза – следствие нестройной дедукции, которая воспроизводится с целью по возможности снизить впечатление эклектичности не связанных между собой и не подтвержденных экспериментально частных предположений. Приведенные частные предположения – следствия

трех основных предположений. Первое из них – физическая природа инерции движения связана с полем гравитации. Второе (оно – следствие первого, поэтому не самостоятельное предположение) состоит в том, что поле гравитации полярно: обладая притяжением, поле способно проявлять отталкивание. Если этого не предполагать, инерцию центростремительного движения пришлось бы объяснять центростремительным действием гравитационного притяжения. Третье – электромагнитное и гравитационное поле взаимодействуют между собой по принципу близкодействия, по тому же принципу действует каждое из них в отдельности. Следующая схема рассуждений [2] приводит к гипотетической структуре нейтрона (нуклона). Пусть силовая линия поля понимается формально, по определению М. Фарадея, как линия движения пробного полюса (это отличается от неформального определения, использованного выше, где силовая линия понималась как линия движения пробного тела под действием элементов среды). У полярного поля гравитации два противоположных полюса. Сферическое однородное тело не может иметь радиальных силовых линий, иначе это означало бы, что два таких тела статистически отталкивают один и тот же пробный полюс, а значит, друг друга – в противоречии с законом всемирного тяготения (взаимное притяжение противоположного полюса влечет аналогичный вывод). По причине недопустимости аналогичных взаимодействий с полюсами силовые линии не могут составлять ненулевого угла с касательной плоскостью к сферической поверхности. Поэтому они расположены по сферам вокруг центра тяжести рассматриваемого тела. В силу симметрии статистических гравитационных взаимодействий силовые линии на такой сфере – окружности равного радиуса, равномерно заполняющие сферу без взаимных пересечений. Внутри сферы должна наблюдаться такая же картина, но она не может быть инвариантной по своей ориентации (по направлению движения полюса) без силовой линии противоположного полюса. Тогда силовые линии обоих полюсов расположены параллельно одна под другой, образуя сдвоенные окружности. При этом сдвоенные силовые линии двух полюсов не могут пересекаться ввиду наблюдаемого в статистическом состоянии только лишь притяжения тел и их элементов. По предположению поле гравитации взаимодействует с электромагнитным полем. Ничему не противоречит допущение, что рассматриваемые линии движения противоположных полюсов являются линиями

движения противоположных электрических зарядов. Поскольку элементарные частицы обладают гравитацией, по силовым линиям их поля на сферической поверхности вокруг центра не могут двигаться дискретные электрон и позитрон. Поэтому с необходимостью каждый заряд – замкнутый вихрь и оба винтообразно (сжимаясь до минимальных размеров) вращаются в одном направлении (что исключает аннигиляцию). Остается доопределить свойства электрон-позитронной пары. Такими силовыми линиями должен обладать нейтрон как элементарная частица с полем гравитации. Отсюда следует его гипотетическая структура, описание которой предшествует иллюстрации на рис. 2. Чтобы принять близкое действие, неизбежно распространить предположение на (электрон-позитронную) структуру вакуума. В противном случае обрывается цепочка действия вещества на элемент вакуумной силовой линии.

Перенос соотношения (16) на случай взаимодействия с вакуумом в форме (24), $k = \gamma$, означает, что в условиях гипотезы близкого действия аналог (16) закона всемирного тяготения сохраняет силу как для взаимодействия физических тел друг с другом, так и для их взаимодействия с материей вакуума. Здесь необходима оговорка, что если предполагать массу элементов вакуума равной нулю, то эквивалентные формы закономерности принимают вид соотношения для ускорения (13) при значении $k = \gamma$.

Заключение

В предположении близкого действия на основе электрон-позитронной структуры вакуума и вещества, механизм которого реализует связь электромагнитного и гравитационного полей, показано, что результаты экспериментов Майкельсона, Майкельсона – Морли и Саньяка в совокупности могут объясняться наличием, а не отсутствием материальной среды передачи электромагнитных волн. Результаты этих экспериментов исключали не существование среды, а только лишь ее абсолютную неподвижность. В условиях близкого действия имеет место аналог закона всемирного тяготения для взаимодействия физических тел и их взаимодействия со средой вакуума. Элементы среды испытывают притяжение к физическим телам. Среда передачи электромагнитных волн, подчиняясь гравитационному притяжению, сопровождается орбитальное движение Земли и суточное вращение ее поверхности. В то же время малые тела на поверхности Земли не могут увлечь своим локальным движением среду распространения электромагнитных волн. Сумма вектора притяжения элемента среды

телом малой массы и вектора притяжения Земли остается примерно равной вектору гравитационного притяжения Земли, поэтому оставляет элемент и всю локальную среду неизменно сопровождающими движение Земли и земной поверхности. Отсюда эффекты экспериментов Майкельсона, Майкельсона – Морли и Саньяка единообразно объясняются гравитационным взаимодействием Земли и тел на ее поверхности со средой распространения электромагнитных волн.

