

№ 2 (92) ▪ 2020
Часть 1 ▪ Февраль

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

**ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE**

Екатеринбург
2020



Периодический теоретический и научно-практический журнал.
Выходит 12 раз в год.
Учредитель журнала: Соколова М.В.
Главный редактор: Меньшаков А.И.
Адрес издателя и редакции: 620137, г. Екатеринбург, ул.
Академическая, д. 11, корп. А, оф. 4.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org
16+

**№ 2 (92) 2020
Часть 1
Февраль**

Дата выхода 17.02.2020
Подписано в печать 10.02.2020
Тираж 200 экз.
Цена: бесплатно.
Заказ 295118.
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии "А-принт".
620049, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского, д. 1.

Журнал имеет свободный доступ, это означает, что статьи можно читать, загружать, копировать, распространять, печатать и ссылаться на их полные тексты с указанием авторства без каких-либо ограничений. Тип лицензии CC поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Актуальная информация об индексации журнала в библиографических базах данных <https://research-journal.org/indexing/>.

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: **ПН № ФС 77 – 51217.**

Члены редколлегии:

Филологические науки:

Растягаев А.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Сложеникина Ю.В. д-р филол. наук, Московский Городской Университет (Москва, Россия);
Штрекер Н.Ю. к.филол.н., Калужский Государственный Университет имени К.Э. Циолковского (Калуга, Россия);
Вербицкая О.М. к.филол.н., Иркутский Государственный Университет (Иркутск, Россия).

Технические науки:

Пачурин Г.В. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (Нижний Новгород, Россия);
Федорова Е.А. д-р техн. наук, проф., Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (Нижний Новгород, Россия);
Герасимова Л.Г. д-р техн. наук, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (Апатиты, Россия);
Курасов В.С. д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Оськин С.В. д-р техн. наук, проф. Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия).

Педагогические науки:

Куликовская И.Э. д-р пед. наук, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия);
Сайкина Е.Г. д-р пед. наук, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия);
Лукьянова М.И. д-р пед. наук, Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова (Ульяновск, Россия);
Ходакова Н.П. д-р пед. наук, проф., Московский городской педагогический университет (Москва, Россия).

Психологические науки:

Розенова М.И. д-р психол. наук, проф., Московский государственный психолого-педагогический университет (Москва, Россия);
Ивков Н.Н. д-р психол. наук, Российская академия образования (Москва, Россия);
Каменская В.Г. д-р психол. наук, к. биол. наук, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина (Елец, Россия).

Физико-математические науки:

Шамолин М.В. д-р физ.-мат. наук, МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва, Россия);
Глезер А.М. д-р физ.-мат. наук, Государственный Научный Центр ЦНИИчермет им. И.П. Бардина (Москва, Россия);
Свиштунов Ю.А. д-р физ.-мат. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Географические науки:

Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к.техн.н. проф., Военный авиационный инженерный университет (Воронеж, Россия);
Брылев В.А. д-р геогр. наук, проф., Волгоградский государственный социально-педагогический университет (Волгоград, Россия);
Огуреева Г.Н. д-р геогр. наук, проф., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия).

Биологические науки:

Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия);
Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского (Саратов, Россия);
Еськов Е.К. д-р биол. наук, проф., Российский государственный аграрный заочный университет (Балашиха, Россия);
Шеуджен А.Х. д-р биол. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Ларионов М.В. д-р биол. наук, профессор, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия).

Архитектура:

Янковская Ю.С. д-р архитектуры, проф., Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Ветеринарные науки:

Алиев А.С. д-р ветеринар. наук, проф., Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия);
Татарникова Н.А. д-р ветеринар. наук, проф., Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова (Пермь, Россия).

Медицинские науки:

Никольский В.И. д-р мед. наук, проф., Пензенский государственный университет (Пенза, Россия);
Ураков А.Л. д-р мед. наук, Ижевская Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

Исторические науки:

Меерович М.Г. д-р ист. наук, к. архитектуры, проф., Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск, Россия);
Бакулин В.И. д-р ист. наук, проф., Вятский государственный университет (Киров, Россия);
Бердинских В.А. д-р ист. наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Россия);
Лёвочкина Н.А. к.ист.наук, к.экон.н. ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия).

Культурология:

Куценков П.А. д-р культурологии, к.искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Искусствоведение:

Куценков П.А. д-р культурологии, к.искусствоведения, Институт востоковедения РАН (Москва, Россия).

Философские науки:

Петров М.А. д-р филос. наук, Института философии РАН (Москва, Россия);
Бессонов А.В. д-р филос. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);
Цыганков П.А. д-р филос. наук., МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия);
Лойко О.Т. д-р филос. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет (Томск, Россия).

Юридические науки:

Костенко Р.В. д-р юрид. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Мазуренко А.П. д-р юрид. наук, Северо-Кавказский федеральный университет г. Пятигорске (Пятигорск, Россия);
Мещерякова О.М. д-р юрид. наук, Всероссийская академия внешней торговли (Москва, Россия);
Ерғашев Е.Р. д-р юрид. наук, проф., Уральский государственный юридический университет (Екатеринбург, Россия).

Сельскохозяйственные науки:

Важов В.М. д-р с.-х. наук, проф., Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина (Бийск, Россия);
Раков А.Ю. д-р с.-х. наук, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр (Михайловск, Россия);
Комлацкий В.И. д-р с.-х. наук, проф., Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия);
Никитин В.В. д-р с.-х. наук, Белгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Белгород, Россия);
Наумкин В.П. д-р с.-х. наук, проф., Орловский государственный аграрный университет.

Социологические науки:

Замараева З.П. д-р социол. наук, проф., Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь, Россия);
Солодова Г.С. д-р социол. наук, проф., Институт философии и права СО РАН (Новосибирск, Россия);
Кораблева Г.Б. д-р социол. наук, Уральский Федеральный Университет (Екатеринбург, Россия).

Химические науки:

Абдиев К.Ж. д-р хим. наук, проф., Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);
Мельдешов А. д-р хим. наук, Казахстанско-Британский технический университет (Алма-Аты, Казахстан);
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия).

Науки о Земле:

Горяинов П.М. д-р геол.-минерал. наук, проф., Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Апатиты, Россия).

Экономические науки:

Бурда А.Г. д-р экон. наук, проф., Кубанский Государственный Аграрный Университет (Краснодар, Россия);
Лёвочкина Н.А. д-р экон. наук, к.ист.н., ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (Омск, Россия);
Ламоттке М.Н. к.экон.н., Нижегородский институт управления (Нижний Новгород, Россия);
Акбулаев Н. к.экон.н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан);
Кулиев О. к.экон.н., Азербайджанский государственный экономический университет (Баку, Азербайджан).

Политические науки:

Завершинский К.Ф. д-р полит. наук, проф. Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия).

Фармацевтические науки:

Тринеева О.В. к.фарм.н., Воронежский государственный университет (Воронеж, Россия);
Кайшева Н.Ш. д-р фарм. наук, Волгоградский государственный медицинский университет (Волгоград, Россия);
Ерофеева Л.Н. д-р фарм. наук, проф., Курский государственный медицинский университет (Курс, Россия);
Папанов С.И. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);
Петкова Е.Г. д-р фарм. наук, Медицинский университет (Пловдив, Болгария);
Скачилова С.Я. д-р хим. наук, Всероссийский Научный Центр По Безопасности Биологически Активных Веществ (Купавна Старая, Россия);
Ураков А.Л., д-р мед. наук, Государственная Медицинская Академия (Ижевск, Россия).

**Екатеринбург
2019**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Салимов Р.Б., Горская Т.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАТНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ АЭРОГИДРОДИНАМИКИ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОСТАНОВКЕ	6
Антоновская О.Г., Бесклубная А.В. К ИССЛЕДОВАНИЮ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ, ОБЛАДАЮЩЕЙ НАСЫЩЕНИЕМ	10
Беркович В.Н. О КОРРЕКТНОСТИ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ЛИНЕЙНОГО ДЕФЕКТА В УГЛОВОЙ ОБЛАСТИ.....	19
Саутенков В.А., Саакян С.А., Вильшанская Е.В.З, Аршинова И.Д., Кудринский Д.А., Зеленер Б.Б. ОСОБЕННОСТИ СТЕНДА ПО СОЗДАНИЮ МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ЛОВУШКИ ДЛЯ АТОМОВ КАЛЬЦИЯ-40	25
Кенжегулов Б.З., Гапуова Т.Б., Мураткалиева А.Н., Рахметов М.Е. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНОГО ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО (ТЕРМОУПРУГОСТЬ) СОСТОЯНИЕ ЗАЩЕМЛЕННОГО ДВУМЯ КОНЦАМИ СТЕРЖНЯ ПРИ НАЛИЧИИ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА	29
Кенжегулов Б.З., Гапуова Т.Б., Мураткалиева А.Н., Рахметов М.Е. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНОГО ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЕ ЗАЩЕМЛЕННОГО ДВУМЯ КОНЦАМИ СТЕРЖНЯ ПРИ НАЛИЧИИ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА	35
Шаждекеева Н.К., Жакатай Е.С. ПОСТАНОВКА КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ НА ГРАФЕ	40

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Алексеев С.В. ЧЕТЫРЁХОСНЫЙ ТЕНДЕР ПУТИЛОВСКОГО ЗАВОДА.....	44
Семиков В.С., Команов П.А., Тавасиев Д.А., Ревазов Х.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА В СИСТЕМАХ THREAT INTELLIGENCE	51
Аликин А.А. РЕГУЛИРОВАНИЕ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА ПОВОРОТОМ ЛОПАТОК	54
Кораблев Г.А. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ УГОЛ И ТЕХНОЛОГИЯ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ	58
Савина Н.В., Лисогурская Л.Н., Лисогурский И.А. НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ	63
Орымбетова Г.Э., Амангелды М., Абдижаппарова Б.Т., Орымбетов Э.М. ИССЛЕДОВАНИЕ САХАРНОГО ПЕЧЕНЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУШЕНОЙ ДЫНИ	71
Турков Е.С., Степанов Ю.А. КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ СБОРА ДАННЫХ О ВАКАНСИЯХ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ	75

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Косенко М.А. НОВЫЙ РАННЕСПЕЛЫЙ СОРТ РЕДИСА	79
Зарипов Ю.В., Залесов С.В., Осипенко Р.А. ФОРМИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ВЫРАБОТАННЫХ КАРЬЕРАХ ОГНЕУПОРНОЙ ГЛИНЫ	83
Петрова И.А., Степкин Ю.А. ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ, КАК МЕХАНИЗМ ОХРАНЫ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ.	89
Икрами М.Б., Шарипова М.Б. ВЛИЯНИЕ ГОРОХОВОЙ ЗАКВАСКИ НА РАЗВИТИЕ КАРТОФЕЛЬНОЙ БОЛЕЗНИ ХЛЕБА	94

Мустафаев С.Д., Гулиев Р.А., Ханалиев В.Б. НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ШТАНГОВЫХ ГЛУБИННО-НАСОСНЫХ СКВАЖИНАХ.....	98
Жуковский А.Ю. ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА СОЗДАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ООПТ НА ПРИМЕРЕ КАНАДЫ.....	105
Калдыбаев Б.К., Ибраева Г.Б., Кадырова Г.Б. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА КАРАКОЛ.....	108
Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К., Лохов А.С., Яковлев А.Е. ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РАССЕЯННОГО ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИМОРСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В МАРТЕ 2019 Г.	111

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

Бабкова А.С. ПРИВЛЕЧЕНИЕ В КОЛЛЕКЦИЮ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ ПОЛЯРНОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ ФИЛИАЛА ВИР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДИКОРАСТУЩИХ ПОЧВОПОКРОВНЫХ И СТЕЛЮЩИХСЯ РАСТЕНИЙ.....	120
Истомина Е.Ю. ОРХИДНЫЕ (ORCHIDACEAE JUSS.) НА ТЕРРИТОРИИ БАСЕЙНА РЕКИ ИНЗЫ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ).....	124
Клименко В.П. МИКСОПЛОИДНОСТЬ СОРТА ВИНОГРАДА АВРОРА МАГАРАЧА.....	130
Пушкин А.А., Мелешенко Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ СЕНСОМОТОРНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ОТ МОМЕНТА ПРЕДЪЯВЛЕНИЯ СЕНСОРНОЙ ПОРОГОВОЙ СТИМУЛЯЦИИ, СИНХРОНИЗИРОВАННОЙ С ЗАДАННОЙ ФАЗОЙ ДОМИНИРУЮЩЕГО ФОНОВОГО РИТМА ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА.	135
Семенов В.А. ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ ХИБИН И ЛОВОЗЁРСКИХ ТУНДР И ИНТЕНСИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ.....	141
Хусаинов Д.Р., Аблякимова В.Л., Кормочи К.А., Зиновик Е.В., Клименко К.С. УЧАСТИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОФАМИНА В ПРОЦЕССАХ УГНЕТЕНИЯ ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КРЫС ПРИ ЕЖЕДНЕВНОМ ТЕСТИРОВАНИИ	146

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

Сидикова Т.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ СТЕКОЛ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА	153
---	-----

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ / MEDICINE

Веркина Е.Н., Баклыгина Е.А., Чикин В.Г., Любимова А.Ю. ОПЫТ ПОДВЕШИВАНИЯ КУЛЬТИ ШЕЙКИ МАТКИ ПОСЛЕ РАДИКАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ТАЗОВЫХ ОРГАНАХ С ЦЕЛЮ ПРОФИЛАКТИКИ РЕЦИДИВА ПРОЛАПСА.....	157
Дробязко П.А. СТАРЫЙ «ЛОЖНЫЙ ХОД». КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ. КАК ИЗБЕЖАТЬ ИНТРАОПЕРАЦИОННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ?.....	162
Махкамов К.Э., Салаев А.Б., Махкамов М.К. ОСОБЕННОСТИ ЭКСТРЕННОЙ ХИРУРГИИ ТЯЖЕЛОЙ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЫ	168

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.001>

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАТНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ АЭРОГИДРОДИНАМИКИ В МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОСТАНОВКЕ

Научная статья

Салимов Р.Б.¹, Горская Т.Ю.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0003-4177-4830;² ORCID: 0000-0001-7136-8388;^{1,2} Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия

* Корреспондирующий автор (gorskaya0304[at]mail.ru)

Аннотация

Рассматривается видоизмененная обратная краевая задача аэрогидродинамики, в которой требуется найти форму крылового профиля, обтекаемого потенциальным потоком несжимаемой невязкой жидкости, когда распределение потенциала скорости на одном участке профиля задано как функция абсциссы, на остальном участке профиля – как функция ординаты точки профиля, кроме того, задана величина скорости набегающего потока.

Ключевые слова: обратная смешанная краевая задача, аэрогидродинамика, крыловой профиль, комплексный потенциал.

RESEARCH OF REVERSE BOUNDARY VALUE PROBLEM OF AEROHYDRODYNAMICS IN MODIFIED STATEMENT

Research article

Salimov R.B.¹, Gorskaya T.Yu.^{2,*}¹ ORCID: 0000-0003-4177-4830;² ORCID: 0000-0001-7136-8388;^{1,2} Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

* Corresponding author (gorskaya0304[at]mail.ru)

Abstract

In this paper, the authors consider a modified inverse boundary-value problem of aerohydrodynamics, in which it is necessary to find the shape of a wing profile streamlined by a potential flow of an incompressible inviscid fluid when the distribution of the velocity potential in one section of the profile is specified as a function of the abscissa, in the rest of the profile as a function of the ordinate of the profile point, in addition, value of speed of a free stream.

Keywords: inverse mixed boundary value problem, aerohydrodynamics, wing profile, integrated potential.

Введение. Постановка задачи

Пусть в плоскости комплексного переменного $z = x + iy$ расположен крыловой профиль L_z , обтекаемый потенциальным потоком несжимаемой невязкой жидкости с комплексным потенциалом $w = w(z) = \varphi + i\psi$ и скоростью невозмущенного потока $v_\infty e^{i\eta_\infty}$, $v_\infty > 0$, $\frac{\pi}{2} < \eta_\infty < \frac{3\pi}{2}$. Пусть $x = 0$, $x = d > 0$ есть абсциссы соответственно точек задней кромки B и передней кромки D профиля L_z , и для абсцисс всех остальных точек L_z имеет место соотношение $0 < x < d$.

Будем считать, что всюду на L_z функция тока $\psi = 0$, точка разветвления A потока находится на нижней поверхности L_z и потенциал скорости в ней $\varphi = \varphi_A = 0$. Примем, что B есть точка схода потока. Примем, что потенциал скорости на L_z есть непрерывная функция точек L_z , исключая точку B . Значения потенциала скорости φ в точке B при подходе к ней по точкам верхней и нижней поверхности L_z обозначим соответственно $\varphi = \varphi_B$ и $\varphi = \varphi_H$, $\varphi_B > \varphi_H > 0$. Пусть D_z – область, внешняя для контура L_z .

Функция $w = w(z)$ отображает конформно область D_z с разрезом по линии, лежащей вне контура L_z и соединяющей точки B , $z = \infty$, на область D_w в плоскости $w = \varphi + i\psi$, разрезанной по положительной части действительной оси с началом в точке A , отвечающей $w = 0$, когда дуге AB нижней поверхности L_z соответствует отрезок верхнего берега вышеуказанного разреза, для точек которого выполняется соотношение $0 < \varphi < \varphi_H$, а дуге ADB контура L_z – отрезок нижнего берега указанного разреза, для точек которого имеет место соотношение $0 < \varphi < \varphi_B$.

Обозначим $w'(z) = ve^{i\eta}$, где v – модуль скорости, η – угол наклона к действительной оси вектора скорости в точке $z = x + iy$ потока жидкости.

Как показано в ([1], с. 97-105), если контур L_z неизвестен, на нем задано распределение скорости $v = v(s)$, $0 \leq s \leq l$, где s – дуговая абсцисса точки $x + iy$ профиля L_z , отсчитываемая от точки A в направлении, при котором область D_z остается справа, l – периметр контура L_z , и требуется найти его форму, то эта задача оказывается разрешимой лишь при выполнении условий разрешимости – условия замкнутости контура L_z . Методы преодоления возникших при этом трудностей и подробный обзор работ по указанной проблеме изложены в книге [2].

В связи со сказанным представляется целесообразным рассмотрение задач об определении формы профиля L_z , которые оказываются разрешимыми.

В качестве такой задачи рассмотрим следующие: требуется найти форму профиля L_z , если на участке C^+BC^- , где C^+, C^- – точки соответственно верхней и нижней поверхности L_z , потенциал скорости φ задан как функция абсциссы x точки L_z , а на участке C^-BC^+ – как функция ординаты y точки z в виде

$$\varphi = \varphi^+(x), \quad 0 \leq x \leq x_C, \quad x \in BC^+, \quad (1)$$

$$\varphi = \varphi^-(x), \quad 0 \leq x \leq x_C, \quad x \in BC^-, \quad (2)$$

$$\varphi = \varphi(y), \quad y_{C^-} \leq y \leq y_{C^+}, \quad y \in C^-BC^+, \quad (3)$$

$\varphi^+(x_C) = \varphi(y_{C^+}), \varphi^-(x_C) = \varphi(y_{C^-})$, где x_C, y_{C^-}, y_{C^+} – заданные числа, $0 < x_A < x_C < d$, x_C – абсцисса точек C^+, C^- , y_{C^-}, y_{C^+} – ординаты точек C^+, C^- соответственно, $y_{C^+} > y_{C^-}$, x_A – заданная абсцисса точки A , величина d определяется в процессе решения, причем $\varphi^+(0) = \varphi_B$, $\varphi^-(0) = \varphi_H$ – заданные числа, $\varphi_B > \varphi_H > 0, \Gamma = \varphi_B - \varphi_H$ – циркуляция скорости вдоль L_z .

Будем считать, что $\varphi^\pm(x), \varphi(y)$ – дифференцируемые функции, производные которых удовлетворяют условию Гёльдера в интервалах их задания, включая концы, причем $\varphi'(y) > 0$ на C^-DC^+ , $\varphi'(x) < 0$ на BC^+ и BA , $\varphi'(x) > 0$ на AC^- , исключая точку A , $\varphi^+(0) = \varphi^-(0) < 0$.

Примем, что в окрестности точки $x = x_A$ справедливо представление $(\varphi^-(x))'_x = \Phi(x) \cdot (x - x_A)$, где Φ – функция, удовлетворяющая условию Гёльдера в указанной окрестности точки x_A , $\Phi(x_A) > 0$.

Кроме того, будем считать заданной величину скорости $v = v_\infty$ набегающего потока, которая является важной характеристикой указанного потока.

В соответствии с условиями (1)-(3) на L_z являются заданными точки $x_C + iy_{C^-}, x_C + iy_{C^+}$, выбор которых влияет на форму L_z .

Поставленная выше задача отличается от рассмотренной в статье [3] только тем, что в последней величина v_∞ не задается и решение задачи зависит от одной действительной производной постоянной. Следовательно, решение рассматриваемой здесь задачи можно получить из решения, данного в [3], при соответствующем подборе входящей в решение постоянной.

При этом получаемое здесь решение будет зависеть от v_∞ и иметь свои отличительные особенности. В частности, в отдельных случаях решений может быть два или решения может не быть вовсе.

Вначале приведем используемые в дальнейшем формулы, полученные в работе [3].

В плоскости комплексного переменного $\zeta = \rho e^{i\gamma}, \rho > 0, 0 \leq \gamma < 2\pi$, берется окружность $|\zeta| = 1$, обтекаемая циркуляцией Γ потоком с комплексным потенциалом

$$w = \omega(\zeta) = -U_0 \left(\zeta + \frac{1}{\zeta} \right) + \frac{\Gamma}{2\pi i} \ln \zeta + C^*, \quad (4)$$

где $U_0 > 0, C^*$ – действительные постоянные, которые выбираются так, чтобы функция (4) отображала область $|\zeta| > 1$ на область D_w в плоскости w , когда точки $e^{i\gamma_1}, e^{i\gamma_2}$, в которых $\gamma_2 = \pi - \gamma_1, -\frac{\pi}{2} < \gamma_1 < 0$, являются соответственно точками разветвления и схода потока, $C^* = \frac{1}{2} \left(\varphi_B - \frac{\Gamma}{2} \right), \frac{\Gamma}{2\pi} = -2U_0 \sin \gamma_1$, γ_1 находится из уравнения $\cot \gamma_1 = -\gamma_1 - \pi \left(\frac{\varphi_B}{\Gamma} - \frac{1}{2} \right)$, где $\Gamma = \varphi_B - \varphi_H$, а φ_B, φ_H – вышеуказанные числа.

В формуле (4) под $\ln \zeta$ понимается однозначная непрерывная ветвь в области $|\zeta| > 1$, разрезанной по линии с уравнением $\operatorname{Im} \omega(\rho e^{i\gamma}) = 0, 1 < \rho < \infty$, с началом в точке $e^{i\gamma_2}$.

Соотношения $w = w(z), w = \omega(\zeta)$ определяют функцию $z = z(\zeta)$, отображающую конформно область $|\zeta| > 1$ на область D_z . Она имеет простой полюс $\zeta = \infty$. Граничные значения этой функции равны $z(e^{i\gamma}) = x(\gamma) + iy(\gamma)$ и определяют соответствие точек L_z и окружности $\zeta = e^{i\gamma}$ при указанном отображении. Пусть точкам $e^{i\gamma_{C^-}}, e^{i\gamma_{C^+}}, e^{i\gamma_D}$ окружности $\zeta = e^{i\gamma}$ при этом отвечают точки L_z соответственно C^-, C^+, D . Для определенности принимается, что $\gamma_{C^-} > 0$, тогда $0 < \gamma_{C^-} < \gamma_D < \gamma_{C^+} < \gamma_2$.

С учетом (4) из равенства $w(z) = \omega(\zeta)$ при $\zeta = e^{i\gamma}$ имеем

$$\begin{aligned} \varphi^-(x) &= \varphi_1(\gamma) - \Gamma, & \gamma_2 < \gamma \leq 2\pi; & \varphi^-(x) = \varphi_1(\gamma), & 0 \leq \gamma < \gamma_{C^-}; \\ \varphi^+(x) &= \varphi_1(\gamma), & \gamma_{C^+} < \gamma < \gamma_2; & \varphi(y) = \varphi_1(\gamma), & \gamma_{C^-} < \gamma < \gamma_{C^+}; \end{aligned} \quad (5)$$

здесь $\varphi_1(\gamma) = -2U_0 \cos \gamma - 2U_0 \gamma \sin \gamma_1 + C^*, 0 \leq \gamma < 2\pi$.

Из первых равенств (5) находится зависимость $x = x(\gamma), 0 \leq \gamma \leq \gamma_{C^-}, \gamma_{C^+} \leq \gamma \leq 2\pi$, причем $x(0) = x(2\pi), x(\gamma_{C^-}) = x(\gamma_{C^+}) = x_C$, из последнего равенства (5) определяется зависимость $y = y(\gamma), \gamma_{C^-} < \gamma < \gamma_{C^+}$.

Таким образом, для искомой функции $z(\zeta)$ получаются краевые условия

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} z(e^{i\gamma}) &= x(\gamma), 0 \leq \gamma < \gamma_{C^-}, \gamma_{C^+} < \gamma \leq 2\pi; \\ \operatorname{Re} \left[e^{i\frac{\pi}{2}} z(e^{i\gamma}) \right] &= -y(\gamma), \gamma_{C^-} < \gamma < \gamma_{C^+}. \end{aligned}$$

Для аналитической функции $i\zeta z'(\zeta)$ с простым полюсом $\zeta = \infty$ и краевыми значениями $ie^{i\gamma} z'(e^{i\gamma}) = x'(\gamma) + iy'(\gamma) = \left(z(e^{i\gamma})\right)'_{\gamma}$ справедливо краевое условие

$$\operatorname{Re} \left[e^{-iv(e^{i\gamma})} \left(z(e^{i\gamma}) \right)'_{\gamma} \right] = c(e^{i\gamma}), \quad 0 \leq \gamma < 2\pi, \quad (6)$$

где $v(e^{i\gamma}) = -\frac{\pi}{2}$ и $c(e^{i\gamma}) = -y'(\gamma)$ при $\gamma_{c-} < \gamma < \gamma_{c+}$, $v(e^{i\gamma}) = 0$ и $c(e^{i\gamma}) = x'(\gamma)$, когда $0 \leq \gamma \leq \gamma_{c-}$, $\gamma_{c+} \leq \gamma \leq 2\pi$.

В формуле $T(\zeta) = [(\zeta - e^{i\gamma_{c+}})/(\zeta - e^{i\gamma_{c-}})]^{1/2}$, под $T(\zeta)$ понимается непрерывная в области $|\zeta| > 1$ ветвь с граничными значениями $\arg T(e^{i\gamma}) = -\frac{\pi}{2} + \frac{(\gamma_{c+} - \gamma_{c-})}{4}$ при $\gamma_{c-} < \gamma < \gamma_{c+}$, $\arg T(e^{i\gamma}) = \frac{(\gamma_{c+} - \gamma_{c-})}{4}$ на остальных участках интервала $(0, 2\pi)$.

Условие (6) представляется так:

$$\operatorname{Re} \left[e^{-i\tilde{v}(\tau)} \cdot \frac{it\tau z'(\tau)}{T(\tau)} \right] = \tilde{c}(\tau), \quad \tau = e^{i\gamma}, \quad 0 \leq \gamma < 2\pi,$$

$$\text{где } \tilde{v}(\tau) = v(\tau) - \arg T(\tau) = \frac{(\gamma_{c-} - \gamma_{c+})}{4} = v_*, \quad \tilde{c}(\tau) = \frac{c(\tau)}{|T(\tau)|}.$$

Таким образом, приходим к задаче Шварца для аналитической в области $|\zeta| > 1$ функции $e^{-i\tilde{v}(\zeta)} \cdot \frac{it\tau z'(\zeta)}{T(\zeta)}$ с простым полюсом $\zeta = \infty$. Пользуясь известным решением этой задачи ([4, С. 269-271, 287]), получаем формулу

$$i\zeta z'(\zeta) = e^{iv_* T(\zeta)} \left\{ -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \tilde{c}(e^{i\sigma}) \frac{e^{i\sigma} + \zeta}{e^{i\sigma} - \zeta} d\sigma + iB_0 + (A + iB)\zeta - \frac{A - iB}{\zeta} \right\}, \quad (7)$$

где B_0, B, A — произвольные действительные постоянные.

Функция $z(\zeta)$, производная которой определяется формулой (7) должна быть однозначной, следовательно, вычет функции $z'(\zeta)$ формулы (7) в точке $\zeta = \infty$ должен быть равным нулю:

$$iB_0 + d_1 + \frac{(A + iB)(e^{i\gamma_{c-}} - e^{i\gamma_{c+}})}{2} = 0,$$

где $d_1 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \tilde{c}(e^{i\sigma}) d\sigma$. Отсюда получим

$$A = -B_0 p + q d_1, \quad B = B_0 p + q d_1, \quad (8)$$

$$\text{где } p = \cos \frac{\gamma_{c+} + \gamma_{c-}}{2} / \sin \frac{\gamma_{c-} - \gamma_{c+}}{2}, \quad q = \sin \frac{\gamma_{c+} + \gamma_{c-}}{2} / \sin \frac{\gamma_{c-} - \gamma_{c+}}{2}.$$

Следовательно, B, A должны быть функциями от B_0 , определяемыми формулами (8). В дальнейшем будем считать в формуле (7) $A = A(B_0), B = B(B_0)$.

В соотношении (7) перейдем к пределу при $\zeta \rightarrow e^{i\gamma}$ ($|\zeta| > 1$), тогда, обозначая $I(\gamma) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \tilde{c}(e^{i\sigma}) \operatorname{ctg} \frac{\sigma - \gamma}{2} d\sigma$, будем иметь ([4, С. 39, 59])

$$x'(\gamma) = |T(e^{i\gamma})| [I(\gamma) + B_0 + 2A(B_0) \sin \gamma + 2B(B_0) \cos \gamma], \quad \gamma_{c-} < \gamma < \gamma_{c+}, \quad (9)$$

$$y'(\gamma) = |T(e^{i\gamma})| [I(\gamma) + B_0 + 2A(B_0) \sin \gamma + 2B(B_0) \cos \gamma], \quad 0 \leq \gamma \leq \gamma_{c-}, \gamma_{c+} \leq \gamma \leq 2\pi. \quad (10)$$

Зная производную $x'(\gamma)$ формулы (9), найдем функцию $x(\gamma)$ в интервале $(\gamma_{c-}, \gamma_{c+})$, аналогично по значениям $y'(\gamma)$ определим функцию $y(\gamma)$ в интервалах $(0, \gamma_{c-})$, $(\gamma_{c+}, 2\pi)$. Следовательно, определим координаты $z(e^{i\gamma}) = x(\gamma) + iy(\gamma)$, $0 \leq \gamma < 2\pi$, точек контура L_{ζ} . Форма этого контура зависит от произвольной действительной постоянной B_0 .

Обозначая $|w'(z)| = v(z)$ при $z = z(e^{i\gamma})$, на основании равенства $w(z) = \omega(\zeta)$ при $\zeta = e^{i\gamma}$ приходим к формуле

$$v(\gamma) = \frac{2U_0|\sin \gamma - \sin \gamma_1|}{\sqrt{(x'(\gamma))^2 + (y'(\gamma))^2}}, 0 \leq \gamma < 2\pi, \quad (11)$$

для вычисления распределения скорости $v = v(\gamma)$ на L_z , зависящей от B_0 в силу (9), (10).

Так как $w'(\infty) = \omega'(\infty)/z'(\infty)$ и согласно (7) $z'(\infty) = \frac{(A+iB)e^{iv_*}}{i}$, то $u_\infty e^{-i\eta_\infty} = -\frac{U_0 i}{[(A+iB)e^{iv_*}]}$, отсюда получаем выражение $u_\infty = \frac{U_0}{[A(B_0)+iB(B_0)]}$, $\eta_\infty = v_* + \frac{\pi}{2} + \arg(A(B_0) + iB(B_0))$.

Из формулы для v_∞ приходим к соотношению $(A(B_0))^2 + (B(B_0))^2 = \frac{U_0^2}{v_\infty^2}$, которые с учетом (10) запишем в виде $(B_0)^2 = \frac{U_0^2}{v_\infty^2} \cdot \frac{1}{p^2+q^2} - d_1^2$. Это соотношение служит для определения значения постоянной B_0 , так как согласно постановке задачи величина v_∞ считается заданной. Ясно, что здесь должно выполняться условие $\frac{U_0^2}{[d_1^2(p^2+q^2)]} \geq v_\infty^2$ (при невыполнении этого условия поставленная задача неразрешима). Тогда постоянная B_0 в частности определяется формулой $B_0 = -\left(\frac{U_0^2}{v_\infty^2} \cdot \frac{1}{p^2+q^2} - d_1^2\right)^{\frac{1}{2}}$. (Единственным будет значение $B_0 = 0$). Подставляя полученное в формулу (10), найдем $A = -B_0 p + q d_1$, $B = B_0 p + q d_1$ – значения постоянных, входящих в формулы (7), (9), (10), (11) и определим искомые функции $x'(\gamma), y'(\gamma), v(\gamma), \eta_\infty$. Если взять $B_0 = \left(\frac{U_0^2}{v_\infty^2} \cdot \frac{1}{p^2+q^2} - d_1^2\right)^{\frac{1}{2}}$, то получим другое решение задачи.

Используя результаты статьи [5] легко убедиться в том, что определяемая с учетом формул (9), (10) производная $(z(e^{i\gamma}))'_\gamma = x'(\gamma) + iy'(\gamma)$ непрерывна в точке $\gamma = \gamma_{C^+}$. Как видно из формул (9), (10), эта производная в точке $\gamma = \gamma_{C^-}$ обращается в бесконечность, точка C^- контура L_z является угловой, и скорость v в ней равна нулю.

Область D_z должна быть однолистной, так как в противном случае задача обтекания профиля L_z станет физически нереализуемой. Проблема однолистности области D_z в изучаемой обратной краевой задаче требует особого рассмотрения.

Уместно отметить лишь следующее. Нетрудно убедиться в том, что если сумма в квадратных скобках формул (9), (10) в точке $\gamma = \gamma_{C^-}$ принимает отрицательное значение, то область D_z будет неоднолистной. Поэтому постоянная B_0 указанных формул должна удовлетворять неравенству: $I(\gamma_{C^-}) + B_0 + 2A(B_0) \sin \gamma_{C^-} + 2B(B_0) \cos \gamma_{C^-} \geq 0$, которое с учетом (10) можно записать так: $I(\gamma_{C^-}) - B_0 + 2d_1 \operatorname{ctg} \frac{\gamma_{C^+} + \gamma_{C^-}}{2} \geq 0$. Для выполнения этого неравенства выбранное выше значение $B_0 < 0$ является предпочтительным чем положительное. Ясно, что это неравенство связано с поведением линии L_z вблизи точки C^- и не является достаточным условием однолистности области D_z .

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Тумашев Г.Г. Обратные краевые задачи и их приложения / Г.Г. Тумашев, М.Т. Нужин. – Казань: Изд-во КГУ. 1965. – 333 с.
2. Елизаров А.М. Обратные краевые задачи аэрогидродинамики / А.М. Елизаров, Н.Б. Ильинский, А.В. Поташов. – М.: Наука. 1994. – 440 с.
3. Салимов Р.Б. Решение обратной краевой задачи аэрогидродинамики в новой постановке / Р.Б. Салимов // Известия вузов. Математика. 2017, №9 – С. 96-101.
4. Гахов Ф.Д. Краевые задачи / Ф.Д. Гахов. – М.: Наука, 1977. – 641 с.
5. Салимов Р.Б. К вычислению сингулярных интегралов с ядром Гильберта / Р.Б. Салимов // Известия вузов. Математика. 1970, №12 – С. 93-96.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tumashev G.G. Obratnyi kraevye zadachi i ih prilozhenia [Inverse boundary value problems and their applications] / G.G. Tumashev, M.T. Nuzhin. – Kazan: KSU publishing house. 1965. – 333 p. [in Russian]
2. Elizarov A.M. Obratnyi kraevye zadachi aerogidrodinamyki [Reverse regional tasks of aerodynamics] / A.M. Elizarov, N.B. Ilyinsky, A.V. Potashov. – M.: Science. 1994. – 440 p. [in Russian]
3. Salimov R.B. Rashenyie obratnoy kraevoy zadachi aerogidrodinamyki v novoy postanovke [Solving the reverse edge of the aerodynamics in the new production] / R.B. Salimov // Bulletin of universities. Mathematics. – 2017 – No.9 – P. 96-101. [in Russian]
4. Gahov F.D. Kraevye zadachi. [Boundary value problems] M.:Nauka, 1977. – 641 p. [in Russian]
5. Salimov R.B. K vychisleniu singulyarnykh integralov s yadrom Hilberta [To the calculation of singular intergals with the core of Hilbert] / R.B. Salimov // Bulletin of universities. Mathematics. – 1970, – No.12 – P. 93-96. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.002>**К ИССЛЕДОВАНИЮ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКОГО ОСЦИЛЛЯТОРА С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ, ОБЛАДАЮЩЕЙ НАСЫЩЕНИЕМ**

Научная статья

Антоновская О.Г.^{1,*}, Бесклубная А.В.²¹ORCID: 0000-0002-5688-7996;^{1,2} Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия

* Корреспондирующий автор (olga.antonovskaja[at]yandex.ru)

Аннотация

Весьма эффективным средством исследования колебательных процессов в различных разделах физики и техники является аппарат теории дифференциальных уравнений. Естественно, наиболее доступными для исследования являются колебательные системы с малой нелинейностью. Причем до сих пор особый интерес представляет изучение систем, близких к гармоническому осциллятору (квазигармонический осциллятор). В настоящей работе приведен пример исследования квазигармонического осциллятора (с нелинейностью, обладающей насыщением) методом приближенных точечных отображений. Вопрос о его синхронизации сводится к решению вопроса о существовании неподвижных точек точечного отображения, при построении которого применяется метод последовательных приближений. Обсуждается вопрос о локальной применимости результатов приближенного исследования.

Ключевые слова: квазигармонический осциллятор, насыщение нелинейности, малый параметр, асимптотические методы исследования, метод точечных отображений.

ON STUDY OF QUASIHARMONIC OSCILLATOR WITH NONLINEARITY AND SATURATION

Research article

Antonovskaya O.G.^{1,*}, Besklubnaya A.V.²¹ORCID: 0000-0002-5688-7996;^{1,2} Nizhny Novgorod State University of Architecture, Building and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

* Corresponding author (olga.antonovskaja[at]yandex.ru)

Abstract

The apparatus of the theory of differential equations is a very effective means for studying oscillatory processes in various branches of physics and technology. Naturally, the most accessible for investigation are oscillatory systems with low nonlinearity. Moreover, the study of systems close to a harmonic oscillator (quasi-harmonic oscillator) is still of particular interest. In this paper, we give an example of the study of a quasi-harmonic oscillator (with non-linearity with saturation) by the method of approximate point mappings. The question of its synchronization is reduced to solving the question of the existence of fixed points of a point mapping, in the construction of which the method of successive approximations is applied. The question of the local applicability of the results of an approximate study is discussed in the paper.

Keywords: quasiharmonic oscillator, nonlinearity saturation, small parameter, asymptotic research methods, point mapping method.

В настоящее время нет необходимости обосновывать важное значение колебательных процессов в современной физике и технике [1, С. 9]. Обнаружение и изучение колебательных закономерностей явлений различной физической природы составляют основные задачи теории нелинейных колебаний. В реальных системах отыскание колебаний, которые могут быть как желательными, так и нежелательными, является важной практической проблемой. А теория колебаний есть ветвь прикладной математики, которая едиными математическими методами исследует динамику различных объектов. В трудах по теории колебаний мощным инструментом исследования стали дифференциальные уравнения [1], [2]. Естественно, что на первом этапе развития теории колебаний исследователи стремились изучаемые ими колебательные процессы подводить под линейные схемы [2, С. 11-16]. Однако многочисленные исследования показали принципиальное отличие механики нелинейных колебаний от механики линейных колебаний (даже в случае малой нелинейности) [2, С. 13-18]. Поэтому возникает необходимость других подходов к решению нелинейных проблем. Например, каждая конкретная задача (или целый класс задач) трактуется уже как нелинейная, но индивидуально, с применением наиболее к ней подходящего метода, или с учетом некоторой ее специфики [1, С. 11]. Зато такой подход означает достаточное математическое обоснование каждой проблемы. Кроме того, следует отметить, что всякое описание реальной физической системы с помощью математических соотношений основано на некоторой идеализации ее свойств. Причем идеализация эта зависит не только от свойств рассматриваемой системы, но и от того, ответы на какие вопросы нужно получить.

Под колебательным процессом принято понимать процесс, обладающий той или иной степенью повторяемости. При изучении любой системы особый интерес представляют стационарные движения, т.е. движения, определяющие поведение системы в течение длительных промежутков времени. Стационарное движение это как бы предельное движение, к которому стремится система. К таким движениям относятся прежде всего состояния равновесия и периодические движения, которые устойчивы не только по отношению к малым изменениям координат, но и к малым изменениям самих уравнений, описывающих систему (в частности – малым изменениям параметров). Переходные процессы характеризуются тем стационарным движением, к которому они приближаются. Интерес представляет также смена стационарных движений, которая происходит при изменении некоторого параметра системы (бифуркация). Таким образом, целью исследования любой системы является изучение поведения траекторий в

фазовом пространстве системы, а также разбиение пространства параметров на области существования различных стационарных движений.

Для слабо нелинейных систем существует немало общих асимптотических методов исследования [2, С. 13-23]. Однако применение их в каждом конкретном случае может вызывать чисто технические трудности. Поэтому, естественно, приходится не только выбирать наиболее подходящий метод исследования такой системы, но и приспособлять его к особенностям рассматриваемой задачи.

До сих пор представляет интерес изучение систем близких к гармоническому осциллятору (квазигармонический осциллятор) [1, С. 650–663], [2, С. 19–21], [4]. В настоящей работе приведен пример исследования квазигармонического осциллятора (с нелинейностью, обладающей насыщением) методом приближенных точечных отображений [6], [7]. Вопрос о существовании периодических движений при этом сводится к решению вопроса о существовании и устойчивости простых неподвижных точек построенного точечного отображения. Обсуждается вопрос о локальной применимости результатов приближенного исследования. Системы с нелинейностью, обладающей насыщением (т.е. при больших значениях входной величины модуль выходной величины достигает максимального значения, а затем перестает меняться) [3, С. 265-269] играют особую роль в теории систем, поскольку такая ситуация имеет место во многих технических системах.

Согласно, при исследовании динамики синхронизуемого осциллятора

$$\ddot{x} + x = \mu \cdot f(x, \dot{x}, t/p) \quad (1)$$

в котором $0 < \mu \ll 1$ есть параметр, характеризующий близость системы к гармоническому осциллятору, а $2p\pi$ – период внешней силы, методом точечных отображений [10], исследование поведения траекторий (1) может быть сведено к изучению точечного отображения T секущей поверхности $t = [t/(2p\pi)]2p\pi$ фазового пространства $x, y = \dot{x}, t$ в себя [6], [7], порожденного траекториями системы. При этом с точностью до величин порядка μ^2 точечное отображение T может быть приближено точечным отображением \tilde{T} с функциями последования

$$\tilde{x} = [x_0 - \mu F_1(x_0, y_0)] \cos 2p\pi + [y_0 + \mu F_1(x_0, y_0)] \sin 2p\pi, \quad (2)$$

$$\tilde{y} = -[x_0 - \mu F_1(x_0, y_0)] \sin 2p\pi + [y_0 + \mu F_1(x_0, y_0)] \cos 2p\pi, \quad (3)$$

где

$$F_1(x_0, y_0) = \int_0^{2p\pi} f(x_0 \cos t + y_0 \sin t, -x_0 \sin t + y_0 \cos t, t/p) \sin t \, dt \quad (4)$$

$$F_2(x_0, y_0) = \int_0^{2p\pi} f(x_0 \cos t + y_0 \sin t, -x_0 \sin t + y_0 \cos t, t/p) \cos t \, dt \quad (5)$$

Изучение условий существования синхронного режима с периодом внешней силы может быть проведено с помощью изучения условий существования и устойчивости простой неподвижной точки $\tilde{x} = x_0 = x^*, \tilde{y} = y_0 = y^*$ отображения \tilde{T} .

Особый интерес представляет изучение движений квазигармонического осциллятора вблизи главного резонанса ($p \approx 1 + \mu\xi$). В дальнейшем будем рассматривать квазилинейное дифференциальное уравнение вида

$$\ddot{x} + x = \mu[-\dot{x} - \xi x - E_0 f_\delta(\dot{x}) + A \cos t], \quad (6)$$

$0 < \mu \ll 1, A > 0$, или, если ввести $y = \dot{x}$, систему

$$\dot{x} = y, \quad \dot{y} = -x + \mu[-y - \xi x - E_0 f_\delta(y) + A \cos t], \quad (7)$$

$$\dot{x} = y,$$

где функция $f_\delta(y)$ имеет вид (рис.1)

$$f_\delta(y) = \begin{cases} -1, & y \leq -\delta, \\ -y^3/2\delta^3 + 3y/2\delta, & |y| \leq \delta, \\ 1, & y \geq \delta. \end{cases} \quad (8)$$

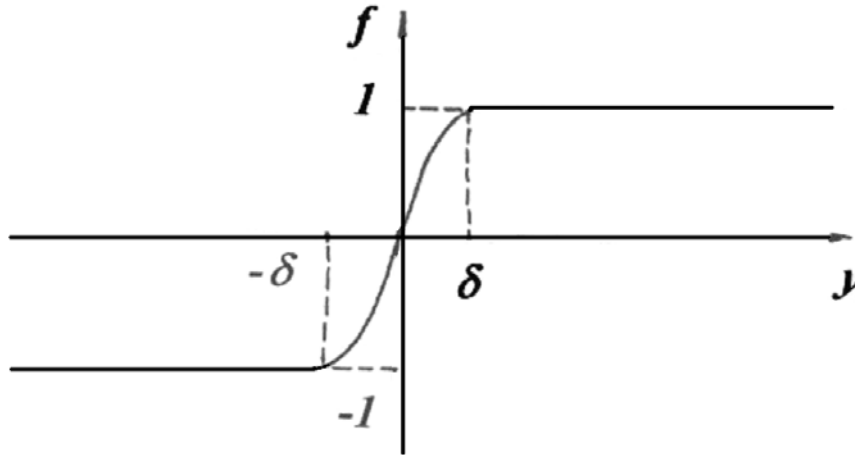


Рис. 1 – Вид нелинейности

Заметим, что функция $f_\delta(y)$ является непрерывной и непрерывно дифференцируемой при всех значениях аргумента, параметр δ характеризует близость функции к нелинейности типа $\text{sgn}[y]$ (при $\delta \rightarrow 0$ $f_\delta(y)$ стремится к $\text{sgn}[y]$). Будем искать условия существования у (7) периодического решения с периодом 2π .

Для системы (7) приближенно построенное отображение \tilde{T} секущей поверхности имеет вид

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_0 - \mu\pi\{x_0[1 + (3E_0/(8\delta^3))(x_0^2 + y_0^2 - 4\delta^2)] - \xi y_0\}, & x_0^2 + y_0^2 \leq \delta^2, \\ x_0 - \mu\pi\{x_0[1 + (E_0/\pi)[((3/4)(x_0^2 + y_0^2 - 4\delta^2)/\delta^3)(\arcsin(\delta/\sqrt{x_0^2 + y_0^2}) - \delta\sqrt{x_0^2 + y_0^2 - \delta^2}/(x_0^2 + y_0^2)) - (9/2)(\sqrt{x_0^2 + y_0^2 - \delta^2}/(x_0^2 + y_0^2))] - \xi y_0\}], & x_0^2 + y_0^2 \geq \delta^2, \end{cases} \quad (9)$$

$$\tilde{y} = \begin{cases} y_0 - \mu\pi\{\xi x_0 + y_0[1 + (3E_0/(8\delta^3))(x_0^2 + y_0^2 - 4\delta^2)] - A\}, & x_0^2 + y_0^2 \leq \delta^2, \\ y_0 - \mu\pi\{\xi x_0 + y_0[1 + (E_0/\pi)[((3/4)(x_0^2 + y_0^2 - 4\delta^2)/\delta^3)(\arcsin(\delta/\sqrt{x_0^2 + y_0^2}) - \delta\sqrt{x_0^2 + y_0^2 - \delta^2}/(x_0^2 + y_0^2)) - (9/2)(\sqrt{x_0^2 + y_0^2 - \delta^2}/(x_0^2 + y_0^2))] - A\}], & x_0^2 + y_0^2 \geq \delta^2 \end{cases}$$

При $x_0^2 + y_0^2 = \delta^2$ обе формулы приводят к соотношениям

$$\tilde{x} = x_0 - \mu\pi\{(1 - 9E_0/(8\delta^3))x_0 - \xi y_0\}, \quad (10)$$

$$\tilde{y} = y_0 - \mu\pi\{\xi x_0 + (1 - 9E_0/(8\delta^3))y_0 - A\}, \quad (11)$$

т.е. \tilde{T} непрерывно. Следует также отметить, что отображение \tilde{T} при $\delta \rightarrow 0$ принимает вид, отвечающий случаю $\text{sgn}[y]$ [6], [7].

Рассмотрим общий случай, $\delta \geq 0$. Условия $\tilde{x} = x_0 = x^*$, $\tilde{y} = y_0 = y^*$ дают соотношения

$$x^* = \frac{\xi \rho}{A},$$

$$y^* = \begin{cases} (\rho/A)(1 + (3E_0/(8\delta^3))(\rho - 4\delta^2)), 0 < \rho \leq \delta^2, \\ \frac{\rho}{A} \left(1 + \frac{E_0}{\pi} \left(\frac{3}{4} \left(\frac{\rho - 4\delta^2}{\delta^3} \right) \left(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta \sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho} \right) - \frac{9}{2} \left(\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho} \right) \right) \right), \\ \rho \geq \delta^2, \end{cases} \quad (12)$$

где $\rho = (x^*)^2 + (y^*)^2 > 0$ находится в силу одного из уравнений

$$A^2 = \rho \left[\xi^2 + \left(1 + (3E_0/(8\delta^3))(\rho - 4\delta^2) \right)^2 \right], 0 < \rho \leq \delta^2,$$

$$A^2 = \rho \left[\xi^2 + \left(1 + \frac{E_0}{\pi} \left(\frac{3}{4} \left(\frac{\rho - 4\delta^2}{\delta^3} \right) \left(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta \sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho} \right) - \frac{9}{2} \left(\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho} \right) \right) \right)^2 \right], \quad (13)$$

$$\rho \geq \delta^2,$$

Т.е. неподвижные точки \tilde{T} существуют только в случае существования корней $\rho > 0$ уравнения (13).

Анализ уравнения $F(\rho) = A^2$ резонансной кривой при $\rho > \delta^2$ и $0 < \rho \leq \delta^2$ позволяет сделать вывод о существовании при малых A двух ветвей этой кривой (замкнутой и разомкнутой), куски которых, расположенные в областях $0 < \rho < \delta^2$ и $\rho > \delta^2$, стыкуются при $\rho = \delta^2$ с общей касательной. Причем кривая $F(\rho) = A^2$ имеет на плоскости ξ, ρ горизонтальную касательную при $\xi = 0, \rho = 0$, а вертикальную может иметь только в точках кривой K

$$\xi^2 + (1 + (3E_0)/(8\delta^3))(\rho - 4\delta^2)(1 + (3E_0)/(8\delta^3))(3\rho - 4\delta^2) = 0, \quad 0 < \rho \leq \delta^2,$$

$$\xi^2 + \left(1 + \frac{E_0}{\pi} \left(\frac{3}{4} \frac{\rho - 4\delta^2}{\delta^3} \left(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta \sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho} \right) - \frac{9}{2} \frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho} \right) \right) \left(1 + \right.$$

$$\left. + \frac{E_0}{\pi} \left(\frac{3}{4} \frac{3\rho - 4\delta^2}{\delta^3} \left(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta \sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho} \right) - \frac{9}{2} \frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho} \right) \right) = 0, \quad \rho > \delta^2. \quad (14)$$

Следует отметить, что кривая K лежит в области $\rho > 0$ при $\delta < (3/2)E_0$.

При $0 < \rho \leq \delta^2$ (14) есть уравнение эллипса с центром в точке $\xi = 0, \rho = (16\delta^3)/(9E_0)((3E_0)/(2\delta) - 1)$ и главными диаметрами $(\sqrt{3}/3)/|1 - (3E_0)/(2\delta)|$ и $(8\delta^3)/(9E_0)/|(3E_0)/(2\delta) - 1|$ по ξ, ρ соответственно. Заметим, что кривая (14) имеет общие точки с областью $0 < \rho \leq \delta^2$ в случае $\delta < (3/2)E_0$ только при $\delta \geq (3/8)E_0$. При $\delta \geq (9/8)E_0$ эллипс (14) целиком лежит в полосе $0 < \rho \leq \delta^2$, а при $\delta \rightarrow (3/2)E_0$ сжимается в точку $\xi = 0, \rho = 0$. При $\rho > \delta^2$ уравнение кривой K имеет более сложный вид, но это также замкнутая кривая. Примерный вид резонансных кривых в случае $E_0 = 1$ для различных δ представлен на рис.2-3.