Список литературы

1. Ромм Я.Е. О видоизменениях опыта Фарадея с кажущимся уменьшением веса проводников при прохождении электрического тока в аспекте гипотетической связи гравитации и электромагнетизма // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 8. С. 61–81. DOI: 10.17513/mjprfi.13117.
2. Ромм Я.Е. Электромагнетизм, гравитация и инерция в предположении близкого действия. Таганрог: Изд-во ТГПИ, 2009. 348 с.
3. Идельсон Н.И. Этюды по истории небесной механики. М.: Наука, 1975. 496 с.
4. Finster F. A formulation of quantum field theory realizing a sea of interacting Dirac particles. Lett. Math. Phys. 2011. Vol. 97 (2). P. 165–183.
5. Дирак П.А.М. Релятивистское волновое уравнение электрона // Успехи физических наук. 1979. Т. 128. С. 681–691.
6. Slade-Lowther C., Del Sorbo D., Ridgers C.P. Identifying the Electron-Positron Cascade Regimes in High-Intensity Laser-Matter Interactions. New Journal of Physics. 2019. Vol. 21. P. 013028.
7. Александров И.А. Рождение электрон-позитронных пар в сильных электромагнитных полях, зависящих от координат и времени: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург, 2019. 255 с.
8. Попов В.С., Мур В.Д., Нарожный Н.Б., Попруженко С.В. О рождении электрон-позитронных пар из вакуума полем интенсивного лазерного излучения // ЖЭТФ. 2016. Т. 149. Вып. 3. С. 623–640.
9. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Т. 2. Современные приложения. М.: Физматлит, 2015. 528 с.
10. Артеменко И.И., Голованов А.А., Костюков И.Ю., Кукушкина Т.М., Лебедев В.С., Неруш Е.Н., Самсонов А.С., Серебряков Д.А. Образование и динамика плазмы в сверхсильных лазерных полях с учетом радиационных и квантово-электродинамических эффектов // Письма в ЖЭТФ. 2016. Т. 104. Вып. 12. С. 892–902.
11. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 2. СПб. – М. – Краснодар: Лань, 2020. 800 с.
12. Савельев И.В. Основы теоретической физики. Т. 1: Механика. Электродинамика. СПб.: Лань, 2016. 496 с.
13. Иродов И.Е. Волновые процессы. Основные законы. М.: Лаборатория знаний, 2015. 263 с.
14. Müller H., Stanwix P.L., Tobar M.E., Ivanov E., Wolf P., Herrmann S., Senger A., Kovalchuk E., Peters A. Tests of Relativity by Complementary Rotating Michelson-Morley Experiments. Phys. Rev. Lett. 2007. Vol. 99. P. 050401. DOI: 10.1103/PhysRevLett.99.050401. arXiv: 0706.2031.
15. Малыкин Г.Б. Эффект Саньяка. Корректные и некорректные объяснения // Успехи физических наук. 2000. Т. 170. № 12. С. 1325–1349.
16. Мелкумян Б.В. Безроторный гироскоп с моментом импульса (обзор) // Успехи прикладной физики. 2016. Т. 4. № 5. С. 507–516.
17. Есипенко И.А., Лыков Д.А. Математическая модель теплового дрейфа волоконно-оптического гироскопа и ее экспериментальная верификация // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 5. С. 31–46. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-5-31-46.
18. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения. Т. 2. Долгопрудный: Интеллект, 2012. 784 с.

УДК 532.516

О ДВИЖЕНИИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В ОТСУТСТВИЕ ВЫДЕЛЕННОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ

Сенницкий В.Л.

*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск;
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, e-mail: sennitskii@yandex.ru*

Поставлена и решена задача о движении вязкой жидкости в присутствии твердых тел – двух стенок и свободной тонкой проницаемой для жидкости пластины – при периодических по времени воздействиях. Постановка задачи включает в себя уравнение движения пластины, уравнения Навье – Стокса и неразрывности и условия на твердых границах жидкости (условия на границах твердых тел). Установлено наличие эффекта, состоящего в том, что гидромеханическая система, подвергающаяся периодическим по времени воздействиям, не имеющим выделенного направления в пространстве, производит однонаправленные отклики (реакции на воздействия), выражающиеся в том, что свободные части системы – в частности, жидкие слои – на фоне колебаний совершают однонаправленное, стационарное движение. Сформулирован обобщенный принцип среднего движения. Периодические по времени (колебательные, вибрационные) воздействия присутствуют практически повсеместно. Ввиду этого исследования динамики гидромеханических систем при периодических по времени воздействиях определяется одна из неизменно актуальных областей в механике жидкости. Уже проведенные к настоящему времени исследования позволили обнаружить ряд новых гидромеханических эффектов. Периодические по времени воздействия могут приводить к выполнению свободными частями гидромеханических систем заданного движения, могут использоваться как средство управления гидромеханическими системами. Результаты исследований в данной области представляют как самостоятельный интерес, так и существенный интерес в связи с возможностью применения их при разработке подходов к решению актуальных проблем прикладного характера. Результаты, полученные в настоящей работе, могут найти применение, в частности, в исследованиях нетривиальной динамики гидромеханических систем, использоваться при создании устройств, гидромеханических систем, обладающих заданными свойствами, например систем, заданным образом реагирующих на колебательные воздействия; полученные результаты могут служить теоретической основой для проведения направленных экспериментальных исследований движения жидкости в рассмотренных и аналогичных им гидромеханических условиях.

Ключевые слова: вязкая жидкость, периодические по времени воздействия, отсутствие выделенного направления в пространстве, однонаправленное стационарное движение

ON THE MOTION OF A VISCOUS LIQUID IN THE ABSENCE OF A PREDOMINANT DIRECTION IN SPACE

Sennitskiy V.L.

*Lavrentiev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk;
Novosibirsk State University, Novosibirsk, e-mail: sennitskii@yandex.ru*

The problem is formulated and solved on the motion of a viscous liquid in the presence of solid bodies – two walls and a free thin plate which is permeable for a liquid – under periodical in time influences. The formulation of the problem includes the equation of the plate motion, the equations of Navier–Stokes and a continuity and the conditions at the solid boundaries of the liquid (the conditions at the boundaries of the solid bodies). The effect is revealed which consists in that a hydro-mechanical system which undergoes by periodical in time influences having no predominant direction in space produces the unidirectional responses (the reactions for the influences) which expresses in that the free parts of the system – in particular the liquid layers – at a background of oscillations perform the unidirectional, steady motion. The generalized principle of average motion is formulated. Periodical in time (oscillatory, vibrational) influences are practically everywhere. By this reason the investigations of the dynamics of hydro-mechanical systems under periodical in time influences define one of invariably actual fields in fluid mechanics. The investigations which have been realized to the present time allowed to reveal a series of new hydro-mechanical effects. Periodical in time influences can drive free parts of a hydro-mechanical system to fulfill a prescribed motion, they can be used as the means for controlling hydro-mechanical systems. The results of investigations in the given field are of their independent interest as well as of their essential interest in connection with the possibility of the use of them under the elaboration of approaches to solving actual problems of an applied character. The results obtained in the present work can find their use in particular for investigations of non-trivial dynamics of hydro-mechanical systems, can be used under a creation of devices, hydro-mechanical systems which have prescribed characteristics for example systems that respond for oscillatory influences by a prescribed manner; the obtained results can be the theoretical base for the realization of directional experimental investigations of the liquid motion at the considered and analogous to them hydro-mechanical conditions.

Keywords: viscous liquid, periodical in time influences, absence of predominant direction in space, unidirectional steady motion

Изучение задач, связанных с движением вязкой жидкости в различных гидромеханических условиях, осуществляется

на протяжении длительного времени с неизменным сохранением актуальности [1–3]. В частности, выполняются исследования,

направленные на выявление эффектов среднего движения жидкости, подвергающейся периодическим по времени (колебательным, вибрационным) воздействиям ([4, 5] и представленная в этих источниках литература). В настоящей работе поставлена и решена новая задача о движении вязкой жидкости, обусловленной колебательными воздействиями на жидкость, характеризующимися отсутствием выделенного направления в пространстве. Жидкость контактирует с абсолютно твердыми стенками W_1 , W_2 и пластиной Ξ . Стенки совершают заданные колебания вдоль оси Y инерциальной прямоугольной системы координат X, Y, Z . Стенка W_1 ограничена плоскостью $Y = A_1$, стенка W_2 – плоскостью $Y = A_2$. Толщина пластины пренебрежимо мала (равна нулю); пластина находится в плоскости $Y = B$ ($A_1 < B < A_2$; B – постоянная). Промежутки между стенками и пластиной – области $\Omega_1: A_1 < Y < B$ и $\Omega_2: B < Y < A_2$ ($-\infty < X < \infty$, $-\infty < Z < \infty$) – **заполнены жидкостью**. Расстояние между стенками $L = A_2 - A_1$ постоянно. Пластина проницаема для жидкости; пластина движется вдоль оси X под действием внешних колебательных сил и сил со стороны жидкости.

Целью работы является определение не зависящего от начальных данных периодического по времени t движения жидкости.

Постановка и решение задачи

Пусть T – период колебаний стенок W_1, W_2 ; $\tau = t / T$; $x = X / L$; $y = Y / L$; $z = Z / L$; $A_1 = \hat{A} \sin 2\pi\tau$ ($\hat{A} > 0$ – постоянная); $\varepsilon = \hat{A} / L$; $a_1 = A_1 / L$; $a_2 = A_2 / L$; $b = B / L$; ξ – часть пластины Ξ длиной $\hat{D}_x$, «вписанная» между плоскостями $Z = Z^*$ и $Z = Z^* + D_z$ ($Z^*, D_x > 0, D_z > 0$ – постоянные); m – масса тела ξ ; $\mathbf{e}_x = \{1, 0, 0\}$ $\mathbf{e}_y = \{0, 1, 0\}$; $\mathbf{U} = \{U, 0, 0\}$ – скорость тела ξ (пластины Ξ); $u = TU / L$; $\rho, \nu, \mathbf{V} = \{V_x, V_y, 0\}$ – соответственно плотность, кинематический коэффициент вязкости и скорость жидкости; $\mathbf{v} = T\mathbf{V}/L$ ($\mathbf{v} = \{v_x, v_y, 0\} = \mathbf{v}(y, \tau)$); $\mathbf{P}$ – давление в жидкости; $p = T^2 P / (\rho L^2)$ ($p = p(y, \tau)$); $Re = L^2 / (\nu T)$ – число Рейнольдса; $F_{ext} = \hat{F} \sin(2\pi\tau + \varphi)$ – внешняя сила, действующая на тело ξ в направлении оси X ($\hat{F} > 0, \varphi$ – постоянные); $f_{ext} = T^2 F_{ext} / (mL)$; $F_{liq} = \rho\nu[(\partial v_x / \partial Y)_{|Y=B+0} - (\partial v_x / \partial Y)_{|Y=B-0}] D_x D_z$ – сила, действующая со стороны жидкости на тело ξ в направлении оси X ; $f_{liq} = T^2 F_{liq} / (mL)$.