Устойчивость неподвижных точек (12) отображения \tilde{T} (9) определяется корнями характеристического полинома

$$P(z) = \begin{cases} [z - (1 - \mu\pi(1 + \frac{3E_0}{4\delta^3}(\rho - 2\delta^2)))]^2 + (\mu\pi)^2 [\xi^2 - (\frac{3E_0}{8\delta^3}\rho)^2], \\ 0 < \rho \leq \delta^2, \\ [z - (1 - \mu\pi(1 + \frac{E_0}{\pi}(\frac{3}{2}\frac{\rho - 2\delta^2}{\delta^3}(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}) - 3\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho})))]^2 + \\ + (\mu\pi)^2 [\xi^2 - (\frac{3E_0}{4\pi}(\frac{\rho}{\delta^3}(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \delta\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}) + 2\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}))^2], \rho \geq \delta^2. \end{cases}$$

Корни полинома $P(z)$ будут действительными, если выражение, стоящее в квадратных скобках при $(\mu\pi)^2$, будет отрицательным, и комплексно-сопряженными в случае его положительности. То есть, уравнение границы N_ω появления пары комплексно-сопряженных корней характеристического полинома в этом случае будет иметь вид

$$\xi = \xi_\omega = \begin{cases} \pm (3E_0)/(8\delta^3)\rho, 0 < \rho \leq \delta^2, \\ \pm \frac{3}{4}\frac{E_0}{\pi}(\frac{\rho}{\delta^3}(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \delta\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}) + 2\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}), \rho > \delta^2 \end{cases} \quad (15)$$

причем легко видеть, что отрезки кривых, получаемых по уравнению (15) при $0 < \rho < \delta^2$ и $\rho > \delta^2$ стыкуются при $\rho = \delta^2$ в точках $\xi = \pm (3E_0)/(8\delta)$ с одной и той же касательной $\xi' = \pm (3E_0)/(8\delta^3)$.

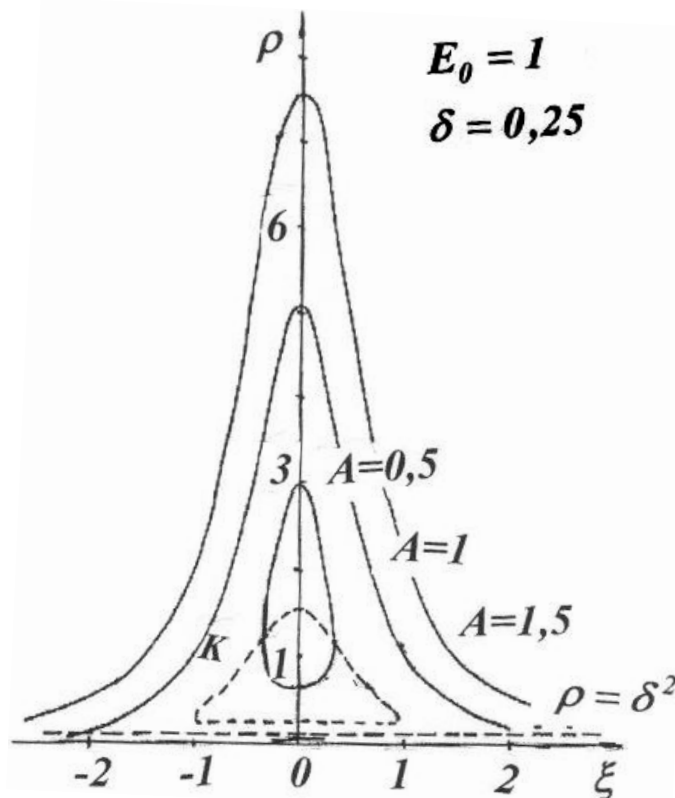
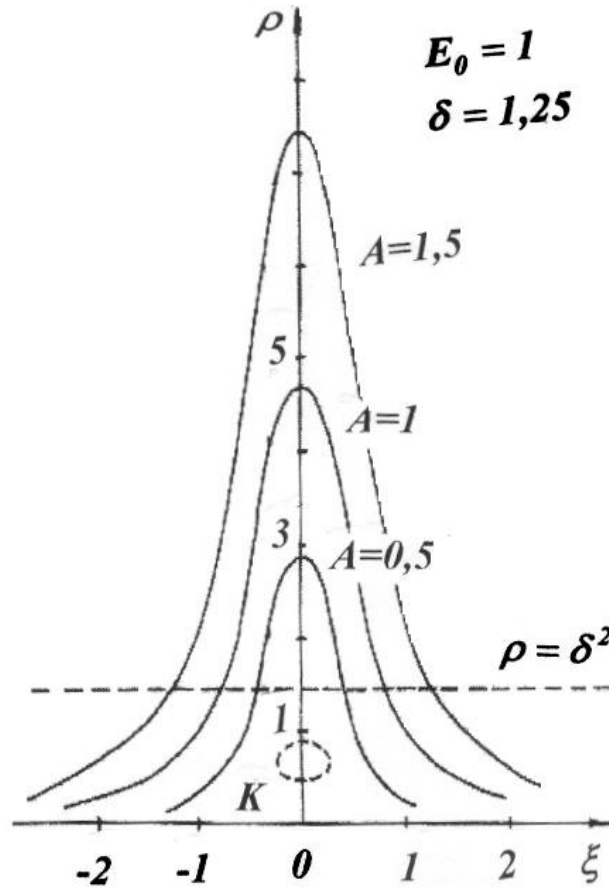


Рис. 2 – Вид резонансных кривых при $\delta = 0,25$

Рис. 3 – Вид резонансных кривых при $\delta = 1,25$

Уравнения границ N_+, N_-, N_φ области устойчивости на плоскости ξ, ρ могут быть получены методом D -разбиений [11, С. 86-107] и имеют следующий вид. Для $N_+(z = 1)$ получаются уравнения, не зависящие от μ и совпадающие с уравнениями кривой K (13).

Уравнение $N_-(z = -1)$ есть

$$\begin{aligned}
 & [2 - \mu\pi(1 + \frac{3E_0}{8\delta^3}(\rho - 4\delta^2))][2 - \mu\pi(1 + \frac{3E_0}{8\delta^3}(3\rho - 4\delta^3))] + (\mu\pi\xi)^2 = 0, 0 < \rho \leq \delta^2, \\
 & [2 - \mu\pi(1 + \frac{E_0}{\pi}(\frac{3}{4}\frac{\rho - 4\delta^2}{\delta^3}(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}) - \frac{9}{2}\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}))][2 - \mu\pi(1 + \\
 & + \frac{E_0}{\pi}(\frac{3}{4}\frac{3\rho - 4\delta^2}{\delta^3}(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}) - \frac{3}{2}\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho})))] + (\mu\pi\xi)^2 = 0, \\
 & \rho \geq \delta^2,
 \end{aligned} \tag{16}$$

причем в случае существования точек кривой N_- , для которых $\rho = \delta^2$, отрезки N_- , соответствующие значениям $0 < \rho < \delta^2$ и $\rho > \delta^2$, стыкуются в точках $\rho = \delta^2$ с одной и той же касательной.

Следует отметить, что при $\mu \neq 0$ уравнение границы N_- при $0 < \rho \leq \delta^2$ описывает эллипс с центром в точке

$$\xi = 0, \rho = (16\delta^3)/(9E_0)((3E_0)/(2\delta) - 1 + 2/(\mu\pi)),$$

и главными диаметрами $(\sqrt{3}/3)/(3E_0)/(2\delta) - 1 + 2/(\mu\pi)$ по ξ и $(8\delta^3)/(9E_0)/(3E_0)/(2\delta) - 1 + 2/(\mu\pi)$ по ρ соответственно. При $(3E_0)/2 < \delta$ описываемый первым уравнением (16) эллипс всегда лежит в области $\rho > 0$.

Уравнение границы N_φ имеет вид ($\mu \neq 0$)

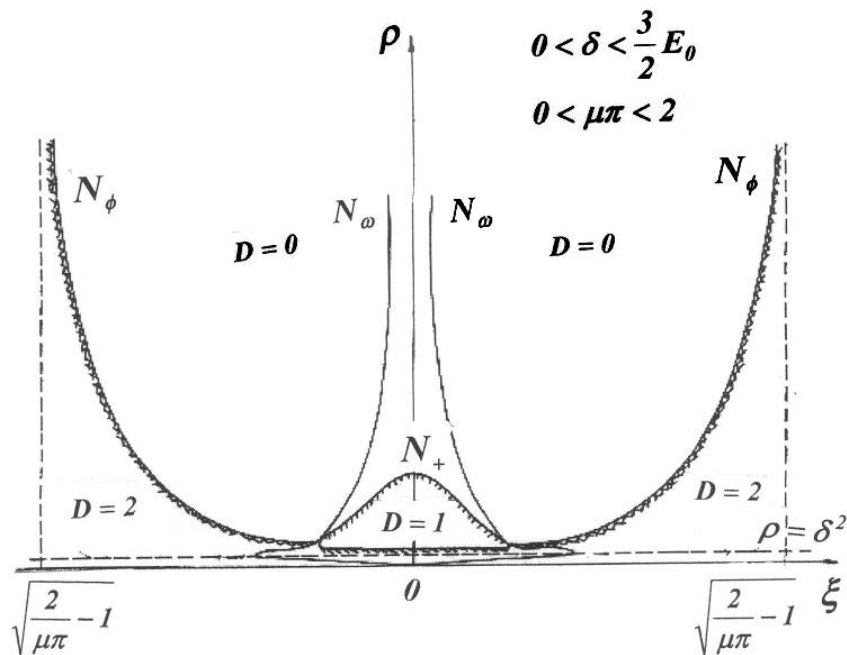
$$\begin{aligned} \mu\pi[(1 + \frac{3E_0}{8\delta^3}(\rho - 4\delta^2))(1 + \frac{3E_0}{8\delta^3}(3\rho - 4\delta^3)) + \xi^2] = 2 + \frac{3E_0}{2\delta^3}(\rho - 2\delta^3), 0 < \rho \leq \delta^2, \\ \mu\pi(\xi^2 + (1 + \frac{E_0}{\pi}(\frac{3}{4}\frac{\rho - 4\delta^2}{\delta^3}(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}) - \frac{9}{2}\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}))(1 + \\ + \frac{E_0}{\pi}(\frac{3}{4}\frac{3\rho - 4\delta^2}{\delta^3}(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}) - \frac{3}{2}\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho})) = \\ 2 + 3\frac{E_0}{\pi}(\frac{\rho - 2\delta^2}{\delta^3}(\arcsin \frac{\delta}{\sqrt{\rho}} - \frac{\delta\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}) - 2\frac{\sqrt{\rho - \delta^2}}{\rho}), \rho > \delta^2 \end{aligned} \quad (17)$$

Кривая N_φ начинается в точках касания границ N_+ , N_ω и имеет асимптоты $\xi = \pm\sqrt{2/(\mu\pi) - 1}$, если $0 < \mu\pi < 2$.

На рис.4 представлен примерный вид границ D -разбиения для значений $0 \leq \delta < (3/2)E_0$. Область $D=0$ есть область устойчивости. Факт существования устойчивых неподвижных точек отображения \tilde{T} при $A=const$ и различных ξ может быть установлен наложением картины поведения границ D -разбиения на плоскости ξ, ρ при заданном μ на плоскость с резонансной кривой при заданном A [6], [7].

Заметим, что ввиду ограниченности нелинейности в формулах точечного отображения \tilde{T} , можно показать, что модель является невырожденной (т.е. бесконечность в приближенной модели, как и в реальной системе, неустойчива) [6; 7, С. 75-78]. Таким образом, если нелинейность в исходной системе ограничена, то в пространстве параметров для любого конечного значения μ существует, хотя и ограниченная по $|\xi|$, область невырожденности математической модели (при $\mu \rightarrow +0$ область невырожденности приближенной модели все более расширяется и стремится к $-\infty < \xi < +\infty$, что соответствует результатам, получаемым численными методами при исследовании исходной системы). Факт существования области невырожденности рассматриваемой приближенной модели связан с тем, что в отличие от случаев с полиномиальной нелинейностью, для случая нелинейности, обладающей насыщением, при $0 < \mu\pi < 2$ не существует границы N_- смены устойчивости неподвижных точек \tilde{T} в пространстве параметров.

В заключение отметим, что предложенная методика исследования основана на применении асимптотических методов. Поэтому по-прежнему актуальной является проблема получения адекватных результатов изучения системы (7) с малым параметром по ее приближенному исследованию [1, С. 650-707], [10, С. 213-218]. Причем речь идет как о количественном, так и о качественном исследовании системы [6], [7, С. 81-88]. Одним из таких методов оценки достоверности сделанных выводов может быть метод, описанный в работах [7, С. 14-35, 12].

Рис. 4 – Примерный вид границ D -разбиения**Конфликт интересов**

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Андронов А. А. Теория колебаний / А. А. Андронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин. – М.: Физматгиз, 1959. – 916 с.
2. Боголюбов Н. Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний / Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский. – М.: Наука, 1974. – 504 с.
3. Пономарев В. М. Основы автоматического регулирования и управления / В.М. Пономарев, А. П. Литвинов. – М.: Высшая школа, 1974. – 439 с.
4. Журавлев В. М. Построение огибающей и локальной частоты стохастического процесса на основе модели осциллятора с флуктуирующей частотой / В. М. Журавлев, П. П. Миронов, С. В. Летуневский // Изв. вузов. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2013. – №3(27). – С. 159–169.
5. Ивинская Е. Ю. Теоретические аспекты исследования неравновесных экономических систем на основе модели гармонического осциллятора / Е. Ю. Ивинская // Теория и практика общественного развития. Экономические науки. – 2015. – № 21. – С. 57–59.
6. Антоновская О. Г. О влиянии насыщения нелинейности на результаты исследования принудительной синхронизации методом приближенных точечных отображений / О. Г. Антоновская // Математическое моделирование и оптимальное управление: Вестник ННГУ, Нижний Новгород. – 1999. – № 2(21). – С. 198–208.
7. Антоновская О. Г. Метод точечных отображений в задачах нелинейной динамики / О. Г. Антоновская, В. И. Горюнов. – Гамбург: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 140 с.
8. Антоновская О. Г. Об одном случае исследования принудительной синхронизации методом приближенных точечных отображений / О. Г. Антоновская, М. Н. Зайцева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. – № 8(74). – С. 7–14.
9. Антоновская О. Г. Об изложении приложений метода точечных отображений в учебном процессе / О. Г. Антоновская, А. В. Бесклубная // Тенденции развития науки и образования. – 2019. – № 49. – Ч. 1. – С. 12–17.
10. Неймарк Ю. И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. / Ю. И. Неймарк. – М.: Наука, 1972. – 472 с.
11. Неймарк Ю. И. Динамические системы и управляемые процессы. Изд. 2-е. / Ю. И. Неймарк. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 336 с.
12. Антоновская О. Г. О приближенном исследовании близкого к тождественному точечного отображения плоскости в плоскость / О. Г. Антоновская // Математическое моделирование и оптимальное управление: Вестник ННГУ, Нижний Новгород. – 2004. – № 1(27). – С. 63–69.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Andronov A. A. Teoriya kolebaniy [Vibrations theory] / A. A. Andronov, A. A. Vitt, S. Yu. Haykin. – M.: Fizmatgiz, 1959. – 916 p. [in Russian]
2. Bogolyubov N. N. Asimptoticheskiye metody v teorii nelineynykh kolebaniy [Asymptotic methods in nonlinear vibrations theory] / N. N. Bogolyubov, A. Yu. Mitropolskiy – M.: Nauka, 1974. – 504 p. [in Russian]
3. Ponomarev V. M. Osnovy avtomaticheskogo regulirovaniya i upravleniya [Principles of automatic regulation and control] / V. M. Ponomarev, A. P. Litvinov – M.: Vysshaya shkola, 1974. – 439 p. [in Russian]
4. Zhuravlev V. M. Postroeniye ogibayushey b lokalnoy chastoty stokhasticheskogo protsesssa na osnove modeli ossillyatora s fluktuiruyushey chastoty [The construction of envelope and local frequency of stochastic process on the base of oscillator with fluctuating frequency] / V. M. Zhuravlev, P. P. Mironov, S. V. Letunovskiy // Izv. Vuzov. Povolzhskiy region. Fiziko-

matematicheskoye nauki. [Higher educational proceedings of Povolzhsky region. Physical and mathematical sciences] – 2013. – № 3(27) – P. 159–169. [in Russian]

5. Ivinskaya E. Yu. Teoreticheskiye aspekty issledovaniya neravnovesnykh ekonomicheskikh system na osnove modeli garmonicheskogo oscillyatora [Teoretical aspects of studying non-equilibrium economic systems based on the model of harmonic oscillator] / E. Yu. Ivinskaya // Teoriya i praktika obshestvennogo razvitiya. Ekonomicheskoye nauki [Theory and practice of public development. Economic sciences] – 2015. – № 21 – P. 57–59. [in Russian]

6. Antonovskaya O. G. O vliyani nasysheniya nelineynosti na rezultaty issledovaniya prinuditelnoy sinkhronizatsii metodom priblizhennykh tochechnykh otobrazheniy [On the influence of nonlinearity saturation on the results of the forced synchronization received by means of approximate point mappings method] / O. G. Antonovskaya // Matematicheskoye modelirovaniye i optimalnoye upravleniye. Vestnik NNGU [Mathematical modeling and optimal control. NNGU bulletin] , Nizhny Novgorod. – 1999. – № 2(21). – P. 198–208. [in Russian]

7. Antonovskaya O. G. Metod tichechnykh otobrazheniy v zadachakh nelineynoy dinamiki [Point mappings method in non-linear dynamics problems] / O. G. Antonovskaya, V. I. Goryunov. – GmbH: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 140 p. [in Russian]

8. Antonovskaya O. G. Ob odnom sluchae issledovaniya prinuditelnoy sinkhronizatsii metodom priblizhennykh tochechnykh otobrazheniy [Investigation of forced synchronization by the method of approximate point mappings] / O. G. Antonovskaya, M. N. Zaytseva // International research journal – 2018. – № 8(74). – P. 7–14. [in Russian]

9. Antonovskaya O. G. Ob izlozhenii prilozheniy metoda tochechnykh otobrazheniy v uchebnom protsesse [On giving in account of applications of point mappings method in teaching process] / O. G. Antonovskaya, A. V. Besklunaya // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Tendencies of science and education development] – 2019. – № 49. – Part 1. – P. 12–17. [in Russian]

10. Neymark Yu. I. Metod tichechnykh otobrazheniy v teriyi nelineynykh kolebaniy [Point mappings method in non-linear vibrations theory] / Yu. I. Neymark. – M.: Nauka, 1972. – 472 p. [in Russian]

11. Neymark Yu. I. Dinamicheskoye sistemy i upravlyaemye protsessy [Dynamical systems and controllable processes] / Yu. I. Neymark. – M.: «LIBROKOM», 2010. – 336 p. [in Russian]

12. Antonovskaya O. G. O priblizhennom issledovanii blizkogo k tozhdestvennomu tochechnogo otobrazheniya ploskosti v ploskost [On the approximate study of close to identical point mapping plain to plain] / O. G. Antonovskaya // Matematicheskoye modelirovaniye i optimalnoye upravleniye. Vestnik NNGU [Mathematical modeling and optimal control. NNGU bulletin], Nizhny Novgorod. – 2004. – № 1(27). – P. 63–69. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.003>**О КОРРЕКТНОСТИ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ЛИНЕЙНОГО ДЕФЕКТА В УГЛОВОЙ ОБЛАСТИ**

Научная статья

Беркович В.Н. *

ORCID 0000-0003-0915-7170,

Донской казачий государственный институт пищевых технологий и бизнеса (филиал) «МГУТУ им.К.Г. Разумовского (ПКУ)», Ростов-на-Дону, Россия

* Корреспондирующий автор (vberkovich[at]mail.ru)

Аннотация

Работа посвящена анализу колебаний в упругом теле в форме прямого двугранного угла, возбуждаемых линейным дефектом, генерирующим сигналы акустической излучения. Предполагается, что в процессе роста дефект выходит на вершину угла, границы которого жестко закреплены. Изучаются вопросы корректности применения методов динамической теории упругости для моделирования указанного процесса. Указанная ситуация возникает при изучении проблемы надежности стыка элементов технологического оборудования, работающего в динамическом режиме. Аналогичная ситуация возникает при геофизическом анализе волновых процессов в угловых блоках земной коры. Проблема сведена к анализу некоторого граничного интегрального уравнения относительно скачка амплитуды напряжений на дефекте. Изучены вопросы разрешимости уравнения в пространствах дробной гладкости.

Ключевые слова: акустические свойства, излучение, граничное интегральное уравнение, неразрушающий контроль, угловая область, пространства дробной гладкости.

ON CORRECTNESS OF MATHEMATICAL MODELING METHOD OF ACOUSTIC RADIATION PROCESS FROM LINEAR DEFECT IN ANGULAR AREA

Research article

Berkovich V.N. *

ORCID 0000-0003-0915-7170,

Don Cossack State Institute of Food Technologies and Business (branch), MSUTU named after K.G. Razumovsky (PKU), Rostov-on-Don, Russia

* Corresponding author (vberkovich[at]mail.ru)

Abstract

This work is devoted to the analysis of vibrations in an elastic body in the form of a right dihedral angle excited by a linear defect generating acoustic radiation signals. It is assumed that during the growth process, the defect reaches the top of the angle, the boundaries of which are rigidly fixed. The author studied the problems of the correct application of the methods of the dynamic theory of elasticity for modeling this process. This situation arises when studying the problem of the reliability of the junction of elements of technological equipment operating in a dynamic mode. A similar situation arises in the geophysical analysis of wave processes in the angular blocks of the earth's crust. The problem is reduced to the analysis of some boundary integral equation with respect to the jump in the amplitude of the stresses at the defect. The questions of solvability of the equation in spaces of fractional smoothness are studied.

Keywords: acoustic properties, radiation, boundary integral equation, non-destructive testing, angular region, spaces of fractional smoothness.

Введение

Целью настоящей работы является математическое моделирование одного из состояний предразрушения узла, представляющего стык угловых упругих элементов, а также изучение вопросов корректности применения традиционных методов динамической теории упругости при математическом моделировании волновых процессов, возникающих в угловых элементах, диагностируемых методами неразрушающего контроля, как на предприятиях тяжелой индустрии, так и на предприятиях агропромышленного комплекса (предприятия хранения и переработки зерна, спиртодистиллерные и винодельческие предприятия, комбикормовые заводы и др.). В процессе длительной эксплуатации технологического оборудования в динамическом режиме появляется концентрация напряжений в угловой точке, и в её окрестности возникает дефект, развивающийся в направлении угловой точки и генерирующий акустическое излучение (акустическая эмиссия). Аналогичная ситуация может обнаруживаться и при анализе волновых геофизических процессов при образовании излучающих дефектов в угловых стыкующихся блоках земной коры. В работе рассматривается предразрушающее состояние, когда появление излучающего дефекта имеет место только в одном из угловых элементов. Угловым элементом моделируется упругим телом в форме прямого двугранного угла, грани которого находятся в условиях жесткого сцепления с остальными угловыми элементами, а излучающий дефект – линейным разрезом I конечной длины l , на берегах которого расположены источники колебаний (Рис.1). Разрез I выходит на вершину углового элемента под углом β к его границе.

Постановка задачи

Учитывая сказанное выше, будем рассматривать случай, когда границы упругой угловой области Ω являются неподвижными, а на разрезе I находятся источники гармонических колебаний пространственного сдвига, моделирующие сигналы АИ, задаваемые с помощью функции $f(x, y)e^{-i\omega t}$, где ω – круговая частота колебаний.

При этом предполагается, что источники колебаний на берегах разреза I^{\pm} когерентны и имеют одинаковую интенсивность.

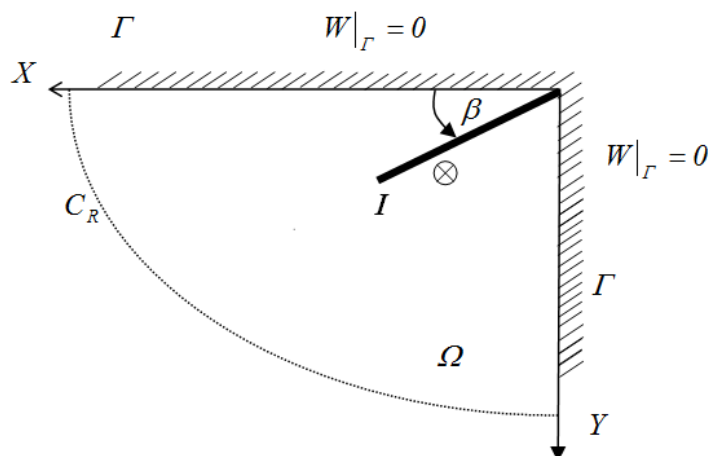


Рис. 1 – Линейный излучающий разрез **I** в угловой области, смещения \otimes границ разреза перпендикулярны плоскости чертежа

Известно, что в этом случае колебания смещений U упругой среды во времени τ могут быть описаны с помощью волнового уравнения (a - скорость распространения волн сдвига):

$$\Delta U = \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \tau^2} \quad (1)$$

Считая колебания установившимися и отыскивая смещения U в виде $U(x, y, \tau) = W(x, y)e^{-i\omega\tau}$ для изучения акустических свойств среды, приходим к следующей краевой задаче для уравнения Гельмгольца [1] относительно комплексной амплитуды $W(x, y)$ смещений в области прямого двугранного угла Ω с выходящим на его ребро линейным разрезом I конечной длины l :

$$\Delta W + k^2 W = 0, \quad k^2 = D\omega^2 \mu^{-1}$$

$$W|_I = 0, \quad W|_{I^\pm} = f(x, y), \quad (x, y) \in I^\pm \quad (2)$$

где μ – модуль сдвига, D – плотность материала угла, Γ – граница угловой области Ω , оси координат x, y направлены вдоль прямолинейных границ Γ . Будем предполагать, что при $r = \sqrt{x^2 + y^2} \rightarrow \infty$ функция $W(x, y) \rightarrow 0$ и выполняются условия излучения Зоммерфельда [2].

Ставится задача о восстановлении волнового поля $W(x, y)$ во всей рассматриваемой области Ω с помощью амплитуды смещений $f(x, y)$ берегов разреза I^\pm .

Замечание. Отметим, что, несмотря на локальный характер процесса образования дефекта, генерирующего сигналы акустического излучения (АИ), методика анализа акустических свойств и моделирования процесса антиплоскими колебаниями сдвига, тем не менее, приводит к удовлетворительным качественным результатам, как отмечается в работе [3] при моделировании явления акустической эмиссии, порождаемой линейными излучающими дефектами в предразрушающих состояниях упругих материалов.

Описание метода и полученные результаты

1. Метод исследования краевой задачи (2) основан на ее сведении к некоторому граничному интегральному уравнению (ГИУ) используя функцию Грина, с помощью которой любое регулярное решение уравнения Гельмгольца в конечной области S представимо в виде:

$$W(x, y) = \frac{I}{2\pi} \oint_C \left(\frac{\partial W}{\partial \nu} G - \frac{\partial G}{\partial \nu} W \right) dl_\nu, \quad (3)$$

где C – граница области S , ν – нормаль к границе, $G(x, y|\xi, \eta)$ – функция Грина для прямого угла без разреза, удовлетворяющая следующей краевой задаче ($\delta(x)$ – дельта – функция Дирака):

$$\Delta G + k^2 G = -2\pi \delta(x - \xi) \delta(y - \eta) \quad (4)$$

$$G|_{\eta=0} = 0, \quad G|_{\xi=0} = 0 \quad (5)$$

Кроме того, при $\rho = \sqrt{\xi^2 + \eta^2} \rightarrow \infty$ выполняется условие

$$G(x, y|\xi, \eta) \rightarrow 0 \quad (6)$$

и условия излучения Зоммерфельда.

Для нахождения функции Грина использовался метод интегрального преобразования Фурье [4]:

$$F(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{i\alpha x} dx, \quad f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\alpha) e^{-i\alpha x} d\alpha \quad (7)$$

и свойства δ -функции Дирака

$$\delta(x - \xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-i(x-\xi)\alpha} d\alpha, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(\xi) \delta(\xi - x) d\xi = f(x) \quad (8)$$

Выбирая функцию Грина, а также δ -функцию Дирака в форме интегрального преобразования Фурье (7), (8) и, осуществляя преобразования образующихся при этом контурных интегралов, приходим к следующему выражению вспомогательной функции G_0 для полупространства, удовлетворяющей только одному граничному условию

$$G_0|_{\eta=0} = 0:$$

$$G_0 = \frac{\pi i}{2} H_0^{(1)}(k\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}) - \frac{\pi i}{2} H_0^{(1)}(k\sqrt{(x-\xi)^2 + (y+\eta)^2}) \quad (9)$$

При этом полученные контурные интегралы были преобразованы с использованием интегрального представления функции Ханкеля [2]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{i\alpha x - |y|\sqrt{\alpha^2 - k^2}}}{\sqrt{\alpha^2 - k^2}} d\alpha = \pi i H_0^{(1)}(k\sqrt{x^2 + y^2})$$

Метод отражений позволяет с помощью вспомогательной функции G_0 (9) для полупространства построить функцию Грина G для прямого угла, которая будет удовлетворять граничным условиям (4)-(6) и имеет вид:

$$G(x, y|\xi, \eta) = \frac{\pi i}{2} \left[H_0^{(1)}(k\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}) - H_0^{(1)}(k\sqrt{(x-\xi)^2 + (y+\eta)^2}) \right] - \frac{\pi i}{2} \left[H_0^{(1)}(k\sqrt{(x+\xi)^2 + (y-\eta)^2}) - H_0^{(1)}(k\sqrt{(x+\xi)^2 + (y+\eta)^2}) \right] \quad (10)$$

$$R^- = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}, \quad R^+ = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y+\eta)^2}$$

$$R^{+-} = \sqrt{(x+\xi)^2 + (y-\eta)^2}, \quad R^{++} = \sqrt{(x+\xi)^2 + (y+\eta)^2}$$

2. Для получения граничного интегрального уравнения (ГИУ)

воспользуемся интегральным представлением (3). Выберем в (3) в качестве области S часть угловой области Ω , ограниченной контуром $C = \Gamma \cup I \cup C_R$, где C_R — окружность радиуса R замыкающая прямой угол с центром в его вершине. Перейдем в соотношении (3) к пределу при $R \rightarrow \infty$ с учетом условий убывания (6), условий Зоммерфельда и асимптотических представлениями функций Ханкеля [4]:

$$H_0^{(1)}(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi x}} e^{i\left(x - \frac{\pi}{4}\right)} \left[1 + O\left(\frac{1}{x}\right) \right], \quad x \rightarrow \infty$$

В результате указанных преобразований в соотношении (3) остается лишь интеграл по разрезу I , и выражение смещений в точках области Ω принимает вид:

$$W(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_I \left(\frac{\partial W}{\partial \nu} G \right) dl_\nu, \quad (x, y) \in \Omega \quad (11)$$

Устремим точку (x, y) на границу разреза I в соотношении (11). Тогда, переходя к локальным координатам по формулам:

$$\begin{cases} x = t \cos \beta \\ y = t \sin \beta \\ \xi = s \cos \beta \\ \eta = s \sin \beta \end{cases}, \quad 0 \leq t, s \leq l$$

приходим к следующему ГИУ относительно скачка нормальной производной $q(s) = \left[\frac{\partial W}{\partial \nu} \right]_I$ (безразмерных амплитуд напряжений) на разрезе I по заданным на нём амплитудам смещений $f(t) = f(t \cos \beta, t \sin \beta)$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^l q(s) G(t \cos \beta, t \sin \beta | s \cos \beta, s \sin \beta) ds = f(t), \quad 0 \leq t \leq l \quad (12)$$

где функция G определяется равенством (10).

Перейдем в представлении (10) функции G от функций Ханкеля к функциям Макдональда [4]:

$$G = [K_0(\chi R^{--}) - K_0(\chi R^{+-})] - [K_0(\chi R^{+-}) - K_0(\chi R^{++})], \quad \chi = -ik$$

$$R^{--} = |t - s|, \quad R^{+-} = \sqrt{t^2 + s^2 - 2ts \cos 2\beta}$$

$$R^{+-} = \sqrt{t^2 + s^2 + 2ts \cos 2\beta}, \quad R^{++} = |t + s|$$

Применение формул сложения [4] для функций Макдональда преобразует ГИУ (12) к следующему виду:

$$\mathbf{K}q = \int_0^l q(s) K(s, t) ds = f(t), \quad 0 \leq t \leq l \quad (13)$$

$$K(s, t) = \frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty K_{-ix}(\chi s) K_{-ix}(\chi t) ch \frac{\pi x}{2} sh \beta x sh \left(\frac{\pi}{2} - \beta \right) x dx.$$

3. Результат исследования ГИУ (13) может быть сформулирован в форме следующей теоремы.

Теорема. Оператор \mathbf{K} левой части ГИУ (12) однозначно обратим, как оператор, действующий в пространствах Соболева-Слободецкого [6] $W_2^\gamma(0, l)$, $\gamma = \pm \frac{1}{2}$ по правилу:

$$\mathbf{K} : W_2^{-1/2}(0, l) \rightarrow W_2^{1/2}(0, l)$$

Следуя известному в теории дифракции методу Фока, будем временно считать $\chi > 0$ и исследуем ГИУ (13), рассмотренное выше. Тогда оператор \mathbf{K} левой части ГИУ оказывается положительно определенным в пространстве обобщенных решений $H(0, l)$ уравнения (13), которое вводится с помощью нормы

$$\|q\|_{H_{(0,l)}} = \left(\int_0^\infty |Q(x)|^2 \tilde{K}(x) dx \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Q(x) = \sqrt{xsh\pi x} \int_0^l q(s) K_{-ix}(\chi s) ds, \quad \tilde{K}(x) = \frac{sh\beta x sh\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right)x}{xsh\frac{\pi x}{2}} > 0, \quad 0 < x < \infty$$

со скалярным произведением в виде (* означает комплексное сопряжение):

$$(q_1, q_2)_H = \int_0^\infty Q_1(x) Q_2^*(x) \tilde{K}(x) dx$$

Далее используется классическая теорема Рисса о единственности представления линейного непрерывного функционала в гильбертовом пространстве [5], которое приводит к следующему условию разрешимости ГИУ (13):

$$M^2 = \int_0^\infty \frac{|F_l(x)|^2}{\tilde{K}(x)} dx < \infty, \quad F_l(x) = \sqrt{xsh\pi x} \int_0^\infty f(s) K_{-ix}(\chi s) ds$$

Требуемый результат вытекает из двухсторонней оценки для M^2 , получаемой с использованием интегрального представления $K_{-ix}(\chi s)$ [4], а также равенства Парсеваля для интегрального преобразования Фурье

$$A_2 \int_0^\infty (1+p^2)^{\frac{l}{2}} |\bar{f}(p)|^2 dp < M^2 < A_1 \int_0^\infty (1+p^2)^{\frac{l}{2}} |\bar{f}(p)|^2 dp \quad (14)$$

$$\bar{f}(p) = \int_0^\infty f(t) \sin p t dt$$

Левая и правая части (14) представляют норму в пространстве дробной гладкости Соболева-Слободецкого $W_2^{1/2}(0, l)$, которому должна принадлежать функция $f(t)$ правой части (12). Из теоремы Рисса и оценок (14) следует $q(t) \in H(0, l) \subset W_2^{-1/2}(0, l)$, где пространство $W_2^{-1/2}(0, l)$ является сопряженным [6] к пространству $W_2^{1/2}(0, l)$. Доказательство обратного вложения приводит к результату теоремы.

Переход к случаю $\chi = -ik$ осуществляется на основе использования принципа аналитического продолжения [7], так как все рассмотренные в работе функции являются аналитическим по параметру χ в комплексной области $\operatorname{Re} \chi \geq 0$, $\chi \neq 0$, где, в частности, расположена и точка $\chi = -ik$.

Описанный результат согласуется с известными представлениями о граничных свойствах функций из пространств Соболева, в которых отыскиваются решения краевых задач динамической теории упругости. Для построения решения (13) можно использовать результаты работы [8] и восстановить волновое поле смещений в Ω с помощью представления (11), которое будет выражено через амплитуды $f(x, y)$ излучения с границ дефекта I .

Это позволяет утверждать однозначную разрешимость исходной краевой задачи (2) в пространстве Соболева $W_2^1(\Omega)$.

Заключение

Результаты, полученные для рассмотренного примера, позволяют утверждать корректность применения метода математического моделирования волнового процесса АИ на основе использования классических моделей динамической теории упругости. Восстановленное волновое поле в Ω при решении прямой задачи может служить основой для постановки и решения обратных задач [3], [9], [10] восстановления параметров излучения дефекта I по характеристикам сигналов АИ, регистрируемых акустико-эмиссионной либо геофизической аппаратурой.

Предложенный выше подход позволяет рассматривать и случаи других граничных условий на полубесконечных границах угловой области. Случаи, когда углы раствора угловых областей не равны 90° , а линейный дефект выходит

не на вершину угла, также могут быть рассмотрены в рамках предложенного подхода. Однако преобразования при этом оказываются достаточно громоздкими, и поэтому указанные случаи в данной работе не рассматриваются.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Рекач В.Г. Руководство к решению задач по теории упругости / В.Г. Рекач. – М.: Высшая школа. – 1977. – 275с.
2. Купрадзе В.Д. Граничные задачи теории колебаний и интегральные уравнения / В.Д. Купрадзе. – М.: ГИТТЛ. – 1958. – 280с.
3. Berkovich V.N. Amplitude Reconstruction of the Defect Radiation by Acoustic Emission Signals on the Unloaded Boundary of a Massive Body / V.N.Berkovich, S.I.Builo. // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – №4. – pp. 262-267.
4. Лебедев Н.Н. Специальные функции и их приложения / Н.Н.Лебедев. – М.–Л.: Наука. – 1968. – 358с.
5. Люстерник Л.А. Элементы функционального анализа / Л.А.Люстерник, В.И.Соболев. – М.: Наука. 1965. – 519с.
6. Бесов О.В. Интегральные представления функций и теоремы вложения / О.В.Бесов, В.П.Ильин, С.М.Никольский. – М.: Наука. – 1975. – 478с.
7. Привалов И.И. Введение в теорию функций комплексного переменного. М.: Наука. – 1967. – 376с.
8. Беркович В.Н. О точном решении одного класса интегральных уравнений смешанных задач упругости и математической физики / В.Н.Беркович // Докл.АН СССР. – 1982. – Т.267. – №2. – С.327-330.
9. Ватульян А.О. Прямые и обратные задачи для однородных и неоднородных упругих и электроупругих тел / А.О.Ватульян, А.Н.Соловьев. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ. – 2008. – 175 с.
10. Романов В.Г. Некоторые обратные задачи для уравнений гиперболического типа / В.Г. Романов. – Новосибирск: Наука. – 1972. – 315с.
11. Рябой В.З. Кинематические и динамические характеристики глубинных волн, связанных с границами в земной коре и верхней мантии / Рябой В.З. // Изв. АН СССР. – Сер.геофиз. – 1966–№3. – С.175-182

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rekach V.G. Rukovodstvo k resheniyu zadach po teorii uprugosti [The guide to solve the elasticity problems] / V.G.Rekach – M.: Visshaya shkola ['Higher School' Press], 1977. – M. – 275 P.[in Russian]
2. Kupradze V.D. Granichnie zadachi tiorii kolebaniy I integralniye uravneniya [Boundary value problems of the vibration theory and inttgral equations] / V.D. Kupradze. – M.: [Gosud. Izdat. Teoret. i Tehnich.Literfturi], – 1958. – 280 P. [in Russian]
3. Lebedev N.N. Spetsialniye funksii i ih prilogeniya [Special functions and its applications] / N.N. Lebedev– M.–L.: Nauka ['Science' Press], 1968.–358 P. [in Russian]
4. Berkovich V.N. Amplitude Reconstruction of the Defect Radiation by Acoustic Emission Signals on the Unloaded Boundary of a Massive Body // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – №4. – P. 262-267.
5. Lusternik L.A. Elementi funktsionalnogo analiza [Elements of the functional analysis] / L.A.Lusternik, V.I.Sobolev–M.: Nauka ['Science' Press], 1965.– 519 P. [in Russian]
6. Besov O.V. Integralniye predstavleniya funktsiy i teoremi vlozheniya [Integral representations' of function and embedding theirems] / O.V.Besov, V.P.Ilyin, S.M.Nikolskiy – M.: Nauka ['Science' Press],– 1975. – 478 P.
7. Privalov I.I. Vvedenie v teoriyu funktsiy kompleksnogo peremennogo [Introduction in the theory of the complex variable] / I.I.Privalov – M.: Nauka ['Science' Press], 1967.–376 P. [in Russian]
8. Berkovich V.N. O tochnom reshenii odnogo klassa integralnih uravneniy smeshannih zadach uprugosti I matematicheskoi fiziki [On the exact solution of some class of integral equations for mixed problems of elasticity and mathematical physics] / V.N.Berkovich // Dokladi Akademii Nauk SSSR [Reports of Academy of Sciences]. – 1982. V. – 267. – №2. – P. 327-330. [in Russian]
9. Vatulyan A.O. Pryamie i obrutniye zadachi dlya odnorodnih i neodnorodnih uprudih i elektrouprugih tel. [Right and inverse problems for heterogeneous and homogeneous elastic bodes] / A.O.Vatulyan, A.N.Solovyev.– Rostov-na-Donu: publishing house YUFU. [Southern Federal University Press] – 2008.– 175 P. [in Russian]
10. Romanov V.G. Nekotoriye obratniye zadachi dlya uravneniy hiperbolicheskogo tipa [Some inverse problems for equations of the hyperbolic type] / V.G.–Romanov. – Novosibirsk: Nauka [Science Press]. – 1972. – 315 P. [in Russian]
11. Ryaboy V.Z. Kinematicheskiye i dinamicheskiye harakteristiki glubinnih voln, svyazannih s granizami v zemnoy kore i verhney mantii [Kinematic and dynamic characteristics of depth waves connected with boundaries in the earth crust and upper mantle] / V.Z. Ryaboy. // Izv. AN SSSR [News of Russian Academy of Sciences]. – [Ser.Geophys.]. – 1966. №3. – P.175-182.[in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.004>**ОСОБЕННОСТИ СТЕНДА ПО СОЗДАНИЮ МАГНИТООПТИЧЕСКОЙ ЛОВУШКИ ДЛЯ АТОМОВ КАЛЬЦИЯ-40**

Научная статья

Саутенков В.А.¹, Саакян С.А.², Вильшанская Е.В.^{3,*}, Аршинова И.Д.⁴, Кудринский Д.А.⁵, Зеленер Б.Б.⁶^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, Москва, Россия;¹Физический институт им. Н. П. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия;^{4, 5, 6}Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия;²Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия;^{3, 6}Национальный исследовательский университет "Московский энергетический институт", Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (eva.villi[at]gmail.com)

Аннотация

Создан стенд для лазерного охлаждения и захвата атомов кальция в магнитооптическую ловушку (МОЛ). Получена МОЛ из атомов кальция-40 и оптимизированы ее параметры. Проведено наблюдение узкого резонанса флуоресценции атомного пучка кальция. Измерены частота и ширина резонанса на переходе $4s3d\ ^1D_2 - 4s5p\ ^1P_1$ кальция-40 по увеличению интенсивности резонансной флуоресценции в МОЛ.

Ключевые слова: лазерное охлаждение, магнитооптическая ловушка, лазерная спектроскопия.**MAIN FEATURES OF THE STAND FOR THE CREATION OF A MAGNETO-OPTIC TRAP FOR CALCIUM-40 ATOMS**

Research article

Sautenkov V.A.¹, Saakyan S.A.², Vilshanskaya E.V.^{3,*}, Arshinova I.D.⁴, Kudrinsky D.A.⁵, Zelener B.B.⁶^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;¹Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;^{4, 5, 6}National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia;²Higher School of Economics. National Research University, Moscow, Russia;^{3, 6}Moscow Energy Institute (currently Moscow Power Engineering Institute National Research University, Moscow, Russia)

* Corresponding author (eva.villi[at]gmail.com)

Abstract

A stand was created for laser cooling and trapping of calcium atoms in a magneto-optical trap (MOT). MOT was obtained from calcium-40 atoms and its parameters were optimized. A narrow fluorescence resonance of an atomic calcium beam was observed. The frequency and width of the resonance at the $4s3d\ ^1D_2 - 4s5p\ ^1P_1$ calcium-40 transition were measured by increasing the resonance fluorescence intensity in the MOT.

Keywords: laser cooling, magneto-optical trap, laser spectroscopy.**Введение**

Наши исследования связаны с изучением ансамблей ультрахолодных газов ридберговских атомов и ультрахолодной плазмы [1], [2], [3]. Атомы кальция представляют интерес в связи с возможностью регистрации ионов в оптическом диапазоне, эту особенность можно использовать для исследования свойств ультрахолодной неидеальной плазмы. Исследование холодных атомов в ридберговских состояниях, а также исследование самоорганизующихся структур в ультрахолодной плазме могут быть использованы для развития квантовых вычислений [4]. Ранее наша группа проводила исследования ультрахолодного ридберговского газа на установке по лазерному охлаждению атомов лития-7 [5-6]. В настоящей работе проведено описание созданной установки для захвата в МОЛ атомов кальция-40. Кальций является щелочноземельным металлом, и после его ионизации остается еще один электрон, имеющий сильные оптические переходы. Это свойство позволяет производить диагностику ультрахолодной плазмы кальция.

Экспериментальная установка

Первым этапом создания МОЛ и захвата атомного пучка является сборка установки и получение глубокого вакуума порядка 10^{-10} Торр. На рис. 1 представлена принципиальная схема установки.

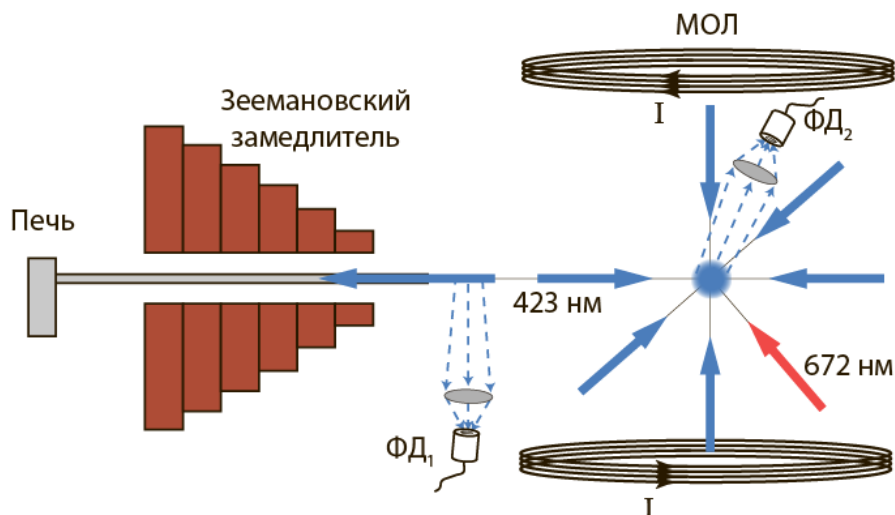


Рис. 1 – Схема установки по лазерному охлаждению атомов кальция-40:

Примечание: ФД₁ – фотодиод для регистрации флуоресценции атомного пучка, вылетающего из печи; ФД₂ – фотодиод для регистрации флуоресценции облака атомов в МОЛ

Экспериментальная установка состоит из вакуумной камеры и оптической схемы. Была разработана печь (источник атомного пучка), в которой кусок металлического кальция испаряется при температуре 450-500 °С. Печь состоит из резервуара для металлического кальция и тонкой трубки для коллимации атомного пучка. Система нагрева создает заранее рассчитанный градиент температуры вдоль тонкой трубки с помощью высокотемпературных нагревательных лент. Контроль температуры печи осуществляется при помощи пяти термопар. Атомы кальция попадают из печи в МОЛ через зеемановский замедлитель, где происходит первый этап охлаждения с использованием встречного лазерного луча на длине волны 423 нм. Диаграмма энергетических уровней для нейтральных атомов кальция-40 показана на рис. 2.

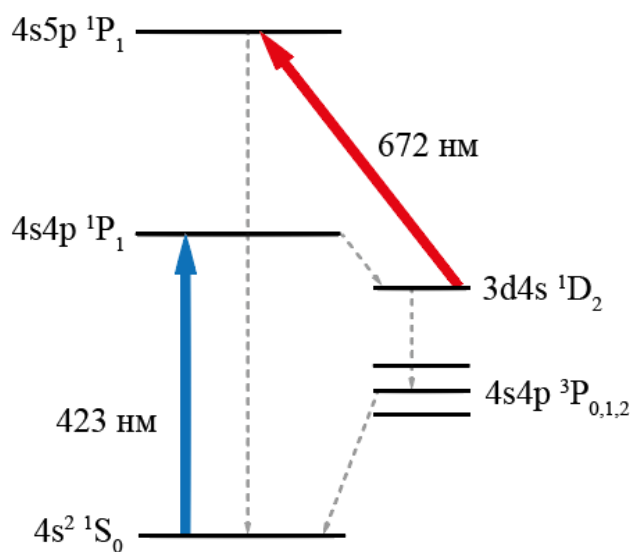


Рис. 2 – Диаграмма уровней атома кальция-40

Первым этапом создания вакуумной камеры является проектирование зеемановского замедлителя. Зеемановский замедлитель представляет собой катушку переменного радиуса, намотанную на полую стальную трубку, для создания неоднородного магнитного поля вдоль оси. Атомы движутся по трубке, навстречу им светит резонансное лазерное излучение с частотой охлаждающего перехода $4s^2 \ ^1S_0 - 4s4p \ ^1P_1$. В результате происходит когерентное поглощение фотона со спонтанным распадом. Из-за уменьшения скорости атомов происходит изменение резонансной частоты атомного перехода вследствие эффекта Доплера kv . Мы используем метод, основанный на эффекте Зеемана $\frac{\mu_B}{h} B$, в котором частота атомного перехода подстраивается с помощью магнитного поля в каждой точке зеемановского замедлителя.

$$kv(z) = \frac{\mu_B}{h} B(z), \quad (1)$$

где k – приведенная постоянная Планка, $v(z)$ – скорость атомов в точке z , μ_B – магнетон Бора, $B(z)$ – величина индукции магнитного поля в точке z .

Для охлаждения и захвата атомов необходимо создать в системе глубокий вакуум. При откачке воздуха насосами проводился отжиг системы при температуре около 300 °С в течение недели. На первом этапе откачки использовались роторный и турбомолекулярный насосы. После получения вакуума 10^{-5} Торр включались ионный и ионно-геттерный насосы со скоростью откачки 100 л/с. Комбинация насосов позволила получить вакуум менее 10^{-10} Торр. Такой глубокий вакуум в камере достаточен для создания конденсата Бозе-Эйнштейна.

Экспериментальные результаты

Для проверки корректности работы созданного стенда был проведен эксперимент по наблюдению на фотодиоде ФД₁ флуоресценции атомного пучка, вылетающего из печи. На рис. 3. представлен результат наблюдения флуоресценции атомного пучка с помощью перестраиваемого по частоте резонансного лазерного излучения 423 нм. Длина волны лазерного излучения сканировалась около частоты перехода $4s^2\ ^1S_0 - 4s4p\ ^1P_1$. Ширина резонанса составила 57.6 МГц, что сравнимо с естественной шириной линии кальция 34 МГц. Такой узкий резонанс связан с тем, что вылетающий из печи пучок кальция хорошо сколлимирован. Полученный резонанс можно использовать для стабилизации частоты лазерного излучения, формирующего МОЛ.

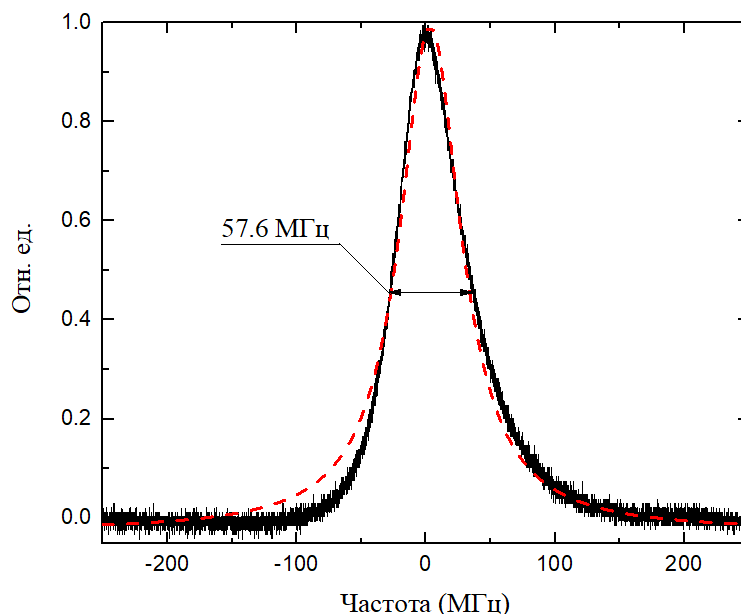


Рис. 3 – Резонанс флуоресценции пучка атомов кальция при сканировании частоты лазерного излучения вблизи охлаждающего перехода

Примечание: красная пунктирная линия – аппроксимация функцией Лоренца

Охладившись, пройдя зеэмановский замедлитель, атомы кальция-40 попадают в МОЛ, где с помощью направленных с 6 сторон лазерных пучков производится их дальнейшее охлаждение и захват. Лазерные пучки МОЛ сформированы с помощью диодного лазера с длиной волны 423 нм. На рис.4 представлена фотография облака холодных атомов. Температура атомов составляет порядка $3 \cdot 10^{-3}$ К, концентрация около $3 \cdot 10^9$ см⁻³.