Постановка задачи включает в себя уравнение движения тела ξ (пластины Ξ), уравнения Навье – Стокса и неразрывности и условия, которые должны выполняться на границах тел W_1, W_2, Ξ :

$$\frac{du}{d\tau} = f_{ext} + f_{liq}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \tau} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{v} \text{ в } \Omega_1, \Omega_2; \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \text{ в } \Omega_1, \Omega_2; \quad (3)$$

$$\mathbf{v} = \frac{da_1}{d\tau} \mathbf{e}_y \text{ при } y = a_1, y = 1 + a_1; \quad (4)$$

$$\mathbf{v} = u\mathbf{e}_x + \frac{da_1}{d\tau} \mathbf{e}_y \text{ при } y = b - 0, y = b + 0. \quad (5)$$

Из (3)–(5) следует

$$v_y = 2\pi\varepsilon \cos 2\pi\tau \text{ при } a_1 \leq y \leq b - 0, b + 0 \leq y \leq a_2. \quad (6)$$

Согласно (2), (4)–(6) имеем

$$p = 4\pi^2\varepsilon (\sin 2\pi\tau) y + p' \text{ при } a_1 < y < b,$$

$$p = 4\pi^2\varepsilon (\sin 2\pi\tau) y + p'' \text{ при } b < y < a_2 \quad (7)$$

(p', p'' – функции τ);

$$\frac{\partial v_x}{\partial \delta} + 2\pi\epsilon (\cos 2\pi\tau) \frac{\partial v_x}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} \text{ в } \Omega_1, \Omega_2; \quad (8)$$

$$v_x = 0 \text{ при } y = a_1, y = 1 + a_1; \quad (9)$$

$$v_x = u \text{ при } y = b - 0, y = b + 0. \quad (10)$$

Будем рассматривать задачу (1), (8)–(10) при малых по сравнению с единицей значениях ϵ . Предположим, что

$$u \sim u_0 + \epsilon u_1, \quad v_x \sim v_{x0} + \epsilon v_{x1} \text{ при } \epsilon \rightarrow 0. \quad (11)$$

Пусть $N = 0, 1$ – номер приближения (степень ϵ). Используя (1), (8)–(11), получим

$$\frac{du_N}{d\tau} = (1 - N) f_{\text{ext}} + f_{\text{liq } N}; \quad (12)$$

$$\frac{\partial v_{xN}}{\partial \delta} + 2N\pi (\cos 2\pi\tau) \frac{\partial v_{x0}}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 v_{xN}}{\partial y^2} \text{ в } \bar{\Omega}_1, \bar{\Omega}_2; \quad (13)$$

$$v_{xN} = -N (\sin 2\pi\tau) \frac{\partial v_{x0}}{\partial y} \text{ при } y = 0, y = 1; \quad (14)$$

$$v_{xN} = u_N \text{ при } y = b - 0, y = b + 0. \quad (15)$$

Здесь $\bar{\Omega}_1$ и $\bar{\Omega}_2$ – области соответственно $0 < y < b$ и $b < y < 1$ ($-\infty < x < \infty, -\infty < z < \infty$);

$$f_{\text{liq } N} = \frac{\varkappa}{\text{Re}} \left(\frac{\partial v_{xN}}{\partial y} \Big|_{y=b+0} - \frac{\partial v_{xN}}{\partial y} \Big|_{y=b-0} \right)$$

($\varkappa = \rho L D_x D_z / m$).

Пусть $N = 0$.

Задача (12)–(15) имеет решение

$$u_0 = \text{Real}(\hat{u} e^{2\pi i \tau}) \quad (16)$$

$$\left(\hat{u} = - \frac{\hat{f} e^{i\varphi}}{2\pi \left\{ 1 + \frac{\varkappa}{\lambda} [\text{cth } \lambda b + \text{cth } \lambda (1 - b)] \right\}} \right);$$

$$v_{x0} = \text{Real} \left(\hat{u} \frac{\text{sh } \lambda y}{\text{sh } \lambda b} e^{2\pi i \tau} \right) \text{ при } 0 \leq y \leq b; \quad (17)$$

$$v_{x0} = \text{Real} \left[\hat{u} \frac{\text{sh } \lambda (1 - y)}{\text{sh } \lambda (1 - b)} e^{2\pi i \tau} \right] \text{ при } b \leq y \leq 1, \quad (18)$$

где $\hat{f} = T^2 \hat{F} / (mL)$; $\lambda = (1 + i) \sqrt{\pi \text{Re}}$.

Пусть $N = 1$.

Из (12)–(15) следует

$$\left. \frac{d\bar{v}}{dy} \right|_{y=b+0} - \left. \frac{d\bar{v}}{dy} \right|_{y=b-0} = 0; \quad (19)$$

$$2\pi \left\langle (\cos 2\pi\tau) \frac{\partial v_{x0}}{\partial y} \right\rangle = \frac{1}{\text{Re}} \frac{d^2 \bar{v}}{dy^2} \text{ в } \bar{\Omega}_1, \bar{\Omega}_2; \quad (20)$$

$$\bar{v} = - \left\langle (\sin 2\pi\tau) \frac{\partial v_{x0}}{\partial y} \right\rangle \text{ при } y = 0, y = 1; \quad (21)$$

$$\bar{v} = \bar{u} \text{ при } y = b - 0, y = b + 0. \quad (22)$$

Здесь $\langle \dots \rangle = \int_{\tau}^{\tau+1} \dots d\tau'$; $\bar{u} = \langle u_1 \rangle$; $\bar{v} = \langle v_{x1} \rangle$.