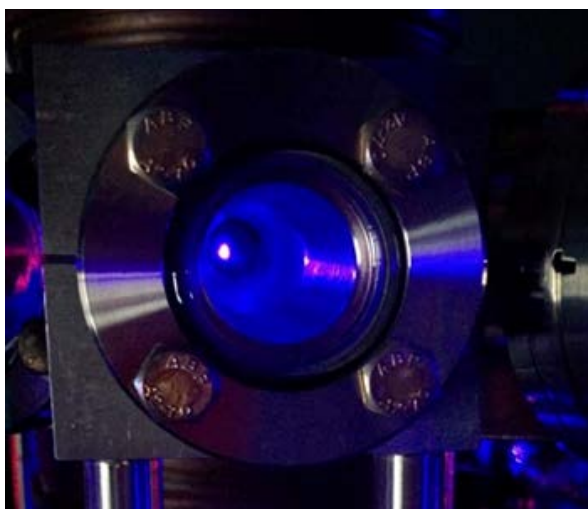


Рис. 4 – Фотография облака холодных атомов в МОЛ, сделанная на бытовую камеру

Также для создания магнитооптической ловушки используется лазер оптической накачки, направленный с одной стороны в область захвата МОЛ на длине волны 672 нм. Лазер оптической накачки необходим для предотвращения попадания электронов в темное для МОЛ метастабильное состояние $4s4p\ ^3P_1$. Время жизни электрона в этом состоянии составляет 0.5 мс [7], при этом атомы перестают взаимодействовать с охлаждающими лазерами и уходят из

магнитооптической ловушки. Для оптимизации работы магнитооптической ловушки была прописана линия резонанса на переходе $4s3d\ ^1D_2 - 4s5p\ ^1P_1$ кальция-40 (рис. 5), ширина которого составила 77,3 МГц.

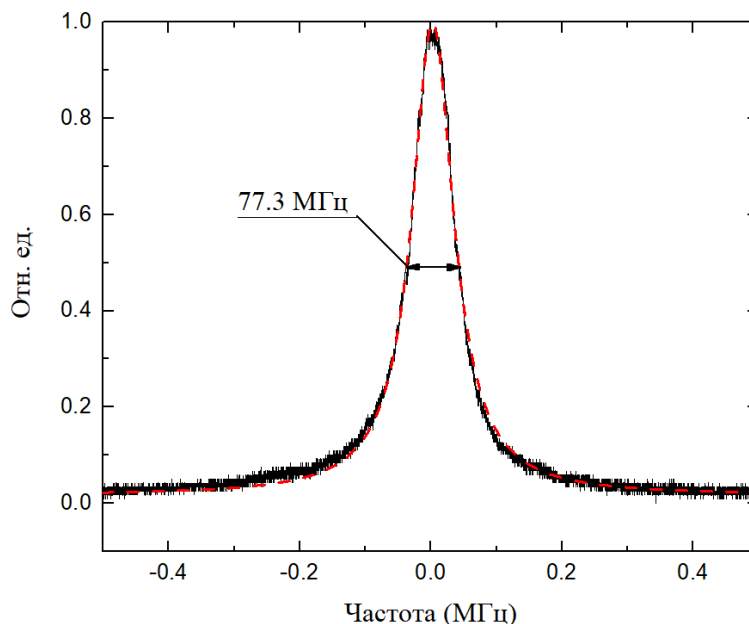


Рис. 5 – Резонанс флуоресценции облака холодных атомов в МОЛ при сканировании частоты лазера оптической накачки

Примечание: красная пунктирная линия – аппроксимация функцией Лоренца

Измерены частота и ширина резонансной линии, полученной при помощи регистрации фотодиодом ΦD_2 увеличения интенсивности резонансной флуоресценции в МОЛ. Ноль на рис. 5 соответствует частоте лазера оптической накачки 446,150894 ТГц.

Заключение

В заключение стоит отметить, что собрана установка по захвату атомов в магнитооптическую ловушку для изучения ультрахолодной плазмы кальция-40. Разработан зеемановский замедлитель для первого этапа охлаждения атомов. Получен глубокий вакуум меньше 10^{-10} Торр. Сконструирована печка для формирования атомного пучка и проведена регистрация флуоресценции кальция. Зарегистрирован сигнал флуоресценции МОЛ. По увеличению интенсивности резонансной флуоресценции в МОЛ подобрана оптимальная частота лазера накачки на переходе $4s3d\ ^1D_2 - 4s5p\ ^1P_1$ кальция-40. Наши дальнейшие исследования связаны с исследованием неидеальной ультрахолодной плазмы кальция-40 и возможностью формирования в ней самоорганизующихся структур [8].

Финансирование

Работа выполнена в рамках НИОКР по договору № Д-2473-19 от 16.12.2019 с АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ".

Funding

The work was performed as part of R&D under contract No. D-2473-19 of December 16, 2019 with JSC "SSC RF TRINITI".

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Pohl T. Cold Rydberg gases and ultra-cold plasmas / T. Pohl, C. S. Adams, H. R. Sadepour // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. – 2011. – Vol. 44. – №. 18. – P. 180201. doi: 10.1088/0953-4075/44/18/180201
2. Fortov V. Physics of strongly coupled plasma / V. Fortov, I. Iakubov, A. Khrapak. – Oxford University Press on Demand, 2006.
3. Gallagher T. F. Rydberg atoms / T. F. Gallagher. – Cambridge University Press, 2005.
4. Ryabtsev I. I. Spectroscopy of cold rubidium Rydberg atoms for applications in quantum information / I. I. Ryabtsev, I. I. Beterov, D. B. Tretyakov and others // Physics-Uspekhi. – 2016. – Vol. 59. – №. 2. – P. 196. doi: 10.3367/UFNe.0186.201602k.0206
5. Zelener B. B. Laser diagnostics of the energy spectrum of Rydberg states of the lithium-7 atom / B. B. Zelener, S. A. Saakyan, V. A. Sautenkov and others // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2015. – Vol. 121. – №. 6. – P. 950-954. doi: 10.1134/S1063776115120171
6. Zelener B. B. Forbidden $2P-nP$ and $2P-nF$ transitions in the energy spectrum of ultracold Rydberg lithium-7 atoms / B. B. Zelener, S. A. Saakyan, V. A. Sautenkov and others // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2016. – Vol. 122. – №. 4. – P. 645-649. doi: 10.1134/S1063776116040099
7. Pasternack L. Experimental and theoretical study of the Ca I $4s3d\ ^1D-4s2\ ^1S$ and $4s4p\ ^3P1-4s2\ ^1S$ forbidden transitions / L. Pasternack, D. R. Yarkony, P. J. Dagdigan and others // Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics. – 1980. – Vol. 13. – №. 11. – P. 2231. doi: 10.1088/0022-3700/13/11/014
8. Bonitz M. Thermodynamics and correlation functions of an ultracold nonideal Rydberg plasma / M. Bonitz, B. B. Zelener, B. V. Zelener // Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 2004. – Vol. 98. – №. 4. – P. 719-727. doi: 10.1134/1.1757672

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.005>

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНОГО ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО (ТЕРМОУПРУГОСТЬ) СОСТОЯНИЕ ЗАЩЕМЛЕННОГО ДВУМЯ КОНЦАМИ СТЕРЖНЯ ПРИ НАЛИЧИИ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА

Научная статья

Кенжегулов Б.З.¹, Гапуова Т.Б.^{2,*}, Мураткалиева А.Н.³, Рахметов М.Е.⁴^{1, 2, 3, 4} Атырауский государственный университет, Атырау, Казахстан,

* Корреспондирующий автор (tikosh.96[at]mail.ru)

Аннотация

На основе энергетических принципов ориентированный на минимизации полной тепловой энергии упругих деформации в сочетании применении квадратичного конечного элемента с тремя узлами разработан математическая модель защемленного двумя концами стержня, постоянного поперечного сечения в зависимости наличия частичной теплоизоляции, теплового потока и теплообменов.

Ключевые слова: температура, тепловая энергия, тепловой поток, градиент, теплообмен.

MATHEMATICAL MODELING OF ONE-DIMENSIONAL THERMALLY STRESSED STATE (THERMOELASTICITY) OF A ROD FIXED AT TWO ENDS WITH DIFFERENT HEAT SOURCES

Research article

Kenzhegulov B.Z.¹, Gapuova T.B.^{2,*}, Muratkaliev A.N.³, Rakhmetov M.E.⁴^{1, 2, 3, 4} Atyrau State University, Atyrau, Kazakhstan

* Corresponding author (tikosh.96[at]mail.ru)

Abstract

The mathematical model of a rod with a constant cross section fixed at both ends is developed depending on the presence of partial thermal insulation, heat flux, and heat exchanges based on energy principles, focused on minimization of total thermal energy of elastic deformations combined with the use of a quadratic finite element with three nodes.

Keywords: temperature, heat energy, heat flow, gradient, heat transfer.

В этой статье рассматривается тестовые задачи нахождения поля распределения температуры, частично теплоизолированного стержня защемленного двумя концами. В данной задаче стержень ограниченной длины L (см.), площадь поперечного сечения F (см²) постоянна по длине, боковая поверхность стержня частично-теплоизолирована. Стержень жестко защемлен обоими концами и имеет цилиндрическую форму (см. рисунок 1).

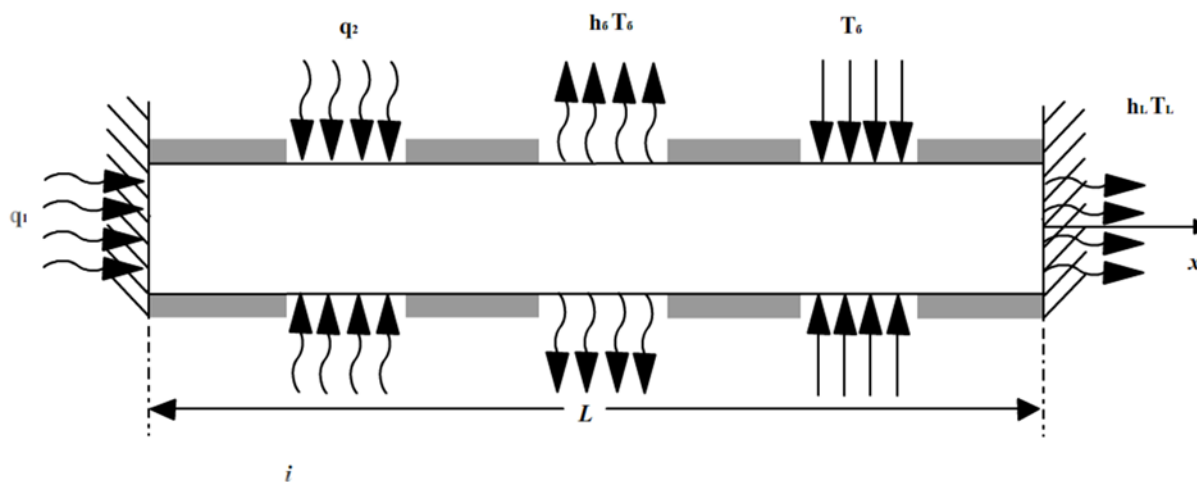


Рис. 1 — Стержень под влиянием разного рода источников тепла и жестко защемлен обоими концами

Под влиянием такого разного рода источников тепла, происходит распределение поля температуры по длине стержня по определенным закономерностям. Эти закономерности можно найти методом минимизации функционала тепловой энергии по значению температуры в узловых точках и методом конечных элементов. Данный стержень дискретизируем квадратичными конечными элементами с тремя узлами. Для каждого элемента напишем специальный функционал, выражающий тепловую энергию [1].

Вариант-1. По площади поперечного сечения левого конца подведен тепловой поток q_1 (Вт/см²), а боковая поверхность конечного элемента теплоизолирована. Пусть на правом конце точка k будет внутренней точкой (см. рисунок 2).

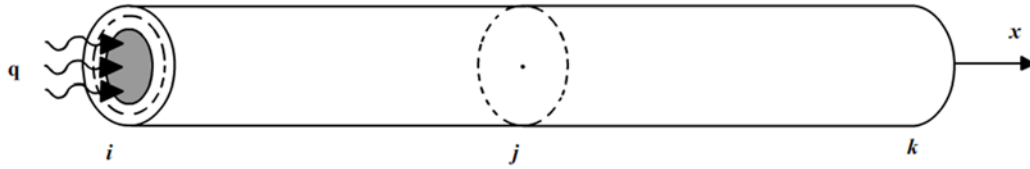


Рис. 2 – Конечный элемент с подведенным на площадь поперечного сечения левого конца тепловым потоком q

Поле распределения температуры по длине такого стержня аппроксимируем как кривую второго порядка проходящей через три точки в участке $x_i \leq x \leq x_k$ будет [5]

$$T(x) = ax^2 + bx + c = \varphi_i(x)T_i + \varphi_j(x)T_j + \varphi_k(x)T_k \quad (1.1)$$

где $\varphi_i(x), \varphi_j(x), \varphi_k(x)$ - функции формы квадратичного конечного элемента с тремя узлами, которые имеют следующее выражение

$$\varphi_i(x) = \frac{l^2 - 3lx + 2x^2}{l^2}, \varphi_j(x) = \frac{4(lx - x^2)}{l^2}, \varphi_k(x) = \frac{2x^2 - lx}{l^2} \quad (1.2)$$

где $0 \leq x \leq l$, а T_i, T_j и T_k - значение температуры соответствующие точкам элемента $x = x_i$; $x = x_j$ и $x = x_k$. Пользуясь (1.1.1) и (1.1.2) определим градиент температуры [2, С. 33]

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial \varphi_i(x)}{\partial x} T_i + \frac{\partial \varphi_j(x)}{\partial x} T_j + \frac{\partial \varphi_k(x)}{\partial x} T_k, \quad (1.3)$$

где $\frac{\partial \varphi_i(x)}{\partial x}, \frac{\partial \varphi_j(x)}{\partial x}, \frac{\partial \varphi_k(x)}{\partial x}$ производные, которые выражаются через формулы [10], [11]

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{4x - 3l}{l^2} T_i + \frac{4(l - 2x)}{l^2} T_j + \frac{4x - l}{l^2} T_k \quad (1.4)$$

Вид функционала, выражающий тепловую энергию будет следующим [2, С.40]

$$J = \int_V \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{inn}} q T(x) dS, \quad (1.5)$$

Здесь V – объем элемента, S_{inn} - площадь поперечного сечения соответствующая точке $x = x_i$ левого конца элемента. Здесь подставляя соотношение (1.3) и пользуясь выражениям (1.4) на (1.5) можно записать следующим образом [1]

$$J = \frac{FK_{xx}}{2} \int_{x_i}^{x_k} \left[\left(\frac{\partial \varphi_i(x)}{\partial x} T_i \right)^2 + 2 \frac{\partial \varphi_i(x)}{\partial x} \frac{\partial \varphi_j(x)}{\partial x} T_i T_j + 2 \frac{\partial \varphi_i(x)}{\partial x} \frac{\partial \varphi_k(x)}{\partial x} T_i T_k + 2 \frac{\partial \varphi_j(x)}{\partial x} \frac{\partial \varphi_k(x)}{\partial x} T_j T_k + \left(\frac{\partial \varphi_j(x)}{\partial x} T_j \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_k(x)}{\partial x} T_k \right)^2 \right] dx + qF(x_i)T_i. \quad (1.6)$$

Из—за того, что на участке $0 \leq x \leq L$ будет $F = const$, то $F(x = x_i) = F$. Здесь учитывая то, что $x_k - x_i = l$ – длина данного конечного элемента, интеграл $\int_{x_i}^{x_k} l(x) dx$ можно записать в виде $\int_0^l f(x) dx$, тогда соотношение (1.5) можно записать в таком виде [2]:

$$J = \frac{FK_{xx}}{2} \left[\frac{7}{3} T_i^2 - \frac{16}{3} T_i T_j + \frac{2}{3} T_i T_k + \frac{16}{3} T_j T_k - \frac{2}{3} T_j^2 - \frac{7}{3} T_k^2 \right] + qFT_i. \quad (1.7)$$

Значение температуры в узловых точках определяется следующей формулой [1]:

$$\left. \begin{aligned} T_i &= T_{oc} - \frac{q}{h} - \frac{ql}{K_{xx}}; \\ T_j &= T_{oc} - \frac{q}{h} - \frac{ql}{2K_{xx}}; \\ T_k &= T_{oc} - \frac{q}{h}. \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

где h ($Bm/cm^2\text{°C}$) - коэффициент теплообмена материала элемента стержня с окружающей средой площади поперечного сечения левого конца, а T_{oc} (°C) температура окружающей среды, значение коэффициента теплопроводности K_{xx} , ($Bm / cm\text{°C}$).

Вариант-2. Через площадь поперечного сечения левого конца теплоизолированного по боковой поверхности конечного элемента происходит теплообмен с окружающей средой (см. рисунок 3)

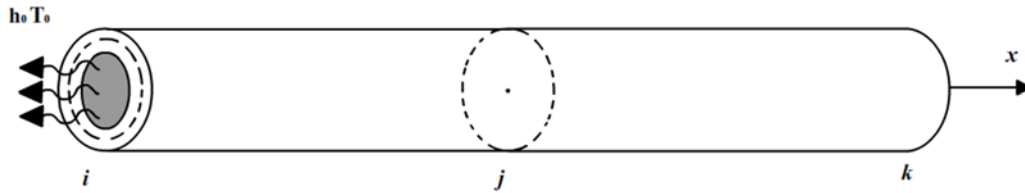


Рис. 3 – конечный элемент с площадью поперечного сечения левого конца, где происходит теплообмен с окружающей средой

Здесь коэффициент теплообмена материала элемента стержня с окружающей средой площади поперечного сечения левого конца будет h_0 ($Bm/cm^2\text{°C}$), а температура окружающей среды T_0 (°C). Тогда для такого конечного элемента вид функционала, выражающий тепловую энергию, будет следующим [1]

$$J = \int_V \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{inn}} \frac{h_0}{2} (T - T_0)^2 d = \frac{FK_{xx}}{2l} \left[\frac{7}{3} T_i^2 - \frac{16}{3} T_i T_j + \frac{2}{3} T_i T_k + \frac{16}{3} T_j T_k - \frac{2}{3} T_j^2 - \frac{7}{3} T_k^2 \right] + \frac{Fh_0}{2} (T_i - T_0)^2. \quad (2.1)$$

Вариант-3. Через боковую поверхность и через площадь поперечного сечения соответствующей любой конечной точке конечного элемента происходит теплообмен с окружающей средой. Коэффициент теплообмена с окружающей средой через боковую поверхность будет h_6 , ($Bm/cm^2\text{°C}$), а температура окружающей среды боковой поверхности T_6 (°C) (см. рисунок 4).

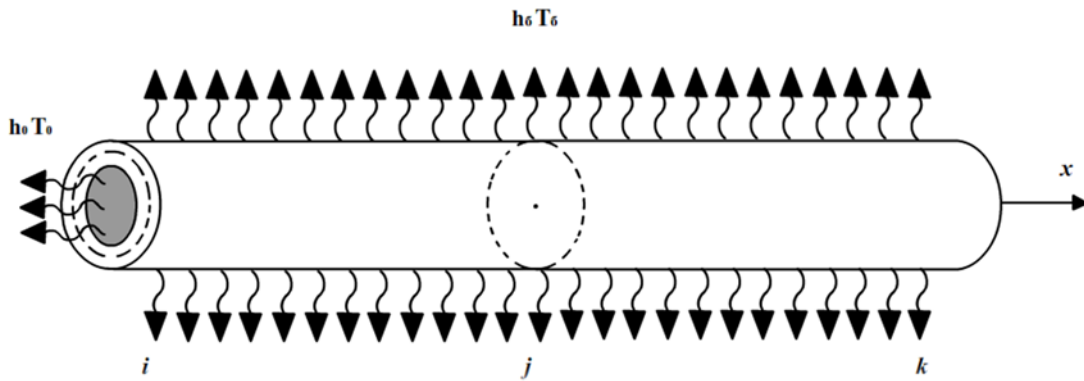


Рис. 4 — Конечный элемент где происходит теплообмен с окружающей средой

Тогда для такого элемента вид функционала, выражающий тепловую энергию, будет следующим [6]

$$J = \int_V \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{inn}} \frac{h_0}{2} (T - T_0)^2 dS + \int_{S_{6on}} \frac{h_6}{2} (T - T_6)^2 dS, \quad (3.1)$$

где S_{6on} – площадь боковой поверхности элемента. Но здесь надо учитывать, что $\int_{S_{6on}} f(x) dS = \Pi \int_0^l f(x) dx$. Здесь Π - периметр поперечного сечения стержня. Тогда соотношение (1.7) можно заново записать следующим образом

$$J = \frac{FK_{xx}}{2l} \left[\frac{7}{3}T_i^2 - \frac{16}{3}T_iT_j + \frac{2}{3}T_iT_k + \frac{16}{3}T_jT_k - \frac{2}{3}T_j^2 - \frac{7}{3}T_k^2 \right] + \frac{Fh_0}{2}(T_i - T_0)^2 + \frac{\Pi h_0}{2} \left[\frac{2l}{15}T_i^2 + \frac{2l}{15}T_iT_j - \frac{l}{15}T_iT_k + \frac{8l}{15}T_j^2 + \frac{2l}{15}T_k + \frac{2l}{15}T_jT_k - \frac{l}{3}T_0T_i - \frac{4l}{3}T_0T_j - \frac{l}{3}T_0T_k + lT_0^2 \right]. \quad (3.2)$$

Вариант - 4. Через площадь поперечного сечения левого конца происходит теплообмен с окружающей средой. На боковую поверхность элемента подведен тепловой поток q , (Вт/см^2) (см. рисунок 5) [1].

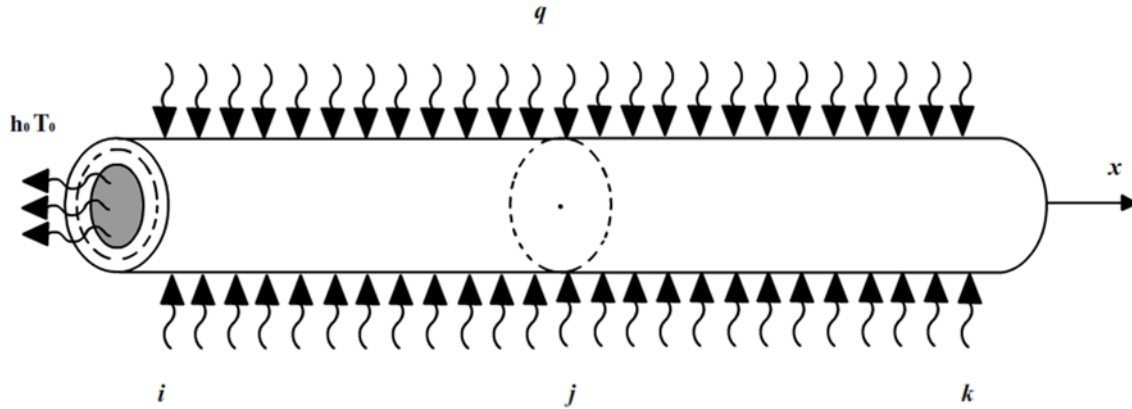


Рис. 5 – Конечный элемент с подведенным на боковую поверхность тепловым потоком q

Тогда для такого элемента вид функционала, выражающий тепловую энергию будет следующим [6]

$$J = \int_V \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int \frac{h_0}{2} (T - T_0)^2 dS + \int q T dS$$

$$= \frac{FK_{xx}}{2l} \left[\frac{7}{3}T_i^2 - \frac{16}{3}T_iT_j + \frac{2}{3}T_iT_k + \frac{16}{3}T_jT_k - \frac{2}{3}T_j^2 - \frac{7}{3}T_k^2 \right] + \frac{Fh_0}{2}(T_i - T_0)^2 + \frac{\Pi q l}{2}(T_i + 4T_j + T_k). \quad (4.1)$$

Вариант - 5. На площадь поперечного сечения соответствующей точке i левого конца подведен тепловой поток q_1 , (Вт/см^2), а на боковую поверхность q_2 , (Вт/см^2). Пусть на правом конце точка k будет внутренней точкой (см. рисунок 6) [1].

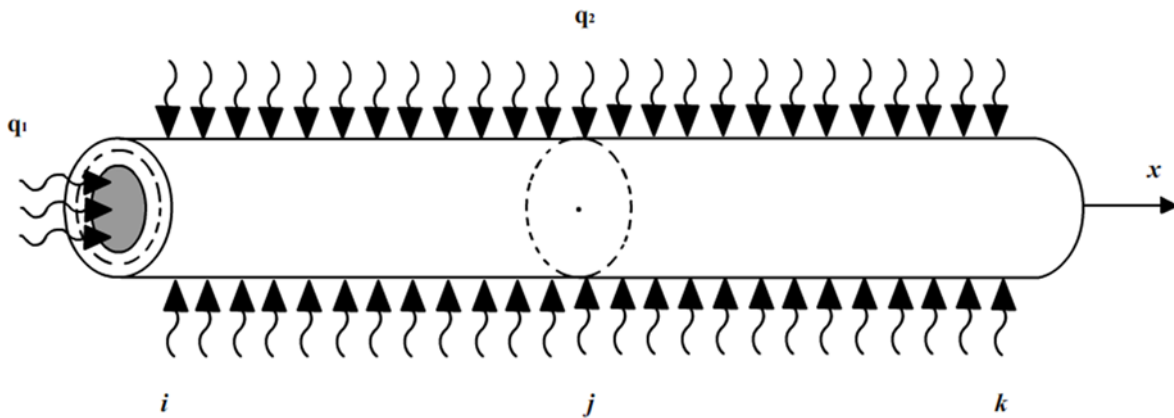


Рис. 6 – Конечный элемент с подведенным на площадь поперечного сечения левого конца тепловым потоком q_1 , а на боковую поверхность q_2

Для такого конечного элемента вид функционала, выражающий тепловую энергию, будет следующим

$$J = \int_V \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int q_1 T dS + \int q_2 T(x) dS$$

$$= \frac{FK_{xx}}{2l} \left[\frac{7}{3}T_i^2 - \frac{16}{3}T_iT_j + \frac{2}{3}T_iT_k - \frac{16}{3}T_jT_k + \frac{16}{3}T_j^2 + \frac{7}{3}T_k^2 \right] + Fq_1T_i + \frac{nq_2l}{6}(T_i + 4T_j + T_k). \quad (5.1)$$

Вариант - 6. На площадь поперечного сечения соответствующей точке i подведен тепловой поток $q, (Вт/см^2)$, а по боковой поверхности происходит теплообмен с окружающей средой. Здесь коэффициент теплообмена с окружающей средой будет $h_6 (Вт/см^2 \cdot ^\circ C)$, а температура окружающей среды $T_6 (^\circ C)$ (см. рисунок 7).

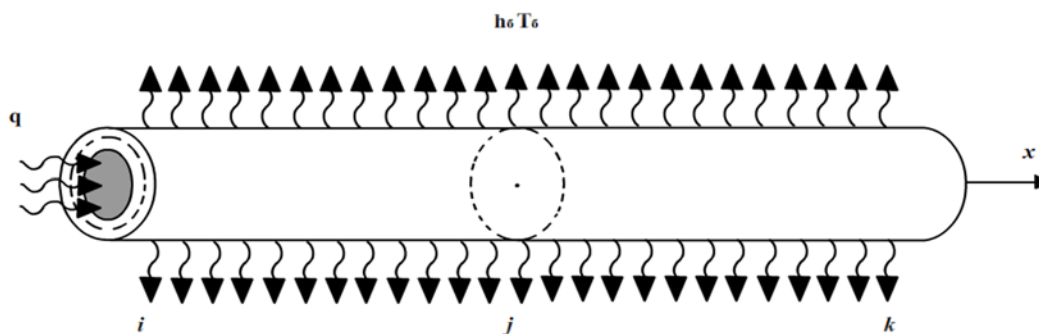


Рис. 7 – Конечный элемент с подведенным на площадь поперечного сечения левого конца тепловым потоком q , а по боковой поверхностью происходит теплообмен с окружающей средой

Тогда для такого конечного элемента вид функционала, выражающий -тепловую энергию, будет следующим [7], [8], [9].

$$\begin{aligned}
 J &= \int_V \frac{K_{xx}}{2} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 dV + \int_{S_{\text{innc}}} q T dS + \int_{S_{\text{нон}}} \frac{h_6}{2} [T(x) - T_6]^2 dS \\
 &= \frac{FK_{xx}}{2l} \left[\frac{7}{3} T_i^2 - \frac{16}{3} T_i T_j + \frac{2}{3} T_j T_k - \frac{16}{3} T_j T_k + \frac{16}{3} T_j^2 + \frac{7}{3} T_k^2 \right] + q F T_i \\
 &+ \frac{\Pi h_6}{2} \left[\frac{2l}{15} T_i^2 + \frac{2l}{15} T_i T_j - \frac{l}{15} T_i T_k + \frac{8l}{15} T_j^2 + \frac{2l}{15} T_k^2 + \frac{2l}{15} T_j T_k - \frac{l}{3} T_6 T_i - \frac{4l}{3} T_6 T_j - \frac{l}{3} T_6 T_k \right. \\
 &\left. + l T_6^2 \right].
 \end{aligned} \tag{6.1}$$

Итак, на основе использования функционала тепловой энергии, а также при использовании аппроксимации теплового поля в стержне конечными элементами в форме кривых 2-го порядка, проходящих через 3 точки по длине стержня, и по температуры которые заданы на узловых точках T_i, T_j, T_k записывается математическая модель одномерного термонапряженного состояния защемленного двумя концами стержня при наличии разных источников тепла. Рассматривается 6 различных вариантов подведения тепла и теплообмена с внешней средой и соответствующий функционал тепловой энергии.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кенжегулов Б.З. «Численное моделирование многомерных температурных и одномерных нелинейных термомеханических процессов в жаропрочных сплавах» Монография. ISBN 9965-640-98-X / Кенжегулов Б.З. Издательство «АТГУ им. Х.Досмухамедова», 2013г.– 326 с.
2. Кудайкулов А. Математическое (конечно-элементное) моделирование прикладных задач распространения тепла в одномерных конструктивных элементах / Кудайкулов А. – Туркестан, 2009 – 168 с.
3. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. 2-ое переработанное и дополнительное издания / Химушин Ф.Ф. М.: Металлургия, 1969г.-749с.
4. Ноздрев В.Ф. Курс термодинамики / Ноздрев В.Ф. Из-во Мир, М.: 1967г.-247с.
5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Сегерлинд Л. Из-во Мир, М.:1979г-392с.
6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Зенкевич О. М.: Мир, 1975г.
7. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов. "Вища Школа" / Писаренко Г.С. Киев, 1973г.-672с.
8. Тимошенко С.П. Теория упругости / Тимошенко С.П., Гудьяр Дж.Н. Из-во Мир, «Наука», М.: 1975г.-575с.
9. Бергер И.А. Прочность. Устойчивость. Колебания. Том-1 / Бергер И.А., Пановко Я.Г. М.: Машиностроение, 1968г.-56с.
10. Эльсгольд Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление./ Эльсгольд Л.Э. Из-во Наука, М.: 1969г.-424с.
11. Кенжегулов Б.З. «Математическое моделирование исследования термонапряженного в состоянии стержня из жаропрочного сплава» / Кенжегулов Б.З., Ж.Д.Мухтаргалиева, Т.Б.Гапуова // Атырауский государственный университет им. Х.Досмухамедова, г. Атырау, Республика Казахстан, Вестник №3(50) 21.11.2018 стр.116

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kenzhegulov B.Z. Chislennoye modelirovaniye mnogomernykh temperaturnykh i odnomernykh nelineynykh termomekhanicheskikh protsessov v zharoprochnykh splavakh [Numerical modeling of multidimensional temperature and one-dimensional nonlinear thermomechanical processes in heat-resistant alloys. Monograph.] / Kenzhegulov B.Z. ISBN 9965-640-98-X. Publishing house "AtSU named after H. Dosmukhamedov, 2013 – 326 p. [in Russian]
2. Kudaikulov A. Matematicheskoye (konechno-elementnoye) modelirovaniye prikladnykh zadach rasprostraneniya tepla v odnomernykh konstruktivnykh elementakh [Mathematical (finite-element) modeling of applied problems of heat distribution in one-dimensional structural elements] / Kudaikulov A. – Turkestan, 2009 – 168 p. [in Russian]
3. Himushin F.F. Zharoprochnyye stali i splavy. 2-oye pererabotannoye i dopolnitel'noye izdaniya [Heat resistant steels and alloys. 2nd edition] / Himushin F.F. M.: Metallurgy, 1969. – 749 p. [in Russian]
4. Nozdrev V.F. Kurs termodinamiki [Course of thermodynamics] / Nozdrev V.F. Mir. Moscow: 1967 – 247 p. [In Russian]
5. Segerlind L. Primeneniye metoda konechnykh elementov [Application of finite element method] / Segerlind L. M.: Mir. – 1979 – 392 p. [in Russian]
6. Zenkevich O. Metod konechnykh elementov v tekhnike [Finite element method in engineering] / Zenkevich O. M.: Mir – 1975. [in Russian]
7. Pisarenko G.S. Soprotivleniye materialov [Resistance of materials] / Pisarenko G.S. "Vishcha Shkola", Kiev, 1973. – 672 p. [in Russian]
8. Timoshenko S.P. Teoriya uprugosti [Theory of elasticity] / Timoshenko S.P., Goodyar J.N. M.: Mir., "Nauka", M.: 1975. – 575 p. [in Russian]
9. Berger I.A. Prochnost'. Ustoytivost'. Kolebaniya [Strength. Sustainability. Fluctuations. Vol. 1] / Berger I.A., Panko Ya.G. M.: Mechanical Engineering, 1698. – 56 p. [in Russian]
10. Elsgolts L.E. Differentsial'noye uravneniya i variatsionnoye ischisleniye [Differential equations and calculus of variations] / Elsgolts L.E. Nauka, Moscow: 1969 – 424 p. [in Russian]
11. Kenzhegulov B.Z. Matematicheskoye modelirovaniye issledovaniya termonapryazhennogo v sostoyaniya sterzhnya iz zharoprochnogo splava [Mathematical modeling of study of thermally stressed state of rod of heat-resistant alloy] / Kenzhegulov B.Z., Zh.D. Mukhtargalieva, T.B. Gapuova // Atyrau State University. H. Dosmukhamedova, Atyrau, Republic of Kazakhstan, Bulletin No. 3 (50) 11/21/2018 – P.116 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.006>**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНОГО ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЕ ЗАЩЕМЛЕННОГО ДВУМЯ КОНЦАМИ СТЕРЖНЯ ПРИ НАЛИЧИИ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА**

Научная статья

Кенжегулов Б.З.¹, Гапуова Т.Б.^{2,*}, Мураткалиева А.Н.³, Рахметов М.Е.⁴^{1, 2, 3, 4} Атырауский государственный университет, Атырау, Казахстан

* Корреспондирующий автор (tikosh.96[at]mail.ru)

Аннотация

На основе энергетических принципов ориентированный на минимизации полной тепловой энергии упругих деформации в сочетании применении квадратичного конечного элемента с тремя узлами разработан вычислительный алгоритм и численно исследована термо-напряженно-деформированное состояние защемленного двумя концами стержня, постоянного поперечного сечения в зависимости наличия частичной теплоизоляции, теплового потока и теплообменов.

Ключевые слова: тепловая энергия, теплоизоляция, теплообмен, тепловой поток.

NUMERICAL MODELING OF ONE-DIMENSIONAL THERMALLY STRESSED STATE OF A ROD FIXED AT TWO ENDS WITH DIFFERENT HEAT SOURCES

Research article

Kenzhegulov B.Z.¹, Gapuova T.B.^{2,*}, Muratkaliev A.N.³, Rakhmetov M.E.⁴^{1, 2, 3, 4} Atyrau State University, Atyrau, Kazakhstan

* Corresponding author (tikosh.96[at]mail.ru)

Abstract

The computational algorithm is developed and the thermo-stress-strain state of a rod fixed at two ends with a constant cross section depending on the presence of partial thermal insulation, heat flux and heat exchanges is numerically investigated, based on energy principles, focused on minimization of total thermal energy of elastic deformations combined with the use of a quadratic finite element with three nodes.

Keywords: temperature, heat energy, heat flow, gradient, heat transfer.

При частично-теплоизолированном защемленном двумя концами, при наличии разных источников тепла, для нахождения поля распределения температуры по длине стержня, его дискретизируем на n равные конечные элементы. Здесь каждый конечный элемент является квадратичным элементом с тремя узлами, поэтому число узловых точек стержня будет $(2n+1)$. Здесь учитывая, что стержень частично-теплоизолирован и влияют разные источники тепла, напишем для каждого конечного элемента функционал J_i , выражающий тепловую энергию [1], [2]. В результате, суммируя эти функционалы для исследуемого стержня, построим общий функционал $J = \sum_{i=1}^n J_i$, выражающий тепловую энергию. Минимизируя эти функционалы по заданным значениям температуры в узловых точках, построим систему линейных алгебраических уравнений, то есть

$$\frac{\partial J}{\partial T_i} = 0, i = 1 \div (2n + 1). \quad (1)$$

Решая эту систему уравнений, находим поле распределения температуры $T = T(x), 0 \leq x \leq L$ по длине стержня. После этого данный стержень делим на $n/2$ равные части. Каждый конечный элемент является квадратичным элементом с тремя узлами. В его пределах изменение перемещения выражается следующим образом

$$u(x) = \varphi_i(x)u_i + \varphi_j(x)u_j + \varphi_k(x)u_k, \quad (2)$$

где u_i, u_j, u_k — перемещение узловых точек квадратичного конечного элемента. В пределах любого элемента стержня изменение упругого компонента деформаций выражается следующим образом

$$\varepsilon_s = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial \varphi_i(x)}{\partial x} u_i + \frac{\partial \varphi_j(x)}{\partial x} u_j + \frac{\partial \varphi_k(x)}{\partial x} u_k. \quad (3)$$

А также изменение упругого компонента напряжения в пределах конечного элемента будет следующим

$$\sigma_x = E\varepsilon_x = E \frac{\partial u}{\partial x} = E \left(\frac{\partial \varphi_i(x)}{\partial x} u_i + \frac{\partial \varphi_j(x)}{\partial x} u_j + \frac{\partial \varphi_k(x)}{\partial x} u_k \right). \quad (4)$$

А изменение напряжений в пределах конечного элемента, которое появляется за счет поля температуры будет таким

$$\sigma_T = -\alpha ET = -\alpha E (\varphi_i(x)T_i + \varphi_j(x)T_j + \varphi_k(x)T_k). \quad (5)$$

Тогда в примере одного конечного элемента вид функционала выражающего потенциальную энергию i -го элемента будет следующим

$$\Pi_i = \int_{V_i} \frac{\sigma_x \varepsilon_x}{2} dV - \int_{V_i} \alpha E T \varepsilon dV. \quad (6)$$

Здесь значения температуры определены в точках $(2n+1)$, которые размещены равномерно по длине стержня. А для нахождения перемещения, деформаций и напряжения из-за разделения стержня на $n/2$ части, число узловых точек будет $2 \cdot n/2 + 1 = n + 1$ [1]. Для нахождения деформаций и напряжения участка ограниченного точками x_i и x_j , нужно значение температуры в точке $(x_j - x_i)/2$ участка $x_i \leq x \leq x_j$. Суммируя функционалы потенциальной энергий, которые написаны для всех $n/2$ конечных элементов стержня, построим функционал, выражающий потенциальную энергию для стержня в целом, то есть

$$\Pi = \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \Pi_i \quad (7)$$

Минимизируя эти функционалы по заданным значениям перемещения в узловых точках, построим систему линейных алгебраических уравнений

$$\frac{\partial \Pi}{\partial u_i} = 0, i = (2 \div n). \quad (8)$$

Решая эту систему уравнений, находим u_2, u_3, \dots, u_n , т.е. значения перемещения в узловых точках.

Из-за того, что оба конца стержня жестко зашлемлены [9] $u_n = u_{n+1} = 0$. В результате значение деформаций между любыми двумя рядом стоящих точек будет

$$\varepsilon_{x_1} = \left[\frac{\partial \varphi_i(x)}{\partial x} u_1 + \frac{\partial \varphi_j(x)}{\partial x} u_2 + \frac{\partial \varphi_k(x)}{\partial x} u_3 \right] \Big|_{x=\frac{x_2-x_1}{2}=\frac{x_2}{2}}$$

Тогда значение упругого напряжения будет $\sigma_{x_1} = E \varepsilon_1$. Соответственно к этой точке значение температурного напряжения, возникшего под влиянием поля температуры будет следующим [7]:

$$\sigma_{T_1} = -\alpha E T \left(x = \frac{x_2 - x_1}{2} = \frac{x_2}{2} \right)$$

Тогда полное напряжение в этой точке имеет следующее значение

$$\sigma_1 = E \varepsilon_1 - \alpha E T \Big|_{x=\frac{x_2}{2}} = \sigma_{x_1} + \sigma_{T_1}. \quad (9)$$

Рассмотрим на задаче [1]: пусть длина стержня будет $L = 80$ см, площадь поперечного сечения в виде круга равна $F = 20$ (см²) и постоянна по длине. Оба конца стержня жестко зашлемлены. Модуль упругости материала стержня $E = 2 \cdot 10^6$ (кг / см²), значение коэффициента теплопроводности $K_{xx} = 72$ (Вт / см²°С), коэффициент теплового расширения $\alpha = 125 \cdot 10^{-7}$ (1 / °С) [10], значение коэффициента теплообмена через площадь поперечного сечения левого конца, координаты которого $x = 0$ будет $h_0 = 6$ (Вт / см²°С), а левого конца $x = L$ будет $h_l = 10$ (Вт / см²°С). Температуры окружающей среды равна $T_0 = 20$ (°С) и $T_l = 40$ (°С).

Пусть задана температура точек на участке $x_1 = 0 \leq x \leq x_2 = 16$ (см) стержня $T = 120$ (°С). Боковая поверхность остального участка стержня теплоизолированы. Для определения поля распределения температуры по длине стержня дискретизируем на $n = 800$ части. Тогда число узловых точек $2n + 1 = 2 \cdot 800 + 1 = 1601$.

Поле распределения температуры по длине стержня приведено на рисунке 1.

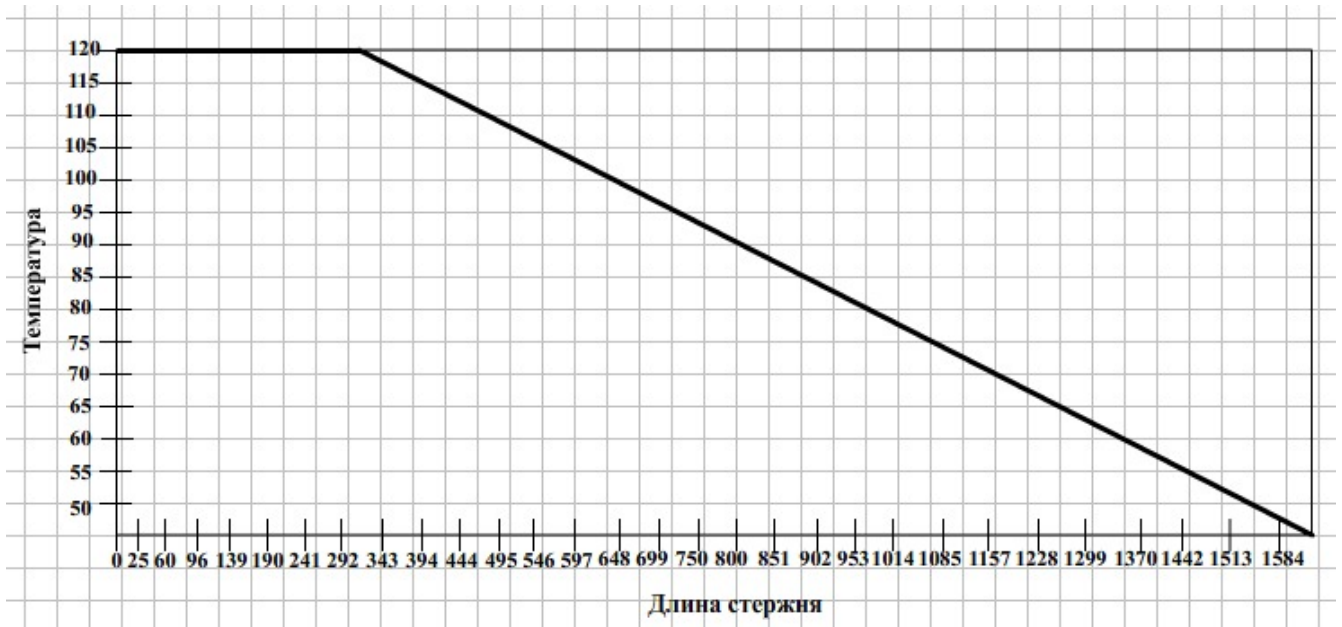
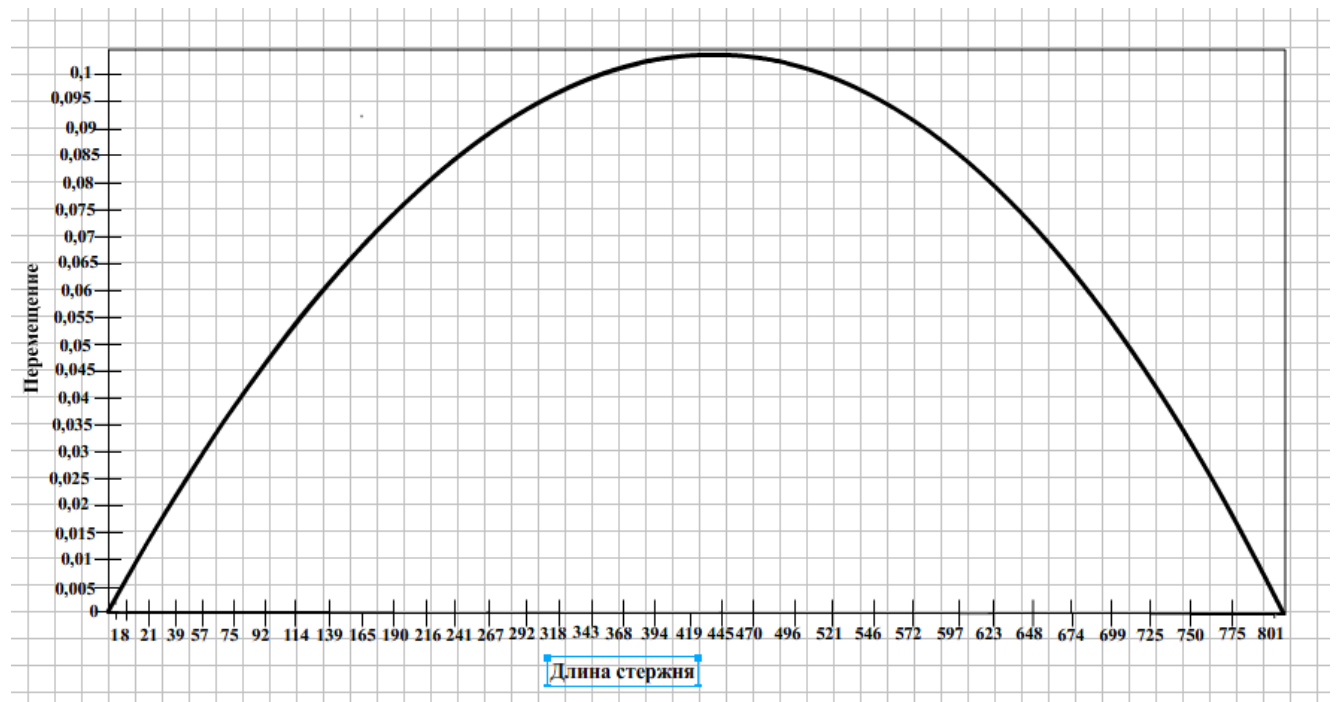
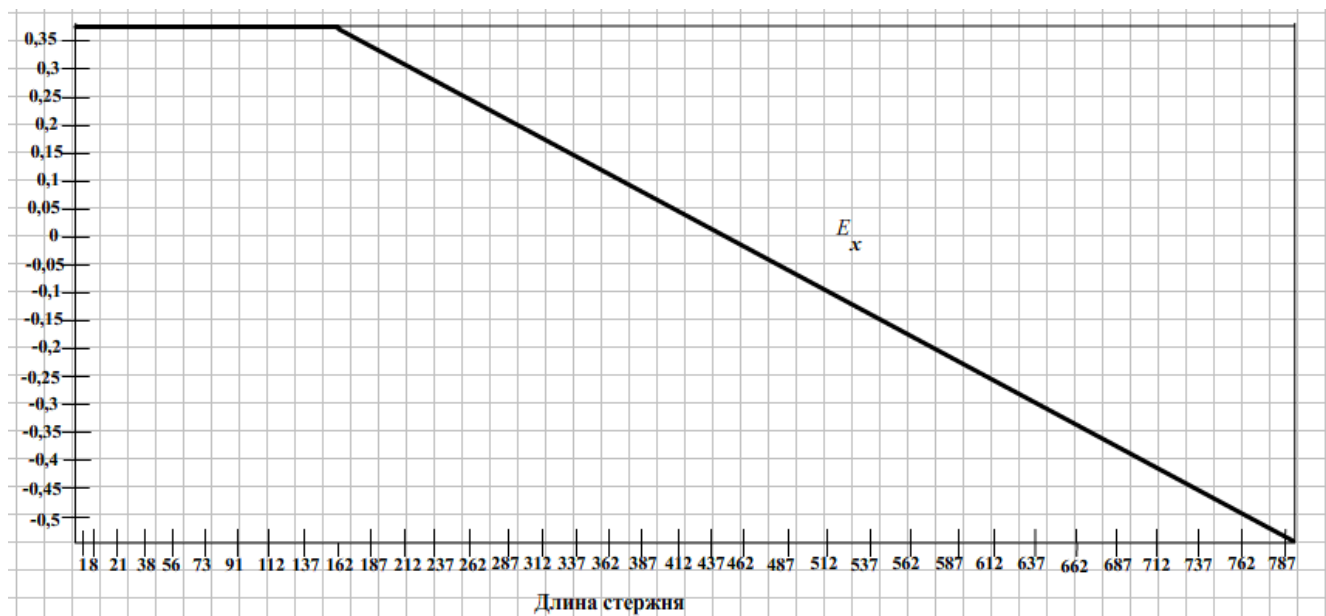


Рис. 1 – поле распределения температуры по длине стержня

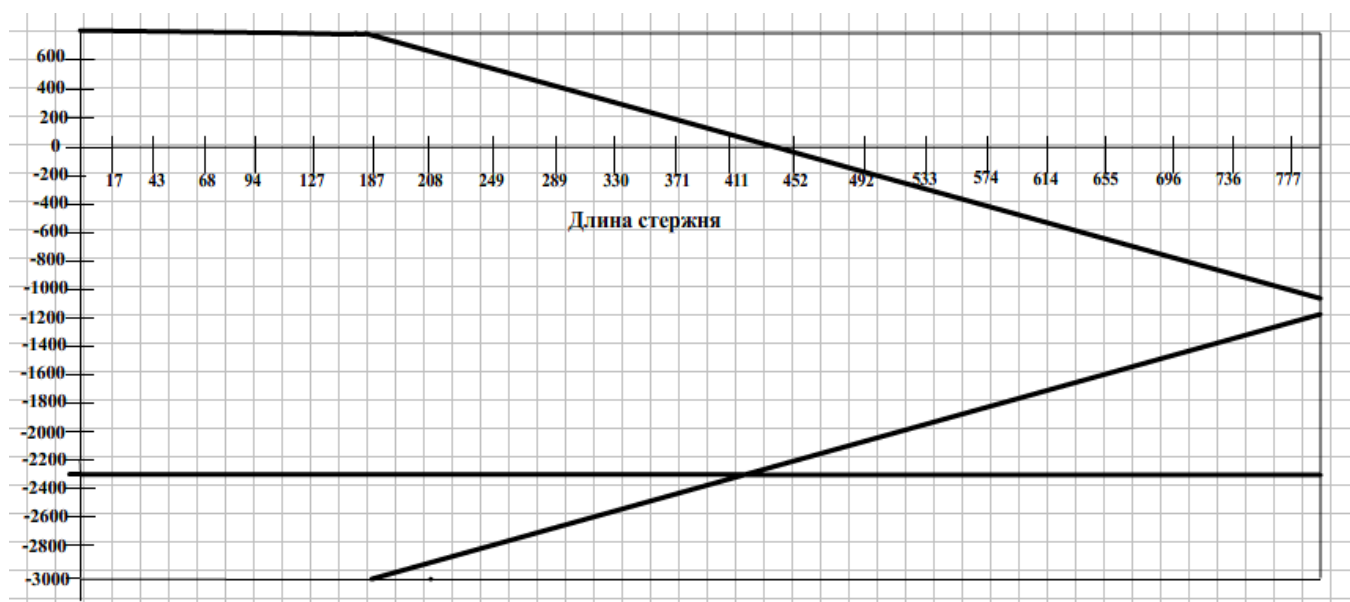
Минимальное значения температура в точке $x = L = 80(\text{см})$ равно $T(x) = 48,9^\circ\text{C}$. Для определения поле перемещений этих точек по длине стержня данный стержень дискретизируем на $n/2 = 800 / 2 = 400$ части. Каждую часть рассмотрим как квадратичный конечный элемент с тремя узлами [5]. Тогда в стержне будет 801 узловых точек по формуле $2 \cdot n/2 + 1 = n + 1$. Закон распределения перемещений этих узловых точек приведено на рисунке 2 (см. рисунок 2)

Рис. 2 — Закон распределений узловых точек по длине стержня $0 \leq x \leq 16(\text{см})$

Поле распределение перемещения по длине стержня будет в виде кривой параболического типа. Перемещения соответствующих точек $u(x=0) = u(x=L) = 0$ равны нулю, потому что стержень жестко зашлемлены обоими концами. Остальные точки перемещаются в правую сторону по оси ОХ. Самое большое перемещение будет в точке $x = 41,6(\text{см})$ и оно равно $u(x = 41,6(\text{см})) = 0,010355(\text{см})$. Эта величина равна при $L = 80(\text{см})$ $u \cdot \frac{100}{L} = 0,01294375\%$ длины стержня. А поле распределения деформаций на участке $x_1 = 0 \leq x \leq x_2 = 16(\text{см})$ значение упругого компонента деформаций будет постоянным $\varepsilon_x = 0,0003595$ и имеют растягивающий характер (см. рисунок 3).