Задача (12)–(15) имеет решение

$$\begin{aligned} u_1 &= \bar{u} + \text{Real}(\tilde{u} e^{4\pi i \tau}), \\ v_{x1} &= \bar{v} + \text{Real}(\tilde{v}_1 e^{4\pi i \tau}) \text{ при } 0 \leq y \leq b, \\ v_{x1} &= \bar{v} + \text{Real}(\tilde{v}_2 e^{4\pi i \tau}) \text{ при } b \leq y \leq 1, \end{aligned} \quad (23)$$

где $\tilde{u}$ – постоянная; $\tilde{v}_1, \tilde{v}_2$ – функции y .

Используя (16)–(22), найдем

$$\bar{u} = -\frac{1}{2} \text{Imag} \left\{ \lambda \hat{u} [b \text{cth} \lambda(1-b) - (1-b) \text{cth} \lambda b] \right\}; \quad (24)$$

$$\bar{v} = \pi \text{Re} \text{Real} \left[\hat{u} \frac{\text{ch} \lambda y - (\text{ch} \lambda b) b^{-1} y}{\lambda \text{sh} \lambda b} \right] + \bar{u} \frac{y}{b} \text{ при } 0 \leq y \leq b; \quad (25)$$

$$\bar{v} = -\pi \text{Re} \text{Real} \left[\hat{u} \frac{\text{ch} \lambda(1-y) - (\text{ch} \lambda(1-b))(1-b)^{-1}(1-y)}{\lambda \text{sh} \lambda(1-b)} \right] + \bar{u} \frac{1-y}{1-b} \text{ при } b \leq y \leq 1. \quad (26)$$

Формулами

$$u = u_0 + \varepsilon u_1, v_x = v_{x0} + \varepsilon v_{x1} \quad (27)$$

и (6), (7), (16)–(18), (23)–(26) определяется приближенное решение задачи (1)–(5). Из этого решения, в частности, следует, что жидкость (на фоне колебаний) совершает стационарное, прямолинейное движение. Отметим, что при $b = 1/2$ пластина Ξ (на фоне колебаний) неподвижна.

Остановимся на вопросе о среднем по времени движении жидкости при малых по сравнению с единицей значениях Re .

Используя (6), (16)–(18), (23)–(27), получим

$$\langle u \rangle = \varepsilon \bar{u} \sim (2b-1)Q,$$

$$\langle v \rangle = \varepsilon \bar{v} e_x \sim Q(y+b-1)e_x \quad (0 \leq y \leq 1) \text{ при } \text{Re} \rightarrow 0, \quad (28)$$

где $Q = \frac{\varepsilon \hat{f}}{2\kappa} (\cos \varphi) \text{Re}$.

Согласно (28) (на фоне колебаний, для $Q \neq 0$) имеет место следующее. При $b > 1/2$ ($b < 1$) в области Ω_1 присутствуют два слоя, определяемые соотношениями $0 < y < 1 - b$ (слой l_1) и $1 - b < y < b$, в которых жидкость движется во взаимно противоположных направлениях, причем направление движения жидкости в слое l_1 противоположно направлению движения пластины Ξ ; в области Ω_2 (в слое $b < y < 1$) жидкость движется в одном направлении, которое совпадает с направлением движения пластины Ξ . Отметим, что толщина слоя l_1 равна «толщине» области Ω_2 . При $b < 1/2$ ($b > 0$) в области Ω_2 присутствуют два слоя, определяемые соотношениями $b < y < 1 - b$ и $1 - b < y < 1$ (слой l_2), в которых жидкость движется во взаимно противоположных направлениях, причем направление движения жидкости в слое l_2 противоположно направлению движения пластины Ξ ; в области Ω_1 (в слое $0 < y < b$) жидкость движется в одном направлении, которое совпадает с направлением движения пластины Ξ . Отметим, что толщина слоя l_2 равна «толщине» области Ω_1 . При $b = 1/2$ пластина Ξ неподвижна; жидкость в каждой из областей Ω_1 , Ω_2 движется в одном направлении, и эти направления взаимно противоположны.

Отметим, что (при $Q \neq 0$) среднее по времени движение жидких слоев происходит при любом положении пластины между стенками.

Заключение

Представленное в настоящей работе свидетельствует о том, что жидкость в рассмотренных условиях совершает движение в выделенном направлении, вызываемое и поддерживаемое оказываемыми на жидкость воздействиями, не имеющими выделенного направления в пространстве. Происходит «порождение порядка из хаоса». Причина данного эффекта состоит в согла-

сованности (друг с другом) оказываемых на жидкость воздействий, что находится в непосредственной связи с принципом среднего движения [6], который в обобщенном виде может быть сформулирован следующим образом.

Основополагающей причиной среднего по времени движения свободных частей гидромеханической системы (частей системы, движение которых не задано) при периодических по времени (колебательных, вибрационных) воздействиях на систему, не имеющих выделенного направления в пространстве, является возможность совершения свободными частями системы движения в различных направлениях в пространстве в неодинаковых условиях.

Результаты, полученные в настоящей работе, в частности, могут служить теоретической основой для проведения направленных экспериментальных исследований движения жидкости в рассмотренных и аналогичных им гидромеханических условиях.