Рис. 3 — Поле распределения ε_x по длине стержня

А по увеличению оси Ox значение ε_x будет равномерно уменьшаться. В окрестности точки $x = 41,6(см)$ его значение будет ноль и после этого он имеет растягивающий характер. При приближении точки $x = 80(см)$, максимальное значение сжимающего упругого компонента деформаций будет $\varepsilon_x = 0.0005386$.

Рис. 4 – Поле распределения σ, σ_x и σ_T по длине стержня

На рисунке 4 (см. рисунок 4) приведены поле распределения температурного напряжений и термоупругого напряжений. Здесь на участке $0 \leq x \leq 16(см)$ значение упругого напряжений равняется $\sigma_x = E\varepsilon_x = 719,101(кГ / см^2)$ и имеют растягивающий характер[6]. А по увеличению оси Ox значение σ_x будет равномерно уменьшается в окрестности точки $x = 41,6(см)$ будет $\sigma_x = 0$.

А значение температурного напряжений на этом участке стержня будет постоянным, имеет сжимающий характер и равняется $\sigma_T = -\alpha ET = -125 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 120 = -3000(кГ / см^2)$.

Любое значение термоупругого напряжения по длине стержня будет постоянным, и в нашем примере равняется $\sigma = \sigma_x + \sigma_T = -2280,8988(кГ / см^2)$.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кенжегулов Б.З. «Численное моделирование многомерных температурных и одномерных нелинейных термомеханических процессов в жаропрочных сплавах» Монография / Кенжегулов Б.З. ISBN 9965-640-98-X. Издательство «АтГУ им.Х.Досмухамедова», 2013г.– 326с.
2. Кудайкулов А. Математическое (конечно-элементное) моделирование прикладных задач распространения тепла в одномерных конструктивных элементах / Кудайкулов А. – Туркестан, 2009 г.– 168с.

3. Химушин Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы. 2-ое переработанное и дополнительное издания / Химушин Ф.Ф. М.: Металлургия, 1969г.-749с.
4. Ноздрев В.Ф. Курс термодинамики / Ноздрев В.Ф. Из-во Мир, М.: 1967г.-247с.
5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Сегерлинд Л. Из-во Мир, М.:1979г.-392с.
6. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов / Писаренко Г.С. "Вища Школа", Киев, 1973г.-672с.
7. Тимошенко С.П. Теория упругости / Тимошенко С.П., Гудьяр Дж.Н. Из-во Мир, «Наука», М.: 1975г.-575с.
8. Бергер И.А. Прочность. Устойчивость. Колебания. Том-1 / Бергер И.А., Пановко Я.Г. М.: Машиностроение, 1968г.-56с.
9. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Эльсгольц Л.Э. Из-во Наука, М.: 1969г.-424с.
10. Кенжегулов Б.З. Математическое моделирование исследования термонапряженного в состоянии стержня из жаропрочного сплава / Кенжегулов Б.З., Ж.Д.Мухтаргалиева, Т.Б.Гапуова // Атырауский государственный университет им. Х.Досмухамедова, г. Атырау, Республика Казахстан, Вестник №3(50) 21.11.2018 стр.116

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kenzhegulov B.Z. Chislennoye modelirovaniye mnogomernykh temperaturnykh i odnomernykh nelineynykh termomekhanicheskikh protsessov v zharoprochnykh splavakh [Numerical modeling of multidimensional temperature and one-dimensional nonlinear thermomechanical processes in heat-resistant alloys. Monograph.] / Kenzhegulov B.Z. ISBN 9965-640-98-X. Publishing house "AtSU named after H. Dosmukhamedov, 2013 – 326 p. [in Russian]
2. Kudaikulov A. Matematicheskoye (konechno-elementnoye) modelirovaniye prikladnykh zadach rasprostraneniya tepla v odnomernykh konstruktivnykh elementakh [Mathematical (finite-element) modeling of applied problems of heat distribution in one-dimensional structural elements] / Kudaikulov A. – Turkestan, 2009 – 168 p. [in Russian]
3. Himushin F.F. Zharoprochnyye stali i splavy. 2-oye pererabotannoye i dopolnitel'noye izdaniya [Heat resistant steels and alloys. 2nd edition] / Himushin F.F. M.: Metallurgy, 1969. – 749 p. [in Russian]
4. Nozdrev V.F. Kurs termodinamiki [Course of thermodynamics] / Nozdrev V.F. Mir. Moscow: 1967 – 247 p. [in Russian]
5. Segerlind L. Primeneniye metoda konechnykh elementov [Application of finite element method] / Segerlind L. M.: Mir. – 1979 – 392 p. [in Russian]
6. Pisarenko G.S. Soprotivleniye materialov [Resistance of materials] / Pisarenko G.S. "Vishcha Shkola", Kiev, 1973. – 672 p. [in Russian]
7. Timoshenko S.P. Teoriya uprugosti [Theory of elasticity] / Timoshenko S.P., Goodyar J.N. M.: Mir., "Nauka", M.: 1975. – 575 p. [in Russian]
8. Berger I.A. Prochnost'. Ustoytivost'. Kolebaniya [Strength. Sustainability. Fluctuations. Vol. 1] / Berger I.A., Panko Ya.G. M.: Mechanical Engineering, 1968. – 56 p. [in Russian]
9. Elsgolts L.E. Differentsial'noye uravneniya i variatsionnoye ischisleniye [Differential equations and calculus of variations] / Elsgolts L.E. Nauka, Moscow: 1969 – 424 p. [in Russian]
10. Kenzhegulov B.Z. Matematicheskoye modelirovaniye issledovaniya termonapryazhennogo v sostoyaniya sterzhnya iz zharoprochnogo splava [Mathematical modeling of study of thermally stressed state of rod of heat-resistant alloy] / Kenzhegulov B.Z., Zh.D. Mukhtargalieva, T.B. Gapuova // Atyrau State University. H. Dosmukhamedova, Atyrau, Republic of Kazakhstan, Bulletin No. 3 (50) 11/21/2018 – P.116 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.007>

ПОСТАНОВКА КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ НА ГРАФЕ

Научная статья

Шаждекеева Н.К.^{1,*}, Жакатай Е.С.²^{1,2} Атырауский государственный университет имени Х.Досмухамедова, Атырау, Казахстан

* Корреспондирующий автор (n.shazhdekeeva[at]mail.ru)

Аннотация

Дифференциальные уравнения, встречающиеся в разных приложениях, могут быть интерпретированы как уравнения в графах. Есть веские основания утверждать, что теория таких уравнений может применяться в широких масштабах, и свойства графа могут быть использованы для создания качественной теории таких уравнений и методов их решения. Используя простые свойства графов, мы можем изучить действие решений дифференциальных уравнений. Есть основания полагать, что структура графа влияет на некоторые важные свойства решения.

Ключевые слова: граф, подграф, дифференциальное уравнение, краевая производная, краевая задача.

STATEMENT OF THE BOUNDARY VALUE PROBLEM ON THE GRAPH

Research article

Shazhdekeeva N.K.^{1,*}, Zhakatay Y.S.²^{1,2} Atyrau State University named after Kh.Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan

* Corresponding author (n.shazhdekeeva[at]mail.ru)

Abstract

Differential equations found in different applications, can be interpreted as equations in graphs. There is good reason to argue that the theory of such equations can be applied on a large scale, and on the other hand, the properties of the graph can be used to create a qualitative theory of such equations and methods for solving them. Using the simple properties of graphs, we can study the action of solutions of differential equations. There is reason to believe that the structure of the graph affects some important properties of the solution.

Keywords: graph, subgraph, differential equation, boundary derivative, boundary value problem.

Introduction

An ordinary differential equation on a segment

$$-(pu')' + qu = f \quad (*)$$

is the basic concept in the analysis of models of the most diverse problems of natural science. By associating such a system in the form of a spatial network (geometric graph), the researcher obtains an equation of the form (1) on each edge of such a network, and at the network nodes the interaction conditions are of the form

$$\sum_{\gamma} \alpha_{\gamma}(a) u'_{\gamma}(a) = 0$$

where the summation is carried out over the γ edges adjacent to the a node. And at the boundary nodes, conditions of the type

$$u|_{\partial\Gamma} = 0$$

Graph theory, their structure, properties and applications are studied in [1] - [5]. And differential equations on graphs are considered in [6] - [7]. In this paper, differential equations and the statement of a boundary value problem on a graph are presented.

geometric graph means a one-dimensional stratified manifold. An edge of a graph is a one-dimensional smooth regular manifold (curve). A vertex of a graph is a point. An edge is denoted by γ or if they are numbered by index i , then by γ_i . And vertices are denoted by a (or a_j). A graph is denoted by Γ .

Vertex index is the number of edges adjacent to it, taking into account the multiplicity. $\Gamma(a)$ denotes the set of edges adjacent to the vertex a . When setting boundary value problems, the following property is useful: the sum of the indices of all vertices of the graph is equal to twice the number of edges.

Scalar function $u(x)$ on the graph is an usual mapping as $u: \Gamma \rightarrow \mathbb{R}$. The restriction of function $u(x)$ to edge γ is denoted by $u_{\gamma}(x)$.

The set of continuous functions on Γ is denoted by $C(\Gamma)$. The set of piecewise continuous functions (continuity on the edges, but the limits at the same vertex for different edges are different, no value is assigned to the function at the vertex) is denoted by $C[\Gamma]$ or by $C[R(\Gamma)]$ (here $R(\Gamma)$ is understood as a disconnected formal union of edges). The set of discretely continuous (continuity on each edge as on an interval, the presence of values at the vertices, however, there is no relationship between the values at the vertices and the limits along the edges adjacent to these vertices) are denoted by $C\{\Gamma\}$.

$C^n[\Gamma]$ (or $C^n[R(\Gamma)]$) denotes the space of functions on each edge n times continuously differentiable up to the boundary (i.e., all derivatives belong to $C[\Gamma]$). The differential operator is defined in this space. In order not to write separately the continuity conditions at the vertices of the graph, it is convenient to pose the problem in space $C^n(\Gamma) = C^n[\Gamma] \cap C(\Gamma)$.

For the function from $C^n[\Gamma]$ the extreme derivatives of this function

$$u_{\gamma}^{(k)}(a)$$

at the vertex a of the graph in the direction "inward" of the edge $\gamma \in \Gamma(a)$ are introduced, here k is derivative order. These are the usual derivatives of function $u_{\gamma}(x)$ given by edge γ , calculated at the endpoint (where one-way differentiation is applied).

A linear differential equation on an edge is an ordinary differential equation on a curve. For some fixed parameterization $x(s)$, it is described by the equation

$$p_0(s)u^{(n)} + p_1(s)u^{(n-1)} + \dots + p_n(s)u = f(s) \quad (1)$$

and when changing the parameterization, the coefficients are recalculated according to the corresponding formulas.

A matching condition at a vertex is any combination of the values of a function and its boundary derivatives at that vertex. Formally, this is written as

$$\beta u(a) + \sum_{\gamma \in \Gamma(a)} \sum_{k=1}^{n-1} \alpha_{\gamma k} u_{\gamma}^{(k)}(a) = f(a) \quad (2)$$

The left-hand side of this equality is conveniently denoted by $l(y)$; this is the general form of the functional at the vertex a .

An ordinary linear differential equation on a graph Γ in $C^n[\Gamma]$

$$Lu = f \quad (3)$$

is any combination of linear differential equations (3) on the edges and regular matching conditions (4) at the vertices of the graph.

The set of vertices at which the Dirichlet condition is given is called the *boundary* of the graph and is denoted by $\partial\Gamma$. The vertices of a graph that are not boundary are called *internal* vertices.

If the edges of the graph can be smoothly parameterized and they do not intersect, then we can consider them as straight intervals. Thus we can say that the graph Γ consists of non-intersecting intervals:

$$\gamma_i = (a_i, b_i) = \{x = a_i + \lambda(b_i - a_i) : 0 < \lambda < 1\} \quad (i = \overline{1, m}), \quad (4)$$

The set of ends of the intervals is denoted by $J(\Gamma)$, each point from it is called the *internal vertex* (node) of the graph. The ends of the intervals (4), not included in $J(\Gamma)$, are called the *boundary vertices* of Γ ; their set is denoted by $\partial\Gamma$.

Any connected open subset of Γ is called a *subgraph*. Any internal vertex of a subgraph $\Gamma_0 \subset \Gamma$ is internal also for Γ . But the set $\partial\Gamma_0$ may contain points that are not included in either $\partial\Gamma$ or $J(\Gamma)$.

The homogeneous differential equation in the graph looks like this:

$$Lu := -\frac{d}{d\Gamma}(pu') + qu = 0 \quad (5)$$

Where

$$\frac{d}{d\Gamma}(pu')(x) = \begin{cases} (pu')'(x), & x \in R(\Gamma) \\ \sum_{\gamma \in \Gamma(x)} \alpha_{\gamma}(x) \frac{d}{d\gamma} u(x), & x \in J(\Gamma) \end{cases} \quad (6)$$

and $p(x), q(x) \in C[R(\Gamma)]$, $\inf_{R(\Gamma)} p > 0$, numbers $\alpha_{\gamma}(x)$ are supposed to be positive. Solutions (5) are sought only among of functions given on all Γ , and for which $(pu')' \in C[R(\Gamma)]$. A set of such functions are denoted by $C^2(\Gamma)$.

In mathematical works, problems on networks appeared in the form of a question about continuous solutions of the system

$$-(pu')' + qu = f \quad (x \in R(\Gamma)) \quad (7)$$

$$-\sum_{\gamma \in \Gamma(a)} \alpha_{\gamma}(a) \frac{du}{d\gamma}(a) + q(a)u(a) = f(a) \quad (a \in J(\Gamma)) \quad (8)$$

$$u(a) = 0 \quad (a \in \partial\Gamma) \quad (9)$$

where (7) are ordinary differential equations given separately on edges γ_i , (8) and (9) are linear relationships defined locally in a finite number of points - at internal and boundary vertices of the graph Γ . Basically, we consider this system as a boundary value problem

$$-\frac{d}{d\Gamma}(pu') + qu = f, \quad u|_{\partial\Gamma} = 0 \quad (10)$$

relating equalities (9) to boundary conditions, and (7), (8) to realizations on $\Gamma = R(\Gamma) \cup J(\Gamma)$ of a single equation on a whole connected set Γ . Such a view, paving the way for qualitative results, leaves aside such important and traditional for ODE questions as the solvability of our ordinary differential equation on the whole of Γ , the expendability of solutions, the dimension of the equality of solutions, etc. Answers to such questions are possible on the basis of the general theory of boundary value problems if we look at system (7) - (9) differently.

Equations (7) are quite simple, but their solutions have different arguments. This does not allow us to consider system (7) as a single equation for a vector function of a scalar argument.

If we look at system (7) as a set of equations that are not related to each other, then we must remember the condition for the continuity of solutions at internal nodes

$$u_i(a) = u_j(a) \quad (\gamma_i, \gamma_j \subset \Gamma(a))$$

The solvability of problem (7) - (9) on a whole Γ or $R(\Gamma) = \bigcup_{i=1}^m \gamma_i$ will be determined by the interaction of all the individual connections of this problem.

Conclusion

Boundary value problems on graphs can be considered as problems on intervals. But here, special attention is paid to the inner and boundary vertices of the graph. At these vertices additional conditions are imposed on the continuity of the solutions of the boundary value problem. Reducing the problem to a standard one in order to use the results of the general theory of boundary value problems, can be carried out using one of the following methods; each method gives its appropriate version of the problem.

Decomposition method. System (7) is considered as a single equation in $C^2[R(\Gamma)]$. Conditions (8)–(9) are generated by a system of linear and continuous functionals in $C^2[R(\Gamma)]$ which are defined with the participation of the incident matrix.

Scalarizing method. The problem is reduced to one scalar equation on a segment. Each of the equations of system (5) turns into an equation on the interval, but it is violated at the ends of the interval. Conditions (8) - (9) turn into multipoint boundary conditions of nonlocal type - they connect the values and derivatives of solutions at different points.

Vector approach. The problem reduces to a standard statement in the class of vector functions. On each edge, a canonical parameterization is introduced by the segment $[0, 1]$, after which all equations can be considered given on the segment $[0, 1]$, and solutions $u_i(t)$ on different edges γ_i turn out to be the coordinates of one vector function.

The above methods are useful when using individual results of the classical theory.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Оре О. Теория графов / Оре О. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. – 336с.
2. Берж К. Теория графов и ее применение / Берж К. - М.: Изд-во иностр. лит., 1962. — 320 с.
3. Шаждекеева Н.К. Графтар теориясындағы есептердің дифференциалдау әдісі / Шаждекеева Н.К., Айғабыл М., Батырханов А.Г. // IV Международная научно-практическая конференция «Европа и тюркский мир: наука, техника и технологии» г. Стамбуле (Турция) 1-3 мая 2019 г. 283 стр
4. Шамишева А.С. Дифференциалдық теңдеулердің графтар арқылы кескіні / Шамишева А.С., Шаждекеева Н.К. // Білім – Ғылым - Қоғам: Өзараықпалдастық мәселелері мен перспективалары атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары, 1-бөлім. – 2013 ж. – 531-534 б.
5. Шамишева А.С. Графтарды дифференциалдау / Шамишева А.С., Шаждекеева Н.К. // «Бектаев оқулары-1: ақпараттандыру – Қоғам дамуының болашағы» атты Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары, 2-бөлім. – 2014 ж. – 335-340 б.
6. Жапсарбаева Л.К. Самосопряженные сужения максимального оператора на графе. / Жапсарбаева Л.К., Кангужин Б.Е., Конаркулжаева М.Н. // Уфимский математический журнал. Том 9. № 4 (2017). С. 36-44.
7. Покорный Ю.В. Дифференциальные уравнения на геометрических графах / Покорный Ю.В., Пенкин О.М., Приядиев В.Л. и др. М.:ФИЗМАТЛИТ. 2005. – 272 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ore O. Teoriya grafov [Graph theory] / Ore O. – М.: Science. Ch. ed. Phys.-Math. lit., 1980. – 336 p. [in Russian]
2. Berge K. Teoriya grafov i yeye primeneniye [Graph theory and its application] / Berge K. – М.: Publishing house of foreign countries. lit., 1962. – 320 p. [in Russian]
3. Shazhdekeeva N.K. Graftar teoriyasındaғы esepтердің differencialdaw әdisi [Methods of differential calculus in graph theory] / Shazhdekeeva N.K., Aigabyl M., Batyrkhanov A.G. // IV Mejdwnarodnaya nawçno-praktičeskaya konferenciya «Evropa i tyurkskiy mir: nawka, texnika i texnologii» [IV International scientific-practical conference "Europe and the Turkic world: science, technology and technology"] // Istanbul (Turkey) 1-3 May 2019 g. Page 283 [in Kazakh]
4. Shamisheva A.S. Differencialdıq teñdewlerdiñ graftar arqılı keskin [Graphic representation of differential equations by graph] / Shamisheva A.S., Shazhekeeva N.K. // [Education - Science - Society: Proceedings of the International Research and Practice Conference, Parts and prospects]. – 2013 – p. 531-534 [in Kazakh]
5. Shamisheva A.S. Graftardi differencialdaw [Graphic differentialization] // «Bektaev oqwlari-1: aqparattandirw – qoғam damwiniñ bolaşaqı» attı Xalıqaralıq ғılımı-täжіribelik konferenciyasınıñ materialdarı [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Bektaev Readings-1: information - future of social development"] / Shamisheva A.S., Shazhekeeva N.K. part 2. – 2014 – P. 335-340 [in Kazakh]
6. Zhapsarbaeva L.K. Samosopryazhennyye suzheniya maksimal'nogo operatora na grafe [Self-adjoint restrictions of maximal operator on graph] / Zhapsarbaeva L.K., Kanguzhin B.E., Konyrkulzhaeva M.N. // Ufimskiy matematicheskiy zhurnal [Ufa Mathematical Journal]. Volume 9. – No. 4 (2017). – P. 36-44. [in Russian]
7. Pokorny Yu.V. Differentsial'nyye uravneniya na geometricheskikh grafakh. [Differential equations on geometric graphs] / Pokorny Yu.V., Penkin O. M., Priyadiev V. L. et al. // М.: Physmatlitis. 2005. – 272 p. [in Russian]

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.008>

ЧЕТЫРЁХОСНЫЙ ТЕНДЕР ПУТИЛОВСКОГО ЗАВОДА

Научная статья

Алексеев С.В. *

ORCID: 0000-0002-5958-7980,
Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (alexeevsergey2009[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье кратко рассмотрена история создания четырёхосного паровозного тендера, спроектированного Путиловским заводом в 1900-х гг. и получившего огромное распространение на отечественных железных дорогах. Такие тендеры применялись с паровозами более чем десяти серий; их выпуск продолжался около 25 лет.

Публикация, таким образом, представляет собой очерк из истории железнодорожной техники. Тема статьи является достаточно узкой; её актуальность обусловлена тем, что о тендерах к настоящему времени написано мало. Будучи неотъемлемой частью магистральных паровозов, они обычно не рассматриваются как самостоятельный тип подвижного состава, но и в публикациях, посвящённых паровозам, о тендерах говорится весьма кратко. Данной статьёй автор попытался частично восполнить этот пробел.

Ключевые слова: паровоз, тендер, железные дороги, Путиловский завод.

QUADRIAXIAL TENDER OF PUTILOV PLANT

Research article

Alekseev S.V. *

ORCID: 0000-0002-5958-7980,
Saint-Petersburg, Russia

* Corresponding author (alexeevsergey2009[at]yandex.ru)

Abstract

The paper discusses the brief history of the development of a quadriaxial locomotive tender designed by the Putilov plant in the 1900s it was widely spread in domestic railways. Such tenders were used with steam locomotives of more than ten series. Their production lasted about 25 years.

Therefore, this publication is an essay on the history of railway technology. The topic of the article is rather narrow; its relevance is due to the fact that so far little has been written about locomotive tenders. Being an integral part of the main steam locomotives, they are usually not considered as an independent type of rolling stock, but they are mentioned very briefly in works devoted to steam locomotives. With this article, the author has tried to fill in this gap.

Keywords: steam locomotive, tender, railways, Putilov plant.

Введение

Конец XIX в. для русских железных дорог характеризовался постепенным переходом большинства частных линий в казну и, как следствие, сосредоточением руководства рельсовой сетью страны в руках Управления железных дорог Министерства путей сообщения. Начала интенсивно проводиться унификация подвижного состава, позволявшая упростить и удешевить ремонт, а также иметь возможность без затруднений передавать паровозы и вагоны с одной дороги на другую, что имело значение в том числе и в оборонных целях.

В 1890-х гг. был введён стандартный – так называемый “нормальный” – тип паровоза с четырьмя движущими осями (осевая формула 0-4-0) и машиной двукратного расширения пара (“компаунд”). Он строился на многих заводах и надолго стал для казённых железных дорог основным товарным локомотивом. При введении в 1912 г. на всей сети дорог единых обозначений паровозов он получил серию О с различными индексами, указывавшими на модификацию. Его тендер первоначально был трёхосным, с запасом воды 14 м³. Такие же тендеры с надстроенной передней площадкой применялись и с пассажирскими паровозами. В России, как и в странах Западной Европы, длительное время вообще использовались почти исключительно трёхосные тендеры. Однако рост мощности локомотивов требовал увеличивать возимые запасы воды и топлива, и в последнее десятилетие XIX в. европейское паровозостроение стало активно переходить к четырёхосным тендерам, ранее применявшимся лишь как исключение.

В России четырёхосные тендеры с водяными баками ёмкостью около 20 м³ в 1890-х гг. стали использоваться с новыми типами паровозов на частных Владикавказской, Московско-Казанской и Рязанско-Уральской железных дорогах. В дальнейшем тендеры увеличенной ёмкости появились и на казённых дорогах.

В 1900 г. казённая Екатерининская железная дорога, имевшая исключительно плохие условия водоснабжения, предложила Управлению железных дорог применить для товарных паровозов “нормального типа” четырёхосные тендеры с запасом воды 25 м³. Их проектирование было поручено Харьковскому заводу. Тогда же XXII Совестьательный съезд инженеров службы подвижного состава и тяги, рассматривая вопрос об изменениях в конструкции “нормальных” паровозов, принял решение массово применять такие тендеры наравне с трёхосными.

В 1901 году для оперативного решения вопросов, связанных с совершенствованием паровозов “нормального типа”, Министерством путей сообщения была создана специальная временная комиссия. В дальнейшем на её рассмотрение стали выноситься проекты новых паровозов и другие вопросы, связанные с подвижным составом, в

связи с чем она была преобразована в постоянную Комиссию подвижного состава и тяги. Председателем её являлся профессор Н.Л. Щукин. В одном из первых своих заседаний комиссия подтвердила решение о применении с паровозами О тендеров типа Харьковского завода [3, Л. 83]. Первый тендер был построен в конце того же 1901 г. Позже эти тендеры стали использоваться с товарными паровозами серии Щ, пассажирскими Ж, К, Н и другими.

В 1902 г. петербургский Путиловский завод начал выпуск сочленённых паровозов системы Маллета типа 0-3-0+0-3-0 с угольным отоплением для казённой Сибирской железной дороги, получивших в 1912 г. серию Θ_n (“фита П”). Их тендеры были созданы на основе харьковского, однако запас воды составлял только 24 м³. П-образный водяной бак харьковского тендера был перепроектирован – для воды использовалось и свободное пространство под днищем угольного помещения. Передняя площадка была поднята до высоты пола в будке паровоза, а ввиду суровых климатических условий Сибирской дороги тендер оборудовался контрбудкой. Позже Коломенский завод стал использовать такие же тендеры для сочленённых паровозов своего выпуска – товарных Θ_k и пассажирских I (“и-десятеричное”), также строившихся для Транссиба.

Вскоре Комиссия подвижного состава, рассматривая меры по снижению веса тендеров типа Харьковского завода, сочла возможным ещё уменьшить запас воды. В журнале этого её заседания, состоявшегося 26 февраля 1903 г., указано: “Последовавшим... обменом мнений выяснилось, что ввиду различного расположения водокачек и нефтяных цистерн невозможно удовлетворить потребности всех железных дорог одним типом 8-колёсного тендера. Но что при объёмах баков: водяных в 23 тонны и нефтяных в 5 тонн представляется возможным удовлетворить наибольшее число русских дорог и не выйти из установленного предела веса тендера в 51,5 тонны” [4, Л. 207–208]. Комиссия поручила Путиловскому заводу переработать проект его тендера под запас воды 23 м³. Однако окончательное решение о выпуске таких тендеров в то время принято не было.

С 1903–1904 гг. тендер Харьковского завода стал использоваться с пассажирскими паровозами серии Н – как угольного, так и нефтяного отопления. Поскольку в последнем случае требовалось не только повысить переднюю площадку, но и установить мазутный бак, вес тендера в рабочем состоянии стал составлять более 53 т. В конце 1904 года возникшая ситуация была рассмотрена Комиссией подвижного состава и Инженерным советом МПС. В результате постройка и эксплуатация таких тендеров были разрешены как временная мера, однако Инженерный совет (журнал №65 от 24 ноября 1904 г.) предложил в дальнейшем уменьшить запас воды у типового тендера до 23 м³ с целью снижения веса в рабочем состоянии до 51,5 тонны [1, Л. 23], [5, Л. 7]. Вскоре после этого Комиссия подвижного состава затребовала у М.В. Гололобова, представлявшего в ней Путиловский завод, уже упоминавшийся проект.

1 февраля комиссия с некоторыми замечаниями утвердила чертежи, но в условиях революции 1905 года выпуск тендеров снова не состоялся. Лишь в январе следующего года завод обратился в Управление железных дорог за разрешением построить пробную партию тендеров по своему проекту [6, Л. 23–24, 28, 46]. Разрешение было получено, и из 91 паровоза О^В, выпущенного заводом для казённых дорог в 1906 г., новые тендеры получили последние десять.

После окончательного утверждения чертежей начальником УЖД хозяйственный отдел Управления в ноябре 1906 г. разослал их всем восьми паровозостроительным заводам – Путиловскому, Невскому (в Петербурге), Коломенскому, Брянскому, Харьковскому, Луганскому, Сормовскому (в Нижнем Новгороде) и Воткинскому [7, Л. 23]. Однако переход к новому типу происходил постепенно и занял около года, что можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, путиловский тендер по сравнению с харьковским имел более сложную конструкцию бака. Во-вторых, тендеры в задел под будущие выпуски паровозов заводами часто строились заранее. В-третьих, проект первоначально был составлен только для паровозов “нормального типа” (рис. 1), для которых 1907 год стал последним годом массового выпуска. Разработка чертежей применения тендера для других паровозов потребовала времени.

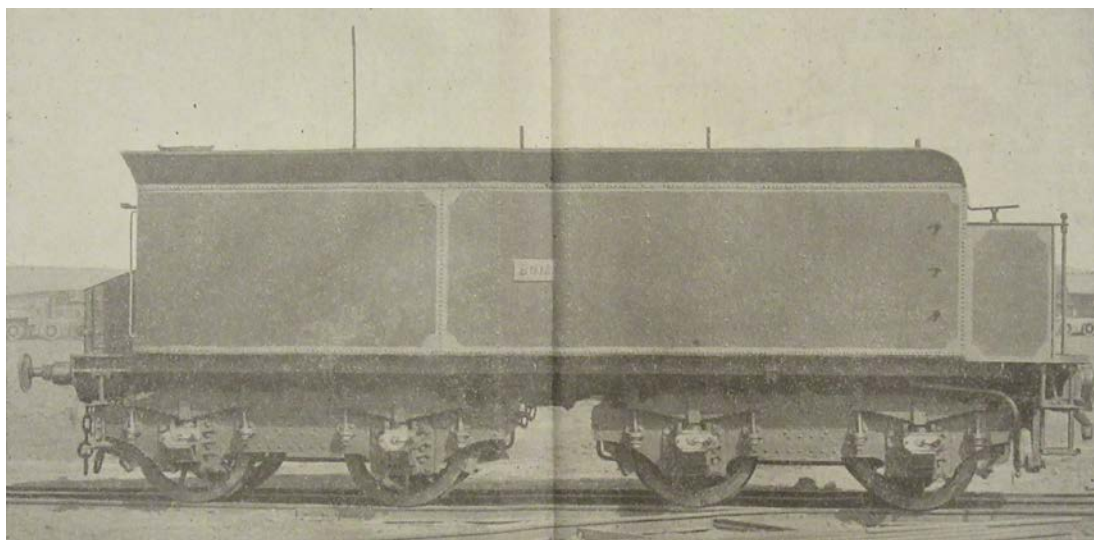


Рис. 1 – Тендер конструкции Путиловского завода в применении к паровозу серии О

Таким образом, только с 1908 г. тендеры Путиловского завода начали выпускаться в большом количестве. Закрепившееся за ними наименование “нормальных” первоначально использовалось только для обозначения тендера в применении к паровозу “нормального типа”, т.е. серии О, и лишь позже распространилось на его варианты для

других серий. В последующие годы он стал, по сути, единственным типом четырёхосного тендера для паровозов, строившихся по заказам Управления железных дорог МПС (т. е. для казённой сети), а также для мелких частных дорог, если по их условиям на паровозах требовался большой запас воды. Крупные же частные дороги поступали по-разному. Одни – например, Северо-Донецкая и Юго-Восточные – использовали “нормальный” тип, лишь внося в конструкцию небольшие изменения, которые, как считали инженеры этих дорог, должны были улучшить условия эксплуатации. Для других дорог могли проектироваться специальные тендеры; это обычно происходило, если дорога брала на себя инициативу создания нового типа паровоза.

Одновременно для многих серий паровозов продолжали выпускаться и трёхосные тендеры.

Рассмотрим конструкцию путиловского тендера более подробно.

Тендер четырёхосный, на двух поворотных тележках. Длина от кромки переднего стяжного ящика до задних буферов – 8947 мм, колёсная база – 4240 мм, база тележки – 1800 мм, ёмкость водяного бака – 23 м³.

Несущим элементом конструкции является рама, основу которой составляют две продольные балки из швеллеров высотой 300 мм, соединённые поперечными балками, в том числе двумя шкворневыми. К продольным балкам с помощью консолей крепятся два наружных продольных швеллера высотой 120 мм. Спереди и сзади рамы продольные балки соединены стяжными ящиками. С паровозом тендер сцепляется винтовой стяжкой, надеваемой на вертикальные шкворни, укрепленные в заднем стяжном ящике паровоза и переднем стяжном ящике тендера, в котором установлены также два буфера в направляющих коробках. Для соединения с составом применяются, как и на всех русских локомотивах и вагонах того времени, винтовая сцепка – крюк с винтовой стяжкой – и буфера.

Тележки тендера имеют боковины из листовой стали толщиной 22 мм. Боковины соединены двумя концевыми балками и шкворневой балкой, между которыми установлены диагональные раскосы. Диаметр колёс равен 1010 мм, диаметр осевых шеек – 135 мм, длина шеек – 240 мм. Рессорное подвешивание одноступенчатое, состоящее из 10-листовых надбуксовых рессор.

Водяной бак в форме параллелепипеда представляет собой каркас из уголкового профиля, обшитый листовым железом. Длина бака внутри составляет 6720 мм, ширина – 2990 мм, высота – 1360 мм. Бак имеет угольную яму – продольную выемку длиной 4915 мм и шириной 980 мм. Запас угля равен 5 т. Днище ямы на большей части её длины сделано с понижением в сторону паровоза, а в передней части имеет подъём, оканчивающийся лотком, с которого помощник машиниста производит забор угля на лопату. “Ломаная” форма днища была выбрана для более удобного сжигания топлива водой, требовавшегося при углях низких сортов. На практике это решение оказалось не вполне удачным – в угольной яме застаивалась вода, что способствовало ржавлению обшивки. Позже для защиты днища и стенок ямы стало применяться покрытие их асфальтовой смолой.

В баке имеется поперечная перегородка, повышающая его прочность и смягчающая гидравлические удары от колебаний воды во время движения. Вода к паровозу подаётся по двум металлическим трубам с армированными резиновыми соединительными рукавами. В задней части бака на его палубе находятся две заливные горловины. Палуба имеет наклонное ограждение – так называемый “обнос”. За баком размещён инструментальный ящик. При нефтяном отоплении паровоза на водяной бак устанавливался бак для мазута, обычно ёмкостью 5,7 м³ (5,1 т).

Тендер оборудован пневматическим колёсно-колодочным тормозом с 12-дюймовым цилиндром и с односторонним нажатием колодок. Применялся обычный для русских железных дорог автоматический тормоз Вестингауза, который мог – преимущественно для частных дорог – заменяться тормозом системы “Нью-Йорк”. Тормоз имеет и ручной привод, установленный на передней площадке. Сама площадка первоначально была, как правило, открытой. В 1910-х гг. тендеры и новых паровозов, и уже находящихся в эксплуатации стали в большинстве своём оборудоваться металлическими или деревянными контрбукками, что существенно улучшило условия работы локомотивной бригады.

Вес порожнего тендера с комплектом инструментов, но без контрбукки составлял в применении к паровозу серии О с угольным отоплением 21,6–22,0 т, Щ – 22,5 т, С – 22,6 т. Для паровозов с нефтяным отоплением вес увеличивался примерно на 1,5 т.

За время своей работы тендеры подвергались различным модернизациям – таким, как применение автосцепки СА-3 вместо задней винтовой сцепки, установка электрического освещения, замена круглых горловин водяного бака вытянутыми, изменение ручного привода тормоза и узлов подвески тормозных колодок, использование 12-листовых надбуксовых рессор вместо 10-листовых. Некоторые из этих изменений вносились ещё в ходе выпуска паровозов в 1920–1930-х гг.

В 1906–1907 гг. Путиловский завод разработал чертежи применения тендера к паровозам 1-3-0 серии Н и 1-4-0 Щ. Первый в то время являлся на казённых железных дорогах наиболее распространённым пассажирским паровозом, второй начал приходить на смену О^В в качестве основного товарного. Их выпуск производился несколькими заводами. Невский завод в 1907 г. применил путиловский тендер к пассажирскому паровозу 2-3-0 серии Ж. Во всех случаях устраивалась металлическая надстройка на передней площадке, повышавшая её высоту до уровня пола в будке машиниста. Тендеры паровозов Ж, кроме того, имели на раме специальные водила, соединявшиеся через пружины с рамой паровоза. Применение водил уменьшало влияние паровоза при движении, поскольку его колёсная база фактически увеличивалась за счёт базы тендера. Аналогичные водила применялись на паровозах К и Ё.

В следующем году Путиловский завод использовал свой тендер с товарными паровозами 1-4-0 серии Р заказа Юго-Восточных дорог. Уровень пола в будке у этих паровозов был лишь немногим выше, чем у О^В, поэтому надстройка на тендерной площадке была невысокой и изготавливалась из дерева [9, Л. 31].

В 1909 г. Брянский завод применил путиловский тендер к пассажирскому паровозу 2-3-0 своей разработки серии Б, выпускавшемуся с 1907 г. Ввиду того, что паровоз имел высокое расположение котла и, соответственно, пола в будке, завод счёл необходимым для удобства ручной подачи угля к топке поднять днище угольной ямы. Чтобы при этом сохранить неизменной ёмкость водяного бака, его высота была уменьшена до 1300 мм [18, С. 46/1909 г.]. Для возможности при меньшей глубине ямы разместить требуемое количество топлива обнос бака был сделан

вертикальным и на протяжении длины ямы значительно повышен. В целом же конструкция бака осталась прежней. Четырёхосными тендерами в основном снабжались паровозы, поступавшие на дороги с плохим водоснабжением – частные Юго-Восточные, казённые Екатерининскую, Ташкентскую и другие. Для прочих дорог паровозы Б строились с трёхосными тендерами.

К сожалению, со стороны МПС тендерам не всегда уделялось значительное внимание – видимо, потому, что для паровозов они всё же являлись второстепенной частью. Чертежи приспособления типового тендера к новой серии паровоза обычно выполнялись предприятием, проектировавшим сам локомотив, и не согласовывались с заводами, создававшими в это же время другие паровозы. Как следствие, для пассажирского паровоза 1-3-1 серии С, разрабатывавшегося Сормовским заводом в 1909–1910 гг., путиловский тендер был применён с меньшими изменениями. Глубина угольной ямы и, следовательно, высота водяного бака остались прежними, хотя передняя площадка была повышена практически на ту же величину, что и у серии Б – около 700 мм. Повышение площадки потребовало, как и у Б, поднять её борта, верхняя часть которых стала продолжением обноса бака, однако сам обнос остался низким. Выпуск паровозов С продолжался с 1910 по 1918 г. Они строились, кроме Сормовского, на Невском, Харьковском и Луганском заводах. Как и серия Б, они широко применялись и на казённых, и на частных железных дорогах. Паровозы С имели мощный котёл и потому снабжались исключительно четырёхосными тендерами.

В те же годы Коломенский завод применил путиловский тендер к пассажирскому паровозу 2-3-0 серии К. Кроме того, тендер использовался с пассажирскими четырёхцилиндровыми паровозами типа 2-3-0 серии У и с товарными 0-4-0 серии Ы.

В 1914 г. результаты эксплуатации путиловских тендеров рассмотрела Комиссия подвижного состава. Из существенных недостатков, кроме уже упоминавшейся неудачной формы угольной ямы, были отмечены перегрев буксовых подшипников и расстройство экипажной части при работе тендера с пассажирскими паровозами новых типов. Это было вызвано сочетанием двух факторов – высоких скоростей движения и допускавшейся в ряде случаев вынужденной перегрузки тендеров углём или дровами.

Известный конструктор паровозов А.С. Раевский, также являвшийся членом комиссии, отмечал тогда, что “нынешний 4-осный нормальный тендер отжил свой век как универсальный тип для всех паровозов и поездов... Пока строились паровозы 2-3-0 типа Московско-Казанской ж. д. [серии Ж] и 1-3-0 [серии Н], никаких недоразумений с ходовыми частями тендера не возникало, но появление значительно более мощных и быстроходных паровозов с перегревателями: 2-3-0 типа Коломенского завода, 2-3-0 типа Брянского завода и 1-3-1 типа “Прери” Сормовского завода [т.е. серий К, Б и С], совпавшее с увеличением скорости движения поездов, вызвало появление жалоб на нагревание шеек, на недостаточную прочность поперечных балок тележек и главных рам, появление трещин, ослабление заклёпок в баках. Это явление указывает на то обстоятельство, что конструкция тендера, прежде удовлетворявшая, уже является не соответствующей повышенным скоростям движения” [18, С. 635/1914 г.].

Ещё в 1913 г. тендеры паровозов С стали снабжаться тележками с усиленными заклёпочными соединениями. Позже Сормовский завод приступил к проектированию тендера, предназначавшегося специально для пассажирских паровозов, однако наступивший период войн и революций не позволил осуществить этот проект в металле. Для товарных же паровозов новых типов путиловский тендер оказался вполне подходящим, несмотря на допускавшиеся и для них перегрузки топливом. Скорости товарных поездов были значительно ниже пассажирских.

В 1914 г. Брянский завод получил заказ Московско-Казанской железной дороги на партию товарных паровозов Маллета серии Θ^4_6 . Сочленённые паровозы этой дороги предыдущих выпусков имели тендер с запасом воды 20 м³, однако для новых машин был применён “нормальный” тендер, конструкция которого лишь подверглась изменениям соответственно типу паровоза [18, С. 435–436/1914 г.]. Паровозы данной партии поступили на дорогу в течение 1914–1915 гг. Брянский завод и в дальнейшем строил паровозы Маллета для Московско-Казанской дороги, позже их производство было передано на Коломенский завод.

Луганский завод с 1914 г. начал использовать путиловские тендеры с товарными паровозами 0-5-0 серии Э для частной Северо-Донецкой железной дороги. Эти паровозы были первоначально спроектированы по заказу Владикавказской дороги и выпускались заводом с 1912 г.; первые машины имели тендеры с запасом воды 21,25 м³, созданные ранее для паровозов Г и Ш. Серия стала одной из самых массовых в мировом паровозостроении. Паровозы Э с различными усовершенствованиями (серии Э^{III}, Э^Г, Э^У, Э^М и Э^Р) строились до 1957 г., и их было выпущено около 11 тысяч.

Паровозы, выпускавшиеся для Северо-Донецкой дороги, снабжались тендером типа Путиловского завода с теми же изменениями, что и для паровозов Б. Кроме того, по требованию дороги тендеры имели деревянную обшивку угольной ямы, покрывавшуюся смолой и предохранявшую металл водяного бака от коррозии и механических повреждений. Толщина колёсных бандажей была увеличена до 75 мм, вследствие чего диаметр колёс стал равен 1030 мм; ранее такие бандажи в ряде случаев применялись на тендерах пассажирских паровозов частных дорог. Все тендеры снабжались контрбудками. Порожний вес с учётом инструментов и контрбудки составлял 23,7 т. В характеристике, прилагавшейся к договорам поставки, объём угольного помещения указывался равным 5 м³ [11, Л. 22, 59], однако уже при постройке на тендеры устанавливались деревянные борта, позволявшие увеличивать запас угля до 15 м³. Мосты и верхнее строение пути на Северо-Донецкой дороге допускали повышенную нагрузку на ось.

В 1915 г., уже во время Первой мировой войны, сразу на нескольких заводах был начат массовый выпуск паровозов этой же серии для казённых железных дорог. Их тендеры были такими же, как у паровозов Северо-Донецкой дороги, однако не имели контрбудок, дополнительных бортов и деревянной обшивки угольной ямы. Толщина бандажей была оставлена обычной – 65 мм. Паровозы Э, хотя и в очень небольших количествах, выпускались и в первые послереволюционные годы – в период Гражданской войны и разрухи.

При заказе в начале 1920-х гг. крупной партии паровозов Э на заводах Швеции и Германии (серии Э^{III} и Э^Г) тендер (рис. 2) изменился незначительно. Горловины водяного бака для удобства постановки под гидроколонку были

сделаны удлиненными, устроена труба для удаления воды из угольной ямы. Тендеры выпускались с бандажами толщиной 65 мм и оборудовались контрбудками. В контрбудке устанавливалась паровая кастрюля для разогрева пищи.



Рис. 2 – Тендер паровоза ЭШ-4368 с паровозом ЭШ-4444. Экспозиция Музея РЖД

Путиловский тендер имели и паровозы Э^У, строившиеся в 1926–1932 гг. Коломенским, Брянским, Сормовским, Харьковским, Луганским заводами и заводом “Красный Путиловец” (бывшим Путиловским). Взамен тормоза Вестингауза стал использоваться тормоз Казанцева. В это же время окончательно стали применяться 75-мм бандажи; в процессе эксплуатации они устанавливались и на тендерах старых паровозов различных серий.

Путиловские тендеры получили также первые паровозы следующей модификации – Э^М. В начале 1930-х годов в конструкцию тендера были внесены существенные изменения, наиболее важными из которых стали использование сварных рам и баков вместо клепанных, применение тележек поясного типа (“даймонд”) с колёсами диаметром 1050 мм и введение жёсткого соединения между паровозом и тендером. Сам паровоз получил будку закрытого типа, ввиду чего перепроектированию подверглись передняя площадка тендера и контрбудка. Также на тендере была изменена конструкция привода ручного тормоза и введена дополнительная перегородка в водяном баке. Эти изменения вносились в конструкцию постепенно, причём последовательность их введения была на разных заводах различной. Окончательный вариант тендера для паровозов Э^М правильнее рассматривать уже как новый тип, а тендеры с частичным внесением перечисленных изменений – как переходные типы.

В 1925 г. началась постройка пассажирских паровозов 1-3-1 серии С^У, разработанных Коломенским заводом. Паровозы первого выпуска имели заново спроектированные тендеры, эксплуатация которых выявила, однако, ряд недостатков. Для следующих паровозов были использованы тендеры, аналогичные путиловским в их варианте для серии Э. В рессорное подвешивание была введена вторая ступень в виде цилиндрических пружин и соответственно этому изменены боковины тележек. Кроме того, изменениям подверглись передняя площадка, трубы для подачи воды к паровозу и привод ручного тормоза, были увеличены размеры осевых шеек. В 1932 г. такие тендеры получили первые 30 паровозов С^У второго выпуска. В дальнейшем клепанные рамы и баки были, как и у серии Э^М, заменены сварными, а с 91-го паровоза объём бака увеличен до 28 м³ [23, С. 8, 14].

Заключение

Путиловский тендер ни в коей мере не был, говоря современным языком, прорывным решением. Это было своего рода “закрепление освоенного”. Тендер был спроектирован на базе уже существовавших типов и сам, в свою очередь, стал основой для последующих конструкций.

Оба его прототипа – и тендер Харьковского завода, и тендер паровозов Э_п – создавались для работы с конкретной серией локомотива и даже в условиях конкретной дороги. Путиловский завод и Комиссия подвижного состава, не внося значительных изменений, перепроектировали его в “средний”, универсальный тип, который мог использоваться с различными сериями паровозов и потому выпускался в больших количествах. Безусловно, важное значение имели и прочность, позволявшая увеличивать запас угля даже в три раза, и достоянная простота конструкции, широкое применение в ней стандартного металлического проката, минимальное использование литых и кованых деталей, отсутствие элементов, сложных в изготовлении и ремонте. Всё это дало возможность тендерам успешно нести службу, пик которой пришёлся на 1910–1940-е годы, далеко не самый простой период отечественной – и не только отечественной – истории.

Вместе с тем едва ли можно не согласиться с мнением профессора Раевского. Появившиеся на рубеже первого и второго десятилетий XX века мощные скоростные пассажирские паровозы, качественно отличавшиеся от своих

предшественников, требовали и нового типа тендера. В 1920–1930-е гг. острота данного вопроса снизилась, но лишь потому, что в это время почти не осуществлялось движение поездов с высокими скоростями.

До настоящего времени сохранилось достаточно большое количество тендеров конструкции Путиловского завода. В их число входят как минимум три тендера от паровозов Щ, перецепленные к машинам других серий; самих паровозов Щ не сохранилось. В экспозиции Музея Российских железных дорог в Санкт-Петербурге находится паровоз С-68 с тендером Щ-3006 (рис. 3). В фондах этого же музея имеется тендер Щ-517, переделанный для работы с паровозом серии Э. Такой же тендер – Щ-163 – находится с паровозом-памятником Э^у 706-10 на станции Бологое.



Рис. 3 – Тендер паровоза Щ-3006 с паровозом С-68

Примечателен тендер паровоза У-127 в столичном Музее Московской железной дороги. Паровоз, ведший в 1924 г. в Москву траурный поезд с телом В.И. Ленина, с 1937 г. сохраняется как исторический памятник. Более поздних модернизаций он уже не проходил. Тендер имеет винтовую сцепку и сохранил в первоначальном виде ряд деталей – 10-листовые рессоры, привод ручного тормоза, узлы подвешивания тормозных колодок.

Значительное количество тендеров типа Путиловского завода сохранилось с паровозами серии Э различных модификаций, в том числе с несколькими паровозами Э^у, находящимися в рабочем состоянии.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Российский государственный исторический архив. ф. 240, оп. 1, д. 554.
2. Российский государственный исторический архив. ф. 273, оп. 6, д. 272.
3. Российский государственный исторический архив. ф. 273, оп. 6, д. 2606.
4. Российский государственный исторический архив. ф. 273, оп. 6, д. 2611.
5. Российский государственный исторический архив. ф. 273, оп. 6, д. 2673.
6. Российский государственный исторический архив. ф. 273, оп. 9, д. 2198.
7. Российский государственный исторический архив. ф. 273, оп. 9, д. 2222.
8. Российский государственный исторический архив. ф. 273, оп. 9, д. 2257.
9. Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга. ф. 1418, оп. 7, д. 73.
10. Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга. ф. 1418, оп. 7, д. 82.
11. Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга. ф. 1488, оп. 1, д. 65.
12. Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга. ф. 1488, оп. 1, д. 124.
13. Центральный государственный исторический архив Санкт-Петербурга. ф. 1488, оп. 3, д. 2.
14. Раков В. А. Локомотивы отечественных железных дорог 1845–1955 / Раков В. А. – М.: Транспорт, 1995. – 564 с.
15. Никольский А. С. Паровозы. Серия С / Никольский А. С. – М.: Виктория, 1997. – 176 с.
16. Ломоносов Ю. В. Паровозы Э, Э^{III}, Э^Г / Ломоносов Ю. В. – Берлин: Bukwa, 1924. – VIII, 316, 259 с.
17. Журнал Комиссии подвижного состава, тяги и мастерских. – СПб. (Пг.): МПС, 1906–1917.
18. Альбом детальных чертежей товарных 6-ти-осных паровозов дуплекс-компаунд системы “Маллета” с 4-х осными тендерами правительственного заказа 1905 года. – СПб.: Путиловский завод, 1906.
19. Альбом детальных чертежей 4-х осного тендера товарного паровоза 0-4-0 системы “Компаунд” нормального типа 1901 года. – СПб.: Путиловский завод, 1910.

20. Альбом детальных чертежей четырёхосного тендера для товарных паровозов серий О^B и Э. – Берлин: Российская железнодорожная миссия, 1922.

21. Товарный паровоз 0-5-0 серии Э^M. Альбом чертежей. – М.: Редбюро Главлокомотива, 1936.