Список литературы

1. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: ГИТТЛ, 1955. 520 с.
2. Всероссийская конференция с международным участием «Современные проблемы механики сплошных сред и физики взрыва» (Россия, Новосибирск, 4–8 сентября 2017). Тезисы докладов. Новосибирск: Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, 2017. 298 с.
3. Международная конференция «Математика в приложениях» (Россия, Новосибирск, 4–10 августа 2019). Тезисы докладов. Новосибирск: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, 2019. 312 с.
4. Международная конференция «Лаврентьевские чтения по математике, механике и физике» (Россия, Новосибирск, 7–11 сентября 2020). Тезисы докладов. Новосибирск: Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, 2020. 262 с.
5. Sennitskiy V.L. Predominantly unidirectional rotation of a viscous liquid with a free boundary // Thermophysics and Aeromechanics. 2020. Vol. 27. No. 1. P. 157–160. DOI: 10.1134/S0869864320010175.
6. Сenniцкий В.Л. О силовом взаимодействии шара и вязкой жидкости в присутствии стенки // Прикладная механика и техническая физика. 2000. Т. 41. № 1. С. 57–62.

СТАТЬИ

УДК 663.86

**ИННОВАЦИОННАЯ КАВИТАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАПИТКОВ ИЗ ДИКОРЫСОВ****Ефанов М.В.***ООО «Малое инновационное предприятие «Югра-Биотехнологии», Ханты-Мансийск,
e-mail: efanov_1973@mail.ru*

Разработана низкотемпературная безотходная кавитационная технология производства функциональных бионапитков на основе дикоросов (ягод, кедровых орехов, трав) и сахара, меда и стевии в качестве подсластителей для комплексного безотходного использования пищевого дикорастущего растительного сырья. Оптимальными условиями получения функциональных напитков из различных дикоросов являются: температура кавитационной обработки – 50–70 °С, продолжительность кавитационной обработки – 30–60 минут, массовое соотношение ингредиентов: 20–30 масс. ч дикоросов на 5–10 масс. ч подсластителя и 60–75 масс. ч воды. Получены функциональные напитки из дикоросов, содержащие комплекс биологически активных веществ (витамины, органические кислоты, сахара, флавоноиды, микроэлементы), извлекаемых из дикоросов, имеющие удовлетворительные микробиологические показатели через 3 недели хранения. Изучены биохимические показатели липидного спектра крови добровольцев, принимающих разработанные функциональные напитки, такие как содержание: общего холестерина, триглицеридов, липопротеидов высокой плотности, липопротеидов низкой плотности, а также коэффициент атерогенности. Установлено, что при использовании изучаемых напитков зарегистрированы положительные изменения липидного статуса у пациентов по основным биохимическим показателям. Показано, что полученные ягодно-ореховые, медовые ягодно-ореховые напитки можно использовать в качестве высокоэффективных функциональных напитков для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний.

Ключевые слова: функциональные напитки, дикоросы, кавитация, кавитационная технология, дикорастущие ягоды, кедровые орехи, мед, кипрей, ягодно-ореховые напитки, медовые ягодно-ореховые напитки

**INNOVATION CAVITATION TECHNOLOGY OF OBTAINING
FUNCTIONAL BEVERAGES FROM WILD PLANTS****Efanov M.V.***LLC «Small innovative enterprise «Ugra-Biotechnology», Khanty-Mansiysk,
e-mail: efanov_1973@mail.ru*

A low-temperature non-waste cavitation technology for producing functional beverages based on wild plants (berries, pine nuts) and sugar or honey as sweeteners for complex non-waste use of food wild plant raw materials has been developed. Optimal conditions for obtaining functional beverages from a variety of wild plants are: temperature of cavitation treatment – 50–70 °C, the duration of cavitation treatment – 30–60 minutes, the mass ratio of ingredients: 20–30 mass. h wild plants for 5–10 masses. h sweetener and 60–75 mass. – water. Functional drinks from wild plants containing a complex of biologically active substances extracted from wild plants with satisfactory microbiological parameters after 3 weeks of storage were obtained. Biochemical parameters of blood lipid spectrum of volunteers taking developed functional drinks, such as cholesterol, triglycerides, high-density lipoproteins, low-density lipoproteins, atherogenicity coefficient were studied. It was found that positive changes in lipid status in patients according to the main biochemical parameters were registered. It is shown that the obtained berry-nut, honey berry-nut drinks can be used as highly functional drinks for the prevention of cardiovascular diseases.

Keywords: functional drinks, wild plants, cavitation, cavitation technology, wild berries, pine nuts, honey, Cyprus, berry-nut drinks, honey berry-nut drinks

В настоящее время актуально получение функциональных бионапитков с применением новых способов переработки. Разработан способ кавитационной модификации растительного сырья для его переработки в физиологически активные напитки [1].

Интересным функциональным бионапитком выступает кедровое молочко, содержащее липидный белково-углеводный комплекс кедровых орехов и обладающее некоторыми биологически ценными свойствами [2, 3]. Разработана ультразвуковая технология получения кедрового молока [4].

Нами разработан новый метод малоотходной низкотемпературной переработки плодов и ягод в консервы путем их кавитационной обработки в воде [5].