22. Пассажирский паровоз серии С^У типа 1-3-1. Альбом чертежей. – М.: Редбюро Трансмаш, 1936.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rossiyskij gosudarstvennyj istoricheskij arhiv. [Russian State Historical Archive] F. 240. I. 1. F. 554. [in Russian]
2. Rossiyskij gosudarstvennyj istoricheskij arhiv. [Russian State Historical Archive] F. 273. I. 6. F. 272. [in Russian]
3. Rossiyskij gosudarstvennyj istoricheskij arhiv. [Russian State Historical Archive] F. 273. I. 6. F. 2606. [in Russian]
4. Rossiyskij gosudarstvennyj istoricheskij arhiv. [Russian State Historical Archive] F. 273. I. 6. F. 2611. [in Russian]
5. Rossiyskij gosudarstvennyj istoricheskij arhiv. [Russian State Historical Archive] F. 273. I. 6. F. 2673. [in Russian]
6. Rossiyskij gosudarstvennyj istoricheskij arhiv. [Russian State Historical Archive] F. 273. I. 9. F. 2198. [in Russian]
7. Rossiyskij gosudarstvennyj istoricheskij arhiv. [Russian State Historical Archive] F. 273. I. 9. F. 2222. [in Russian]
8. Rossiyskij gosudarstvennyj istoricheskij arhiv. [Russian State Historical Archive] F. 273. I. 9. F. 2257. [in Russian]
9. Central'nyj gosudarstvennyj istoricheskij arhiv Sankt-Peterburga. [Central State Historical Archive of Saint-Petersburg]. F. 1418. I. 7. F. 73] [in Russian]
10. Central'nyj gosudarstvennyj istoricheskij arhiv Sankt-Peterburga. [Central State Historical Archive of Saint-Petersburg] F. 1418. I. 7. F. 82. [in Russian]
11. Central'nyj gosudarstvennyj istoricheskij arhiv Sankt-Peterburga. [Central State Historical Archive of Saint-Petersburg] F. 1488. I. 1. F. 65. [in Russian]
12. Central'nyj gosudarstvennyj istoricheskij arhiv Sankt-Peterburga. [Central State Historical Archive of Saint-Petersburg] F. 1488. I. 1. F. 124. [in Russian]
13. Central'nyj gosudarstvennyj istoricheskij arhiv Sankt-Peterburga. [Central State Historical Archive of Saint-Petersburg] F. 1488. I. 3. F. 2. [in Russian]
14. Rakov V. A. Lokomotivy otechestvennyh zheleznih dorog 1845–1955 [Locomotives of the domestic railways 1845–1955] / V. A. Rakov. – М.: Transport, 1995. – 564 p. [in Russian]
15. Nikol'skij A. S. Parovozy. Seriya S [Steam locomotives. S-series] / A. S. Nikol'skij. – М.: Viktoriya, 1997. – 176 p. [in Russian]
16. Lomonosov Yu. V. Parovozy E, E^{Sh}, E^G [Locomotives E, E^{Sh}, E^G] / Yu. V. Lomonosov. – Berlin: Bukva, 1924. – VIII, 316, 259 p. [in Russian]
17. Zhurnal Komissii podvizhnogo sostava, tyagi i masterskih [Journal of the Commission of rolling stock, hauling and workshops]. – SPb. (Pg.): MPS, 1906–1917 [in Russian]
18. Albom detal'nyh chertezhej tovarnyh 6-ti-osnyh parovozov dupleks-kompaund sistemy "Malleta" s 4-h osnymi tenderami pravitelstvennogo zakaza 1905 goda [Album of detail drawings of freight 6-axle Mallet duplex-compound locomotives with 4-axle tenders of Government order of 1905]. – SPb.: Putilovskij zavod, 1906 [in Russian]
19. Albom detal'nyh chertezhej 4-h osnogo tendera tovarnogo parovoza 0-4-0 sistemy "Kompaund" normal'nogo tipa 1901 goda [Album of detail drawings of 4-axle tender of 0-4-0 compound freight locomotive of 1901 normal type]. – SPb.: Putilovskij zavod, 1910 [in Russian]
20. Albom detal'nyh chertezhej chetyryohosnogo tendera dlya tovarnyh parovozov serij O^V i E [Album of detail drawings of four-axle tender for O^V- and E-series freight locomotives]. – Berlin: Rossijskaya zheleznodorozhnaya missiya, 1922 [in Russian]
21. Tovarnyj parovoz 0-5-0 serii E^M. Albom chertezhej [E^M-series 0-5-0 freight locomotive. Album of drawings]. – М.: Redbyuro Glavlkomotiva, 1936 [in Russian]
22. Passazhirskij parovoz serii S^U tipa 1-3-1. Albom chertezhej [S^U-series passenger locomotive of 1-3-1 type. Album of drawings]. – М.: Redbyuro Transmash, 1936 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.009>

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕЕСТРА В СИСТЕМАХ THREAT INTELLIGENCE

Научная статья

Семиков В.С.^{1,*}, Команов П.А.², Тавасиев Д.А.³, Ревазов Х.Ю.⁴¹ ORCID: 0000-0001-6870-0562;^{1, 2, 3, 4} Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (2f3h[at]mail.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются возможности применения сети блокчейн для доставки информации об угрозах в системах threat intelligence. Упомянуты наиболее распространённые инструменты служащие средством сбора данных об угрозах. Приводятся примеры успешного внедрения технологии распределённого реестра в других областях таких как: медицина, экономика, автомобилестроение. Описывается актуальность данной тематики в условиях российского рынка. Так же предлагаются показатели качества для подобных систем и формулы для их расчёта.

Ключевые слова: киберразведка, блокчейн, распределённый реестр, смарт-контракт, киберугрозы.

APPLICATION OF DISTRIBUTED REGISTER TECHNOLOGY IN THREAT INTELLIGENCE SYSTEMS

Research article

Semikov V.S.^{1,*}, Komanov P.A.², Tavasiev D.A.³, Revazov H.Yu.⁴¹ ORCID: 0000-0001-6870-0562;^{1, 2, 3, 4} Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg, Russia

* Corresponding author (2f3h[at]mail.ru)

Abstract

The paper considers the possibilities of the use of the blockchain network to deliver information about threats in threat intelligence systems. The most common tools that serve as a means of collecting threat data are mentioned here. The examples of successful implementation of distributed ledger technology in other areas such as medicine, economics, and automotive are also given. The authors describe the relevance of this topic in the Russian market and also offer Quality indicators for similar systems and formulas for their calculation.

Keywords: cyber intelligence, blockchain, distributed registry, smart contract, cyber threats.

Введение

Для компаний, имеющих большое количество конфиденциальных данных, Threat intelligence является необходимым компонентом защиты от кибератак, потому что помимо существующих мер, реализующих защиту от уже известных уязвимостей, приходится искать новые угрозы и устранять их до того, как они нанесут вред [10]. Актуальность информации, предоставляемой фидами, имеет высокую степень важности, но существующие способы доставки информации не обладают высокой скоростью и надёжностью, поэтому в качестве средства доставки информации об угрозах предлагается использовать сеть блокчейн.

Технология распределённого реестра привлекла к себе внимание общества благодаря тому, что её применили при создании криптовалют. Постепенно криптовалюты стали менее обсуждаемыми и распределённому реестру нашли множество различных применений за пределами финансовой сферы. Эта технология может найти широкое применение в различных сферах промышленности, благодаря своей устойчивости к фальсификации данных и возможности отслеживания операций над ними.

Блокчейн дает возможность создать систему хранения документов, в которой будут сохраняться все операции, производимые над данными, благодаря «умным контрактам» она будет способна контролировать ход выполнения условий договора самостоятельно, без участия третьих лиц, и только при условии выполнения необходимых событий производить оплату, а затем передавать право собственности на предмет сделки [6]. Пример внедрения подобной технологии продемонстрировал Японский технологический конгломерат Hitachi, запустив созданный с использованием стартапа Hyperledger Fabric комплекс, объединённый с технологией биометрической верификации Hitachi и купонной системой KDDI. Целью является упрощение использования купона для конечного пользователя оплата услуг и верификация платежей с помощью отпечатка пальца. Технология распределённого реестра в этом проекте применяется для верификации транзакций пользователей.

Блокчейн также применим в медицинской сфере [7]. В 2017 году крупные фармацевтические конгломераты Pfizer и Genentech объявили о создании блокчейн-проекта MediLedger. Он основан на платформе Quorum, базирующейся на Ethereum [1]. Цель создания блокчейна — перекрыть поддельным товарам доступ к поставкам.

Смарт-контракты, используемые совместно с блокчейн технологией, позволяют вести электронную торговлю и обмен при выполнении сторонами определенных условий, прописанных в смарт-контракте в виде кода на одном из языков программирования [4]. Это необходимо для автоматической проверки условий и исключения посредников из сделки, что позволяет сэкономить время и деньги. В настоящий момент Ethereum наиболее известная платформа, позволяющая использовать смарт-контракты.

Применение распределённого реестра актуально для повышения кибербезопасности благодаря прозрачности

транзакций и необратимости изменений [8]. Определение его как сквозной технологии в приложении № 5 к протоколу заседания правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 25 декабря 2018 г. № 1 повышает востребованность данной технологии на глобальном рынке.

В сфере ТИ существуют различные ресурсы, предоставляющие доступ к данным о новых киберугрозах. Часто - это базы данных содержащие векторы атак, а также базы содержащие стратегии получения несанкционированного доступа потенциальными злоумышленниками.

В качестве примера рассмотрим Maldatabase. Это база данных в которой собрана информация о вредоносном ПО и процессах, выполняемых вредоносными программами. Данные предоставляются в виде файлов распространённых форматов для дальнейшего использовать их средствами визуализации или машинного обучения.

Ещё одним образцом системы сбора информации в области ТИ является сеть Honey pot состоящая из специальных серверов служащих приманкой для злоумышленников [5]. Сеть собирает информацию о средствах, которые используют для получения несанкционированного доступа к данным и о стратегии потенциальных нарушителей. Основываясь на этих данных в дальнейшем можно разрабатывать эффективные меры противодействия для защиты реальных бизнес структур. Информация, собираемая сетью доступна в HoneyDB являющейся агрегатором данных.

Подобное применение распределенного реестра предложено в статье «A new type of blockchain for secure message exchange in VANET». В ней рассматривается вариант использования сети блокчейн как средства доставки информации в специальной сети для автомобильных дорог VANET [2]. За счёт этой технологии авторы предлагают решить проблемы верификации данных, а также несанкционированного доступа к ним.

Результаты и обсуждение

Системы Threat intelligence используют для анализа информацию, получаемую от различных поставщиков, включающую в себя IoC и данные о поведении злоумышленников [3]. Впоследствии они обрабатываются автоматическими системами на основе искусственных сетей нейронов и экспертных систем. Отчеты, составленные по этим материалам, предоставляются их потребителям, таким как команды, реагирующие на обнаруженную уязвимость и начальство следящее за проделанной работой. При помощи блокчейна возможно создать систему, увеличивающую эффективность этих этапов, благодаря повышению доступности информации об угрозах за счет её репликации на узлах сети, а также возможности проводить автоматические сделки по обмену материалами внутри сети. Противоположной тенденцией является использование сторонних компаний, предоставляющих уже отобранные и обогащенные данные пригодные для дальнейшего анализа. Такой подход является хорошим решением для выявления угроз критичных в узкопрофильных компаниях, потому что позволяет выявить критичные для их области угрозы.

Для систем Threat intelligence одним из наиболее важных параметров является время, затрачиваемое на обнаружение уязвимости или её быстрое действие. Этот показатель является важным, потому что необходимо отреагировать на уязвимость прежде чем ей воспользуется злоумышленник.

Следующим по значимости параметром является количество обработанных индикаторов угроз за заданный промежуток времени. Этот показатель отвечает за общую эффективность системы. На этот параметр могут оказывать влияние вычислительные мощности, предоставленные системе.

Точность системы можно определить, как отношение количества ложных срабатываний к общему числу срабатываний. Этот показатель качества способствует оценке системы по полученным результатам и является средством контроля производительности.

Среднее количество индикаторов компрометации, используемое для обнаружения угрозы. Этот параметр может сильно отличаться в зависимости от качества предоставляемых системе данных поэтому относится к незначительным.

Обнаружение уязвимости сложный процесс состоящий из следующих этапов: сбор информации об угрозах из различных источников, обогащение необходимой информацией, анализ полученных знаний. Первый этап заключается в поиске и выборе платформ предоставляющих данные об индикаторах угроз, поиске общедоступных сетей собирающих данные о поведении злоумышленников, сетей приманок. При помощи сети блокчейн можно автоматически собирать такие данные и в любой момент проверить их достоверность [9]. Это упростит их получение и сократит затраты времени на первый этап.

Для эффективной оценки качества разрабатываемой системы необходимо измерить время прохождения каждого из этапов используя контрольные данные подаваемые на вход. Следовательно, измерение быстрого действия системы Threat intelligence можно свести к получению метрик обнаружения уязвимостей. Тогда формула определяющая быстрое действие системы будет выглядеть следующим образом:

$$T_{\text{выс.}} = T_1 + T_2 + T_3 \quad (1)$$

где T_1 - время затрачиваемое на сбор индикаторов угроз;

T_2 - время затрачиваемое на обогащение данных дополнительной информацией об угрозах;

T_3 - время затрачиваемое на анализ полученных знаний.

Показатели времени прохождения каждого из этапов предполагается собирать при помощи программных средств таких как библиотеки логирования.

Для того, чтобы рассчитать точность, необходимо измерить количество ложных срабатываний и общее количество найденных угроз. Затем нужно использовать формулу:

$$A = \frac{Q_f}{Q} * 100\% \quad (2)$$

где Q - общее количество срабатываний;

Q_f - количество ложных срабатываний.

Заключение

В этой работе предложено использовать блокчейн, как средство доставки валидации и верификации данных о киберугрозах. Рассмотрены существующие возможности применения технологии блокчейн и актуальность данной тематики. Предложены показатели качества для систем threat intelligence использующих технологию распределенного реестра в качестве средства доставки информации об угрозах. Приведены формулы для расчёта показателей качества.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Pustisek M. Approaches to Front-End IoT Application Development for the Ethereum Blockchain / M. Pustisek, A. Kos // Elsevier – 2018. – Vol. 129 – P. 410-419. doi:/10.1016/j.procs.2018.03.017
2. Rakesh S. A new type of blockchain for secure message exchange in VANET / S. Rakesh, R. Bajracharya, A. P. Shrestha, N. Y. Seung // Digital Communications and Networks – 2018. doi:/10.1016/j.dcan.2019.04.003
3. Chiba D. DomainChroma: Building actionable threat intelligence from malicious domain names / D. Chiba, M. Akiyama, Y. Takeshi, K. Hato, T. Mori, S. Goto // Elsevier August – 2018. – Vol. 77 – P. 138-161. doi:/10.1016/j.cose.2018.03.013
4. Tapscott D. Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World. / D. Tapscott, A. Tapscott // Portfolio, 2016 – 368 p.
5. Hong J. Research on Network Defense Strategy Based on Honey Pot Technology / J. Hong, Y. Hua // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 315 – P. 227–233. doi:/10.1088/1757-899X/322/5/052033
6. Skinner C. ValueWeb: How Fintech Firms are Using Bitcoin Blockchain and Mobile Technologies to Create the Internet of Value. / C. Skinner // Marshall Cavendish International (Asia) Pte Ltd, 2016 – 424 p.
7. Brogan J. Authenticating Health Activity Data Using Distributed Ledger Technologies / J. Brogan, I. Baskaran, N. Ramachandran // Computational and Structural Biotechnology Journal – 2018. – Vol. 16 – P. 257-266. doi:/10.1016/j.csbj.2018.06.004
8. Chen J. Algorand: A secure and efficient distributed ledger / J. Chen, S. Micali // Elsevier – 2019 – Vol. 777 – P. 155-183. doi:/10.1016/j.tcs.2019.02.001
9. Zhang S. Analysis of the main consensus protocols of blockchain / S. Zhang, J. H. Lee // Elsevier – 2019 – Vol. 17 – P. 122-134. doi:/10.1016/j.icte.2019.08.001
10. Noor U. A machine learning framework for investigating data breaches based on semantic analysis of adversary's attack patterns in threat intelligence repositories / U. Noor, Z. Anwar, A. W. Malik, S. Khan, S. Saleem // Elsevier June – 2019 – Vol. 95 – P. 467-487. doi: /10.1016/j.future.2019.01.022

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.010>

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА ПОВОРОТОМ ЛОПАТОК

Обзор

Аликин А.А. *

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (alikin123[at]mail.ru)

Аннотация

Повышение КПД и мощностей газотурбинных двигателей (ГТД) требует усовершенствования и усложнения вспомогательных систем, обеспечивающих безаварийность работы и приемлемые эксплуатационные характеристики на долевых режимах эксплуатации. Использование продвинутых технологий регулирования поворотом лопаток компрессора повышает ресурс ГТД, экономичность, эффективность в больших диапазонах работы (особенно показательно в авиадвигателях, работающих на скоростях от 0 до 3300 км/ч.).

Ключевые слова: осевой компрессор, помпаж, регулирование, направляющий аппарат.

CONTROL OF AXIAL-FLOW COMPRESSOR BY ROTATING BLADES

Review

Alikin A.A. *

St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

* Corresponding author (alikin123[at]mail.ru)

Abstract

Increasing the efficiency and power of gas turbine engines (GTE) requires the improvement and complication of auxiliary systems that ensure trouble-free operation and acceptable performance characteristics in shared operation modes. The use of advanced technologies for controlling the rotation of the compressor blades increases the gas turbine engine resource, economy, efficiency in large ranges of operation (especially significant in aircraft engines operating at speeds from 0 to 3300 km/h).

Keywords: axial compressor, surge, regulation, guiding apparatus.

Введение

Во всех осевых компрессорах в составе ГТД применяется регулирование лопаток хотя-бы 1-ой ступени. В связи с отсутствием показательного описания физики процесса, методик и реализации изменением угла направляющих аппаратов была написана статья, целью которой было провести полный и систематизированный обзор технологии поворота лопаток компрессора от физического описания до реализации на реальных агрегатах.

Основная часть

Рассмотрим обтекание лопаток компрессора на нерасчетном режиме. Напор H в осевых компрессорных ступенях увеличивается с уменьшением расхода G (и как следствием $c_{a \text{ расч.}}$). Изэнтропийный к. п. д. ступени с уменьшением расхода вначале возрастает и при некотором значении напора достигает максимума. Дальнейшее уменьшение расхода приводит к снижению КПД. Вследствие снижения осевой скорости потока $c_{a \text{ расч.}}$ уменьшается угол β_1 входа потока на рабочие лопатки, увеличивается угол атаки $i = \beta_1 - \beta_{1л}$. Изменение изэнтропийного КПД ступени от расхода является следствием зависимости потерь в решетках от угла атаки. Как при больших отрицательных углах атаки, так и при положительных углах атаки потери в решетках резко возрастают и к. п. д. ступени падает. Особенно неблагоприятны положительные углы атаки (рис. 1). При больших положительных углах атаки работа компрессорной ступени полностью нарушается, и она вступает в режим помпажа. Под помпажем понимается неустойчивая работа компрессора, обусловленная срывом потока на рабочих или направляющих лопатках и соответственно резким увеличением потерь в решетках из-за больших положительных углов атаки [1]. Срыв потока возникает на спинке лопатки, после чего образовавшийся вихрь заполняет всю площадь сечения канала (см. рис. 1).

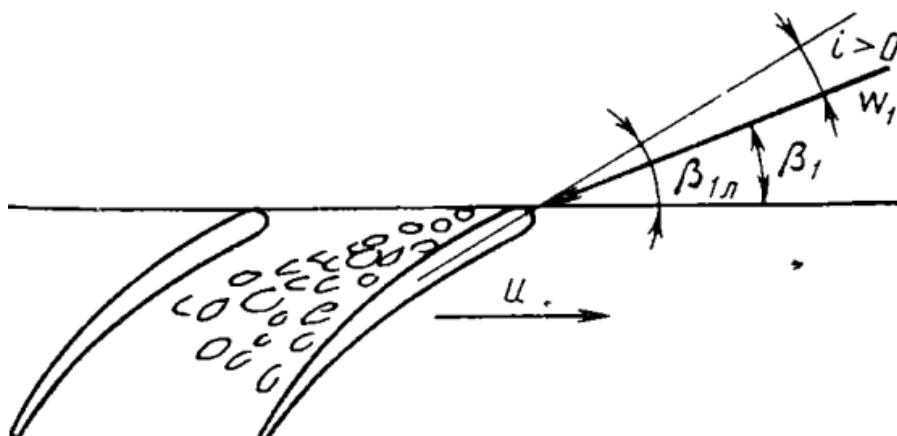


Рис. 1 – Срыв потока при обтекании лопаток

При появлении помпажа резко увеличивается шум, уменьшается подача компрессора, появляется сильная вибрация, вызванная периодическим движением воздуха из камеры нагнетания в камеру всасывания в период срыва напора, и движения в обратном направлении в период кратковременной нормальной работы. Работа компрессора в зоне помпажа может привести к поломкам лопаток и корпуса. Чтобы предотвратить помпаж, компрессор проектируют таким образом, чтобы на всех режимах работы условия, вызывающие помпаж, не возникали. Это достигается в том числе устройствами регулирования ГТД.

Основная задача регулирования - сохранить угол атаки близким к расчетному при изменении частоты вращения и расхода. Основные способы регулирования в современных ГТД:

1) Перепуск – прост в осуществлении, но вызывает рост температуры перед лопатками, снижает тягу, снижает КПД. К тому же им нельзя регулировать компрессор при больших значениях частот вращения из-за опасности возникновения срыва на последних ступенях.

2) Многокаскадные схемы – надежно предохраняют от срыва и сохраняют высокие значения КПД компрессора и соединенной с ним турбины. Однако такие решения дороги и сложны в изготовлении, и используются крайне редко.

3) Регулирование изменением угла наклона лопаток – наиболее распространенный метод. Конструкция из относительно простых и дешевых приводов обеспечивает четкое положение лопаток первых ступеней $i = \beta_{1л} - \beta_1 = 0$. Как правило применяется совместно с перепуском.

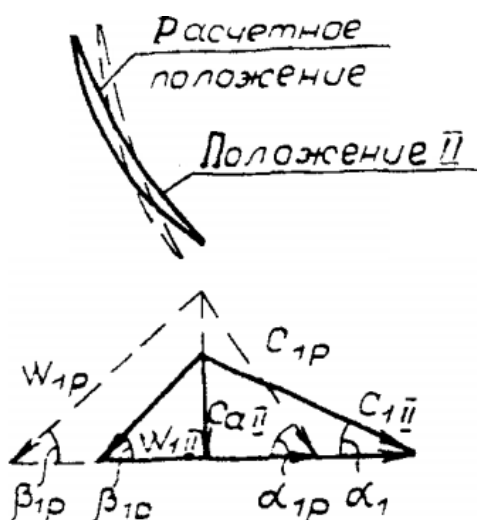


Рис. 2 – Схема поворота лопаток РНА

Принцип действия регулирования изменением угла наклона лопаток следующий: Если расход уменьшился по сравнению с расчетным, то осевая составляющая скорости $c_{aII} < c_{a\text{расч.}}$. Чтобы сохранить угол атаки, надо сохранить величину угла β_1 . С этой целью лопатки НА или СА поворачивают в положение II (см. рис. 2) на величину φ , при этом $\alpha_{1II} < \alpha_{1\text{расч.}}$ [3].

На рис.3 изображены границы неустойчивой работы на графике зависимости напора H от расхода воздуха G . Сплошными и пунктирными линиями обозначены характеристики и рабочие линии (РЛ) компрессора в открытом и закрытом положении лопаток соответственно. Видно, как увеличение угла поворота лопаток поднимает границу помпажа вверх на пониженных числах оборотов ($n_{пр} < 1$) в условиях низкого расхода воздуха.

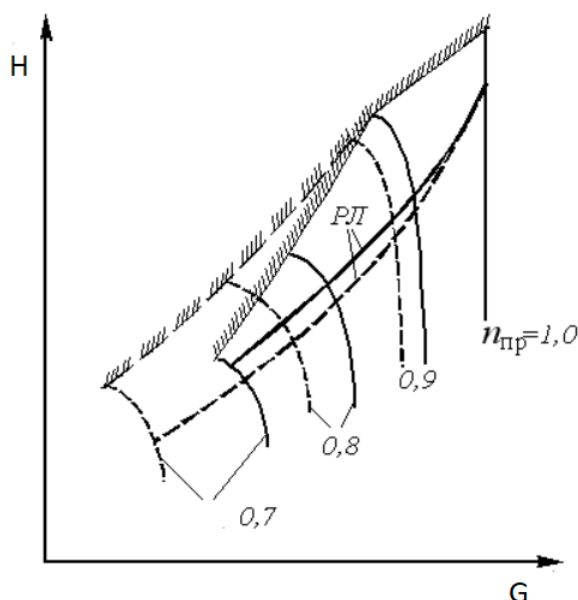


Рис.3 – Изменение границ помпажа при регулировании

В настоящее время на некоторых ГТД осуществляется поворот лопаток спрямляющих аппаратов трех или даже семи ступеней. Это усложняет конструкцию компрессора, но существенно снижает возможность появления срывных режимов и повышает значение КПД компрессора в широком диапазоне изменения расхода и частоты вращения. Например, на двигателе АЛ-31ФЗ поворотными выполнены входной НА и направляющие аппараты 0–3 и 8–12 ступеней.

Привод может быть гидравлическим, пневматическим или электрическим. Перекладка поворотных лопаток НА осуществляется по программе регулирования, в зависимости от изменения приведенных оборотов компрессора.

Поворотные лопатки НА могут выполняться консольными или двухопорными. Последние конструктивно несколько сложнее, однако, позволяют решить проблему обеспечения динамической прочности НА, поэтому применяются в первых ступенях компрессоров, где имеют большое относительное удлинение. В одноступенчатых вентиляторах авиационных ГТД применяют в некоторых случаях поворотные рабочие лопатки – для реверса двигателя и снижения авторотации двигателя в полете при его отказе.

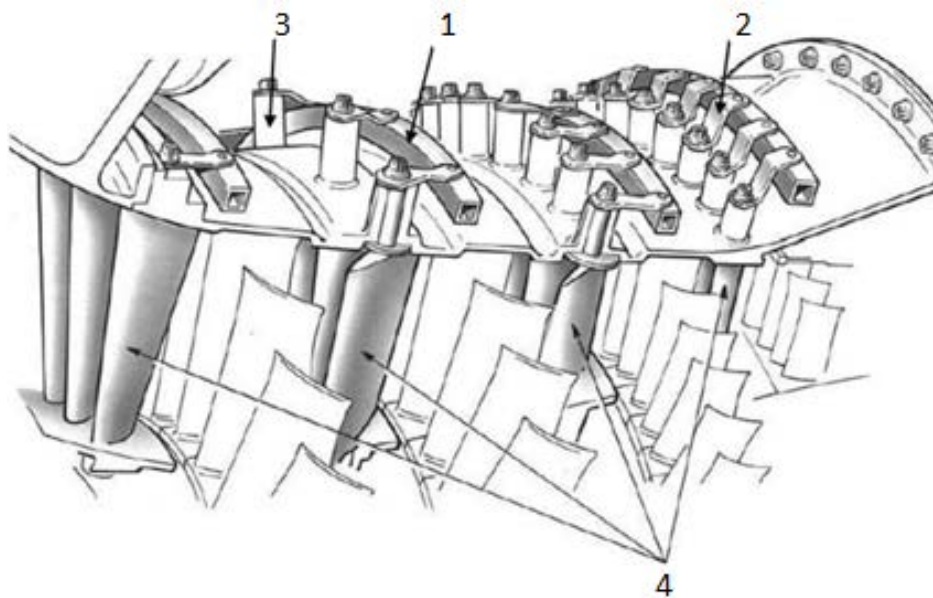


Рис. 3 – Поворотный направляющий аппарата компрессора в ГТУ

На рис. 3 показан Поворотный направляющий аппарат двухопорных лопаток НА. Ось каждой лопатки 3 крепится с поворотным рычагом 2, который связан с поворотным кольцом 1. При необходимости изменения расхода воздуха кольцо 1 поворачивается с помощью электродвигателя; при этом поворачиваются одновременно все рычаги 2 и соответственно лопатки НА 5.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Тихонов Н.П. Теория лопаточных машин авиационных газотурбинных двигателей / Н.П. Тихонов // Самарский государственный аэрокосмический университет. Самара. 2001г. – 317 с.
2. Зайцев В.И. Судовые паровые и газовые турбины / В.И. Зайцев // Транспорт. Москва. 1981г. – 210 с.
3. Кистойчев А.В. Проектирование лопаточного аппарата осевых компрессоров ГТУ / А.В. Кистойчев // Уральский энергетический институт. Екатеринбург. 2014г. – 360 с.
4. Белоусов А.Н. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / А.Н. Белоусов // Самара. 2003г. – 176 с.
5. Иноземцев А.А. Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев // ОАО Авиадвигатель. Пермь. 1180 с.
6. Холщевников К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / К.В. Холщевников // Издательство Машиностроение. Москва 1970г. – 604 с.
7. Зрелов В.А. Отечественные газотурбинные двигатели. Основные параметры и конструктивные схемы / В.А. Зрелов // Машиностроение. Москва. 2005 г. – 329 г.
8. Нихамкин М.А. Конструкция проектирование газотурбинных двигателей наземного применения / М.А. Нихамкин // Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета. Пермь. 2011. – 91с.
9. Елисеев Ю.С. Теория и проектирование газотурбинных установок. / Ю.С. Елисеев // Издательство МГТУ им. Баумана. Москва. 2000г. – 624с.
10. Манушин Э. А. Конструирование и расчет на прочность турбомашин / Э.А. Манушин // Машиностроение. Москва. 1990г. – 395 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tikhonov N.P. Teoriya lopatochnyh mashin aviacionnyh gazoturbinnih dvigatelej [Theory of blade machines of aircraft gas turbine engines] / N.P. Tikhonov // Samara State Aerospace University. Samara 2001 - 317 p. [in Russian]
2. Zaitsev V.I. Sudovye parovye i gazovye turbiny [Ship steam and gas turbines] / V.I. Zaitsev // Transport. Moscow. 1981 - 210 p. [in Russian]
3. Kistoychev A.V. Proektirovanie lopatochnogo apparata osevyh kompressorov GTU [Design of the blade apparatus of axial compressors GTU] / A.V. Kistoychev // Ural Energy Institute. Ekaterinburg. 2014 - 360 p. [in Russian]
4. Belousov A.N. Teoriya i raschet aviacionnyh lopatochnyh mashin [Theory and calculation of aircraft blade machines] / A.N. Belousov // Samara. 2003 - 176 p. [in Russian]
5. Inozemtsev A.A. Gazoturbinnye dvigateli [Gas turbine engines] / A.A. Inozemtsev // Aviadvigatel OAO. Permian. 1180 p [in Russian]
6. Kholshchevnikov K.V. Teoriya i raschet aviacionnyh lopatochnyh mashin [Theory and calculation of aircraft blade machines] / K.V. Kholshchevnikov // Mechanical Engineering Publishing House. Moscow 1970 - 604 p. [in Russian]
7. Zrelov V.A. Otechestvennye gazoturbinnye dvigateli. Osnovnye parametry i konstruktivnye skhemy [Domestic gas turbine engines. Main parameters and design schemes] / V.A. Zrelov // Mechanical Engineering. Moscow. 2005 - 329 p. [in Russian]
8. Nikhamkin M.A. Konstrukciya proektirovanie gazoturbinnih dvigatelej nazemnogo primeneniya [Design design of gas turbine engines of ground application] / M.A. Nikhamkin // Publishing House of the Perm National Research Polytechnic University. Permian. 2011. —91p. [in Russian]
9. Eliseev Yu.S. Teoriya i proektirovanie gazoturbinnih ustanovok [Theory and design of gas turbine units] / Yu.S. Eliseev // Publishing house of MGTU im. Bauman. Moscow. 2000 – 624p. [in Russian]
10. Manushin E. A. Konstruirovanie i raschet na prochnost' turbomashin [Design and strength analysis of turbomachines] / E.A. Manushin // Mechanical Engineering. Moscow. 1990 - 395 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.011>**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ УГОЛ И ТЕХНОЛОГИЯ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ**

Научная статья

Кораблев Г.А. *

Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия

* Корреспондирующий автор (korablevga[at]mail.ru)

Аннотация

Геометрически - геодезический угол, это угол между осью вращения и вектором вращения. Физически – в стационарной системе он может определяться через тангенс угла треугольника, в котором его катеты являются составляющими корпускулярно-волнового процесса. Получены уравнения функциональных зависимостей в кинетике структурных взаимодействий некоторых макро- и микросистем (в том числе для гравитации). Даются уравнения метаматематической связи между «золотым соотношением» и геодезическим углом, а так же с другими фундаментальными величинами. Применительно к техническим характеристикам египетских пирамид показано как их пропорции соответствуют правилу «золотого соотношения».

Ключевые слова: Геодезический угол, «золотое соотношение», стационарное состояние систем, египетские пирамиды, корпускулярно-волновые процессы, гравитация.

GEODESIC ANGLE AND ROTATIONAL MOTION TECHNOLOGY

Research article

Korablev G.A. *

Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia

* Corresponding author (korablevga[at]mail.ru)

Abstract

From the point of view of geometry, the geodesic angle is the angle between the axis of rotation and the rotation vector. From the point of view of physics, it can be determined through the tangent of the angle of the triangle in a stationary system, where its legs are the components of the wave-corpuscle process. The equations of functional dependencies are obtained in the kinetics of structural interactions of some macro- and micro-systems (including for gravity). Equations of the meta-mathematical relationship between the “golden ratio” and the geodesic angle are given, as well as with other fundamental quantities. It is shown how the proportions of the Egyptian pyramids correspond to the “golden ratio” rule in terms of their technical characteristics.

Keywords: Geodesic angle, “golden ratio,” stationary condition of systems, Egyptian pyramids, wave-corpuscle processes, gravity.

Введение

В технологии вращательных движений для описания их механизма используют кинематические, динамические и угловые параметры. Из них важное значение имеет так называемый геодезический угол (ϕ), который идентифицируется на основе законов дифференциальной геометрии [1], [2], [3]. Практическое применение он получил, например, в методике расчетов армирования оболочек вращения при изготовлении цилиндрических корпусов космических летательных аппаратов [4], [5].

По этой методике цилиндрическая оболочка корпуса армируется по геодезической линии. «Геодезическая линия - кривая определенного типа, обобщение понятия - прямая для искривленных пространств» [2]. На круговом цилиндре – это винтовые линии, которые дают кратчайшее расстояние между точками на поверхности вращения.

Если намотка полимерных нитей на основу аппарата идет по геодезической линии, то угол между осью вращения и вектором намотки называется геодезическим углом, который равен $54^{\circ}44' = 54,733^{\circ}$ [4], [5] – рисунок 1. Известно, что под этим же углом работает тутовый шелкопряд при намотке естественной вискозной нити на основу. Такой же принцип используется и в сельскохозяйственной технологии например, при намотке льняных нитей на основу. Не исключено, что это правило выполняется и в микроструктурных процессах, например при раскручивании или закручивании спирали молекулы ДНК.

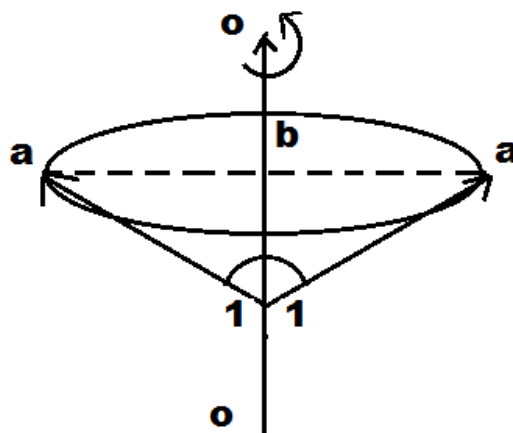


Рис. 1 – Вращательное движение;

где: I – геодезический угол (φ), OO – ось вращения, AO – вектор вращения, ABA – геодезическая линия

Целью данного исследования является выявление физического смысла геодезического угла и анализ возможностей его технического применения.

Геодезический угол при конформации стабильных систем

На основе анализа первого начала термодинамики было получено [6]:

1. В системах, в которых взаимодействие идет по градиенту потенциала (положительная работа) результирующая потенциальная энергия, как и приведенная масса, находятся по принципу сложения обратных значений соответствующих величин подсистем. Это – корпускулярный процесс, теоретической концепцией которого может являться энтропия.

2. В системах, в которых взаимодействие идет против градиента потенциала (отрицательная работа) выполняется алгебраическое сложение их масс и также соответствующих энергий подсистем. Это – волновой процесс, теоретической концепцией которого может являться негэнтропия.

3. Резонансное стационарное состояние систем выполняется при условии равенства степеней их корпускулярных и волновых взаимодействий. Продукция энтропии в стационарном состоянии полностью компенсируется потоком негэнтропии. Так «при круговом процессе в тепловой машине увеличение энтропии системы от притока теплоты полностью компенсируется уменьшением энтропии при отдаче теплоты, а суммарное значение энтропии равно нулю» [7]:

$$\sum \frac{dQ_1}{T_1} = \sum \frac{dQ_2}{T_2} ; ds=0$$

Эти положения применяются и проявляются во многих микро- и макропроцессах.

Применительно к корпускулярно - волновым процессам условие динамического стационарного состояния есть условие равенства их степеней структурных взаимодействий:

$$\rho_k = \rho_v \quad (1)$$

Математически и графически (по номограммам) стационарное состояние в микросистемах выполняется по уравнению:

$$\ln\left(\frac{\rho}{\alpha}\right) = \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

Где, φ - геодезический угол, α – относительная разность энергетических параметров взаимодействующих систем. Аналогично были получены уравнения для числа π :

$$\ln\left(\frac{4\pi}{3}\right) = \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

$$\ln\left(\frac{4\pi^2}{g}\right) = \operatorname{tg} \varphi \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения.

В работах [4], [5] используется понятие разрушающего напряжения при растяжении пластика нити на шаг ее намотки: σ_α – осевое, σ_β – окружное напряжения, которые заменяются пропорциональной им величиной N_α – осевое «усилие» и N_β – окружное «усилие». При этом в кинематике механических систем выполняется:

$$\frac{\sigma_{\beta}}{\sigma_{\alpha}} = \frac{N_{\beta}}{N_{\alpha}} = \operatorname{tg}^2 \varphi = 2 \quad (5)$$

«Это условие позволяет получать равнонапряженную систему нитей с минимальной массой изделия [4],5[. Аналогично, для механизма гравитации и сохраняя формализм уравнений (2,5) получено [8].

$$\ln\left(\frac{G}{\varepsilon_0}\right) = \operatorname{tg}^2(a_0 \varphi) \quad (6)$$

Где, ε_0 - электрическая постоянная,

G — гравитационная постоянная,

$a_0 = 1,00233$ – квантовая поправка к гиромангнитному отношению электрона в атоме, которая возможно в данном случае характеризует влияние прецессии движения частиц.

Таким образом, равенство корпускулярных и волновых взаимодействий определяет резонансное стационарное состояние системы. При этом геодезический угол численно определяет соотношение двух катетов прямоугольного треугольника, значения которых через осевые и окружные напряжения характеризуют энергетические зависимости в системе с корпускулярно-волновыми процессами. Это условие соответствует наиболее оптимальным технологическим вариантам и широко проявляется в природе, а также во фрактальных системах.

Так еще тысячи лет назад было установлено: «Все явления окружающего нас мира, включая человека и природу интерпретируются китайской медициной, как взаимодействие между двумя началами инь и ян, представляющие собой противоположные аспекты единой действительности» [9]. С позиции этих представлений физиотерапию и рефлексотерапию можно рассматривать как методику выравнивания потенциалов двух проявлений энергетических начал, которыми по современным понятиям являются энтропия и негэнтропия (п.3 исходных положений).

Золотые правила египетских пирамид

«Пропорции пирамиды Хеопса, храмов, барельефов, предметов быта и украшений гробниц свидетельствуют, что египетские мастера пользовались соотношением «золотого сечения» при их создании» [10].

«Золотое сечение» или «золотое соотношение» (Φ) – это соотношение, при котором большая величина относится к меньшей так же как их сумма относится к большей величине. Φ – иррациональное, алгебраическое число, мера иррациональности которого равна 2. В данных расчетах будет использоваться его приближенное значение $\Phi=1,618034$. Это соотношение широко проявляет себя в природе, в технике, в науке, в искусстве, в биологии и в медицине. Например, в физике для некоторых колебательных систем их технические характеристики пропорциональны «золотому соотношению».

Можно предположить, что египтяне в период строительства пирамид знали не только о «золотом сечении» и числе π , но имели представления и о геодезическом угле. Но геодезическим углом в пирамиде может быть угол между гранью пирамиды, выполняющей роль вектора «намотки» и той линией основания, которая параллельна земной оси и идет между северной и южной гранью. Очевидно именно по этому пирамиды строились со строгим направлением граней по сторонам света и даже с учетом расположения звезд в определенные времена года.

Такой угол наклона граней в нижней части Ломаной пирамиды составляет $54^{\circ}34'$, то есть только на $10'$ отличается от геодезического угла. Такое совпадение нельзя объяснить случайностью, поэтому эти два многоплановых параметра «золотое соотношение» и геодезический угол должны иметь математическую связь. По аналогии с уравнением (6) получаем:

$$(4/3)\pi \ln \Phi = \operatorname{tg}^2(a_0 \varphi) \quad (7)$$

С относительной погрешностью $\delta=0,13\%$

Совместно с уравнением (6) имеем:

$$(4/3)\pi \ln \Phi = \ln\left(\frac{G}{\varepsilon_0}\right) = \operatorname{tg}^2(a_0 \varphi) \quad (8)$$

Уравнения (7,8) дают функциональную зависимость «золотого соотношения» и геодезического угла не только между собой, но и с другими фундаментальными величинами. Поэтому эти уравнения отражают многоплановые проявления и применения данных параметров. Величина $4/3$ формально соответствует отношению катетов классического треугольника. Но есть более полное объяснение на основе двух принципов сложения энергетических характеристик подсистем (п.1,2 исходных положений). При сложении двух одноименных и одинаковых энергетических параметров их суммарная величина при корпускулярном взаимодействии увеличивается в два раза, а при волновом – уменьшается в два раза, а их соотношение равно 4. Одна часть этой величины в данном пространственном направлении равна $4/3$. Такое число встречается и в других уравнениях, например:

$$(4/\pi)^2 = \Phi \quad (9)$$

где, $\delta=0.09\%$

В этом уравнении значение $4/\pi$ – характеризует угловое распределение корпускулярно волновых соотношений.

Планировали ли египтяне построить и другие пирамиды с геодезическим углом наклона? Со времени строительства пирамид прошли тысячи лет и точно определить первоначальные размеры и угол наклона сейчас не представляется возможным. Многие из пирамид подверглись значительному разрушению и частично были разобраны

[11], [12]. Поэтому угол наклона граней в настоящее время не является геодезическим углом (для большинства пирамид) В данном исследовании он будет обозначаться как α – угол наклона граней пирамид в настоящее время.

Но в технических характеристиках пирамид, хотя и приближенно, должна сохраниться математическая связь между углами ϕ и α и «золотым соотношением». В таблице 1 рассматриваются наиболее известные пирамиды имеющие правильную пирамидальную форму с углами наклона $51^\circ-52^\circ$ (для трех пирамид) и углом наклона $43^\circ 21'$ (для двух пирамид). Так же учтено, что у пирамиды Хефрена имеются грани с разными углами наклона.

Расчеты показали (таб.1), что такая функциональная связь имеет место:

1. Для пирамид с углами наклона грани $51^\circ-52^\circ$:

$$\langle \operatorname{tg} \alpha \rangle = \Phi^{\frac{1}{2}} = (\pi/4)\Phi \quad (10)$$

где, $\langle \operatorname{tg} \alpha \rangle$ среднее значение по трем пирамидам, равное 1,2679.

Так как величина $(\pi/4)\Phi = 1,2708$, то получаем $\delta = 0,22\%$.

2. Для пирамид с углом наклона $43^\circ 21'$:

$$(4/3) \langle \operatorname{tg} \alpha \rangle = \Phi^{\frac{1}{2}} = (\pi/4)\Phi \quad (11)$$

где $\delta = 0,96\%$.

Величина $(\pi/4)\Phi$ показывает, как реальные значения ($\operatorname{tg} \alpha$), полученные по углу наклона граней в настоящее время соответствуют правилу «золотого соотношения». Наибольшее отклонение от этого правила имеются у пирамиды Микерина. Но эта пирамида только в средние века дважды подвергалась значительному разрушению и воздействию.

Таблица 1 – Углы наклона египетских пирамид

Пирамиды	Хеопса	Хефрена	Микерина	Ломаная	Розовая
α	$51^\circ 50'$	$53^\circ 10'$ $52^\circ 02'$	$51^\circ 20'$	$54^\circ 34'$ $43^\circ 21'$	$43^\circ 21'$
$\operatorname{tg} \alpha$	1,2723	(1,3351=4/3) 1,2815	1,2500	(1,4056) 1,2587	1,2587
$\langle \operatorname{tg} \alpha \rangle$	1, 2679			1,2587	
$\delta, \%$	0,22%			0,96%	

Выводы:

1. Геометрически - геодезический угол, это угол между осью вращения и вектором вращения. Физически – в стационарной системе он может определяться через тангенс угла треугольника, в котором его катеты являются составляющими корпускулярно-волнового процесса.

2. Получено уравнение функциональных зависимостей в кинетике структурных взаимодействий некоторых макро- и микросистем (в том числе для гравитации).

3. Даются уравнения метаматематической связи между «золотым соотношением» и геодезическим углом, а так же с другими фундаментальными величинами.

4. Применительно к техническим характеристикам египетских пирамид показано как их пропорции соответствуют правилу «золотого соотношения».

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Фиников С.П. Дифференциальная геометрия / Фиников С.П. М.: из МГУ, 1961
2. Википедия, Геодезическая линия [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Геодезическая> (дата обращения: 02.10.2019)
3. Пидгайный Ю.М. Механика полимеров / Пидгайный Ю.М., Морозова В.М., Дудко В.А. – 1967.– № 6. – С. 1096-1104.
4. Аюшеев Т.Ю. Геометрические вопросы адаптивной технологии изготовления конструкций намоткой из волокнистых композиционных материалов / Аюшеев Т.Ю. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2005. – 212с.
5. Кодолов В.И. Полимерные композиции и технология изготовления из них двигателей летательных аппаратов / Кодолов В.И. Ижевский механический институт, 1992, – 200 с.
6. Korablev G.A. On problematic issues of physical chemistry, Jmest, v6, 2019, pp10320-10324
7. Геворкян Р.Г. Курс общей физики / Геворкян Р.Г., В.В Шепель // Высшая школа, 1972 г., 600 стр.
8. Korablev G.A. On the mechanism of gravitation processes / Korablev G.A. JMEST, v12, 2019, pp705-714.
9. Википедия, Традиционная китайская медицина [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Традиционная_китайская_медицина (дата обращения: 02.10.2019)
10. Википедия, Египетские пирамиды [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Египетские_пирамиды (дата обращения: 02.10.2019)
11. Lehner M. The Complete Pyramids (неопр.). / Lehner M. - New York: Thames and Hudson (англ.)русск., 1997. — С. 84. — ISBN 978-0-500-05084-2.

12. Щетников А. И. Золотое сечение, квадратные корни и пропорции пирамид в Гизе / Щетников А. И. // Историко-математические исследования. — 13 (48). — 2009. — С. 198—217.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Finikov S.P. Differentsialnaya geometriya [Differential Geometry] / Finikov S.P. M.: from Moscow State University, 1961 [in Russian]

2. Vikipediya, Geodezicheskaya liniya [Wikipedia, Geodesic Line] [Electronic resource] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Геодезическая> (accessed: 02.10.2019) [in Russian]

3. Pidgainyi Yu.M. Mekhanika polimerov. [Polymer Mechanics] [Electronic resource] / Pidgainyi Yu.M., Morozova V.M., Dudko V.A. — 1967. — No. 6. — P.1096-1104. [in Russian]

4. Ayusheev T.Yu. Geometricheskie voprosy adaptivnoi tekhnologii izgotovleniya konstruktssii namotkoi iz voloknistykh kompozitsionnykh materialov. [Geometric Issues of Adaptive Technology for Manufacturing Structures by Winding from Fibrous Composite Materials] / Ayusheev T.Yu. — Ulan-Ude: Publishing House of the BSC SB RAS, 2005. — 212 p. [in Russian]

5. Kodolov V.I. Polimernye kompozitsii i tekhnologiya izgotovleniya iz nikh dvigatelei letatelnykh apparatov [Polymer Compositions and Manufacturing Technology of Aircraft Engines] / Kodolov V.I. Izhevsk Mechanical Institute, 1992, - 200 p. [in Russian]

6. Korablev G.A. On problematic issues of physical chemistry / Korablev G.A. Jmest, v 6, 2019, pp10320-10324

7. Gevorkyan R.G. Kurs obshchei fiziki [General Physics Course] / Gevorkyan R.G., V.V Shepel // Higher School, 1972, 600 pp. [in Russian]

8. Korablev G.A. On the mechanism of gravitation processes / Korablev G.A.JMEST, v 12, 2019, pp 705-714.

9. Vikipediya, Traditsionnaya kitaiskaya meditsina [Wikipedia, Traditional Chinese Medicine] [Electronic resource] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Традиционная_китайская_медицина (accessed: 02.10.2019) [in Russian]

10. Vikipediya, Egipetskie piramidy [Wikipedia, Egyptian Pyramids] [Electronic resource] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Египетские_пирамиды (accessed: 02.10.2019) [in Russian]

11. Lehner M. The Complete Pyramids / Lehner M. New York: Thames and Hudson, 1997. — P. 84. — ISBN 978-0-500-05084-2. [in Russian]

12. Shchetnikov A. I. Zolotoe sechenie, kvadratnye korni i proporsii piramid v Gize [Golden Section, Square Roots and Proportions of the Pyramids in Giza] / Shchetnikov A. I. // Istoricheskoye I matematicheskoye issledovaniye [Historical and Mathematical Research]. — 13 (48). — 2009. — P. 198-217. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.012>**НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Научная статья

Савина Н.В.¹, Лисогурская Л.Н.^{2,*}, Лисогурский И.А.³^{1, 2, 3} ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», Благовещенск, Россия

* Корреспондирующий автор (kalinichenko-lid[at]mail.ru)

Аннотация

В статье выделены и описаны проблемы, которые могут быть эффективно решены путём применения накопителей электрической энергии. Для этого проанализированы различные виды накопителей электрической энергии, описан их принцип работы и выделены достоинства и недостатки каждого из видов. В результате проведённого анализа предложен подход к выбору вида накопителя электрической энергии, оптимально соответствующего решаемой задаче. Он позволяет эффективно выбирать тип и характеристики накопителя электрической энергии под конкретную задачу.

Ключевые слова: накопители электрической энергии, маховик, суперконденсатор, СПИНЭ, аккумуляторная батарея.

STORAGE OF ELECTRIC ENERGY AS A MEANS OF INCREASING RELIABILITY AND ECONOMY OF ELECTRIC NETWORK OPERATION

Research article

Savina N.V.¹, Lisogurskaya L.N.^{2,*}, Lisogursky I.A.³^{1, 2, 3} FSBEI HE "Amur State University," Blagoveshchensk, Russia

* Corresponding author (kalinichenko-lid[at]mail.ru)

Abstract

The article identifies and describes the problems that can be effectively resolved through the use of electric energy storage devices. The paper analyses various types of electric energy storage devices, describes their principle of operation, and highlights the advantages and disadvantages of each type. As a result of the analysis, an approach to the choice of the type of electric energy storage device best for the problem under discussion is proposed. It allows effectively selecting the type and characteristics of the electrical energy storage for a specific task.

Keywords: electric energy storage, flywheel, super-capacitor, SPINE, rechargeable battery.

Введение

В настоящее время в мире активно исследуются вопросы применения накопителей электрической энергии (НЭ). Такой интерес связан с развитием технологий Smart Grid и переходом ЕЭС России на новую технологическую платформу Интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) [6].

Важнейшая роль в концепции развития интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью отводится распределённой генерации (РГ) [3]. Системный эффект от применения распределённой генерации будет выше, если в совокупности с ней использовать накопители электрической энергии, что в итоге позволит увеличить надёжность электроснабжения, снизить потери электроэнергии в электрических сетях, сократить ущербы от системных аварий и перерывов электроснабжения потребителей [5].

Кроме того, накопители энергии играют важную роль в электроснабжении изолированных энергосистем, занимающих значительную часть территории России. Актуальной задачей является выбор вида НЭ, адекватно соответствующего решаемой задаче и позволяющего получить наибольший эффект от его применения.

Целью данной статьи является исследование возможности решения проблем, возникающих при функционировании электроэнергетических систем, путём применения накопителей электрической энергии.

Реализация цели базируется на решении следующих задач:

1. Выявление проблем, которые наиболее эффективно могут быть решены путём применения накопителей электрической энергии.
2. Анализ видов накопителей электрической энергии. Описание принципа действия и особенностей каждого из видов.
3. Выявление соответствия вида накопителя решаемой проблеме.

Применение накопителей электрической энергии как неотъемлемой части ИЭС ААС позволяет эффективно решать ряд проблем, таких как провалы и выбросы напряжения, неравномерность графиков электрических нагрузок (ГЭН), в том числе колебание нагрузки, отклонение частоты, низкая надёжность электроснабжения [9]. Рассмотрим эти проблемы подробнее.

Провал напряжения – это временное уменьшение напряжения в конкретной точке электрической системы ниже установленного порогового значения [2]. Провалы напряжения приводят к сбою в работе электронных средств управления, контроля и учёта, микропроцессорной релейной защиты, а также технологического оборудования, что влечёт за собой снижение надёжности и экономический ущерб.

Причинами провалов напряжения могут быть: пусковые токи при старте мощных электродвигателей и генераторов, короткие замыкания в электрической сети, внезапные набросы нагрузки, коммутации сетевого оборудования, климатические воздействия.

Выброс напряжения – динамическое кратковременное (не менее 0,01 с) отклонение напряжения с последующим возвращением к исходному значению.

В числе возможных последствий выбросов напряжения – мерцание освещения, износ контактов и изоляции, повреждения приборов. Причинами выбросов напряжения могут быть резкое изменение нагрузки, повреждения электрических сетей, процессы коммутации и др.

Неравномерность графиков нагрузки энергосистем обусловлена технологическими процессами промышленных предприятий, возрастанием бытовой нагрузки в утренние и вечерние часы и значительным спадом в дневное и ночное время. Неравномерность графиков нагрузок приводит к ряду негативных последствий, из которых наиболее выражены: снижение надежности электроснабжения, резкое повышение нагрузки на генерирующие установки, сокращение сроков эксплуатации оборудования и увеличение эксплуатационных расходов.

Отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения в пределах, установленных ГОСТ 32144-2013, возникает при дефиците генерируемой мощности или её избытке [2]. При возникновении недопустимых отклонений частоты страдают, прежде всего, электродвигатели. При снижении частоты происходит замедление ротора двигателя, что ведёт к снижению эффективности его работы, при увеличении частоты – к перегреву и повышенному износу из-за увеличения скорости вращения, что значительно снижает срок службы двигателей.

Указанные проблемы можно решать не только традиционными способами, но и с помощью накопителей электрической энергии, что позволит существенно повысить надежность и экономичность электроснабжения потребителей.

При внедрении генерирующих установок на базе ВИЭ в энергосистему происходит разгрузка основной и распределительных электрических сетей, что ведет к снижению потерь электроэнергии, повышению устойчивости и надежности системы, высвобождаются пропускные способности линий электропередачи [9]. Но вследствие нестационарного режима их работы, могут возникать проблемы регулирования и устойчивости электроэнергетических систем, невозможности управления режимом работы таких установок, можно ожидать увеличения токов короткого замыкания и снижения качества электрической энергии. Для решения указанных проблем также целесообразно применять накопители электрической энергии.

Для изолированных энергосистем характерны низкая плотность населения, высокая стоимость электроснабжения, недостаточность обеспечения топливными ресурсами, суровые климатические условия, высокая степень износа оборудования. Системы электроснабжения потребителей в изолированных энергосистемах обладают низкой степенью резервирования [11]. Накопители электрической энергии могут являться резервным автономным источником питания не только для потребителей I категории и ее особой группы, но и в целом заменить основной источник энергии на время выхода его из строя. Тем самым НЭ повышают надежность, создают значительную экономию топлива, уменьшая себестоимость производства электроэнергии.

Несмотря на то, что рассмотренные выше проблемы можно эффективно решать при помощи НЭ, практика их применения в России практически отсутствует [12]. Это связано с тем, что отсутствуют методические подходы к выбору видов и параметров накопителей, оптимально соответствующих решаемой проблеме. Чтобы выявить это соответствие, необходимо провести анализ основных видов накопителей электрической энергии и их особенностей.

К основным видам накопителей электрической энергии, выпускаемых промышленностью, относятся: маховики; суперконденсаторы; сверхпроводниковые индуктивные накопители (СПИНЭ) и аккумуляторные батареи большой мощности [4].

Рассмотрим подробнее каждый из них.

1. Маховиковые НЭ. Принцип действия маховикового накопителя основан на преобразовании кинетической энергии в электрическую и обратно. Конструкция маховикового накопителя состоит из следующих элементов: привод (асинхронные машины, реактивные электрические машины или машины с постоянными магнитами на роторе); маховик (изготавливается из стали либо композитных материалов (стекловолокно, карбон)), помещённый в вакуумированный кожух; опорные подшипники (механические, магнитные или смешанные). Различают два типа маховиковых накопителей: высокоскоростные и низкоскоростные.

К основным преимуществам маховиковых накопителей относятся:

- высокая надежность и эффективность;
- большой срок эксплуатации (15-20 лет);
- высокий КПД (90-95%);
- быстрота и большое количество циклов “заряд-разряд” (от 10 000 до 100 000);
- относительно низкая стоимость;
- экологичность.

К недостаткам можно отнести относительно высокие постоянные потери [8].

2. Суперконденсаторы. Суперконденсаторы – это усовершенствованные конденсаторы, которые работают на постоянном напряжении, имеющие высокую плотность заряда, благодаря двойному электрическому слою на границе раздела электрода и электролита. Суперконденсаторы производят накопление энергии электростатическим способом, поляризуя раствор электролита. Большая емкость суперконденсаторов, достигающая до нескольких фарад, позволяет накапливать значительную энергию, которая отдаётся в нужный момент в виде больших токов. Суперконденсаторы относятся к накопителям короткого времени, они компактны, просты и имеют намного больший срок службы, чем у обычных конденсаторов [10].

К основным преимуществам суперконденсаторов относятся:

- очень высокая плотность ёмкости;
- большой срок эксплуатации;

- высокий КПД (95% и выше);
- высокая удельная энергия и удельная мощность;
- бесперебойная эксплуатация;
- высокая скорость заряда и разряда
- низкая токсичность материалов.

К недостаткам можно отнести относительно низкую удельную энергоёмкость, высокий саморазряд, низкое напряжение ячейки, высокую стоимость [10].

3. Сверхпроводниковые индуктивные накопители (СПИНЭ). СПИНЭ запасают энергию магнитного поля, созданного током, циркулирующим в сверхпроводящей катушке. Запасённая энергия хранится длительное время и может практически мгновенно быть выдана в сеть по требованию. Основными компонентами СПИНЭ являются: катушка индуктивности со сверхпроводящей обмоткой; криостат - специальный термос для хранения холодных жидкостей, изолирующий обмотки находящейся внутри него катушки от притоков тепла извне; рефрижератор - для поддержания катушки обмотки в сверхпроводящем состоянии при температуре жидкого гелия; управляемый вентильный преобразователь - предназначен для связи с энергосистемой; бандаж, расположенный в зоне криогенных температур, из нержавеющей стали.

К основным преимуществам СПИНЭ относятся:

- высокая плотность запасаемой энергии (до 400 МДж/см³);
- постоянная готовность к работе со временем реакции 1-2 мс;
- неограниченное время хранения энергии;
- отсутствие преобразования одного вида энергии в другой;
- высокий КПД (до 97%)
- высокая надёжность.

К недостаткам относятся:

- очень высокая стоимость;
- опасность выброса жидкого азота и гелия в окружающую среду при аварийной потере сверхпроводимости [4].

4. Аккумуляторные батареи большой мощности. Аккумуляторная батарея (АБ) – это два или более аккумуляторов (элементов), соединённых между собой и используемых в качестве источника электрической энергии. В процессе заряда АБ электроэнергия электрохимическим путем преобразуется в химическую. При разряде накопленная энергия высвобождается в процессе обратной реакции. Наиболее распространёнными являются следующие виды батарей: свинцово-кислотные, никель-кадмиевые, литий-ионные.

К основным преимуществам АБ относятся:

- низкая стоимость свинцово-кислотных аккумуляторов;
- высокая энергоёмкость никель-кадмиевых и литий-ионных аккумуляторов;
- быстрый ввод в работу;
- высокая надёжность.

К недостаткам относятся:

- малая энергоёмкость, низкое количество циклов заряда/разряда у свинцово-кислотных аккумуляторов;
- «эффект памяти» – их энергоёмкость резко падение энергоёмкости при неполном разряде или заряде у никель-кадмиевых аккумуляторов;
- низкий по сравнению с другими типами накопителей энергии КПД (65–70 %);
- ограниченное число зарядно-разрядных циклов (не более 500)
- малое время хранения энергии
- отрицательное экологическое воздействие при утилизации [1].

Из анализа достоинств, недостатков и особенностей работы НЭ, можно сделать вывод о том, что необходимо определить оптимальную область применения для каждого из них и выявить их соответствие решаемым задачам.

Маховиковые накопители благодаря высокой эффективности, большому жизненному циклу и экологичности, являются оптимальным вариантом для применения в совокупности с возобновляемыми источниками энергии, такими как ветрогенераторы и солнечные батареи, повышая надёжность их работы [8].

Благодаря высокой скорости заряда и разряда, высокому КПД, большому сроку эксплуатации, суперконденсаторы целесообразно применять для ликвидации провалов и выбросов напряжения, а также поддержания частоты в энергосистемах, в том числе при коротких замыканиях.

СПИНЭ благодаря отсутствию в них преобразования одного вида энергии в другой, обладают быстрой реакцией и высокой выходной мощностью, а также очень высоким КПД. СПИНЭ оптимально использовать для управления графиков потребления, в том числе в сетях с резкопеременными нагрузками, и графиком выдачи мощности, повышая экономичность функционирования энергосистемы, а также для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей.

Аккумуляторные батареи, обладая быстрым вводом в работу, высокой надёжностью и низкой стоимостью целесообразно применять для обеспечения бесперебойного питания потребителей I категории и их особой группы, для повышения надёжности электроснабжения.

Систематизируя изложенную информацию, можно выявить соответствие вида накопителя решаемой проблеме, обеспечивающее ее оптимальное решение.

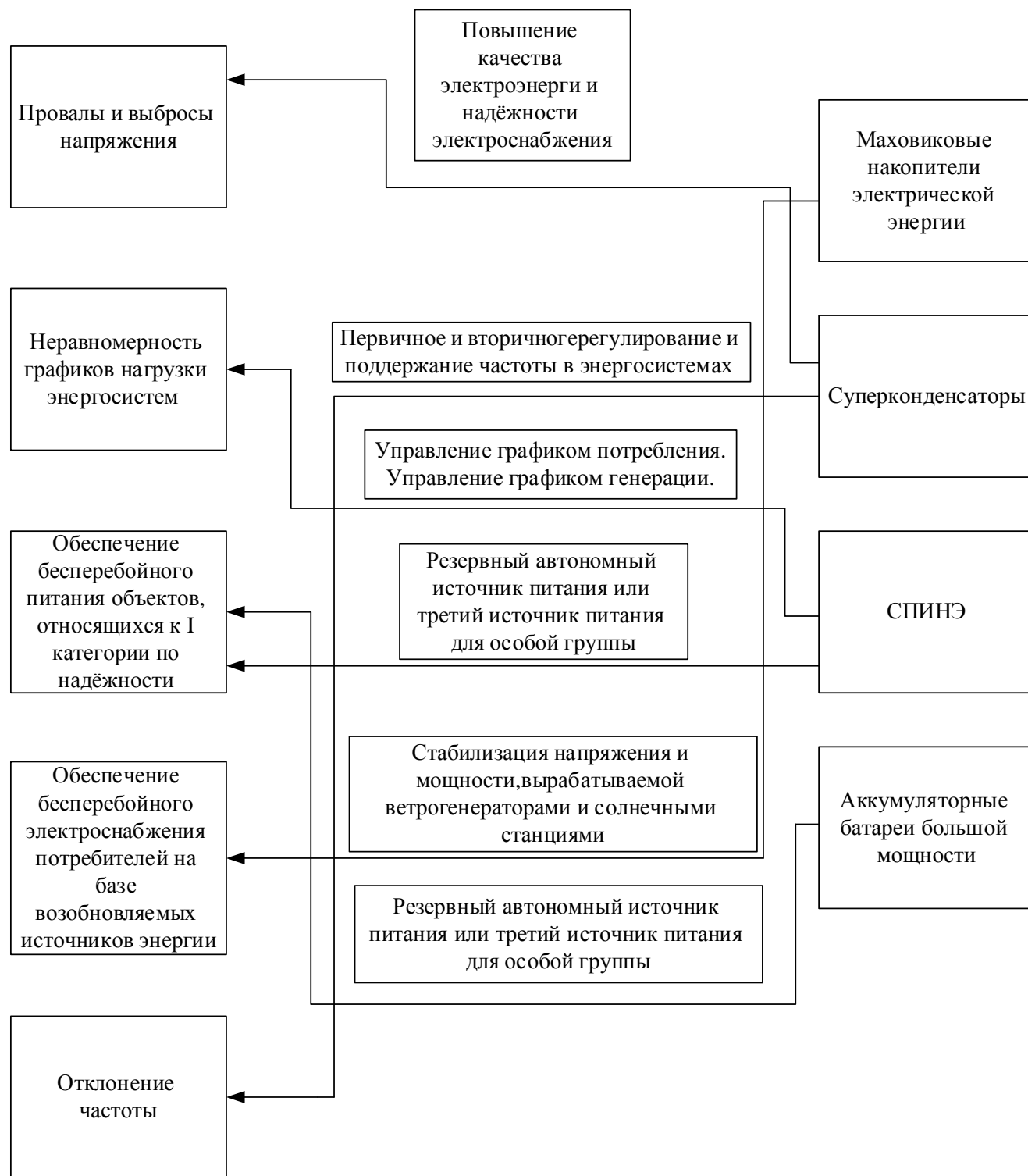


Рис. 1 – Систематизация соответствия вида накопителя электрической энергии решаемой проблеме для получения наибольших эффектов

После выявления соответствия вида накопителя электрической энергии решаемой проблеме, обеспечивающего наибольший эффект, необходимо определять принципиальную схему включения НЭ в сеть, тип и характеристики НЭ, исходя из особенностей задачи.

При провалах и выбросах напряжения необходимо определить мощность помехи и по её величине выбрать необходимую мощность НЭ [9]. Наиболее эффективным видом НЭ для сокращения длительности и величины провалов и выбросов напряжения, согласно рис. 1, являются суперконденсаторы. Применение суперконденсаторов позволяет сокращать продолжительность провалов и выбросов более, чем на 50% , а величину провалов и выбросов – до 10%. Место предпочтительного включения суперконденсаторов – клеммы приводов высоковольтных выключателей или вторичные сборки распределения электроэнергии между приводами. На рисунке 2 показан график напряжения с кратковременным провалом и выбросом напряжения до применения накопителя и с его применением [7].

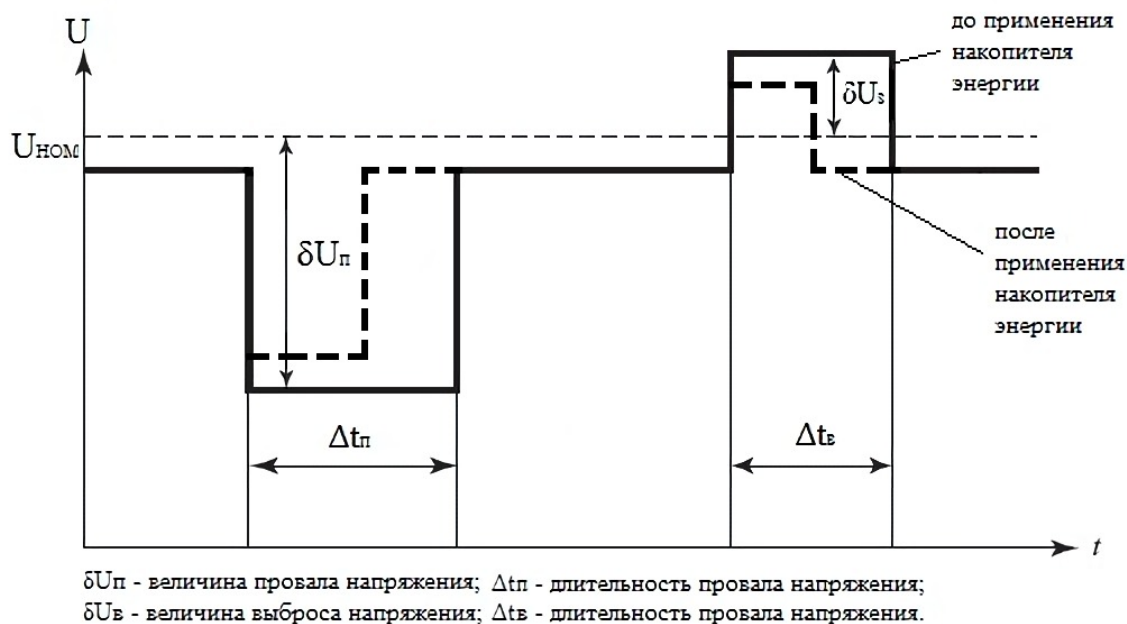


Рис. 2 – Выброс и провал напряжения

Для сглаживания неравномерности ГЭН, НЭ должен мгновенно отдавать накопленную мощность во время пиковых нагрузок, а в периоды, когда нагрузка снижается – накапливать и хранить энергию. На рисунке 3 показан график электрических нагрузок без применения накопителей энергии и с их применением.

Применение НЭ для регулирования частоты в энергосистемах, снижает потребность во вращающемся резерве. При возрастании нагрузки свыше заявленной, могут происходить отклонения частоты за рамки установленного ГОСТ 32144-2013 значения. В этом случае начинает происходить регулирование частоты накопителями энергии, способными быстрее и точнее реагировать на команды системного оператора, чем традиционные генерирующие мощности. Мощность и энергоёмкость накопителя должна быть выбрана достаточной для поддержания выдачи мощности на время отклонения частоты.

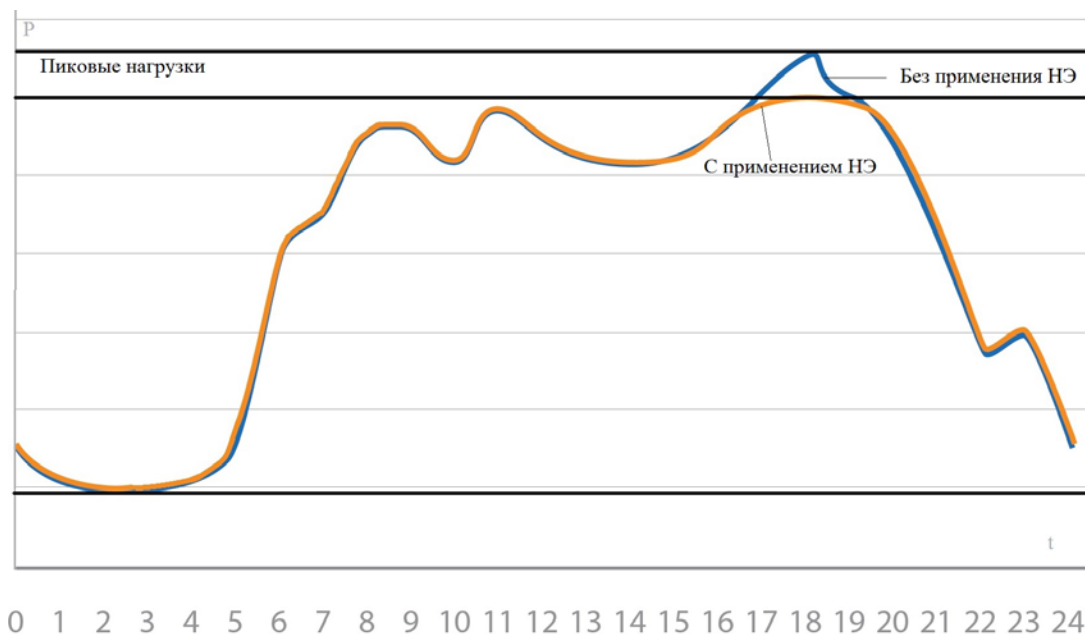


Рис. 3 – График электрических нагрузок

Принципиальная схема использования накопителей энергии для бесперебойного электроснабжения потребителей приведена на рисунке 4. Для каждого конкретного случая мощность накопителя электрической мощностью определяется как разность между номинальной мощностью источников генерации и мощностью, необходимой потребителям во время отключения основного (ых) источника (ов) энергии. Если мощности НЭ будет достаточно, то он может обеспечить питанием всех потребителей. Если мощности будет недостаточно, АЧР отключит III категорию, при необходимости II категорию, и накопитель энергии будет обеспечивать питанием потребителей I категории и её особой группы.

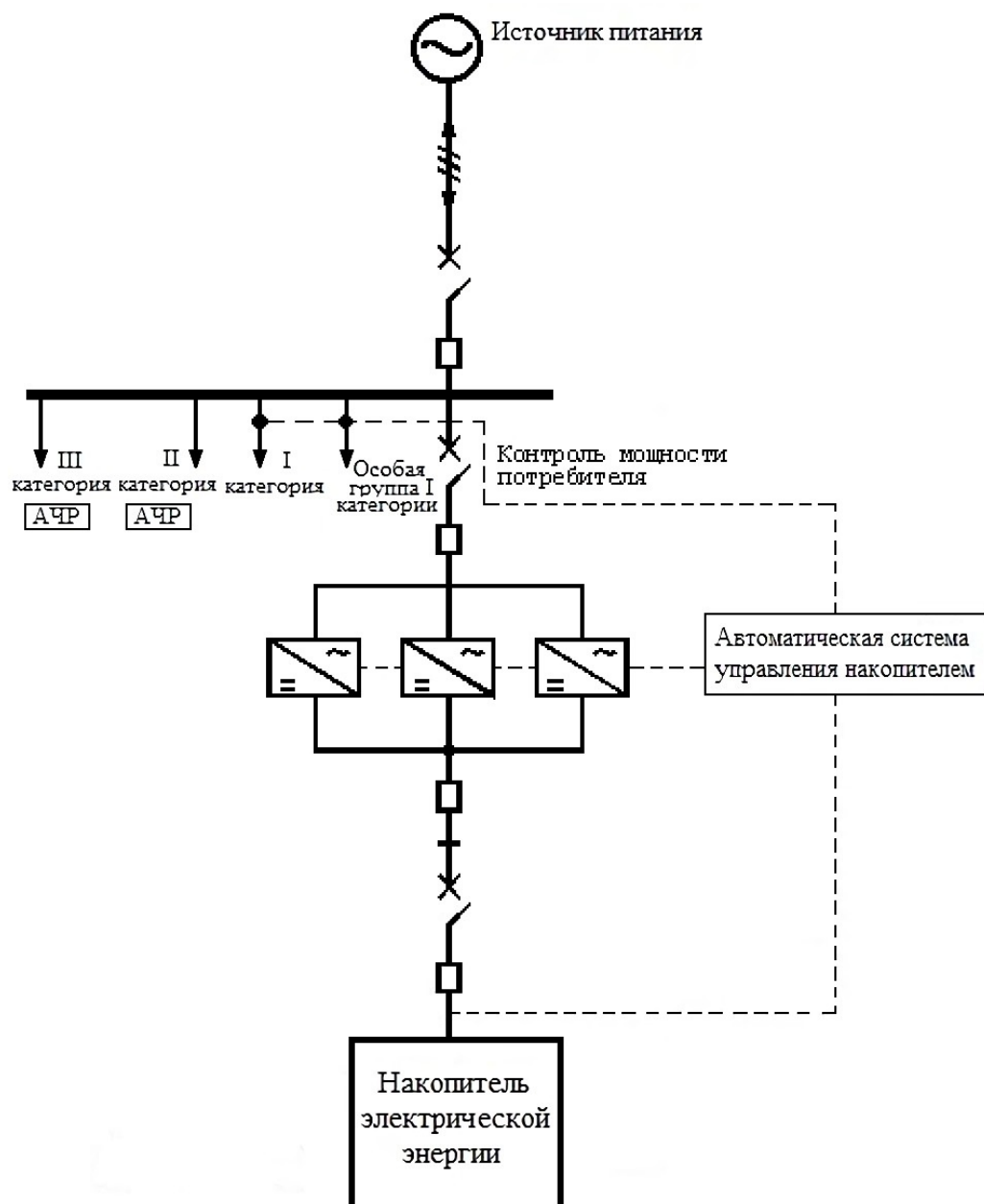


Рис. 4 – Схема подключения накопителя электрической энергии

При использовании НЭ совместно с ВИЭ, установленная мощность накопителя энергии должна быть рассчитана как разница между установленной мощностью, генерируемой ВИЭ и минимальной мощностью нагрузки [9]. НЭ заряжаются во время наличия избыточной мощности, вырабатываемой источниками питания, и отдают энергию во время недостаточной мощности. Схема подключения накопителей показана на рисунке 5.

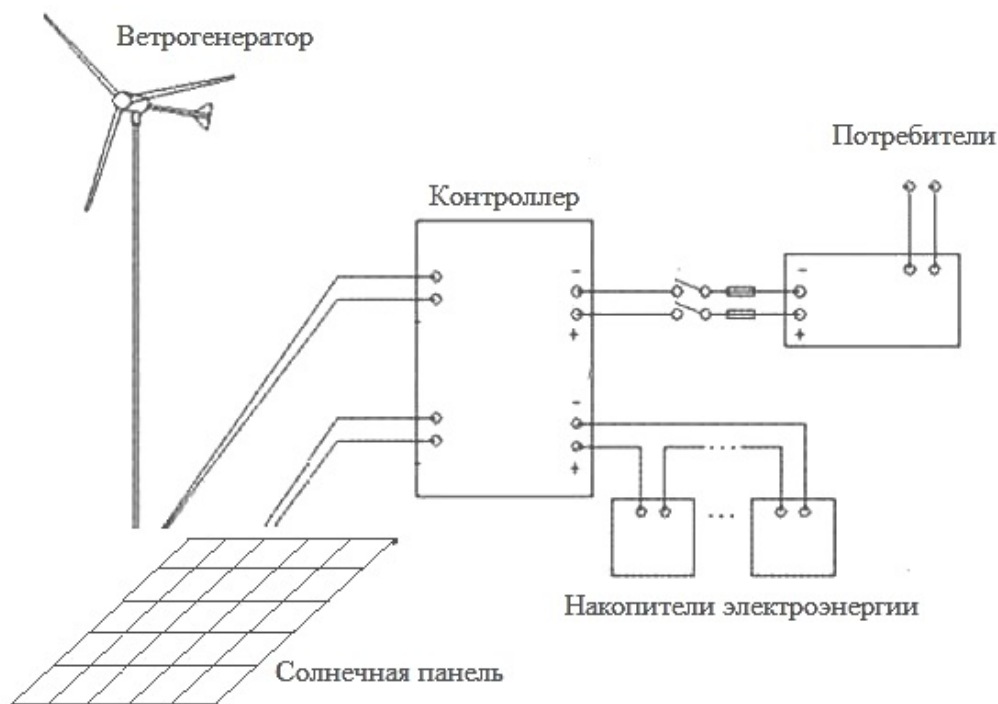


Рис. 5 – Подключение накопителей электроэнергии к системе электроснабжения на базе ВИЭ

Заключение

В статье выявлены проблемы, которые могут эффективно решаться путём применения накопителей электрической энергии, и дана их характеристика. Проведённый анализ принципа действия и особенностей каждого из видов накопителей позволил систематизировать соответствие вида накопителя решаемой проблеме, обеспечивающее наибольший эффект от ее решения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бахтеев К.Р. Повышение эффективности функционирования систем централизованного и автономного электроснабжения путем комплексного применения электрохимических накопителей энергии, малой генерации и форсировки возбуждения синхронных машин : дис. канд. техн. Наук : защищена 2019 / Бахтеев Камилль Равилович. – Казань, 2019. – 190 с.
2. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014-07-01. - М. : Стандартинформ, 2014 – 16с.
3. Ерцкина Д. А. К вопросу об интеллектуальных электрических сетях / Ерцкина Д. А., Суслов Д. Н. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики – 2017. - № 3. – с. 36-38.
4. Ефремов Д.Г. Исследование возможности и разработка способов применения накопителей энергии различного типа для противоаварийного управления при больших возмущениях в энергосистеме : дис. канд. техн. Наук : защищена 2018 / Ефремов Дмитрий Геннадьевич. – М., 2018. – 146 с.
5. Куликов А. Л. Проблемы и особенности распределённой электроэнергетики / Куликов А. Л., Осокин В.Л., Папков Б.В.// Вестник НГИЭИ - 2018. - № 11. - с. 123-136.
6. Савина Н. В. Выявление и анализ причин, препятствующих внедрению мощных накопителей электроэнергии в энергосистеме России / Савина Н.В., Лисогурская Л.Н., Лисогурский И.А. // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов : материалы IX междунар. науч.-практ. конф. 19 марта 2019 г., г. Благовещенск / ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет». – Благовещенск, 2019. – с. 152 – 156.
7. Смотров Н.Н. Сглаживание провалов и выбросов напряжения в системах оперативного тока электрических станций и подстанций с помощью ионисторов : дис. канд. техн. наук : защищена 2019 / Смотров Николай Николаевич – М., 2019. – 125 с.
8. Соколов М. А. Сравнительный анализ систем запасаения энергии и определение оптимальных областей применения современных супермаховиков / Соколов М.А., Томасов В.С., Jastrzębski R.P. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики - 2014. - № 4. - с. 149-155.
9. Сокольников Т. В. Определение оптимальных параметров накопителя для интеграции возобновляемых источников энергии в изолированных энергосистемах с активными потребителями / Сокольников Т.В., Суслов К.В., Ломбарди П. // Вестник ИрГТУ - 2015. - № 10. - с. 206-211.
10. Сошинов А. Г. Накопители энергии в электроэнергетических системах: Учеб. пособие / Сошинов А. Г., Угаров Г. Г.; ВолгГТУ, Волгоград, 2007. – 106 с.

11. Суслов К.В. Модели и методы комплексного обоснования развития изолированных систем электроснабжения : дис.док. техн. Наук : защищена 2018 / Суслов Константин Витальевич. – Иркутск, 2018. – 295 с.

12. Экспертно-аналитический доклад «Рынок систем накопления электроэнергии в России: потенциал развития» фонда «Центр стратегических разработок» [Электронный ресурс]: Центр стратегических разработок. URL: https://www.csr.ru/wp-content/uploads/2018/09/Condenses_System_Markets_Web-Fin.pdf (дата обращения: 10.12.2019).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bahteev K.R. Povyshenie effektivnosti funkcionirovaniya sistem cen-tralizovannogo i avtonomnogo elektrosnabzheniya putem kompleksnogo pri-meneniya elektrohimiicheskikh nakopitelej energii, maloj generacii i forsi-rovki vozbuzhdeniya sinhronnyh mashin [Improving the functioning efficiency of centralized and autonomous power supply systems through the integrated use of electrochemical energy storage devices, small generation and acceleration of excitation of synchronous machines] : dis. kand. tekhn. Nauk : approved 2019 / Bahteev Kamil' Ravilevich. – Kazan', 2019. – 190 p. [in Russian]

2. GOST 32144-2013 Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v siste-mah elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. [Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems] – Vved. 2014-07-01. - M. : Stan-dartinform, 2014 – 16p. [in Russian]

3. Erckina D. A. K voprosu ob intellektual'nykh elektricheskikh setyah [On the question of intelligent electrical networks] / Erckina D. A., Suslov D. N. // Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki [Actual problems of aviation and astronautics] – 2017. - № 3. – p. 36-38. [in Russian]

4. Efremov D.G. Issledovanie vozmozhnosti i razrabotka sposobov pri-meneniya nakopitelej energii razlichnogo tipa dlya protivovarijnogo upravleniya pri bol'shikh vozmushcheniyah v energosisteme [Study of the possibilities and development of methods for using energy storage devices for counteraction in conditions of large disturbances in power systems] : dis. kand. tekhn. Nauk : approved 2018 / Efremov Dmitriy Gennad'evich. – M., 2018. – 146 p. [in Russian]

5. Kulikov A. L. Problemy i osobennosti raspredel'yonnoy elektroener-getiki [Problems and features of distributed electricity] / Kulikov A. L., Osokin V.L., Papkov B.V.// Vestnik NGIEI [Bulletin of NIIEI] - 2018. - № 11. - p. 123-136. [in Russian]

6. Savina N. V. Vyyavlenie i analiz prichin, prepyatstvuyushchih vnedreniyu moshchnykh nakopitelej elektroenergii v energosisteme Rossii [Detection and analysis of the causes creating obstacles introduction the high-powered electrical energy storage devices in energy system of Russia] / Savina N.V., Lisogurskaya L.N., Lisogurskiy I.A. // Energetika: upravlenie, kachestvo i effektivnost' ispol'zovaniya energoresursov : materialy IX mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 19 marta 2019 g., g. Blagoveshchensk [Energy: management, quality and efficiency of energy use: materials of the IX international scientific-practical conference March 19th, Blagoveshchensk] / FGBOU VO «Amur-skiy gosudarstvennyy universitet». – Blagoveshchensk, 2019. – p. 152 – 156. [in Russian]

7. Smotrov N.N. Sglazhivanie provalov i vybrosov napryazheniya v sistemah operativnogo toka elektricheskikh stancij i podstancij s pomoshch'yu ionistorov : dis. kand. tekhn. nauk : approved 2019 [Smoothing voltage dips and surges in the operational current systems of power plants and substations using ionistors: dis of PhD technical sciences / Smotrov Nikolaj Nikolaevich – M., 2019. – 125 p. [in Russian]

8. Sokolov M. A. Sravnitel'nyj analiz sistem zapasaniya energii i opredelenie optimal'nykh oblastej primeneniya sovremennykh supermahovikov [Comparative analysis of energy storage systems and determination of optimal applications with modern super-flywheels] / Sokolov M.A., Tomasov V.S., Jastrzębski R.P. // Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnykh tekhnologij, mekhaniki i optiki - 2014. - № 4. - p. 149-155. [in Russian]

9. Sokol'nikova T. V. Opredelenie optimal'nykh parametrov nakopitelya dlya integracii vozobnovlyaemykh istochnikov energii v izolirovannykh ener-gosistemah s aktivnymi potrebitel'nykh / Sokol'nikova T.V., Suslov K.V., Lombardi P. // Vestnik IrGTU - 2015. - № 10. - p. 206-211. [in Russian]

10. Soshinov A. G. Nakopiteli energii v elektroenergeticheskikh sistemah: Ucheb. Posobie [Determination of optimal drive parameters for integration in renewable energy sources in isolated energy systems with active consumers] / Soshinov A. G., Ugarov G. G.; VolgGTU, Volgograd, 2007. – 106 p. [in Russian]

11. Suslov K.V. Modeli i metody kompleksnogo obosnovaniya razvitiya izolirovannykh sistem elektrosnabzheniya [Models and methods for the comprehensive justification of the development of isolated power supply systems] : dis.dok. tekhn. Nauk : approved 2018 / Suslov Konstantin Vital'evich. – Irkutsk, 2018. – 295 p. [in Russian]

12. Ekspertno-analiticheskij doklad «Rynok sistem nakopleniya elektro-energii v Rossii: potencial razvitiya» fonda «Centr strategicheskikh razrabotok» [“Market of Electricity Storage Systems in Russia: Development Potential” of the Center for Strategic Research Foundation] [Electronic resurs]: Centr strategicheskikh razrabotok [Center for Strategic Research]. URL:https://www.csr.ru/wpcontent/uploads/2018/09/Condenses_System_Markets_Web-Fin.pdf (accessed: 10.12.2019). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.013>

ИССЛЕДОВАНИЕ САХАРНОГО ПЕЧЕНЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУШЕНОЙ ДЫНИ

Научная статья

Орымбетова Г.Э.¹, Амангелды М.², Абдижаппарова Б.Т.³, Орымбетов Э.М.^{4,*}¹ ORCID: 0000-0001-8987-3366;³ ORCID: 0000-0001-8277-8243;^{1, 2, 3} Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;⁴ Южно-Казахстанская медицинская академия, Шымкент, Казахстан

* Корреспондирующий автор (orim_77[at]mail.ru)

Аннотация

В работе рассмотрены перспективы использования муки из сушеной дыни, направленные на расширение ассортимента продуктов питания и пищевой ценности. В данной работе дано обоснование использования муки из сушеной дыни как заменителя при производстве сахарного печенья. Оптимальное количество муки из нетрадиционного сырья способствует уплотнению структуры, обеспечивает расширение ассортимента выпускаемых изделий, повышенных качественных показателей этого печенья и увеличивает срок их хранения.

Полученные результаты показывают, что содержание минерального состава в сахарном печенье с использованием муки из сушеной дыни повышается: калий – 34,5 %, кальций – 16,3%, фосфор – 15,1%, цинк – 13,9% по сравнению с сахарным печеньем полученного по традиционной технологии.

В статье предложена рецептура сахарного печенья с добавлением сушеной дыни и усовершенствована технология получения печенья с функциональной добавкой из муки нетрадиционного сырья.

Ключевые слова: печенье, мука, дыня, функциональные продукты питания.

RESEARCH OF SWEET BISCUITS WITH THE HELP OF DRIED MELON

Research article

Orymbetova G.E.¹, Amangeldy M.², Abdizhapparova B.T.³, Orymbetov E.M.^{4,*}¹ ORCID:0000-0001-8987-3366;³ ORCID:0000-0001-8277-8243;^{1, 2, 3} M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan;⁴ South Kazakhstan Medical Academy, Shymkent, Kazakhstan

* Corresponding author (orim_77[at]mail.ru)

Abstract

The paper discusses the prospects of using dried melon flour to expand the range of food products and their nutritional value. The article gives the rationale for the use of dried melon flour as a substitute in the production of sugar cookies. Proper amount of flour from non-traditional raw materials contributes to the compaction of the structure, provides an extension of the range of products, high quality indicators of these cookies and increases the shelf life.

The results show that the mineral composition in sugar biscuits made with the help of dried melon flour increases: potassium - 34.5%, calcium - 16.3%, phosphorus - 15.1%, zinc - 13.9% compared with sugar cookies obtained by traditional technology.

The article proposes the recipe of sweet biscuits made with the addition of dried melon and describes the improvement in the technology for producing cookies with a functional additive from non-traditional flour.

Keywords: biscuits, flour, melon, functional foods.

Введение

Одним из главных факторов, оказывающий на здоровье, активность и продолжительность людей является питание. Большой популярностью у населения пользуются мучные кондитерские изделия, особенно у детей пользуются достаточно высоким спросом. В современных условиях кондитерские предприятия вырабатывают изделия, представляющие собой группу пищевой продукции весьма обширного ассортимента, которые различаются по рецептурному составу, технологии производства и потребительским свойствам [1], [2].

Одной из задач, поставленных перед технологами, является разработка новых изделий не только с целью расширения ассортимента, но и улучшения пищевой ценности изделий. Перспективными улучшителями мучных кондитерских изделий, в частности песочного полуфабриката, могут быть продукты растительного происхождения [3], [4]. Растительное сырье богато минеральными веществами и витаминами, обладает высокими вкусовыми качествами. Его используют в свежем и сушеном виде, а также для приготовления желе, мармелада, варенья и киселей.

В Республике Казахстан в настоящее время выращивается огромное количество бахчевых культур, особенно ценнейшие сорта дынь.

Пищевая ценность дыни представлена содержанием в них следующих веществ: легкоусвояемых сахаров, крахмалов, белков, витаминов, клетчатки, пектинов и органических кислот. Необходимо выделить, в них содержится соли железа и калия, в связи с этим дыню применяют в лечебном питании при таких заболеваниях как малокровие, сердечно-сосудистые заболевания, болезни печени и почек, но и также при подагре и ревматизме.

Дыня полезна для организма большим содержанием кремния. Кремний оказывает влияние на кору головного мозга, также необходим нервам, стенкам кишечника, пищеварительному тракту и всей системе внутренних органов.

В дыне по сравнению с другими бахчевыми культурами содержится много витамина С. Клетчатка, которая содержится в дыне благотворно влияет на кишечную микрофлору, также способствует выведению из организма холестерина. Дыня положительно влияет на пищеварение [5].

Целью работы является исследование сахарного печенья с добавлением муки из сушеной дыни.

Методы и принципы исследования

Материалы: пшеничная мука первого сорта, мука из нетрадиционного сырья (сушеная дыня), сахар-песок, меланж, жировой компонент.

В качестве методов исследования были использованы: контроль и сравнительный анализ исследуемого объекта, стандартные и физико-химические методы, общенаучные методы системного анализа, комплексное описание исследуемого объекта и полученных результатов.

Экспериментальная часть работы проводилась в лабораториях кафедры «Пищевая инженерия», испытательной региональной лаборатории инженерного профиля «Конструкционные и биохимические материалы» Южно-Казахстанского государственного университета им. М. Ауэзова.

По стандартным методикам определяли следующие показатели готовых изделий: массовую долю влаги, щелочность, массовую долю золы, массовую долю жира, сахара, намокаемость (ГОСТ 24901-2014).

Органолептическая оценка печенья проводилась в соответствии с ГОСТ 24901-2014 [6].

Основные результаты

В лабораторных условиях выпекали печенье из пшеничной муки первого сорта влажностью 14,5 %, содержащей 28 % клейковины. Контрольные образцы теста готовили в соответствии с рецептурой сахарного печенья [5], [6].

Для проведения исследований нами было выбрано 5 образцов печенья с содержанием сушеной дыни: 1 образец – 10%; 2 образец – 20%; 3 образец – 30%; 4 образец – 40%; 5 образец – 50 %.

Состав для приготовления печенья, содержащего сахар-песок, меланж, жировой компонент и муку пшеничную высшего сорта, он дополнительно содержит муку из сушеной дыни, полученную путем измельчения сушеной дыни до размера, равного размеру частиц муки пшеничной высшего сорта, при следующем соотношении компонентов, масс. %:

Мука из сушеной дыни – 20-30

Сахар-песок – 23-25

Масло топленое – 22-27

Меланж – 8

Сода – 0,2

Мука пшеничная высшего сорта – остальное

Мука из сушеной дыни является экологически чистым продуктом, источником концентрированных биологически активных веществ, которые не содержат искусственных красителей и консервантов и при этом улучшают питательные и органолептические свойства готовых изделий.

Технологический процесс производства сахарного печенья включает следующие операции.

Готовят рецептурную смесь, состоящую из всех компонентов, кроме муки, следующим образом: загружают такие компоненты как: сахар-песок, масло топленое, соду питьевую, меланж.

Полученную смесь перемешивают в течение 10-15 мин. Затем добавляют муку из сушеной дыни и муку пшеничную высшего сорта, смесь перемешивают 5-8 мин. Температуру теста поддерживают в пределах 20-28°C, влажность печенья – 16-20%.

Далее осуществляют разделку полученного теста на отдельные заготовки, выпекают в печи при температуре 240°C в течение 8-10 минут, готовые изделия охлаждают и упаковывают.

Изделия после выпечки охлаждают. Расфасовка, упаковка и хранение печенья осуществляют в соответствии с действующей нормативно-технической документацией.

Установили органолептические и физико-химические показатели печенья (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Органолептические и физико-химические показатели сахарного печенья

Показатели	Характеристика продукта
Вид: форма поверхность цвет	Круглая, плоская Гладкая, Золотисто-коричневый
Вкус и запах	Характерный для данного вида продукта
Вид в изломе	Пропеченное изделие без следов непромеса
Массовая доля влаги, %	8,2
Массовая доля сахара, %	27,7
Щелочность, град	1,7
Намокаемость, %	190
Массовая доля золы, %	0,1
Массовая доля жира, %	16,4

Проведен рентгеноспектральный анализ содержания химических элементов сахарного печенья с добавлением сушеной дыни, результаты которого показаны (см. таблицу 2, рис.1).

Таблица 2 – Химический состав сахарного печенья с добавлением сушеной дыни

Элемент	Mg	Si	P	S	Cl	K	Ca	O
Весовой %	1.81	0.46	1.18	1.42	5.97	31.27	1.19	38.24

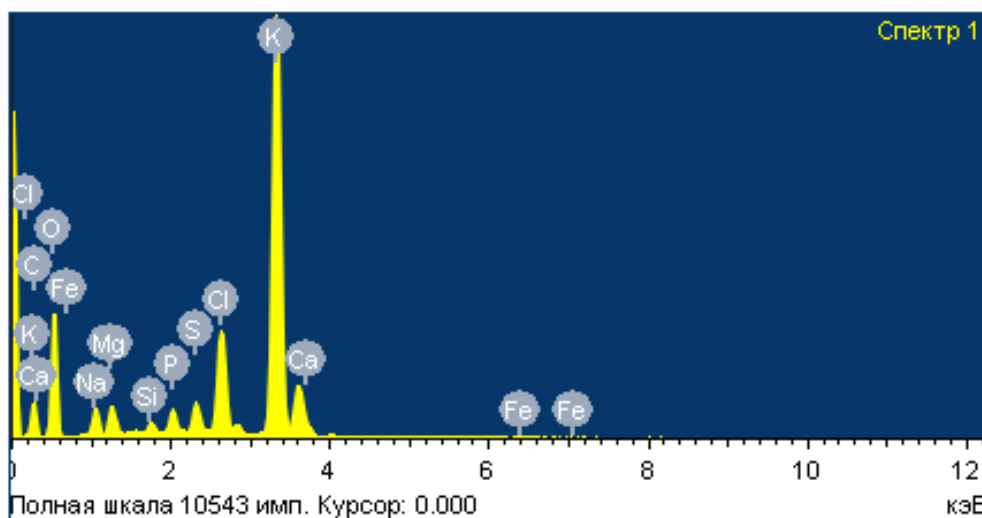


Рис. 1 – Рентгеноспектральный анализ содержания химических элементов сахарного печенья с добавлением сушеной дыни

По содержанию образца видно, что содержание таких элементов как кальций, калий, магний, фосфор увеличились в печенье с сушеной дыней по сравнению с печеньем, приготовленный по традиционной технологии.

Обсуждение

По органолептическим показателям наиболее приятными по внешнему виду, вкусу и цвету были образцы №№ 2-4. В дальнейшем, при увеличении количества сушеной дыни цвет стал оранжево-коричневым, а сам продукт хрупок.

Полученные данные подтверждают целесообразность использования сушеной дыни.

Органолептическая оценка показала, что приготовленное печенье по предложенной технологии имеет красивый цвет с нежным оттенком коричневого, с легким привкусом, и характерным растительным приятным ароматом.

В целях расширения ассортимента при производстве сахарного печенья специального назначения применение в качестве растительной добавки муки из сушеной дыни имеет большие перспективы, т.к. изучение химического состава, пищевой ценности муки из дыни и результаты полученных экспериментальных данных показывает возможность использования в будущем.

Оптимальный уровень применения в качестве добавок муки из дыни в сахарное печенье составляет от 20 до 40%. Добавление в больших количествах растительных компонентов может привести к ухудшению внешнего вида продукта, что оказывает неблагоприятное влияние на потребителя.

Профилактические свойства в готовом продукте обуславливается наличием биологически активных веществ и витаминов. Для организма человека витамины играют существенную роль. Нехватка витаминов в организме человека ведет нарушению физиологических функций, приводит изменению внешнего вида и понижают выносливость к различным заболеваниям. Исследованы изменения технологических и функционально-технологических факторов свойств муки из сушеной дыни.

На основании проведенных исследований была разработана рецептура и технология производства сахарного печенья. Содержание белка, жира, количество влаги в готовом продукте преимущественно связано с качеством полуфабрикатов. По полученным результатам можно сделать вывод о том, что образцы по химическому составу богаты минералами и витаминами.

Обнаружено повышение минеральных веществ в сахарном печенье, обогащенной мукой из дыни. В готовой продукции были исследованы макро- и микроэлементный состав готовой продукции при помощи электронного микроскопа. Электронный микроскоп – прибор, позволяющий получить изображение поверхности образца с высокой точностью. Результаты исследований показали, что в сахарном печенье наблюдалось высокое содержание макро- и микроэлементов. Благодаря введению в рецептуру сушеной дыни, данное печенье богато ценными белками, витаминами и минеральными веществами такими как калий – 34,5 %, кальций – 16,3%, фосфор – 15,1%, цинк – 13,9% и с высокой пищевой ценностью.

Заключение

Исследовано влияние муки из сушеной дыни, которая была применена в сахарном печенье. Исследованы качественные показатели обогащенного добавками сахарного печенья. Были определены показатели качественного состава муки из сушеной дыни и сахарного печенья. Обогатили состав сахарного печенья новыми специальными добавками. Определили качественные показатели и провели анализ сахарного печенья. Усовершенствовали технологию производства сахарного печенья изделий, разработали новую рецептуру. В кондитерских изделиях повысилась исходное содержание химических элементов.

В отличие от печенья без добавки в экспериментальном образце увеличилось количество кальция, магния, натрия, кремния, фосфора, цинка.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. [Электронный ресурс] URL: <http://omegasystem.kz> (дата обращения: 10.09.2019)
2. Орымбетова Г.Э. Разработка и исследование технологии производства сахарного печенья с добавлением растительного сырья (боярышник) / Орымбетова Г.Э., Суйгенбаева А.Ж., Абдусалиева Д.К. // Сборник материалов IX Республиканского конкурса научных работ «Ғылым шарайнасы», Астана, 2017, С.12-14
3. Типсина Н.Н. Новые изделия функционального назначения / Типсина Н.Н., Присухина Н.В. // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, №4, 2015. – С.62-66
4. Тарасенко Н.А. Сахарное печенье с функциональными свойствами. / Тарасенко Н.А., Никонович Ю.Н., Кустова Е.М. // Перспективы интеграции науки и практики. – Ставрополь, № 3, 2016. – С.20-23
5. Орымбетова Г.Э. Разработка технологии производства сокосодержащих напитков из дыни и яблок. / Орымбетова Г.Э., Шамбулова Г.Д., Абдижаппарова Б.Т., Орымбетов Э.М. // Материалы конференций ГНИИ «Национальное развитие». – М., 2019. С.192-195
6. ГОСТ 24901-2014 Печенье. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2015 – 16 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. [Electronic resource] <http://omegasystem.kz> (accessed: 10.09.2019) [in Russian]
2. Orymbetova G.E. Razrabotka i issledovaniye tekhnologii proizvodstva sakharnogo pechen'ya s dobavleniyem rastitel'nogo syr'ya (boyaryshnik) [Development and research of sugar biscuit production technology with the addition of plant materials (hawthorn)]. / G.E.Orymbetova, A.Zh.Suigenbaeva, D.K.Abdusalieva. //Sbornik materialov IX Respublikanskogo konkursa nauchnykh rabot «Gylym sharainasy» [Collection of materials of the IX Republican contest of scientific works "Gylym Sharainasy"]. – 2017. - P.12-14. [in Russian]
3. Tipsina N.N. Novyye izdeliya funktsional'nogo naznacheniya [New functional products]/ N.N.Tipsina, N.V.Prisukhina //Vestnik KrasGAU [Bulletin of KrasGAU]. –2015. – No. 4. - P.62-66. [in Russian]
4. Tarasenko N.A. Sakharnoye pechen'ye s funktsional'nymi svoystvami [Sugar cookies with functional properties]. / N.A.Tarasenko, Yu.N.Nikonovich, E.M.Kustova //J.Perspektivy integratsii nauki i praktiki [Prospects for the integration of science and practice]. – № 3, 2016. – P.20-23 [in Russian]
5. Orymbetova G.E. Razrabotka tekhnologii proizvodstva sokosoderzhashchikh napitkov iz dyni i yablok [Development of technology for the production of juice drinks from melons and apples]. / G.E.Orymbetova, G.D.Shambulova, B.T.Abdizhapparova, E.M.Orymbetov //Materialy konferentsiy GNII «Natsrazvitiye» [Materials of conferences of the SRI "National Development"] – М. – 2019. – P. 192-195. [in Russian]
6. GOST 24901-2014 Pechen'ye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya. [Cookies. General technical conditions] – М. – 2015 – 16 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.014>

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МОДУЛЯ СБОРА ДАННЫХ О ВАКАНСИЯХ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

Научная статья

Турков Е.С.^{1,*}, Степанов Ю.А.²

² ORCID ID 0000-0001-7552-6857;

^{1,2} Кемеровского государственного университета, Кемерово, Россия

* Корреспондирующий автор (deepekey[at]yandex.ru)

Аннотация

Рассмотрение двух методов получения данных с внешних источников. Описание модуля, который будет осуществлять сбор необходимых данных для разрабатываемой экспертной системы, она будет помогать формировать учебный план сотрудникам ответственным за образовательные программы в ВУЗе. Модуль будет добывать данные через API популярного сайта-агрегатора вакансий компании HeadHunter, и сохранять их в базе данных для дальнейшего использования модулем анализа, который будет выдавать отчет о необходимых профессиональных компетенциях в зависимости от вида деятельности.

Ключевые слова: экспертная система, data mining, синтаксический анализ (парсинг), API.

CONCEPTUAL MODEL OF VACANCY DATA COLLECTION MODULE FOR EXPERT SYSTEM

Research article

Turkov E.S.^{1,*}, Stepanov Yu.A.²

² ORCID ID 0000-0001-7552-6857;

^{1,2} Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

* Corresponding author (deepekey[at]yandex.ru)

Abstract

The authors consider two methods for obtaining data from external sources. The description of the module that collects the necessary data for the developed expert system, it helps to formulate the curriculum for the staff responsible for educational programs at the university. The module extracts data through the API of the popular HeadHunter job aggregator site, and store it in a database for further use by the analysis module, which issues a report on the necessary professional competencies depending on the type of activity.

Keywords: expert system, data mining, parsing, API.

Введение

Для экспертной системы требуется разработать модуль, который бы получал и хранил данные о вакансиях с сайтов-агрегаторов для последующей обработки в модуле анализа при помощи искусственного интеллекта. Так как модуль предназначен для разрабатываемой узкоспециализированной экспертной системы для сотрудников ВУЗа, использование сторонних решений не целесообразно.

Методы добычи данных

Рассмотрим два метода получения данных из внешних источников. При помощи интерфейса программирования приложений (Application Programming Interface, API), то есть набора методов (функций), которые программист может использовать для доступа к функциональности программного компонента (программы, модуля, библиотеки) [1]. Данный метод позволяет получать доступ и обмениваться данными между информационными системами.

Плюсы данного метода для использования в разработке модуля.

- Имеется документация.
- Определены и стандартизированы методы и функции для использования, а также их структурированный ответ.
- Стабильность и удобство поддержки, так как при изменении клиентской часть приложения-источника, версия API не меняется.

Минусы.

- Ограниченность, условиями использования API от приложения-источника.
- Требуется регистрация, авторизация и токен для приложения, чтобы использовать некоторые функции.

Второй метод это синтаксический анализ (парсинг) HTML-документа. Автоматизирует ручную работу с сайтом. Он проходит в четыре этапа [2].

– Получение доступа к нужной странице. Для этого делают построение адреса веб-страницы с нужными параметрами.

– Поиск данных. Загружается HTML-документ сайта, разбивается весь текст на лексемы, выделяя необходимую информацию.

– Извлечение информации. Поиск данных происходит за счёт регулярных выражений, HTML-тегам, описывающих цель поиска. Они помогают выделить из всего документа только нужные фрагменты.

– Сохранение данных. Далее нужные данные сохраняются в нужном виде и месте. В случае данного модуля это база данных.

Плюсы этого метода при разработке модуля сбора данных.

- Нет условий использования от компании приложения-источника данных.

– Нет необходимости регистрации приложения.

Минусы.

– Использование регулируется правовыми нормами.

– Требуется использовать меры предосторожности в работе скрипта, так как приложение-источник может заблокировать активность, посчитав её DOS-атакой.

– Информация должна быть в открытом доступе.

– При любом изменении клиентской части сайта, есть вероятность отказа работы парсинг-скрипта.

Общий минус данных методов это ресурсоемкость, большая длительность при больших объемах данных.

Концептуальная модель

В качестве языка разработки будет Python с использованием библиотек requests для отправки запросов, psycopg2 для работы с базой данных [3], [4]. А для хранения данных система управления базами данных PostgreSQL [5]. Модуль будет работать в консольном режиме.

Модуль будет использовать API сайта-агрегатора вакансий, посылая GET-запросы на основе настроек пользователя, где будет получать ответ в виде формата JSON. Далее из этого JSON объекта будет выделена нужная информация, при помощи ключей описанных в документации к API [6]. Необходимая информация для модуля анализа это:

- описание вакансии;
- информация о ключевых навыках;
- ссылка на вакансию;
- описание компании, а именно название и отрасль компании;
- название вакансии и профессиональная область;
- дата и время публикации.

Затем при помощи SQL-запросов выделенная информация заносится базу данных, где ей заранее присвоена именованная группа, в которой описана дата формирования и при каких настройках делались запросы к API [7].