Нами разработаны новые кавитационные методы получения ягодно-ореховых и медово-ягодно-ореховых напитков на основе ягод и кедровых орехов с добавлением сахара или мёда, а также травы стевии, позволяющие получить бионапитки, сочетающие в себе полезные свойства ягод и ядер кедрового ореха, обладающие высокой физиологической активностью за счет свойств мёда, а также предлагается новый медово-травяной напиток на основе травы кипрея обыкновенного (Иван-чай) [5].

Цель исследования: в настоящей работе изучен химический состав и биохимические свойства функциональных напитков из различных дикоросов, полученных в условиях кавитационной обработки.

Материалы и методы исследования

Получение функциональных напитков из дикоросов по кавитационной технологии проводили следующим образом.

В кавитационный аппарат добавляют воду и вносят ягоды клюквы и ядра кедровых орехов в различных массовых соотношениях. Затем смесь ингредиентов в водной среде подвергают интенсивному кавитационному воздействию в кавитационном аппарате при температурах от 50 до 70 °С в течение от 30 до 60 минут с получением функционального напитка [5].

Бактериологическое исследование продукта проводилось непосредственно в день приготовления, на второй, пятый день и через 3 недели. Хранение ягодно-орехового напитка осуществлялось в бытовом холодильнике при температуре +2 – +4 °С.

Для определения эффективности применения полученного функционального ягодно-орехового напитка проведено клиническое биохимическое исследование на добровольцах. В этом исследовании приняли участие 30 здоровых добровольцев, которые в течение 30 дней ежедневно употребляли в пищу 200 мл свежеприготовленного ягодно-орехового напитка.

Были изучены биохимические показатели липидного спектра крови: холестерин, триглицериды, ЛПВП, ЛПНП, коэффициент атерогенности. Следует отметить, что все исследуемые показатели были в пределах нормальных значений, тем не менее были зарегистрированы положительные изменения их липидного статуса.

Для улучшения вкуса, аромата и биологической ценности в состав заявляемого напитка вместо сахара (подсластитель) нами предложено добавлять мёд. При этом получается инновационный высокоэффективный функциональный медово-ягодно-ореховый напиток, с повышенной биологической активностью, который сочетает в себе полезные свойства мёда, ягод и кедрового ореха [5].

При этом получение медового ягодно-орехового напитка осуществляли следующим образом. Для этого в качестве сырья применяли свежие или замороженные ягоды клюквы или брусники и очищенные ядра кедрового ореха, а также натуральный мёд [5].

В кавитационный аппарат наливали воду и вносили мёд, ягоды клюквы и ядра кедровых орехов при следующих массовых соотношениях (из расчета на 100 массовых частей получаемого напитка):

Ягоды	10–15
Ядра кедрового ореха	10–15
Мёд	5–10
Вода	75–60

Затем полученную композицию в водной среде подвергают кавитационному воздействию в кавитационном аппарате при температуре от 50 до 70 °С в течение 30–60 минут с последующей упаковкой продукта в герметичную тару.

Кроме того, нами был разработан новый способ получения медового безалкогольного газированного напитка на основе травы кипрея с добавкой в качестве консерванта сравнительно малотоксичного сорбата калия [5].

Полученный новый безалкогольный газированный напиток содержит натуральный мед, водный экстракт кипрея, лимонную кислоту и сорбат калия, при соответствующих массовых соотношениях ингредиентов [5]:

Мед	67,5–73,0 кг
Лимонная кислота	1,25–1,50 кг
Иван-чай (кипрей)	7,0–10,0 кг
Сорбат калия	0,1–0,15 кг
Вода	24,15–15,35

Для усиления вкуса, появления нового аромата и повышения физиологической ценности в состав разработанного функционального бионапитка вместо сахарозы добавляют натуральный цветочный мед.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 приведены данные по химическому составу разработанных бионапитков на основе ягод клюквы и брусники с добавлением очищенных ядер кедрового ореха.

Таким образом, по изучаемым характеристикам ягодно-ореховый напиток демонстрирует высокое содержание витамина С, белка, глюкозы (следует отметить, что содержание сахара в продукте можно регулировать путем изменения рецептуры напитка). Кроме того, исследуемый напиток содержит значительное количество кальция.

Данные микробиологического исследования представлены в табл. 2. Установлено, что во время исследования напиток является стерильным, что подтверждает бактерицидный эффект кавитационной обработки.

Таким образом, по результатам микробиологического исследования разработанный ягодно-ореховый напиток соответствует требованиям, утвержденным СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

В ходе анализа содержания липидов в сыворотке крови было выявлено, что на фоне применения ягодно-орехового напитка достоверно снижается уровень общего холестерина и ЛПНП уже через 4 недели употребления продукта. Таким образом, атерогенный эффект при употреблении в пищу ягодно-орехового напитка, вероятно,

обусловлен высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот в кедровых орехах. В этой связи употребление ягодно-орехового напитка возможно рекомендовать лицам с гиперхолестеринемией и имеющим высокий риск сердечно-сосудистых заболеваний в качестве профилактики.

Далее изучалось воздействие применения ягодно-орехового напитка на показатели витаминного и антиоксидантного статуса. Так, витамин Е, витамин А и аскорбиновая кислота (витамин С) являются наиболее известными антиоксидантами.

По результатам проведенного исследования у респондентов при ежедневном применении ягодно-орехового напитка наблюдалось уже через 2 недели достоверное

повышение уровня витаминов А и Е в плазме крови, витамина С – к концу периода наблюдения. При этом показатели оксидативного стресса – гидропероксиды липидов достоверно снижались по сравнению с их исходными значениями.