Модуль входит в структуру экспертной системы и используется модулем анализа, предоставляя ему данные о вакансиях хранящиеся в базе при помощи SQL-запросов. В общем, экспертная система состоит из четырех модулей:

– «модуль статистики», который на основе данных от ВУЗа введет статистику и делает вывод о соответствии компетенций выпускников требованиям современного рынка труда;

– «модуль сбора данных», который при помощи программного интерфейса собирает необходимые данные с сайта hh.ru, для последующего анализа;

– «модуль анализа», при помощи искусственного интеллекта будет помогать формировать учебный план сотрудникам, которые ответственные за образовательные программы в ВУЗе.

– «модуль вывода результатов», с которым пользователь будет взаимодействовать для настройки и просмотра результатов работы.

На рисунке 1 изображена концептуальная модель модуля добычи данных при использовании API.

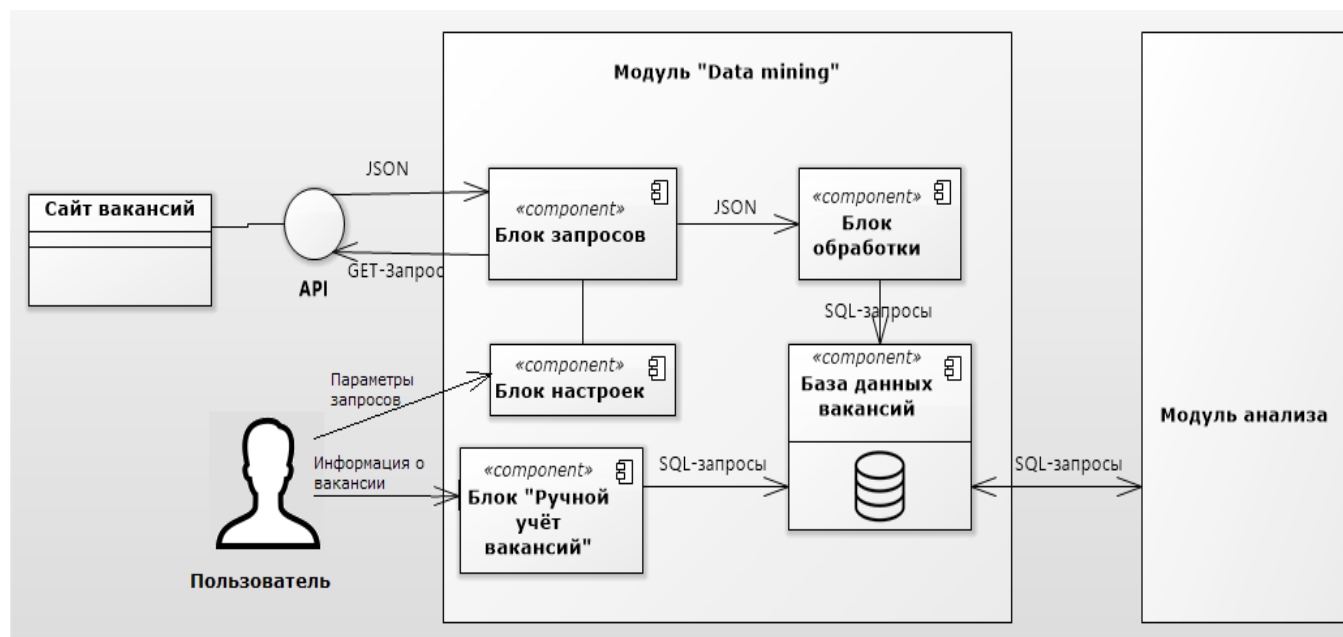


Рис. 1 – Концептуальная модель модуля сбора данных (API)

Основная задача модуля сбора данных является предоставление данных о вакансиях модулю анализа.

Основные функциональные задачи.

1) Автоматизированный сбор и хранение данных о вакансиях находящихся на сайте hh.ru.

2) Возможность добавление вакансий вручную. Вакансия оформляется в формат JSON, а в блоке настроек выбирается соответствующий параметр.

3) Возможность настройки запроса.

4) Предоставление данных модулю анализа.

Пример работы модуля добычи данных

Пользователю нужно собрать данные о вакансиях связанных с мобильной разработкой для того, чтобы в дальнейшем использовать эти данные в модуле анализа. Для этого он в блок настроек передает параметры, такие как название пакета данных, например «Мобильный разработчик», далее вводит название вакансии или что-то с ней связанное, допустим «Мобильная разработка android», после он может начать поиск или выбрать опционально регион, профессиональная область, специализацию, период публикаций. В примере рассмотрим без опциональных параметров. Теперь модуль формирует из настроек запросы и отправляет их на сайт-агрегатор, в виде GET-запроса. Получаем JSON объект, из которого можно увидеть то, что было найдено 1408 вакансий отвечающих по данному запросу. Далее модуль из каждой вакансии выделяет нужные нам данные при помощи ключей. Из собранных данных модуль формирует SQL-запросы, которые добавляют их в базу данных. В итоге работы модуля получаем записи в таблицах базы данных, а именно группу «Мобильный разработчик», в которой хранится 1408 вакансий с отобранной информацией.

Данные процедура поиска ресурсоемка и требует определённого времени на работу в зависимости от количества найденных вакансий.

В дальнейшем модуль анализа будет забирать, анализировать эти данные и выдавать экспертное мнение, которое поможет сформировать индивидуальный учебный план.

Заключение

При рассмотрении методов сбора данных из внешних источников была выбрана модель разработки модуля с использованием программного интерфейса сайта hh.ru, так как при применении парсинга имеются большие риски отказа скрипта в связи блокировкой или изменений сайта.

Данный программный модуль позволяет собирать и хранить нужные данные о вакансиях с сайта hh.ru для модуля анализа, который в свою очередь из них делает отчёт, который будет помогать сотрудникам ВУЗа, формировать учебный план отвечающий запросам ранка труда.

В дальнейшем данный модуль анализу можно модернизировать. Например, добавить в собираемые данные оклад, опыт работы, тип занятости и на основе этого проводить корреляционный анализ, который покажет определенные зависимости.

Или, например, в собираемую информацию добавить географические данные вакансии, и при помощи геоинформационной системы провести анализ или моделирование.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Tadviser.ru. Application Programming Interface (API). [Электронный ресурс] / Tadviser.ru. –2019. – URL: <http://www.tadviser.ru/a/53171> (дата обращения: 20.01.2020).
2. Энциклопедия интернет-маркетинга, статья парсинг. [Электронный ресурс] / –2019. – URL: <https://www.seonews.ru/glossary/parsing/> (дата обращения: 20.01.2020).
3. RealPython. Requests в Python – Примеры выполнения HTTP запросов. [Электронный ресурс] / RealPython. – 2019. – URL: <https://python-scripts.com/requests> (дата обращения: 20.01.2020).
4. LegGnom. Статья Работа с PostgreSQL в python [Электронный ресурс] / LegGnom. –2019. – URL: <https://dev-gang.ru/article/rabota-s-postgresql-v-python-xn8721sq0g/> (дата обращения: 20.01.2020).
5. Компания «Постгрес Профессиональный». Документация к PostgreSQL 10.11 [Электронный ресурс] / «Постгрес Профессиональный». –2019. – URL: <https://postgrespro.ru/docs/postgresql/10/index> (дата обращения: 20.01.2020).
6. HeadHunter. API: документация и библиотеки. [Электронный ресурс] / HeadHunter –2019. – URL: <https://github.com/hhru/api> (дата обращения: 20.01.2020).
7. Татьяна Карпова. Лекция 7. Инфологическое моделирование. [Электронный ресурс] / Татьяна Карпова –2019. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/1001/297/lecture/7411> (дата обращения: 20.01.2020).
8. Гуриков, С. Р. Основы алгоритмизации и программирования на Python : учеб. пособие / С.Р. Гуриков. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. — 343 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-102278-8. - [Электронный ресурс] - URL: <https://znanium.com/catalog/product/924699>. (дата обращения: 20.01.2020).
9. Кара-Ушанов, В. Ю. SQL — язык реляционных баз данных: Учебное пособие / Кара-Ушанов В.Ю., - 2-е изд., стер. - Москва :Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 156 с. ISBN 978-5-9765-3120-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/947669>.
10. Белов, В. В. Проектирование информационных систем : учебник / В.В. Белов, В.И. Чистякова. - М. : КУПС, 2018. - 400 с. - ISBN 978-5-906923-53-0. – [Электронный ресурс] - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1017181>. (дата обращения: 20.01.2020).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tadviser.ru. Application Programming Interface (API). [Electronic resource] / Tadviser.ru. –2019. – URL: <http://www.tadviser.ru/a/53171> (accessed: 20.01.2020). [in Russian]
2. Enciklopediya internet-marketinga, stat'ya parsing. [Encyclopedia of Internet marketing, article parsing] [Electronic resource] / –2019. – URL: <https://www.seonews.ru/glossary/parsing/> (accessed: 20.01.2020). [in Russian]
3. RealPython. Requests в Python – Primery vypolneniya HTTP zaprosov. [Requests в Python – Examples of executing HTTP requests.] [Electronic resource] / RealPython. –2019. – URL: <https://python-scripts.com/requests> (accessed: 20.01.2020). [in Russian]

4. LegGnom. Stat'ya Rabota s PostgreSQL v python [Article Working with PostgreSQL in python] [Electronic resource] / LegGnom. –2019. – URL: <https://dev-gang.ru/article/rabota-s-postgresql-v-python-xn8721sq0g/> (accessed: 20.01.2020). [in Russian]
5. The company «Postgres Professional». PostgreSQL 10.11 Documentation [Electronic resource] / «Postgres Professional». –2019. – URL: <https://postgrespro.ru/docs/postgresql/10/index> (accessed: 20.01.2020).
6. HeadHunter. API: documentation and libraries. [Electronic resource] / HeadHunter –2019. – URL: <https://github.com/hhru/api> (accessed: 20.01.2020).
7. Tat'yana Karpova. Lekciya 7. Infologicheskoe modelirovanie. [Lecture 7. Infological modeling] [Electronic resource] / Tat'yana Karpova –2019. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/1001/297/lecture/7411> (accessed: 20.01.2020).
8. Gurikov, S. R. Osnovy algoritimizacii i programirovaniya na Python: ucheb. Posobie [Python Algorithmization and Programming Basics: Tutorial] / Gurikov, S. R. — Moscow : FORUM : INFRA-M, 2018. — 343 p. — (Vyshee obrazovanie: Bakalavriat). - ISBN 978-5-16-102278-8. - [Electronic resource] - URL: <https://znanium.com/catalog/product/924699>. (accessed: 20.01.2020). [in Russian]
9. Kara-Ushanov, V. YU. SQL — yazyk relyacionnyh baz dannyh: Uchebnoe posobie [SQL - Relational Database Language: Tutorial] / Kara-Ushanov V. YU., - 2nd edition. - Moscow : Flinta, publishing house Ural. un-ta, 2017. - 156 p. ISBN 978-5-9765-3120-8. - Text : electronic. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/947669>. [in Russian]
10. Belov, V. V. Proyektirovaniye informatsionnykh sistem : uchebnik [Information Systems Design: A Textbook] / V.V. Belov, V.I. Chistyakova. - M. : COURSE, 2018. - 400 p. - ISBN 978-5-906923-53-0. - [Electronic resource] - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1017181>. (accessed: 20.01.2020). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.015>

НОВЫЙ РАННЕСПЕЛЫЙ СОРТ РЕДИСА

Научная статья

Косенко М.А. *

ORCID: 0000-0003-3321-6249,

ВНИИО филиал ФГБНУ ФНЦО, Верея, Россия

* Корреспондирующий автор (m.a.kosenko[at]yandex.ru)

Аннотация

В России большая часть производства редиса сосредоточена в открытом грунте, в мелкотоварных, фермерских и лично-подсобных хозяйствах. При этом доля товарного производства корнеплодов редиса очень мала, и эту нишу в зимне-весенний период закрывает импорт из стран Европы. В результате многолетних исследований был создан сорт редиса Багрянец. Раннеспелый, вегетационный период 27 день после полных всходов. Корнеплод округлый, розово-красный с белым кончиком, средним осевым корешком, массой 28 г. Мякоть белая, нежная, сочная, со слабым редечным привкусом. В защищенном грунте уровень урожайности варьировал 3,4-4,0 кг/м².

Ключевые слова: редис, сорт, урожайность, товарность, признаки.

NEW EARLY RIPENING VARIETY OF RADISH

Research article

Kosenko M.A. *

ORCID: 0000-0003-3321-6249,

ARRI, Branch of the Federal State Budgetary Institution for Health and Social Development, Vereya, Russia

* Corresponding author (m.a.kosenko[at]yandex.ru)

Abstract

Most of the radish production in Russia is concentrated in open ground, in small commodity, farmer, and personal subsidiary plots. At the same time, the share of commodity production of radish root crops is very small, and this niche in the winter-spring period is taken by imports from European countries. The Bagryanets radish variety was created as a result of years of research with its early ripening, growing season of 27 days after full germination. The root crop is round, pink-red with a white tip, an average axial root, and a weight of approximately 28 g. The flesh is white, tender, juicy, with a slight spice flavor. The level of productivity varied 3.4-4.0 kg/m² in the protected ground.

Keywords: radish, variety, productivity, marketability, signs.

Введение

В структуре овощной продукции столовые корнеплоды занимают 24%, из них репа, брюква, редис, пастернак и прочие, выращивают на меньших площадях, в личных подсобных хозяйствах, зато роль в рациональном питании человека очень важна [1].

Из сельскохозяйственных растений основной и доступный в любое время года источник биологически активных веществ – овощные культуры. К сожалению, отечественный ассортимент, реально используемый населением России, крайне скуден и включает капусту, в основном белокочанную, лук, морковь, свеклу столовую, которые не могут полностью обеспечить потребности человека в биологически активных веществах и антиоксидантах [2].

Увеличение плодовоовощной продукции в рационе питания до 33% практически предопределяет переход от сезонного потребления овощей к круглогодичному (преимущественно в свежем виде), а, соответственно, и к хранению их «от урожая – до урожая» (из-за сезонности производства) [3].

Улучшение условий производства и условий окружающей среды для растений, технический прогресс, благодаря которому улучшается производительная сила предприятия, и становится возможным своевременное выполнение работ в оптимальные сроки [4].

В России большая часть производства редиса сосредоточена в открытом грунте, в мелкотоварных, фермерских и лично-подсобных хозяйствах. При этом доля товарного производства корнеплодов редиса очень мала, и эту нишу в зимне-весенний период закрывает импорт из стран Европы [5].

В первую очередь имеет значение качество овощной продукции. Овощеводство концентрируется в пригодных зонах. Пригодные хозяйства реализуют продукцию по прямым связям, имеют специализированное производство [6].

Биология роста и развития корнеплодов представляет собой основу производства товарной продукции. Наиболее чувствительны к изменениям длины дня редис, редька. Формирование цветоноса быстрее при длине дня более 14 часов в ущерб образованию корнеплода [7].

Современные сорта и гибриды редиса весьма разнообразны по окраске: желтая (Злата), белая (Белый Зефир, Октава), фиолетовая (Мулатка), красная (Меркадо, Заря, Кармелита), розовая (Ризенбуттер), красная с белым кончиком (Ария, Маяк), розово-красная с белым кончиком (18 дней, Марк, Рекорд).

Изучение местных популяций и выделение из них наиболее интересных форм является одной из задач селекционной работы [8].

Наряду с этим эффективно использовать мировой ассортимент, включающий лучшие мировые стандартные сорта, и все ботаническое разнообразие [9].

Основными зонами производства редиса в России являются: Юг (Краснодарский край, Ставропольский край, Республика Крым, Ростовская область); Средняя полоса (Центральный регион) и далее повсеместно.

Продолжительность вегетационного периода определяется главным образом наследственными особенностями сорта, местом и условиями выращивания [10].

Размер листовой розетки зависит не только от генов, но и от условий выращивания. При неблагоприятной высокой температуре (более 18°C) или низкой освещенности (менее 1500 люксов), она вытягивается, замедляя отток ассимилянтов к корнеплоду. В селекционной работе важно учитывать такие признаки как: «устойчивость к повышенной температуре», «устойчивость к пониженной освещенности» и «короткая длина листа» [11].

В современном овощеводстве применение интенсивных технологий возделывания большинства культур предполагает использование высоко продуктивных сортов и гибридов, отличающихся большим выносом элементов питания с урожаем [12].

Вопрос наследования формы корнеплода представляет не только научный, но и практический интерес, поскольку установлено, что с ней коррелирует продуктивность.

Методы и принципы исследования

Работа по селекции редиса проходила в ФГБНУ ВНИИО. Посев семян в защищенном грунте проводили вручную (схема 7x7 см) в третьей декаде марта. Уборка корнеплодов проходила в начале мая.

Технологические процессы ухода за растениями общепринятые. В фазу семядольных листьев и появления первого настоящего листа проводили прореживание. Полив проводили систематически, поддерживая влажность в 15 см слое почвы на уровне 75-85 НВ. Полив особенно в период роста растений и формирования корнеплодов, должен быть мелкодисперсным, при норме не более 5 л на 1 м² посевов. При больших перепадах влажности почвы образуются мелкие, грубые корнеплоды вытянутой формы. За 7-10 дней до уборки, когда у растений формируются более 5-6 листьев, поливы прекращают. Уборку корнеплодов проводили в первой декаде мая.

Применение удобрений, создание хорошей влагообеспеченности во все периоды вегетации, использование оптимальных сроков посева и густоты стояния растений в соответствии с генетическими потребностями конкретной культуры, сорта или гибрида – основа получения максимального урожая [13].

В процессе сортовой селекции выполняли индивидуальный и семейственный отборы с изоляцией, инбридинг. Метод индивидуального отбора имеет преимущество перед массовым отбором возможностью оценки и сравнения отбираемых, элитных растений по их потомству на всех стадиях селекционного процесса.

Исследования проводили в соответствии Методики полевого опыта [14].

Целью работы было создание раннеспелого сорта редиса, с урожайностью более 3,5 кг/м², в условиях недостаточной освещенности и низкой температуры.

Результаты исследования

По прохождению фенологических фаз сорт Багрянец находился на уровне стандарта – начало технической спелости наступал через 27 день от массовых всходов. В результате изучения морфологических признаков листового аппарата и корнеплода отмечено. Длина листа находилась в пределах 25,7...34,4 см. Длина черешка изменялась от 13,3 до 17,7 см. Меньшей длиной листа обладал сорт Багрянец (таблица 1)

Таблица 1 – Характеристика биометрических измерений (2018-2019 гг.)

Сорт	Листовой аппарат		Корнеплод					
	длина листа	длина черешка	длина	CV %	диаметр	CV %	индекс формы	толщина осевого корешка
Багрянец	25,7	13,3	3,6	7,9	3,7	6,5	0,97	0,3
Рекорд	34,5	16,4	3,1	9,4	3,3	8,3	0,93	0,3
Маяк st	32,0	17,7	3,0	10,2	3,2	9,8	0,95	0,4

Исследовали фенотипическую изменчивость признака корнеплода «индекс формы», «длина корнеплода», «диаметр корнеплода», CV, %. Коэффициент вариации длины корнеплода находился в пределах от 7,9 до 10,2%. Коэффициент вариации диаметра корнеплода варьировал от 6,5 до 9,8%. Сорта отличались слабой изменчивостью корнеплода.

У сорта Багрянец корнеплоды округлые, розово-красные с белым кончиком, с тонким осевым корешком. Изменчивость признаков низкая и корнеплоды по форме однородные.

Учет урожайности показал превышение показателей нового сорта над стандартом (таблица 2).

Таблица 2 – Хозяйственно-ценные признаки (2018 и 2019 гг.), защищенный грунт

Сорт	Масса корнеплода, г		Урожайность, кг/м ²		Товарность, %	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Багрянец	25,5	28,0	3,6	4,0	93,5	90,2
Рекорд	20,0	22,5	2,8	3,2	85,4	88,3
Маяк st	22,0	24,5	3,1	3,5	80,3	83,5
НСР ₀₅	4,7				9,2	

Показатель средней массы корнеплода изменялся от 20,0 до 28,0 г. Урожайность сортов варьировала от 2,8 до 4,0 кг/м². Большая урожайность была отмечена у сорта Багрянец.

Количество товарных корнеплодов находилось в пределах от 80,3 до 93,2%. Процент недогонов составлял 3,9...12,0 %, число треснувших варьировал от 2,6 до 7,7%.

Рентабельность производства редиса обеспечивают высокая урожайность (более 3,5 кг/м²) и выход товарных корнеплодов (более 90 %), за не продолжительный период времени.

Заключение

В результате многолетних исследований был создан сорт редиса Багрянец. Раннеспелый. Начало хозяйственной годности на 27 день после полных всходов. Розетка листьев полупрямостоячая. Лист обратнойцевидный, зеленый. Корнеплод округлый, розово-красный с белым кончиком, средним осевым корешком, гладкий, головка плоская, массой 28 г. Мякоть белая, нежная, сочная, со слабым редечным привкусом. Вкусовые качества хорошие. В защищенном грунте уровень урожайности варьировал 3,4-4,0 кг/м².

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Федорова М.И. Методологические основы селекции и семеноводства овощных корнеплодных растений / М.И. Федорова, А.В. Солдатенко, В.А. Степанов, и др. // Овощи России. 2018. № 3 (41). С. 52-55.
2. Гинс М.С. Повышение качества овощных культур как продуктов функционального питания / М.С. Гинс, В.Ф. Пивоваров, П.Ф. Кононов, В.К. Гинс // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 3. С. 34-36.
3. Литвинов, С.С. Эффективность овощеводства России (анализ, стратегия, прогноз) / С.С. Литвинов, М.В. Шатилов. - М.: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства». - 2015. - С. 81-89
4. Гайдамака, В.Х. Разработка производственной программы по растениеводству / В.Х. Гайдамака, Т.Г. Косенко, В.Д. Гребцов. – п. Персиановский, 1993.
5. Янаева Д.А. Создание исходного материала для гетерозисной селекции редиса европейского (*Raphanus sativus*. l. var. *sativus*) для защищенного грунта / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства. Москва, 2011. С. 26
6. Косенко М.А. Оценка приемов производства редьки европейской. В сборнике: Современные экономические системы в условиях глобализации: состояние и перспективы развития / Косенко М.А. Материалы международной научно-практической конференции. 2017. С. 183-187.
7. Косенко М.А. Пути повышения продуктивности столовых корнеплодов. В сборнике: Ресурсосбережение и адаптивность в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур и переработки продукции растениеводства. Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 242-245
8. Косенко М.А. Бьянка - новый сорт редьки / М.А. Косенко, А.Н. Ховрин // Картофель и овощи. 2018. № 6. С. 31-32
9. Корнев А.В. Использование учения Н.И. Вавилова об исходном материале в селекции моркови столовой в настоящее время / А.В. Корнев, В.И. Леунов, А.Н. Ховрин // Плодоводство и ягодоводство России, 2012. -Т. 34. -ч. 1. - С. 380-385
10. Косенко М.А. Оценка эффективности производства овощей / М.А. Косенко // Современные экономические системы: состояние и перспективы развития материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2016. – С. 51-56.
11. Литвинова М.К. Методическое пособие для выполнения учебных занятий и самостоятельной работы по селекции овощных культур по теме: "Адаптивный подход к семеноводству". - / Литвинова М.К., Мешков А.В., Пустовалова С.В. // Мичуринск: Мичуринский гос. аграрный ун-т - 2005. - с. 20.
12. Пивоваров В.Ф. Основные пути совершенствования систем удобрения в овощеводстве / Пивоваров В.Ф., Надежкин С.М. // Плодородие. 2016. № 5 (92). С. 16-18.
13. Оценка оптимального уровня интенсивности химизации при возделывании овощных культур. / Надежкин С.М., Терешонок В.И., Добруцкая Е.Г. и др. [Под общ. ред. С.М. Надежкина]. – М.: ВНИИССОК, 2012. – 44 с
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд. доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Список литературы на английском языке / References in English*

1. Fedorova M.I. Metodologicheskiye osnovy selektsii i semenovodstva ovoshchnykh korneplodnykh rasteniy [Methodological foundations of selection and seed production of vegetable root plants] / M.I. Fedorova A.V. Soldatenko, V.A. Stepanov, et al. // Ovoshchi Rossii [Vegetables of Russia]. – 2018. – No. 3 (41). – P. 52-55. [in Russian]
2. Gins M.S. Povysheniye kachestva ovoshchnykh kul'tur kak produktov funktsional'nogo pitaniya [Improving the quality of vegetable crops as products of functional nutrition] / M.S. Gins, V.F. Pivovarov, P.F. Kononkov, V.K. Gins // Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of agriculture and industrial complex]. – 2011. – No. 3. – P. 34-36. [in Russian]
3. Litvinov S. S. Effektivnost' ovoshchevodstva Rossii (analiz, strategiya, prognoz) [Effectiveness of vegetable growing in Russia (analysis, strategy, forecast)] / S.S. Litvinov, M.V. Shatilov. – M.: FSBEI "All-Russian Research Institute of Vegetable". – 2015. – P. 81-89 [in Russian]
4. Gaydamak V.Kh. Razrabotka proizvodstvennoy programmy po rasteniyevodstvu [Development of production program for crop production] / B.H. Gaydamak, T.G. Kosenko, V.D. Rowers. – p. Persyanovsky, 1993. [in Russian]
5. Yanaeva D.A. Sozdaniye iskhodnogo materiala dlya geterozisnoy selektsii redisa yevropeyskogo (*Raphanus sativus*. l. var. *sativus*) dlya zashchishchennogo grunta [Creation of source material for heterotic selection of European radish (*Raphanus sativus*. L. Var. *Sativus*) for protected ground] / Abstract of PhD in Agriculture / All-Russian Research Institute of Vegetable Production. – Moscow. – 2011. – P. 26 [in Russian]

6. Kosenko M.A. Otsenka priyemov proizvodstva red'ki yevropeyskoy [Assessment of production methods of European radish] // V sbornike: Sovremennyye ekonomicheskiye sistemy v usloviyakh globalizatsii: sostoyaniye i perspektivy razvitiya / Kosenko M.A. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [In collection: Modern economic systems in the context of globalization: state and development prospects] / Kosenko M.A. Materials of the international scientific-practical conference. – 2017. – P. 183-187. [in Russian]
7. Kosenko M.A. Puti povysheniya produktivnosti stolovykh korneplodov [Ways to increase productivity of table root crops] // V sbornike: Resursosberezheniye i adaptivnost' v tekhnologiyakh vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i pererabotki produktov rasteniyevodstva. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [In collection: Resource conservation and adaptability in technologies of cultivation of agricultural crops and processing of crop products. Materials of the international scientific-practical conference]. – 2018. – P. 242-245 [in Russian]
8. Kosenko M.A. B'yanka - novyy sort red'ki [Bianca – new variety of radish] / M.A. Kosenko, A.N. Khovrin // Kartofel' i ovoshchi [Potatoes and vegetables]. – 2018. – No. 6. – P. 31-32 [in Russian]
9. Kornev, A.V. Ispol'zovaniye ucheniya N.I. Vavilova ob iskhodnom materiale v selektsii morkovi stolovoy v nastoyashcheye vremya/ [Using teachings of N.I. Vavilov on source material in selection of dining carrots at present time] / A.V. Kornev, V.I. Leunov, A.N. Khovrin // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii [Fruit growing and berry growing in Russia] – 2012. – V. 34. – P. 1. – P. 380-385 [in Russian]
10. Kosenko M.A. Otsenka effektivnosti proizvodstva ovoshchey [Assessment of effectiveness of vegetables production] / M.A. Kosenko // Sovremennyye ekonomicheskiye sistemy: sostoyaniye i perspektivy razvitiya materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh [Modern economic systems: state and development prospects materials of the international scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists]. – 2016. – P. 51-56. [in Russian]
11. Litvinova M.K. Metodicheskoye posobiye dlya vypolneniya uchebnykh zanyatiy i samostoyatel'noy raboty po selektsii ovoshchnykh kul'tur po teme/: "Adaptivnyy podkhod k semenovodstvu". [Toolkit for implementation of training sessions and independent work on selection of vegetable crops on the topic: "An adaptive approach to seed production."] / Litvinova M.K., Meshkov A.V., Pustovalova S.V. // Michurinsk: Michurin State Agricultural University – 2005. – P. 20. [in Russian]
12. Pivovarov V.F. Osnovnyye puti sovershenstvovaniya sistem udobreniya v ovoshchevodstve [Main ways to improve fertilizer systems in vegetable growing] / Pivovarov V.F., Nadezhkin S.M. // Plodorodiy [Fertility]. – 2016. – No.5(92). – P. 16-18. [in Russian]
13. Otsenka optimal'nogo urovnya intensivnosti khimizatsii pri vozdeleyvanii ovoshchnykh kul'tur [Assessment of optimal level of intensity of chemicalization in cultivation of vegetable crops] / Nadezhkin S.M., Tereshonok V.I., Dobrutsкая E.G. et al. [Ed. by S.M. Nadezhkina]. – M.: VNISSOK, 2012. – 44 p. [in Russian]
14. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy). 5-th edition. dop. i pererab [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed.] / Dospekhov B.A. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.016>**ФОРМИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ВЫРАБОТАННЫХ КАРЬЕРАХ ОГНЕУПОРНОЙ ГЛИНЫ**

Научная статья

Зарипов Ю.В.¹, Залесов С.В.^{2,*}, Осипенко Р.А.³¹ ORCID: 0000 0001 6174 4001;² ORCID: 0000-0003-3779-410X;³ ORCID: 0000-0003-3359-3079;^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

* Корреспондирующий автор (zalesov[at]usfeu.ru)

Аннотация

Проанализировано формирование древесной растительности на выработанном карьере огнеупорной глины после технического этапа рекультивации в условиях округа предлесостепных сосново-березовых лесов Зауральской равнинной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области. Установлено, что естественное зарастание карьеров древесной растительностью протекает с участием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Последнее позволяет рекомендовать указанную древесную породу в качестве главной при биологическом этапе искусственной рекультивации лесохозяйственного направления.

Ключевые слова: округ предлесостепных сосново-березовых лесов, огнеупорная глина, рекультивация, подрост, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лесоразведение.

FORMATION OF WOODY VEGETATION IN MINED-OUT PITS WITH FIRE-RESISTANT CLAY

Research article

Zaripov Yu.V.¹, Zalesov S.V.^{2,*}, Osipenko R.A.³^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia¹ ORCID: 0000 0001 6174 4001;² ORCID: 0000-0003-3779-410X;³ ORCID: 0000-0003-3359-3079;

* Corresponding author (zalesov[at]usfeu.ru)

Abstract

The authors analyzed the formation of woody vegetation at mined out pits with refractory clay after the technical stage of reclamation in the pre-steppe pine-birch forest district of the Trans-Ural Plain Province of the West Siberian Plain Forest Growth Region. It was found that the natural overgrowing of pits with woody vegetation goes with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). The latter allows us to recommend the specified tree species as the main one at the biological stage of artificial reclamation of the forestry sector.

Keywords: pre-steppe pine-birch forest district, refractory clay, reclamation, undergrowth, Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), afforestation.

Добыча полезных ископаемых неразрывно связана с изъятием значительных площадей под карьеры, отвалы отходов обогащения бедных руд, отходов переработки или неполного сгорания, в частности каменного угля, и так далее.

Особенно велика доля нарушенных земель на Урале, где добыча и переработка полезных ископаемых ведется на протяжении многих десятилетий. Естественно, что после завершения добычи, нарушенные земли подлежат рекультивации, т.е. приведению их в исходное состояние. Среди направлений рекультивации основным является лесохозяйственное, поскольку большинство земель под добычу полезных ископаемых изымается из лесного фонда. Особо следует отметить, что рекультивация мероприятие достаточно трудоемкое и дорогостоящее. Кроме того, в значительной степени расширение объемов рекультивационных работ сдерживается отсутствием научно-обоснованных рекомендаций по их проведению. В частности, нет четкой классификации нарушенных земель, где необходимо искусственное лесоразведение, а где проблему рекультивации может решить естественное зарастание. Последнее объясняется специфичностью видов нарушенных земель и природных условий в районах их нахождения. Так, в частности, имеется значительный опыт рекультивации нарушенных земель на месторождениях тантал-бериллия [1], нефтегазодобычи [2], золоотвалах [3] [4]. При этом опыт работ по рекультивации карьеров огнеупорной глины практически не обобщен и в научной литературе встречаются лишь единичные работы по данному вопросу [5]. Указанное определило направление наших исследований.

Целью наших исследований являлось изучение формирования древесной растительности на выработанном карьере огнеупорной глины и разработка на этой основе предложений по совершенствованию лесохозяйственного направления рекультивации.

Объект и методика исследований

Исследования проводились на месторождении огнеупорной глины «Старковское-2». Данное месторождение расположено на территории Сухоложского лесничества, которая, согласно схеме лесорастительного районирования Свердловской области [6], относится к округу предлесостепных сосново-березовых лесов Зауральской равнинной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области. Согласно действующему нормативному документу [7] территория месторождения расположена в Средне-Уральском таежном лесном районе.

Климат района расположения месторождения континентальный. Самый холодный месяц январь со среднемесячной температурой - 16⁰С и минимальной - 42⁰С. Самый теплый месяц июль со среднемесячной температурой + 17⁰С и максимальной +35⁰С. Среднегодовое количество осадков около 400 мм. Преобладающее направление ветров юго-западное.

На всей площади месторождения мощность элювиальных глин колеблется от 2,7 до 14,6 м. Указанные глины разнообразны по окраске. Чаще всего они желтые, желтовато-коричневые, реже розовые, вишнево-розовые, табачно-зеленые.

Глины плотные, грубодисперсные, непластичные и малопластичные с высоким содержанием крупнозернистых включений, мало- и среднепесчанистых. Данные о валовом химическом составе указанных глин приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Валовой химический состав элювиальных глин месторождения Старковского-2

Химические компоненты	Содержание химических компонентов в пересчете на сухое вещество, %	
	среднее	пределы
SiO ₂	56,70	54,62-60,86
Al ₂ O ₃	16,76	14,50-19,38
TiO ₂	0,49	0,35-0,60
Fe ₂ O ₃	10,87	8,70-12,00
CaO	1,50	0,70-3,59
MgO	2,00	0,80-3,23
SiO ₃	0,05	Следы - 0,10
K ₂ O	0,54	0,36-0,92
Na ₂ O	0,41	0,14-0,89
ППП	10,32	7,00-12,20

Разработка глины велась открытым способом. В 2003 г. были произведены вскрышные работы путем снятия верхнего 15-20 см слоя почвы, в весной 2004 г. началась добыча глины. На различных участках карьера работы по добыче глины прекращались в разные годы, что позволило проследить эффективность естественной рекультивации в динамике. Кроме того, на части карьера удален только плодородный слой почвы, т.е. проведены вскрышные работы, а следовательно, создана возможность анализа формирования древесной растительности на материнской породе.

Описание участков выработанного карьера огнеупорной глины на месторождении «Старковское-2» приведено в таблице 2, а схема карьера на рисунке 1.

Таблица 2 – Описание участков карьера «Старковское-2», где проводились исследования

№ участка	Окончание разработки, год	Характеристика участка
1А	2004	Выравнивание в 2008 г. Оставлен под естественное зарастивание.
1Б	2004	Выравнивание грунта в 2008 г. Посадка лесных культур сосны 2-летними сеянцами под меч Колесова в 2010 г.
2	2008	Выравнивание грунта в 2014 г. Оставлен под естественное зарастивание.
3	2005	Оставлен под естественное зарастивание.
4	2006	Оставлен под естественное зарастивание. С северной стороны участка находится отвал некачественной руды.
5	2013	Оставлен под естественное зарастивание.
6	2015	Оставлен под естественное зарастивание. На участке находится небольшой отвал некачественной руды.
7	2012	Оставлен под естественное зарастивание.
8	2016	Оставлен под естественное зарастивание.
9	2007	Оставлен под естественное зарастивание.
10	2014	Оставлен под естественное зарастивание.
11	-	Склон карьера, выполаживание которого проведено в 2013 г. до 30 ⁰ .
12	2003	Южная часть карьера. Снят только плодородный слой 15-20 см.
13	2003	Восточная часть карьера. Снят только плодородный слой толщиной 15-20 см.
14	2003	Северная часть карьера. Снят только плодородный слой толщиной 15-20 см.
15	2003	Западная часть карьера. Снят только плодородный слой толщиной 15-20 см



Рис. 1 – Схема карьера огнеупорной глины на месторождении Старковское-2

Учет формирования древесной растительности производился с использованием широко известных апробированных методик [8], [9]. При этом при наличии на участках карьера молодняков закладывались пробные площади (ПП), на которых производился сплошной пересчет древесной растительности с установлением основных таксационных показателей.

На участках, где подрост еще не сформировал молодняк, производился его учет на учетных площадках размером 2×2 м с установлением видового состава, жизнеспособности, густоты, высоты и возраста подроста. В камеральных условиях рассчитывалась встречаемость подроста, как выраженное в процентах отношение количества учетных площадок с наличием конкретного вида древесных растений к общему количеству заложенных учетных площадок [10] [11].

На каждой ПП или участке карьера закладывалось по 25-30 учетных площадок, равномерно через равные расстояния между площадками.

Результаты и обсуждение

Материалы исследований показали, что на выработанном карьере огнеупорной глины формируются сосновые молодняки (табл. 3).

Таблица 3 – Характеристика молодняков, сформировавшихся на территории выработанного карьера огнеупорной глины

№ участка	Состав	Средние			Густота, шт/га
		возраст, лет	высота, см	диаметр у шейки корня, мм	
1А	6С	10	170,2	28,8	8470
	1Б	10			1639
	3Ив	8			4372
1Б	10С	9	178,6	36,2	7823
4	7С	10	215,3	34,7	11022
	1Б				1512
	2Ив				2422
12	6С	11	251,7	42,0	7355
	1Б				1565
	2Ос				2034
	1Ив				625
13	7С	8	211,7	34,0	12939
	3Ос				5730
	+Б				185
14	8С	9	225,3	27,0	18889
	1Б				1667
	1Ив				3333
15	8С	10	229,0	29,0	30570
	1Б				3627
	1Ив				4663
	+Ос				1554

Материалы табл. 3 свидетельствуют, что молодняки сформировались не на всей поверхности карьера. Лучшими таксационными показателями древостоев характеризуются участки, на которых в 2003 г. был снят только

плодородный слой (участки 12-15). На данных участках густота сосны варьируется от 7,4 до 30,6 тыс. шт/га при средней высоте 2,1-2,5 м. Другими словами, на указанных участках сформировались загущенные смешанные молодняки.

Хорошие результаты получены при создании лесных культур (участок 1Б). При этом прирост лесных культур за все годы исследований превышает таковой в естественных молодняках, сформировавшихся в близких лесорастительных условиях (рис. 2).

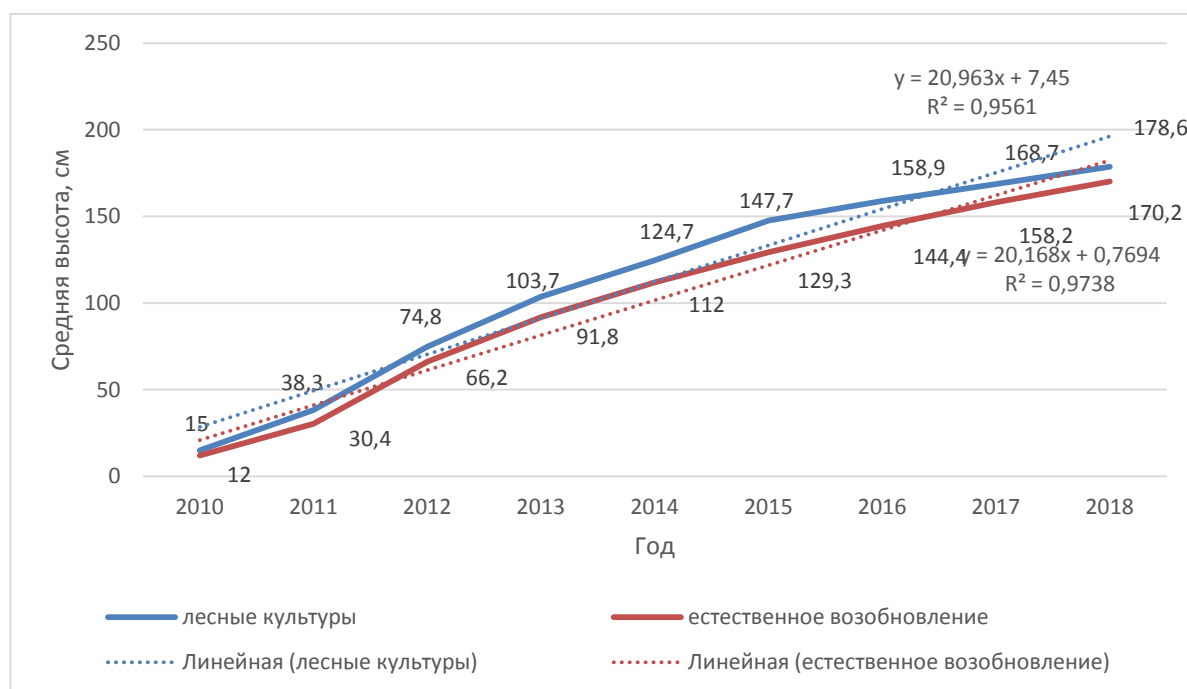


Рис. 2 – Ход роста сосны обыкновенной в культурах и в естественных молодняках

Успешно произошло естественное зарастание карьера на участках 1 и 4, где также сформировались смешанные сосново-березовые молодняки. Однако на большинстве участков карьера формирование молодняков не завершено, и речь может идти лишь о накоплении подроста. Данные о количестве подроста и всходов на выработанном карьере приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Количество всходов и подроста на участках карьера

№ участка	Порода	Всходы		Подрост	
		густота, тыс. шт/га	встречаемость, %	густота, тыс. шт/га	встречаемость, %
1	2	3	4	5	6
2	С	33,3	15	46,7	50
	Б	-	-	86,7	80
	Ос	-	-	6,7	20
	Ив	-	-	53,3	50
3	Подрост отсутствует				
4	С	-	-	16,6	40
	Б	-	-	52,4	40
	Ос	-	-	36,2	60
	Ив	-	-	16,5	30
5	Подрост отсутствует				
6	С	32,6	70	12,4	10
	Ив	-	-	4,0	10
7	С	47,9	100	32,1	60
8	С	44,6	50	-	-
	Б	-	-	4,3	10
	Ив	-	-	8,0	10
9	С	15,9	40	28,1	20
	Ив	-	-	32,2	10
10	С	44,6	50	27,9	40
	Б	-	-	53,0	30
	Ив	-	-	19,8	30

Окончание табл 4 – Количество всходов и подроста на участках карьера

№ участка	Порода	Всходы		Подрост	
		густота, тыс. шт/га	встречаемость, %	густота, тыс. шт/га	встречаемость, %
1	2	3	4	5	6
11	С	3,9	10	8,0	20
	Б	-	-	104,1	60
	Ос	-	-	8,0	10
	Ив	-	-	20,1	40
12	С	7,9	20	-	-
13	С	8,1	20	24,4	40
	Б	-	-	72,0	60
	Ос	-	-	7,2	20
14	С	32,6	30	32,2	40
15	С	47,8	20	24,7	40
Южный склон	С	23,6	20	-	-
	Б	-	-	7,7	10
Северный склон	С	32,0	60	32,2	25
	Б	-	-	15,6	20
Западный склон	С	16,2	20	0,7	20
	Ос	-	-	0,5	10
	Ив	-	-	0,2	20
Восточный склон	С	48,2	100	32,2	20

Материалы табл. 4 свидетельствуют, что процессы накопления подроста на основной части карьера протекают крайне медленно. Так, в частности, добыча глины на участке № 3 была прекращена в 2005 г., а на участке № 5 в 2013 г. Однако в 2018 г. на данных участках отсутствовали даже всходы древесных растений.

Низкие показатели встречаемости подроста и всходов древесных пород на большинстве участков карьера свидетельствуют о необходимости при проведении технического этапа рекультивации не только выравнивать дно карьера и сглаживать его откосы, но и размещать на поверхности слой почвогрунта или органических удобрений. Полагаем также, что после технического этапа следует проводить биологический этап рекультивации созданием лесных культур сосны обыкновенной. В пользу последнего вывода свидетельствуют данные о характеристике древостоя на участке № 1Б, где в 2010 г. были посажены лесные культуры сосны (табл. 3).

Выводы

1. Успешное зарастание карьеров огнеупорной глины наблюдается только на тех участках, где был снят лишь плодородный слой, а добыча глины не производилась. На данных участках спустя 1-15 лет формируются мешанные сосновые молодняки с густотой сосны 7,4-30,6 тыс. шт./га при средней высоте 2,1-2,5 м и доле сосны в составе от 6 до 10 единиц.

2. Формирование древесной растительности на дне и откосах карьера протекает медленно. Так встречаемость подроста сосны на склонах карьера варьируется от 0 до 25%, а на дне от 0 до 50%. Вызывает необходимость проведения биологического этапа рекультивации.

3. При техническом этапе на поверхности дна и откосов карьера следует создавать слой почвогрунта или органических удобрений, а при биологическом - создание лесных культур.

4. В качестве главной породы для создания лесных культур можно рекомендовать в районе исследований сосну обыкновенную.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Залесов С.В. Рекультивация нарушенных земель на месторождении тантал-бериллия / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, Ю.В. Зарипов, А.С. Оплетаев, О.В. Толкач // Экология и промышленность России, 2018. Т. 22. № 12. С. 63-67.
2. Луганский Н.А. Возврат земель после нефтегазодобычи / Н.А. Луганский, К.И. Лопатин, В.А. Луганский. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 62 с.
3. Махнев А.К. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / А.К. Махнев, Т.С. Чибрик, М.Р. Трубина, Н.В. Лукина, Н.Э. Гебель, А.А. Терин, Ю.И. Еловииков, Н.В. Топорков. - Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 356 с.
4. Залесов С.В. Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.А. Зверев, А.С. Оплетаев, А.А. Терин // ИВУЗ «Лесной журнал», 2013. № 2. С. 66-73.
5. Залесов С.В. Эффективность лесной рекультивации карьера по добыче огнеупорной глины / С.В. Залесов, А.С. Оплетаев, Е.С. Залесова, А.А. Зверев, Е.А. Шумихина // Леса России и хозяйство в них, 2011. Вып. 4 (41). С. 3-10.
6. Колесников Б.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов. - Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. 176 с.

7. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и перечня лесных районов Российской Федерации: Утв. Приказом минприроды России от 18.08.2014 г. № 367 (ред. от 23.12.2014) [Электронный источник] - URL: www.consultant.ru (дата обращения: 9.01.2020).

8. Данчева А.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения / А.В. Данчева, С.В. Залесов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 152 с.

9. Фомин В.В. Методики оценки густоты подроста и древостоев при зарастании сельскохозяйственных земель древесной растительностью с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения / В.В. Фомин, С.В. Залесов, А.Г. Магасумова // Аграрный вестник Урала, 2015. № 1 (131). С. 25-29.

10. Луганский Н.А. Лесоведение и лесоводство. Термины, понятия, определения / Н.А. Луганский, С.В. Залесов. - Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1997. 101 с.

11. Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений: Утв. Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 25.03.2019 г. № 188 (ред. от 14 мая 2019) [Электронный источник] - URL: www.consultant.ru (дата обращения: 9.01.2020).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zalesov S.V. Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' na mestorozhdenii tantal-berilliya [Reclamation of disturbed lands in the tantalum-beryllium deposit] / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, Yu.V. Zaripov, A.S. Opletaev, O.V. Pusher // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], – 2018. – Vol. 22. – No. 12. – P. 63-67. [in Russian]

2. Lugansky N.A. Vozvrat zemel' posle neftegazodobychi [Return of land after oil and gas production] / N.A. Lugansky, K.I. Lopatin, V.A. Lugansky. – Yekaterinburg: Ural. state forestry technician. Univ., – 2005. – 62 p. [in Russian]

3. Makhnev A.K. Ekologicheskiye osnovy i metody biologicheskoy rekul'tivatsii zolootvalov teplovykh elektrostantsiy na Urale [Ecological fundamentals and methods of biological reclamation of ash dumps of thermal power plants in the Urals] / A.K. Makhnev, T.S. Chibrik, M.R. Trubina, N.V. Lukina, N.E. Goebel, A.A. Terin, Yu.I. Elovikov, N.V. Toporkov. – Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, – 2002. – 356 p. [in Russian]

4. Zalesov S.V. Formirovaniye iskusstvennykh nasazhdeniy na zolootvale Reftinskoy GRES [Formation of artificial stands the ash dump of Reftinskaya TPP] / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, A.A. Zverev, A.S. Opletaev, A.A. Terin // *IVUZ "Forest Journal"*, – 2013. – No. 2. P. 66-73. [in Russian]

5. Zalesov S.V. Effektivnost' lesnoy rekul'tivatsii kar'yera po dobyche ogneupornoy gliny [Effectiveness of forest reclamation quarry for extraction of refractory clay] / S.V. Zalesov, A.S. Opletaev, E.S. Zalesova, A.A. Zverev, E.A. Shumikhina // *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and economy in them], – 2011. – Issue. 4 (41). – P. 3-10. [in Russian]

6. Kolesnikov B.P. Lesorastitel'nyye usloviya i tipy lesov Sverdlovskoy oblasti [Forest conditions and forest types of Sverdlovsk region] / B.P. Kolesnikov, R.S. Zubareva, E.P. Smolonogov. – Sverdlovsk: UC AN USSR, – 1973. – 176 p. [in Russian]

7. Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii [On approval of List of forest growing zones of Russian Federation and list of forest regions of Russian Federation:] Approved. By order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated August 18, 2014 No. 367 (as amended on December 23, 2014) [Electronic source] – URL: www.consultant.ru (accessed: 9.01.2020). [in Russian]

8. Dancheva A.V. Ekologicheskiy monitoring lesnykh nasazhdeniy rekreatsionnogo naznacheniya [Ecological monitoring of recreational forest stands] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov. – Yekaterinburg: Ural. state forestry technician. Univ., – 2015. – 152 p. [in Russian]

9. Fomin V.V. Metodiki otsenki gustoty podrosta i drevostoyev pri zarastanii sel'skokhozyaystvennykh zemel' drevesnoy rastitel'nost'yu s ispol'zovaniyem kosmicheskikh snimkov vysokogo prostranstvennogo razresheniya [Methods for assessing density of undergrowth and forest stands when agricultural lands are overgrown with woody vegetation using high-resolution satellite imagery] / V.V. Fomin, S.V. Zalesov, A.G. Magasumova // *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], – 2015. – No. 1 (131). – P. 25-29. [in Russian]

10. Lugansky N.A. Lesovedeniye i lesovodstvo. Terminy, ponyatiya, opredeleniya [Forestry and forestry. Terms, concepts, definitions] / N.A. Lugansk, S.V. Zalesov. – Yekaterinburg: Ural. state forestry technician. Acad., – 1997. – 101 p. [in Russian]

11. Ob utverzhdenii Pravil lesovosstanovleniya, sostava proyekta lesovosstanovleniya, poryadka razrabotki proyekta lesovosstanovleniya i vneseniya v nego izmeneniy [On approval of Rules of reforestation, composition of reforestation project, procedure for developing reforestation project and amending it] Approved. By Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation dated March 25, 2019 No. 188 (as amended on May 14, 2019) [Electronic source] – URL: www.consultant.ru (accessed: 9.01.2020). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.017>

ЭКОЛОГИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ, КАК МЕХАНИЗМ ОХРАНЫ И РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ.

Научная статья

Петрова И.А.^{1,*}, Степкин Ю.А.²

¹ ORCID: 0000-0003-0199-4492;

^{1,2} Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской государственной аграрный университет, Новочеркасск, Россия

* Корреспондирующий автор (petroffa_i[at]mail.ru)

Аннотация

Землепользование в современных условиях является экологически неустойчивым, что создает реальную опасность для экологической обстановки как в мире, так и в РФ. В статье приведён ряд причин, оказывающих влияние на осложнение экологической ситуации. Проведён анализ динамики состояния земель сельскохозяйственного назначения и приведены деградационные процессы, влияющие на это состояние. Принимая во внимание все негативные последствия деградации земельных ресурсов, необходимо формирование экологически устойчивого землепользования, которое должно учитывать ландшафтные особенности и свойства, отраслевую пригодность территории, быть ориентированным на удовлетворение социально-экономических интересов общества, способствовать охране, воспроизводству продуктивных и прочих полезных свойств и качеств земельных ресурсов.

Ключевые слова: экологизация, землепользование, природно-ресурсный потенциал, земельные угодья, деградация, экологический баланс, рациональное использование земель.

ECOLOGIZATION OF LAND USE AS PROTECTION MECHANISM FOR RATIONAL USE OF LAND RESOURCES

Research article

Petrova I.A.^{1,*}, Stepkin Yu.A.²

¹ ORCID: 0000-0003-0199-4492,

^{1,2} Novocherkassk Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, FSBEI of HE, Don State Agrarian University (NIMI FSBI of HE Don State Agrarian University), Novocherkassk, Russia

* Corresponding author (petroffa_i[at]mail.ru)

Abstract

Land use under modern conditions is environmentally unsustainable, which is a real danger to the environmental situation both around the world and in the Russian Federation. The paper considers the number of reasons that influence the complication of the environmental situation. The authors provide an analysis of the dynamics of the state of agricultural land and the degradation processes that affect this state. Taking into account all the negative consequences of land degradation, the formation of environmentally sustainable land use is necessary, and it should take into account landscape features and properties. The sectoral suitability of the territory must be oriented to satisfying the social and economic interests of society, and contribute to the protection, reproduction of productive and other useful properties and qualities of land resources.

Keywords: greening, land use, natural resource potential, land, degradation, environmental balance, rational use of land.

Введение

Главным условием совмещения целенаправленных действий человечества и природы для эффективной самоорганизации его внутренней среды - экосистемы - является осуществление человеком процессов материального преобразования на основе естественных законов. Поэтому антропогенно изменённые природные ландшафты и производительные искусственные технологии следует разрабатывать и применять при условии обеспечения гармонии человека и природной среды.