Таким образом, использование полученного ягодно-орехового бионапитка, позволяет усилить общую антиоксидантную активность организма, что приводит к ослаблению действия природно-климатических факторов среды.

В табл. 3 представлен количественный компонентный состав полученных бионапитков на основе мёда и дикорастущих ягод клюквы или брусники и очищенных ядер кедрового ореха [5].

Таблица 1
Химический состав нового функционального ягодно-орехового бионапитка

Показатель	Количества биологически активных веществ			
	Функциональный бионапиток из ягод клюквы (50°C, 30 мин)	Функциональный бионапиток из ягод клюквы (70°C, 60 мин)	Функциональный бионапиток из ягод брусники (50°C, 30 мин)	Функциональный бионапиток из ягод брусники (70°C, 60 мин)
Общий белок, г/л	3,3	4,0	3,5	3,9
Глюкопираноза, ммоль/л	9,3	9,5	9,4	9,6
Общие триглицериды, ммоль/л	3,1	3,4	3,3	3,5
Витамин С, мг/100 мл	64,7	70,4	65,4	70,5
Кальций, ммоль/л	0,51	0,60	0,52	0,60

Таблица 2
Результаты микробиологического исследования ягодно-орехового напитка

Определяемые показатели	Дата исследования			
	10.06.2013	11.06.2013	14.06.2013	01.07.2013
КМАФАнМ	0	0	0	0
БГКП (колиформы)	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
<i>Staphylococcus aureus</i>	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
Патогенные, в т.ч. сальмонеллы	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют

Примечание: КМАФАнМ – (общее микробное число) – количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов; БГКП – бактерии группы кишечных палочек.

Таблица 3
Количественный компонентный состав медового ягодно-орехового бионапитка

Вид сырья	Состав бионапитка, в расчете на 100 масс. ч			
	Бионапиток на основе ягод клюквы (50°C, 30 мин)	Бионапиток на основе ягод клюквы (70°C, 60 мин)	Бионапиток на основе ягод брусники (50°C, 30 мин)	Бионапиток на основе ягод брусники (70°C, 60 мин)
Ягоды	10	15	10	15
Ядра кедрового ореха	10	15	10	15
Мёд	5	10	5	10
Вода	75	60	75	60

Применение вместо спиртового экстракта «Иван-чай» в процессе кавитационного воздействия на воздушно-сухое сырье травы кипрея обыкновенного в водной среде позволяет провести эффективное извлечение биологически активных веществ из Иван-чая непосредственно в процессе приготовления бионапитка.

Разработанный новый способ получения бионапитка состоит в том, что основные компоненты напитка смешивают с водой, и подвергают интенсивному кавитационному воздействию на кавитационном аппарате при температуре от 50 до 80 °С и продолжительности обработки 30–60 минут, а затем газифицируют газообразным CO₂.

Применение кавитационной обработки дикорастущего сырья с медом в воде позволяет получить продукт, обладающий высокой биологической активностью, приятным ароматом меда и трав, при снижении общих издержек для его производства [5].

Для улучшения органолептических свойств и замены сахара в составах напитков разработан кавитационный способ получения ягодного напитка с добавлением стевии.

Использование вместо чистых углеводов непосредственно в качестве подсластителя сырья сухих листьев стевии в условиях кавитационной обработки позволяет провести экстракцию ее углеводов и получить экстракт стевии непосредственно в процессе приготовления напитка в водной среде. Способ получения разработанного напитка заключается в том, что компоненты напитка смешивают с водой, и подвергают кавитационной обработке на диспергаторе.

Для приготовления бионапитка смешение основных ингредиентов осуществляют следующим образом: в кавитационный ап-

парат добавляют необходимый объем воды, вносят ягоды клюквы, или брусники и сухие листья стевии при следующем соотношении компонентов на 100 масс. ч напитка [5]:

Ягоды	5–25
Листья стевии	0,5–10,0
Вода	94,5–65

Полученную композицию подвергают интенсивному кавитационному воздействию в кавитационном аппарате при температуре от 50 до 80 °С и в продолжительности обработки от 10 до 60 минут. Полученный бионапиток характеризуется кисло-сладким вкусом и приятным ароматом.

Заключение

Таким образом, использование кавитационной технологии переработки дикоросов позволяет получить широкий ассортимент полезных напитков с максимальным сохранением биологически активных веществ в их составе.

Список литературы

1. Ярмаркин Д.А., Прохасько Л.С., Мазаев А.Н., Асенова Б.К., Зинина О.В., Залилов Р.В. Кавитационные технологии в пищевой промышленности // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 312–315.
2. Кушин А.А., Федотов В.А. Способ получения кедрового молочка // Патент РФ № 2311037. Патентообладатели: Кушин А.А., Федотов В.А. 2012. Бюлл. № 12.
3. Бадеников А.В., Ульянов Б.А., Семенов И.А., Свиридов Д.П. Способ получения кедрового молока // Патент РФ № 2461205. Патентообладатель ФГБОУ ВО «Ангарская государственная техническая академия». 2012. Бюлл. № 26.
4. Свиридов Д.П. Ультразвуковое измельчение материалов в производстве молока кедрового: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2011. 20 с.
5. Ефанов М.В. Технология получения медовых ягодно-ореховых напитков // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы: материалы XI Международной научно-практической конференции. Пенза: Издательство Приволжского дома знаний, 2019. С. 15–17.