В современных условиях землепользования, представляющие собой сложные экологические системы, имеющие определенные пространственно-структурные характеристики, испытывают сильнейшие негативные воздействия различных природных и антропогенных факторов, что создает реальную опасность для экологической обстановки как в мире, так и в РФ.

Основная часть

На территории Российской Федерации практически не осталось земель, которые не испытывали бы антропогенное воздействие преимущественно негативного характера. Так, площадь территорий, ненарушенных хозяйственной деятельностью, оценивается не ниже 65%, в то время как ненарушенные площади на всех континентах Земли составляют 27% [1].

Соблюдение законов функционирования экосистем особенно значимо для сельскохозяйственного землепользования в связи с обострившейся в настоящее время проблемой деградации земель, вызванной как деятельностью человека, так и стихийными природными явлениями, их нерациональным использованием, а также переводом их из одной категории земель в другую. Уменьшились объёмы проведения мероприятий по окультуриванию земель и повышению плодородия почв. В результате чего, ежегодно растут площади брошенных и нарушенных земель.

Так в РФ за период с 2015 по 2019 годы, количество земель сельскохозяйственного назначения уменьшилось на 2,3 млн. га, сельскохозяйственных угодий на 22,5 млн. га, а площадь пашни сократилась на 5,3 млн. га (рисунок 1) [2], [3].

На уменьшение природно-ресурсного потенциала земель оказывает влияние интенсивное их использование, которое приводит к деградации экологических систем земельных угодий.

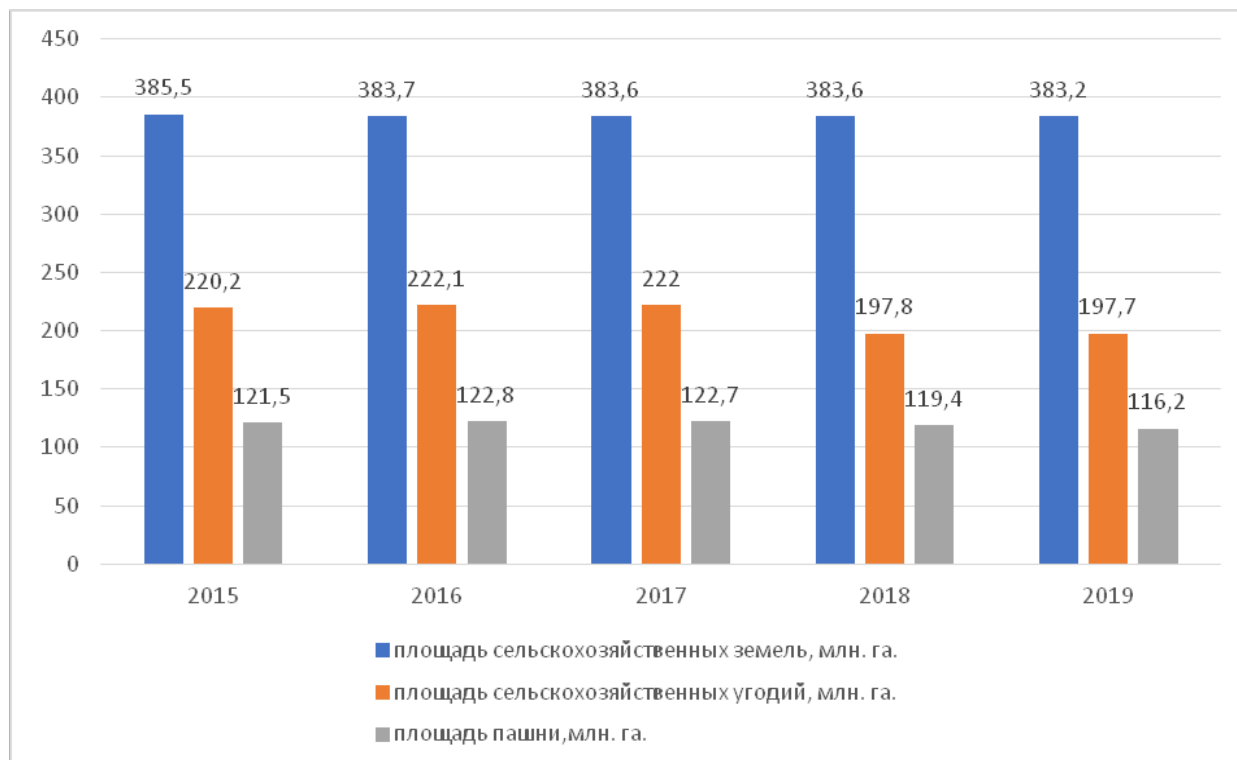


Рис. 1 – Динамика состояния земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации за 2015 г.-2019 г.

Так, в мире площадь земель со слабой степенью деградации составляет 7,5 млн. км², умеренной - 9,1 млн. км². В период с 2010 по 2019 годы площадь земель, подверженных водной и ветровой эрозиям, увеличилась на 1,47 млн. га и 1,74 млн. га соответственно. Площадь земель, загрязненная различными химическими соединениями (химическая деградация) увеличилась на 0,75 млн. га. Физическая деградация почв увеличилась на 2,22 млн. га (рисунок 2) [4].

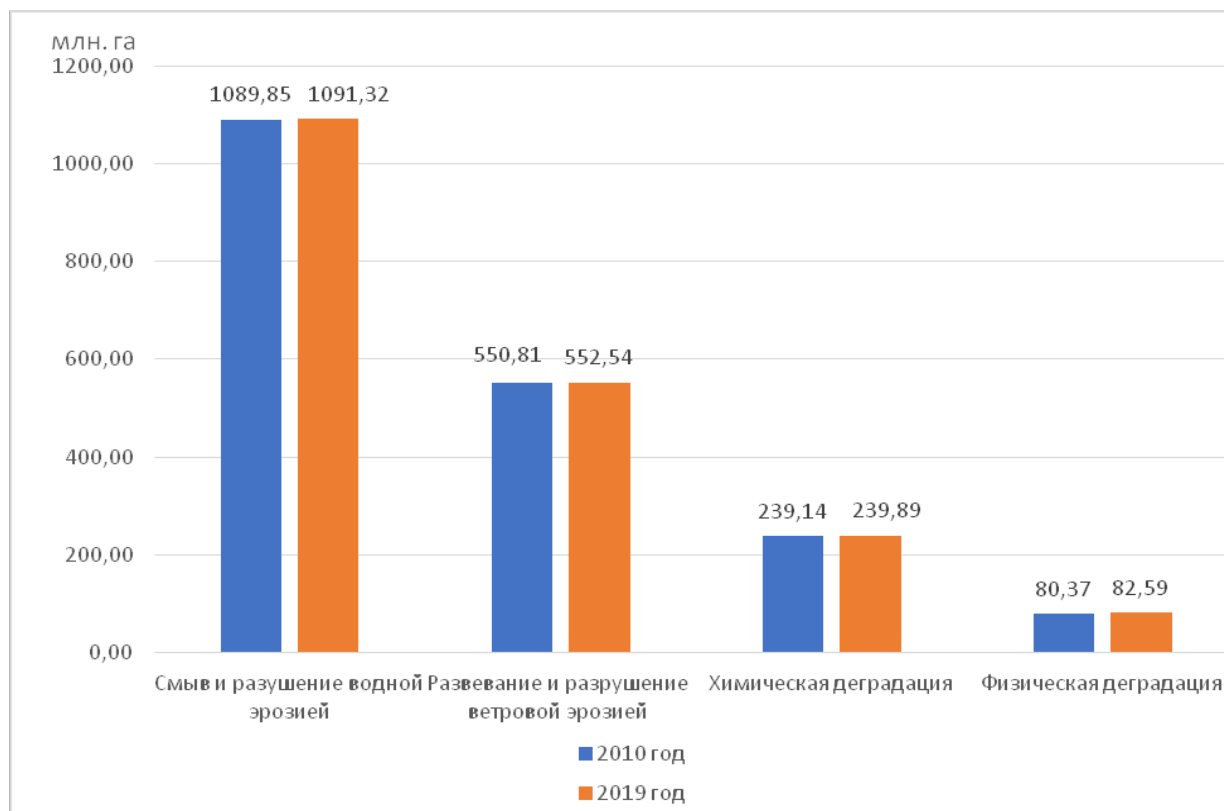


Рис. 2 – Площадь деградированных сельскохозяйственных земель мира

Наибольший ущерб состоянию почвенного покрова на территории РФ наносят следующие виды деградации (см. таблицу 1) [5], [6], [7].

Таблица 1 – Виды деградации и их содержание на территории РФ

Виды деградации	Содержание
Водная эрозия и ветровая эрозия	26,2%
Засоление, осолонцевание	20,1%
Локальное переувлажнение и заболачивание	12,3%
Затопление и подтопление территории водохранилищами	3-5%
Снижение содержания гумуса (дегумификация)	снижение на 1-2% каждый год
Подкисление или подщелачивание	46 млн. га.
Истощение питательными веществами	49 млн. тонн за последние 5 лет
Загрязнение тяжелыми металлами, пестицидами, нефтепродуктами, радионуклидами и иными токсическими веществами	5 %
Потеря земель при строительстве, прокладке дорог, добыче полезных ископаемых	269,5 тыс. га.
Потеря земель при захламлении промышленными и коммунально-бытовыми отходами	увеличение на 3-5% ежегодно

Эти явления, приводят к чётко выраженной тенденции снижения биоэнергетического потенциала, и экологической ёмкости агроландшафта, и прогрессивно снижающегося плодородия почв. Приведённые данные свидетельствуют о не ресурсосберегающем, а экстенсивном использовании природно-ресурсного потенциала земельных угодий.

На осложнение экологической ситуации оказывает влияние ряд экономических и правовых факторов, которые действуют в различных секторах, на разных уровнях и с разной степенью воздействия:

- макроэкономическая политика, приводящая к экстенсивному использованию природных ресурсов;
- несовершенные нормативно-правовые акты;
- неопределённость владения природными ресурсами;
- недооценка устойчивого развития;
- инфляция, кризис в экономической сфере, затрудняющий реализацию долгосрочных проектов;
- природно-ресурсный характер экспорта;
- наличие эффективного стимула в виде получения быстрого дохода от продажи произведенной продукции и т.д.

[8], [9].

Всё это вызывает необходимость разработки качественно новых подходов к землепользованию и природопользованию, основное место в которых должна занимать гармонизация компромиссных отношений общества и биосферы, природы и человека, экологии и экономики.

Причем экологизация должна занимать приоритетное значение, т. к. от сведения к минимуму экологических просчётов в практической деятельности зависит не только экономический эффект проводимых мероприятий, но и предотвращение негативных проявлений в природе, которые приводят к атропогенному опустыниванию территории.

Для нормального функционирования природного и земельно-ресурсного потенциала, как естественно-биологической системы, выполнения всех её функций, необходимо вписывать их использование в экологические рамки, которые не позволят разрушить естественный механизм регуляции окружающей среды.

Принимая во внимание все негативные последствия деградации земельных ресурсов, в последние годы предприняты шаги к применению технологий, которые должны соответствовать современным требованиям не только с экономической точки зрения, но и с экологической. Т.е. с точки зрения общей экономики и экономики природопользования землепользование (землевладение) должно быть конкурентоспособным, а с точки зрения природообустройства и природоохранительной деятельности – экологизированным.

Основной методологии экологически устойчивого землепользования является функционирование земли как природного комплекса и объекта эколого-экономических отношений. Центральным звеном является формирование и поддержание характеристик экологического каркаса территории и проводимая на этой базе оценка ландшафтно-экологических критериев и состояния использования земли.

Ввиду этого необходимо решить одну из главных проблем - поддержание экологического баланса, который должен быть связан с деятельностью, как отдельных ландшафтов-угодий, так и в целом определенных территориальных образований различных уровней от небольших землевладений, землепользований до крупных природно-территориальных образований, что послужит формированию экологически устойчивого землепользования [8], [9].

Функции устойчивого экологического землепользования (землевладения) состоят в том, чтобы в полной мере учитывать ландшафтные особенности и свойства, отраслевую пригодность территории, ориентированную на удовлетворение социально-экономических интересов общества, обеспечении высокой продуктивности производительной и других видов деятельности, способствующих охране, воспроизводству продуктивных и прочих полезных свойств и качеств земельных ресурсов.

Регулирование экологического баланса землепользования может быть обеспечено с учётом следующих основных принципов:

- перераспределения и использования земель на ландшафтно-экологической основе;
- применения подхода экологического баланса при организации использования земель и территорий;
- проведения экологической оценки земель;

- выделения территорий, пользующихся определённым правовым и природно-хозяйственным режимом;
- разработки технологий, адаптированных к конкретным условиям окружающей среды и обеспечивающих воспроизводство возобновляемых природных ресурсов;
- обеспечения экологического баланса экологических систем природных и искусственных ландшафтов;
- минимизации антропогенного воздействия на агроландшафт [10].

Множество исследований различных авторов из разных стран показали, что экологически устойчивое землепользование формируется на принципах рационального использования земли, которые вступают в силу при чётком соблюдении технических, технологических, естественно-биологических и социально-экономических законов, обеспечивающих постоянное воспроизводство почвенного плодородия.

Поэтому для улучшения и изменения ситуации, в основу рационального использования земель необходимо включить и соблюдать качественные критерии, которые будут способствовать обеспечению этого процесса. Все собственники, землевладельцы, землепользователи и арендаторы, использующие землю, обязаны охранять почвенный покров от эрозии, заражения, загрязнения и других негативных последствий, повышать уровень плодородия почв независимо от её природных свойств, снимать, хранить и не нарушать почвенный плодородный слой при проведении работ с нарушенным почвенным покровом. Необходимо ограничить использование сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд, а также отвод для сельскохозяйственных нужд земель, не пригодных для сельского хозяйства, либо земель худшего качества [11].

Заключение

Таким образом, исследования современного состояния земельных ресурсов говорят о том, что основные тенденции осложнения экологической обстановки будут сохраняться, если никак не осуществлять действенные меры по их нормализации и ликвидации. В связи с этим значительно возрастает необходимость решения в каждой стране, регионе, проблемы оптимизированного и экологизированного природопользования.

Экологизация землепользования должна быть направлена на создание экологически устойчивых природно-хозяйственных комплексов, формирование ландшафтов и фитоценозов, способных к выживанию и развитию, и соответствующих природоохранным требованиям рационального использования земельных ресурсов, а также обеспечивающих ведение эффективного производства.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Состояние земельных ресурсов в мире и Российской Федерации [Электронный ресурс] // 2015-2019, МегаЛекции. URL: <https://megalektsii.ru/s14631t6.html> (дата обращения: 11.11.2019).
2. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2017 году. 2019 г // РОСИНФОРМАГРОТЕХ [Электронный ресурс]. URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/anons/doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-selskokhozyajstvennogo-naznacheniya-rossijskoj-federatsii-v-2017-godu-2019-g> (дата обращения: 11.11.2019).
3. Структура земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации // Ассоциация крестьянских (фермерских) хозяйств и сельскохозяйственных кооперативов России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.akkor.ru/sites/default/files/i.s.kozubenko.pdf> (дата обращения: 11.11.2019).
4. Использование земли: Сельскохозяйственные земли в странах мира [Электронный ресурс] // Countries.World. 2019, URL: https://ru.countries.world/world/B8-34_60_2015_d.html (дата обращения: 11.11.2019).
5. Состояние эрозии почв в России // Studwood. ru [Электронный ресурс]. URL: https://studwood.ru/1287953/geografiya/sostoyanie_erozii_pochv_v_rossii (дата обращения: 16.11.2019).
6. Хитров Н.Б. Проблемы деградации, охраны и пути восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения / Хитров Н.Б., Иванов А.Л., Завалин А.А., Кузнецов М.С. // Вестник аграрной науки. - 2007. - №6. - С. 29-32.
7. Предотвращение захламления и загрязнения земель // StudFiles [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/4456684/page:24/> (дата обращения: 16.11.2019).
8. Экологизация землепользования // Pandia [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/77/277/66572.php> (дата обращения: 15.11.2019).
9. Сущность и методологическая основа экологического предпринимательства // Studwood. ru [Электронный ресурс]. URL: https://studwood.ru/1158485/ekologiya/suschnost_metodologicheskaya_osnova_ekologicheskogo_predprinimatelstva (дата обращения: 14.11.2019).
10. Магомедов А.М. Экологические подходы аграрно-рекреационного землепользования / Магомедов А.М., Абдуяев К.А. // Юг России: экология, развитие. - 2018. - №2. - С. 157-164.
11. Качественный критерий рационального использования земель // All-sci [Электронный ресурс]. URL: https://all-sci.net/zemelnoe-pravo_732/kachestvennyiy-kriteriy-ratsionalnogo-87862.html (дата обращения: 11.12.2019).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Sostoyaniye zemel'nykh resursov v mire i Rossiyskoy Federatsii [State of land resources in world and the Russian Federation] [Electronic resource] // 2015-2019, MegaLectures. URL: <https://megalektsii.ru/s14631t6.html> (accessed: 11.11.2019). [in Russian]
2. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiyskoy Federatsii v 2017 godu. 2019 g [Report on the status and use of agricultural land of the Russian Federation in 2017. 2019] // ROSINFORMAGROTECH [Electronic resource]. URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/anons/doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-selskokhozyaystvennogo-naznacheniya-rossijskoj-federatsii-v-2017-godu-2019-g>

ispol'zovaniy-zemel-selskokhozyajstvennogo-naznacheniya-rossijskoj-federatsii-v-2017-godu-2019-g (accessed: 11.11.2019) [in Russian]

3. Struktura zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v Rossiyskoy Federatsii [Structure of agricultural land in Russian Federation] // Assotsiatsiya krest'yanskikh (fermerskikh) khozyaystv i sel'skokhozyaystvennykh kooperativov Rossii [Association of Peasant (Farm) Farms and Agricultural Cooperatives of Russia] [Electronic resource]. URL: <https://www.akkor.ru/sites/default/files/i.s.kozubenko.pdf> (accessed: 11.11.2019). [in Russian]

4. Ispol'zovaniye zemli: Sel'skokhozyaystvennyye zemli v stranakh mira [Land use: Agricultural land in countries of the world] [Electronic resource] // Countries. World. 2019, URL: https://ru.countries.world/world/B8-34_60_2015_d.html (accessed: 11/11/2019). [in Russian]

5. Sostoyaniye erozii pochv v Rossii [State of soil erosion in Russia] // Studwood.ru [Electronic resource]. URL: https://studwood.ru/1287953/geografiya/sostoyanie_erozii_pochv_v_rossii (accessed: 11.16.2019). [in Russian]

6. Khitrov N.B. Kuznetsov M.S. Problemy degradatsii, okhrany i puti vosstanovleniya produktivnosti zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Problems of degradation, protection and ways to restore the productivity of agricultural land] / Khitrov N.B., Ivanov A.L., Zavalin A.A., Kuznetsov M.S. // Vestnik agrarnoy nauki [Bulletin of agricultural science]. – 2007. – No. 6. – P. 29-32. [in Russian]

7. Predotvrashcheniye zakhlamleniya i zagryazneniya zemel' [Prevention of cluttering and land pollution] // StudFiles [Electronic resource]. URL: <https://studfile.net/preview/4456684/page:24> (accessed: 11/16/2019). [In Russian]

8. Ekologizatsiya zemlepol'zovaniya [Greening land use] // Pandia [Electronic resource]. URL: <https://pandia.ru/text/77/277/66572.php> (accessed: 11.15.2019). [in Russian]

9. Sushchnost' i metodologicheskaya osnova ekologicheskogo predprinimatel'stva [Essence and methodological basis of environmental entrepreneurship] // Studwood.ru [Electronic resource]. URL: https://studwood.ru/1158485/ekologiya/suschnost_metodologicheskaya_osnova_ekologicheskogo_predprinimatelstva (accessed: 11.14.2019). [in Russian]

10. Magomedov A.M. Ekologicheskiye podkhody agrarno-rekreatsionnogo zemlepol'zovaniya [Ecological approaches of agrarian and recreational land use] / Magomedov A.M., Abduaev K.A. // Yug Rossii: ekologiya, razvitiye [South of Russia: ecology, development]. – 2018. – No. 2. – P. 157-164. [in Russian]

11. Kachestvennyy kriteriy ratsional'nogo ispol'zovaniya zemel' [Qualitative criterion for rational use of land] // All-sci [Electronic resource]. URL: https://all-sci.net/zemelnoe-pravo_732/kachestvennyiy-kriteriy-ratsionalnogo-87862.html (accessed: 12.11.2019). [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.018>**ВЛИЯНИЕ ГОРОХОВОЙ ЗАКВАСКИ НА РАЗВИТИЕ КАРТОФЕЛЬНОЙ БОЛЕЗНИ ХЛЕБА**

Научная статья

Икрами М.Б.^{1,*}, Шарипова М.Б.²^{1,2} Технологический университет Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

* Корреспондирующий автор (mavzuna-83[at]mail.ru)

Аннотация

В статье рассмотрено использование закваски, приготовленной на основе гороха-нута, для предотвращения картофельной болезни хлеба. Показано, что при использовании гороховой закваски при приготовлении хлеба из муки, зараженной спорами картофельной палочки, признаки картофельной болезни не проявляются в хлебе при хранении в течение 2 недель, тогда как в контрольных образцах хлеба, выпеченного на термофильных дрожжах по общепринятой технологии, указанные признаки появляются уже на третий день. Проведенные эксперименты по приготовлению хлеба на основе гороховой закваски и формового хлеба с использованием термофильных дрожжей показали, что хлеб с использованием гороховой закваски вполне соответствует требованиям, предъявляемым к качеству дрожжевого хлеба.

Ключевые слова: хлеб - хлебобулочные изделия - дрожжи – закваска – брожение, картофельная болезнь, споры, бактерии рода *Bacillus*.

INFLUENCE OF PEA YEAST ON DEVELOPMENT OF POTATO BREAD DISEASE

Research article

Caviar M.B.^{1,*}, Sharipova M.B.²¹Technological University of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

* Corresponding author (mavzuna-83[at]mail.ru)

Abstract

The paper considers the use of yeast made based on chickpea to prevent potato bread disease. It is shown that when using pea sourdough making bread from flour infected with spores of potato bacillus, the signs of a potato disease do not appear in bread when stored for 2 weeks, whereas, in control samples of bread baked with thermophilic yeast according to generally accepted technology, these signs appear already on the third day. The experiments on the preparation of bread based on pea sourdough and molded bread using thermophilic yeast showed that bread using pea sourdough fully meets the requirements for the quality of yeast bread.

Keywords: bread - bakery products - yeast - sourdough - fermentation, potato disease, spores, bacteria of the genus *Bacillus*.

Введение

Хлебобулочные изделия являются скоропортящимся продуктом, который во время хранения может быть поражен различными болезнетворными бактериями. Употребление в пищу такого изделия может вызвать различные отравления и принести вред здоровью потребителя. Болезни хлебобулочных изделий появляются, прежде всего, при использовании пшеничной муки, сильно загрязненной патологическими микроорганизмами – бактериями и грибами. Возникновению и развитию болезней хлебобулочных изделий способствуют неблагоприятные условия хранения, а именно хранение при повышенной относительной влажности и температуре [1]. Причиной зараженности пшеничной муки являются споровые бактерии, которые могут попадать в нее из почвы и воздуха во время сбора зерна, а также при его размоле. Картофельная болезнь хлеба и хлебобулочных изделий - самое распространенное заболевание хлеба. Возбудителем этой болезни являются спорообразующие бактерии, относящиеся к подвиду *Bacillus subtilis* (картофельная палочка) и *Bacillus mesentericus* (сенная палочка). Эти бактерии являются весьма распространенными в природе. Бактерии рода *Bacillus*, обладают комплексом активных амилалитических и протеолитических ферментов, под непосредственным воздействием которых идет гидролиз белков и крахмала пшеничной муки. Изделие с картофельной болезнью характеризуется весьма неприятным и специфическим запахом и липкостью (ослизнением), потемнением мякиша, тянущегося тонкими специфическими нитями [6], [10]. Возбудителем картофельной болезни хлебобулочных изделий до недавнего времени считались бактерии вида *Bacillus subtilis* (*B. mesentericus*) – «картофельная палочка». В настоящее время результаты более детальных исследований установили, что картофельная болезнь хлебобулочных изделий может быть вызвана и другими видами микроорганизмов рода *Bacillus*: *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. cereus*, *B. firmus*, *B. clausii*, *B. megatherium*, *B. polymyxa* и др. [6], [7], [8]. Есть достоверная информация о патогенности различных видов спорообразующих бактерий рода *Bacillus*. Примером могут служить штаммы *B. cereus*, вызывающие токсикоинфекцию, образующие диарейный и эметический (рвотный) энтеротоксины и ферменты, являющиеся факторами патогенности - лецитиназу, цереолизин, гемолизин и др. Продуцентами внеклеточного токсина являются также некоторые изоляты *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. megatherium*, *B. polymyxa* и др. [11. С.5-6]. Вышеперечисленные микроорганизмы весьма термоустойчивы и даже не погибают при выпечке. При этом они активно гидролизуют крахмалсодержащие соединения с образованием декстринов, что в результате делает мякиш изделий липким, тянущимся. Протеолитические ферменты этих бактерий разрушают белки до продуктов, которые придают зараженному хлебобулочному изделию резкий специфический запах. Споровые бактерии этих видов попадают в муку в основном при размоле зерна пшеницы, которое заражается главным образом в процессе уборки урожая. Вегетативные клетки

бактерии *Bac.subtilis* погибают в основном при температуре 75—80°C, а споры сохраняют свою бактериологическую активность в течение 1 часа даже при 120°C. Во время выпечки в мякише хлеба и хлебобулочных изделий происходит испарение внутренней влаги, поэтому температура в центре мякиша изделий не превышает 96-98°C. Устойчивые споры картофельной палочки при такой температуре сохраняют свою жизнеспособность. Наиболее благоприятные условия для прорастания спор и развития болезнетворных бактерий — температура около 40 градусов, повышенная относительная влажность, pH среды от 5 до 10, количество спор и активных бактерий [2]. В нашей стране с жарким климатом картофельная болезнь хлебобулочных изделий является весьма распространенным видом порчи хлеба и хлебобулочных изделий. Производители хлебобулочных изделий особенно часто сталкиваются с этой проблемой в летние жаркие месяцы. Многие производители с целью предотвращения картофельной болезни используют вещества, которые придают хлебу кислую среду. Они часто используют уксусную и пропионовую кислоты, уксуснокислый кальций, этиловый спирт и т.д. Широко применяются мезофильные молочнокислые закваски, содержащие молочную кислоту. Эти вещества повышают срок хранения изделий на несколько часов, но продукт теряет свои вкусовые качества, так как вкус изделий становится кислым.

Таким образом, в Таджикистане картофельная болезнь хлеба является самой распространённой и пока нерешаемой полностью проблемой производителей хлебобулочных изделий, а также домашнего хлебопечения.

Методы и объект исследования

С целью предотвращения картофельной болезни хлеба на кафедре химии Технологического университета Таджикистана был проведен ряд экспериментов по влиянию гороховой закваски на развитие картофельной палочки в хлебобулочных изделиях. Закваска, приготовленная из гороха-нута, издревле используется в таджикской кухне для выпечки национальных лепешек «Нони ширмол», обладающих особым вкусом и ароматом [3]. Закваска, приготовленная по приведенному в [3] рецепту, ранее была применена нами для выпечки хлеба, с заменой хлебопекарных дрожжей указанной закваской. Целью этих исследований являлось не только возрождение технологий национальных хлебных изделий, но также поиск альтернативы хлебопекарным дрожжам, а также расширение ассортимента хлебобулочной продукции. Были проведены исследования, которые позволили восстановить технологию приготовления закваски, определить оптимальные условия её подготовки и применения, определить органолептические и физико-химические свойства приготовленного на ней хлеба. Было выявлено, что закваска на основе гороха-нута улучшает органолептические свойства изделий и положительно влияет на физико-химические свойства хлебобулочных изделий. Например, уменьшается упек изделий, увеличивается содержание сухих веществ, повышается срок черствления [4]. Полученные результаты обусловили интерес к проблеме использования гороховой закваски для предотвращения картофельной болезни хлеба.

В лабораторных условиях была проведена пробная выпечка хлеба с закваской на основе гороха нута из зараженной картофельной палочкой муки. Контрольным образцом служил хлеб, выпеченный из этой же муки по общепринятой технологии с использованием хлебопекарных термофильных дрожжей. Признаки картофельной болезни хлеба обычно проявляются на следующий день после выпечки изделий. Для выявления более точных признаков опытные и контрольные образцы хлеба выдерживались в течение четырёх суток при температуре 30-35°C при относительной влажности воздуха 75%. Уже на третий день проведения экспериментов у дрожжевого хлеба были отмечены признаки развития картофельной болезни. Изменились органолептические свойства дрожжевого хлеба. На хлебе появились грязные пятна, ощущался неприятный вкус и запах. На четвертый день мякиш дрожжевого хлеба стал тягучим, липким, образовались вещества, вызывающие расстройство пищеварительных органов. У хлеба, приготовленного на основе гороховой закваски, признаки болезни не появились не только в течение указанного времени, но также в последующие две недели.



Рис. 1 – Образцы хлеба после четырёх суток хранения;

а) опытный образец (хлеб на гороховой закваске); б) контрольный образец (хлеб дрожжевой)

Результаты органолептического анализа подтверждаются микробиологическими исследованиями. Снимки проб мякиша образцов хлеба, сделанные под электронным микроскопом (с увеличением 90 крат), показаны на нижеследующем рисунке:

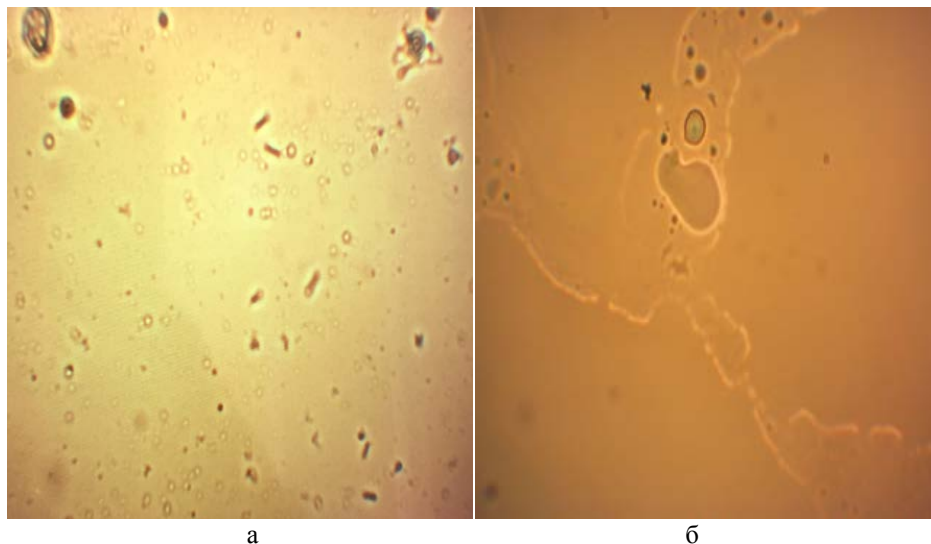


Рис. 2. – Мякиш образцов хлеба через четверо суток хранения (снимки электронным микроскопом с 90-кратным увеличением);

а) контрольный образец (хлеб дрожжевой; б) опытный образец (хлеб на гороховой закваске)

Как видно попредставленным рисункам, под микроскопом в дрожжевом хлебе выявлены мелкие подвижные палочки со слегка округленными концами, расположенные одиночно или цепочками (рис. 2.а). Размеры и характер движения палочек подтверждает, что данные бактерии являются спорообразующими бактериями – картофельной палочкой (*Bacillus subtilis*) с длиной 1,5-3,5 мкм, толщиной - 0,6-0,7. Эти микроорганизмы образуют споры, которые легко переносят кипячение и высушивание. Они погибают только при температуре 130⁰С. А у хлеба на основе закваски из гороха нута картофельные палочки не обнаружены. (Рис. 2б).

Заключение

Таким образом, по результатам проведенных опытов можно сделать вывод, что использование гороховой закваски в производстве хлеба и хлебобулочных изделий может предотвратить появление картофельной болезни у хлеба и хлебобулочных изделий. Проведенные эксперименты по приготовлению хлеба на основе закваски из гороха нута и формового хлеба показали, что хлеб с использованием гороховой закваски вполне соответствует требованиям, предъявляемым к качеству дрожжевого хлеба

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Мармузова, Л.В. Основы микробиологии, санитарии и гигиены в пищевой промышленности / Л.В.Мармузова. - Москва: Изд-во Издательский центр «Академия». 2004. — 136с.
2. Немцова З.С. Основы хлебопечения. / Немцова З.С., Н.П.Волкова, Н.С.Терехова.—М., 1986. — 287с.
3. Похлебкин В.В. Национальные кухни наших народов / В.В. Похлебкин. - Москва: Изд-во Легкая и пищевая промышленность, 1983. —304с.
4. Шарипова М.Б. Производство хлеба на основе гороховой закваски / М.Б. Шарипова, Икрами М.Б., Валишина А., Девонашоева Н.С. //Сб.материалов IV Нумановских чтений «Вклад молодых ученых в развитие химической науки».— 2017 —С.190-193.
5. Дубцов Г.Г. Производство национальных хлебных изделий / Г.Г. Дубцов — Москва: Изд-во Агропроиздат, 1991.-141с.
6. Афанасьева О.В. Микробиологический контроль хлебопекарного производства / О.В. Афанасьева. — Москва: Изд-во: Пищевая промышленность, 1976. — 144 с.
7. Джей Дж.М. Современная пищевая микробиология / Дж.М. Джей, М.Дж. Лёсснер, Д.А. Гольден.М. — М., 2011. — 86 с.
8. Блекберн К.деВ. Микробиологическая порча пищевых продуктов / К.деВ. Блекберн. —Москва: Изд-во «Профессия», 2008. — 784 с.
9. Минаева Л.П. Возбудители картофельной болезни хлеба: выделение, идентификация методом ПЦР / Л.П. Минаева // Кондитерское и хлебопекарное производство. — 2009. - № 5. — С. 40-42.
10. Демчук А.П. Методы выявления и предупреждения картофельной болезни хлеба / А.П. Демчук, И.М. Ройтер. — М., 1970. — 41 с.
11. ИНСТРУКЦИЯ по предупреждению картофельной болезни хлеба на хлебопекарных предприятиях. Москва, 2012.С.5-6.
12. Пат.2543259, Российская Федерация, МПК7Н04В1/38, 20.08.02, Бюл.о № 25432593/Способ приготовления густой закваски для хлеба с использованием ржаной муки. / Шупик А. Г. Павловская Е. Н., Кузнецова Л. И., Савкина О. А., Терновской Г. В. Косован А. П., Заявлено 2013-05-28 опубликовано 27.02.2015.

13. Пат.2187227, Российская Федерация, МПК: A21D. Способ приготовления закваски для производства хлеба, №: 2187227, Заявл. 27.01.2000.опубл. 2002 -08 20.254/2543259.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Marmuzova L.V. Osnovy mikrobiologii, sanitarii i gigeny v pishhevoj promyshlennosti [Fundamentals of Microbiology, sanitation and hygiene in the food industry] / L.V.Marmuzova. — Moskva: publishing house publishing house «Akademija». 2004. — 136p. [in Russian]
2. Nemcova Z.S. Osnovy hlebopechenija [Basics of bread making] / Nemcova Z.S., N.P.Volkova, N.S.Terehova.—M., 1986. — 287p. [in Russian]
3. Pohlebkina V.V. Nacional'nye kuhni nashih narodov [National cuisines of our peoples] / V.V. Pohlebkina. — Moskva: publishing house Legkaja i pishhevaja promyshlennost', 1983. —304p. [in Russian]
4. Sharipova M.B. Proizvodstvo hleba na osnove gorohovoj zakvaski [Production of bread based on pea sourdough] / M.B. Sharipova, Ikrami M.B., Valishina A., Devonashoeva N.S. //Sb.materilov IV Numanovskih chtenij «Vklad molodyh uchenyh v razvitie himicheskoy nauki» [Collection of materials of the IV Numan readings "Contribution of young scientists to the development of chemical science"].— 2017 —P.190-193. [in Russian]
5. Dubcov G.G. Proizvodstvo nacional'nyh hlebnih izdelij [production of a national bakery products] / G.G. Dubcov — Moskva: publishing house Agroproizdat, 1991.-141p. [in Russian]
6. Afanas'eva O.V. Mikrobiologicheskij kontrol' hlebopekarnogo proizvodstva [Microbiological control of bakery production] / O.V. Afanas'eva. — Moskva: publishing house: Pishhevaja promyshlennost', 1976. — 144 p. [in Russian]
7. Dzhej Dzh.M. Sovremennaja pishhevaja mikrobiologija [Microbiological spoilage of food products] / Dzh.M. Dzhej, M.Dzh. Ljossner, D.A. Gol'den.M. — M., 2011. — 86p. [in Russian]
8. Blekbern K.deV. Mikrobiologicheskaja porcha pishhevyh produktov [Pathogens of potato disease of bread] / K.deV. Blekbern. —Moskva: publishing house «Professija», 2008. — 784 p. [in Russian]
9. Minaeva L.P. Vozbuditeli kartofel'noj bolezni hleba: vydelenie, identifikacija metodom PCR [Pathogens of potato disease of bread: isolation, identification by PCR] / L.P. Minaeva // Konditerskoe i hlebopekarnoe proizvodstvo. — 2009. - № 5. — P. 40-42. [in Russian]
10. Demchuk A.P. Metody vyjavlenija i preduprezhdenija kartofel'noj bolezni hleba [Methods of detection and prevention of potato bread disease] / A.P. Demchuk, I.M. Rojter. — M., 1970. — 41p. [in Russian]
11. INSTRUKCIJA po preduprezhdeniju kartofel'noj bolezni hleba na hlebopekarnyh predpriyatijah. Moskva, 2012.S.5-6. [INSTRUCTIONS for the prevention of potato disease in bread baking enterprises. Moscow, 2012.Pp. 5-6.]. [in Russian]
12. Pat.2543259, Rossijskaja Federacija, MPK7 H 04V1 /38,20.08.02, Bjul.o№ 25432593/ Method for preparing a thick sourdough for bread using rye flour. / Shupik A. G. Pavlovskaja E. N.,Kuznecova L. I.,Savkina O. A.,Ternovskoj G. V.Kosovan A. P.,Zajavleno 2013-05-28 opublikovano27.02.2015. [in Russian]
13. Pat.2187227, Rossijskaja Federacija, MPK: A21D. Method for preparing sourdough for bread production, №: 2187227, Zajavl. 27.01.2000.opubl. 2002 -08 20.254/2543259. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.019>**НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ШТАНГОВЫХ ГЛУБИННО-НАСОСНЫХ СКВАЖИНАХ**

Научная статья

Мустафаев С.Д.¹, Гулиев Р.А.^{2,*}, Ханалиев В.Б.³¹ Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, Баку, Азербайджан;² Нефтегазодобывающее управление имени «А.Д.Амирова», Баку, Азербайджан;³ Нефтегазодобывающее управление имени «28 Мая», Баку, Азербайджан

* Корреспондирующий автор (vugar_khanaliyev[at]yahoo.com)

Аннотация

В старых нефтяных месторождениях, разрабатываемых в стадии истощения, большинство эксплуатационных скважин является штанговой глубинно-насосной.

Среди всех основных, широко-применяемых способов добычи нефти, эксплуатация месторождений этим типом глубинных насосов обладает самой высокой долговечностью и надежностью.

Долговечность штанговой глубинно-насосной установки составляет 150-200 лет. В качестве примера можно отметить нефтяное месторождение «Балаханы-Сабунчи-Раманы», которое разрабатывается начиная с XVIII-го века до сих пор.

Эти скважины в основном малодобитным, но имеются скважины такого типа, которые из глубины 4000 метров, поднимают жидкость на дневную поверхность с производительностью 400 м³/сут.

Известно что, мировая годовая добыча нефти составляет более 3-х миллиарда тонн в год; 50%-ой этой добычи осуществляется этим механизированным способом эксплуатации.

Техническое обслуживание таких скважин по сравнению с другими, осуществляется легче, ремонт, монтаж и демонтаж тоже.

Если такими скважинами эксплуатируются залежи, которые характерны с интенсивным песчапроявлением, то при проведении исследований на установившихся режимах притока, вынуждены бывают остановить работу станка-качалки; при этом выполняют исследовательские операции, которые отнимают много времени и приводит к потерям в большом количестве добываемой нефти. Кроме этого нежелательного явления могут происходить следующие виды осложнений, аварии, неполадок, отказов и т.д.

Ключевые слова: пластовое давление, динамический уровень, статический уровень, столб жидкости, удельный вес смеси, эхограмм, динамограмм.

NEW METHOD FOR DETERMINING RESERVOIR PRESSURE IN SUCKER-ROD PUMP WELL

Research article

Mustafaev S. D.¹, Guliev R. A.^{2,*}, Khanaliev V. B.³¹ Azerbaijan State Oil and Industry University Baku, Azerbaijan;² Oil and Gas Production Department named after "AD Amirov", Baku, Azerbaijan;³ May 28 Oil and Gas Production Directorate, Baku, Azerbaijan

* Corresponding author (vugar_khanaliyev[at]yahoo.com)

Abstract

In old depleted oil fields, most of the production wells are a sucker rod pump.

Among all the main, widely used oil production methods, the exploitation of deposits by this type of deep pumps has the highest durability and reliability.

The durability of a sucker rod installation is 150-200 years. One of the examples is the Balakhany-Sabunchi-Ramana oil field, which has been developed since the 18th century until now.

These wells are mostly sparse, but there are wells of this type, which raise fluid to the surface with a productivity of 400 m³/day from a depth of 4000 meters.

It is known that global annual oil production is more than 3 billion tons per year; 50% of this production is carried out by this mechanized exploitation method.

The maintenance of such wells as well as their repair, installation and dismantling is easier compared to others.

If such wells exploit deposits with intense sand formation, then when conducting studies at steady-state inflow modes, they have to stop the operation of the rocking machine; while doing research operations, which is time-consuming and leads to losses in a large amount of oil produced. In addition to this undesirable phenomenon, the following type of complications, accidents, malfunctions, failures, etc. can occur.

Keywords: reservoir pressure, dynamic level, static level, liquid column, specific gravity of the mixture, sonograms, dynamograms.

Введение

В 1967-ом году в городе Баку впервые предложен способ определения пластового давления в глубинно-насосных нефтяных скважинах без остановки работы станка-качалки [1]. Сущность этого способа заключается в следующем.

В затрубное пространство подливается или закачивается агрегатом жидкость и ее уровень поднимается выше

статического положения, прослеживая падение уровня строится кривая восстановления динамического положения; строится характеристика насоса, проводится прямая касательная к прямолинейной характеристике насоса; точка касания дает глубину статического уровня, по которой определяется значение пластового давления с учетом глубины скважины.

В настоящей статье предлагается еще один способ определения пластового давления в таких же скважинах без остановки работы станка-качалки.

Этот способ резко отличается от вышеотмеченного и является более простым и легко выполняемым. Этот новый способ проводится следующим способом.

В затрубное пространство подливается вся продукция скважины непрерывно, уровень в скважине постепенно повышается и приближается к его статическому положению. В промысловой практике приблизительно известно время восстановления статического уровня.

После истечения этого времени, прекращается подлив и без задержки замеряется глубина статического уровня эхометром, после этого вычисляется значение пластового давления.

При остановке работы станка-качалки восходящий поток продукции скважины в кольцевом пространстве между колонной насосно-компрессорных труб (НКТ) и колонны штанг прекращает свое движение и остается в покое до завершения исследования. В течении этого периода частицы песка оседают вниз и собираются на плунжере насоса. После завершения исследования не задерживаясь станок-качалка включается в работу и происходит обрыв колонны штанг; бригада подземного ремонта с целью восстановления работы скважины осуществляет соответствующую работу. Этот вид аварии считается самой сложной при эксплуатации таких скважин. Ремонт таких скважин при таком виде аварии также отнимает много времени и приводит к потерям в добыче нефти, повышает частоту ремонтов, сокращает межремонтный период, уменьшает производительность скважины и повышает себестоимость добытой одной тонны нефти.

С целью устранения всех этих нежелательных явлений, при снятии индикаторных диаграмм в 1968-ом году в журнале «Нефтяное хозяйство» (НХ) была опубликована статья [1], где был предложен новый способ определения пластового давления в штанговых глубинно-насосных скважинах. Этот способ исследования применялся во многих нефтяных скважинах морских месторождений «Дарвин банкасы», «Северная складка – море», на месторождении острова «Пираллахи-Южная складка», на месторождении «Балаханы-Сабунчи-Раманы», на месторождениях «Локбатан-Пула-Гушхана», «Шабандаг-Шубаны-Аташгах-Ясамал дараси» и «Галмаз» НГДУ имени А.Д.Амирова (на суше).

Этот новый способ был опубликован также в статье [2] и 1970-м году.

Сущность этого нового способа заключается в том что, в затрубное пространство работающей скважины подливается жидкость и уровень жидкости поднимается несколько метров выше своего статического положения, прекращается подлив и не задерживаясь прослеживается понижение уровня и строится кривая восстановления динамического уровня жидкости в скважине; строится также характеристика глубинного насоса, работающего в скважине; она получается в виде наклонной прямой. К кривой восстановления динамического уровня проводят касательную прямую, параллельную к построенной характеристике насоса; полученная точка касания дает статическое положение уровня жидкости в исследуемой скважине. Высота статического столба жидкости умножается на удельный вес смеси нефти и пластовой воды дает значение пластового давления; а значение удельного веса смеси вычисляется по значениям удельных весов нефти и пластовой воды, а также по значениям дебитов нефти и воды скважины.

Еще одним важным преимуществом этого способа заключается в том что, он дает возможность принудительно сократить время исследования, увеличивая дебит скважины до начала исследования [3].

Если штанговая глубинно-насосная скважина на продуцирует вязко-пластичную нефть без пластовой воды, то график восстановления динамического уровня жидкости в центральной части имеет отрезок параллельный к построенной характеристике насоса.

Об этом способе подробно изложено в монографии [5]. В работе [4] представлены полезные сведения о применении способа в штанговых насосных скважинах, продуцирующих вязко-пластичные нефти.

В настоящей статье предлагается еще один способ определения пластового давления в штанговых глубинно-насосных скважинах без остановки работы станка-качалки.

Сущность этого нового способа резко отличается от вышеизложенного способа и является более простым и легко осуществляемым.

Этот новый способ проводится следующим образом.

В затрубное пространство подливается вся продукция скважины непрерывно. При этом уровень жидкости в скважине постепенно повышается и приближается к его статическому положению. При подъеме уровня жидкости в скважине, динамическое забойное давление увеличивается и уменьшается приток жидкости из продуктивного пласта к скважине; пределом положения уровня является его статическое положение, при котором приток жидкости из пласта к скважине прекращается, то есть он превращается в нуль.

Глубина статического уровня жидкости замеряется эхометром аппаратно-программного комплекса «Квантор-4микро». Для уверенности уровень замеряется несколько раз; если получают одинаковые результаты, это значит что, статический уровень определен правильно. Из глубины скважины вычитывается глубина статического уровня и определяется высота статического столба жидкости в скважине. Эта высота умножается на удельный вес смеси в добытой продукции, определяется значение пластового давления в работающей скважине без остановки станка-качалки.

Этот предлагаемый способ был применен в трех штанговых глубинно-насосных обводнившихся нефтяных скважинах НГДУ имени «А.Д.Амирова» ПО «АЗНЕФТЬ» №№ 182, 248 и 852.

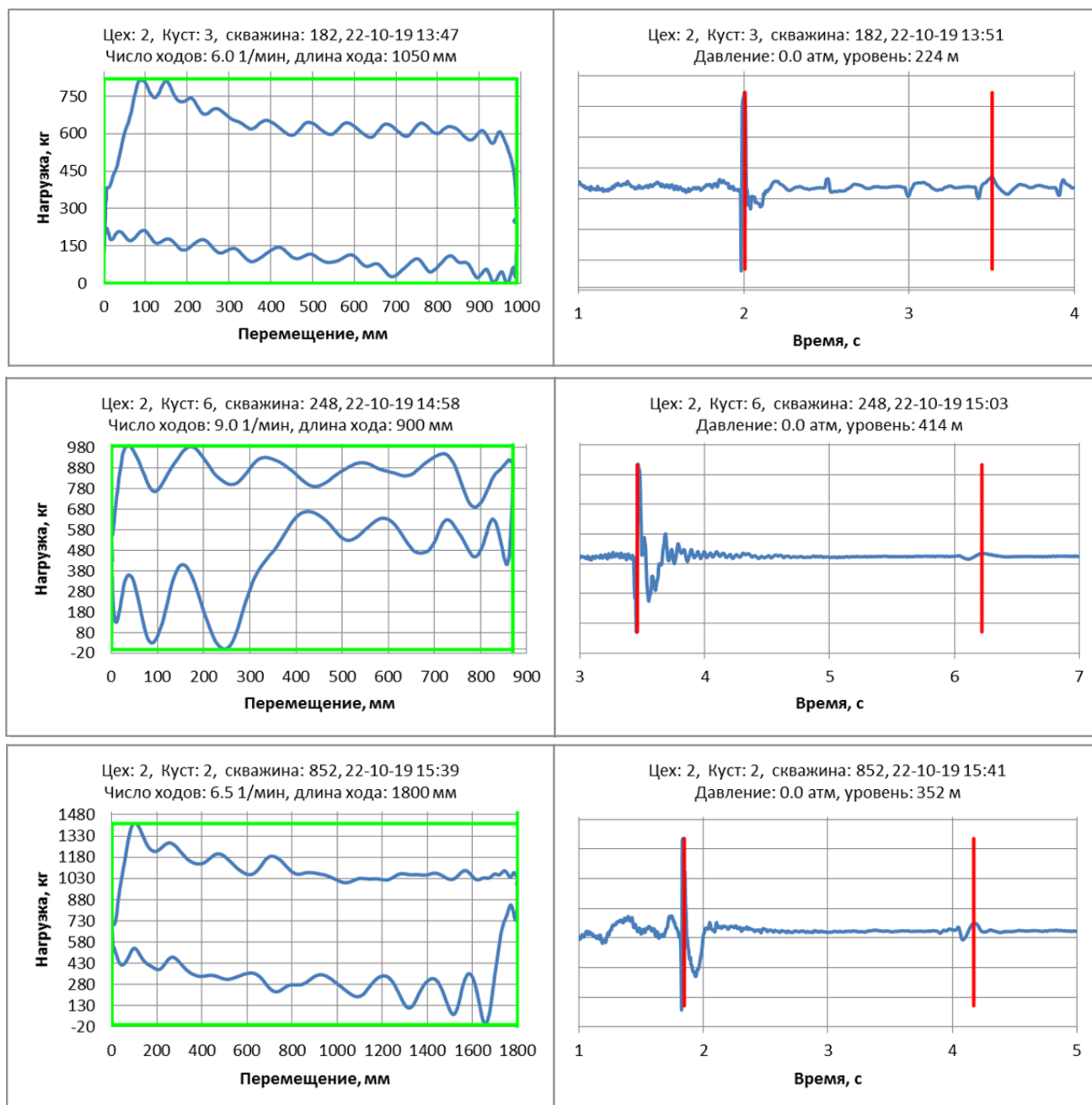


Рис. 1 – Результаты промысловых исследований до начала применения способа

В табл. 1 приведены технические и технологические характеристики этих скважин.

Исследования начались во всех этих скважинах 22.10.2019 г. В этих скважинах посредством динамометра снимались динамограммы и с помощью эхометра отбивались динамические уровни, соответствующие к своим технологическим режимам работы.

На рис. 1, представлены графики и динамограммы всех трех исследуемых скважин. Как видно из этого рисунка, максимальная нагрузка действующая головке балансира станка-качалки составляет по скважине №182-775 кг; по скважине №248-980 кг и по скважине №852-1410 кг.

Эхометром отбивались глубины динамического уровня жидкости, которые получились: по скважине №182-224м, по скважине №248-414м и по скважине №852-352м.

Время замера уровней по скважине №182-13:51 ч., по скважине №248-15:03 ч. и по скважине №852-15:41 часов.

Замера глубин статического уровня провиделись 23.10.2019 в этих скважинах. По ним динамометром снимались вторые динамограммы и отбивались эхометром глубины статического уровня в исследуемых скважинах.

На рис. 2, значения максимальных нагрузок, действующих головке балансира станка-качалки следующие: по скважине №182-780 кг; по скважине №248-1190 кг и №852-1500 кг.

Значения глубин статического уровня определялись: по скважине №182-202 м.; по скважине №248-338 м. и №852-332 м.

Времени снятия динамограмм и замера глубины статического уровня жидкости следующие: по скважине №182-10:09 ч., по скважине №248-09:44 ч. и по скважине №852-09:21 часов.

Глубины скважин следующие: по скважине №182-456 м.; по скважине №248-543 м. и №852-453 м.

Высоты статического столба жидкости составляли: по скважине №182: 456-202=254 м.; по скважине №248: 543-338=205 м. и №852: 453-332=121 м.

Плотность нефти IV-го горизонта составляет по скважине №182 составляет $0,9215 \text{ г/см}^3$, того же горизонта по скважине №852 составляет $0,8973 \text{ г/см}^3$ и горизонта nVI по скважине №248 составляет $0,8893 \text{ г/см}^3$.

Плотность пластовой воды IV-го горизонта составляет по скважине №182 составляет $1,0358 \text{ г/см}^3$, того же горизонта по скважине №852 составляет $1,0347 \text{ г/см}^3$ и горизонта nVI по скважине №248 составляет $1,0165 \text{ г/см}^3$.

Ниже учитывая значения удельных весов нефти и воды, дебиты нефти и воды скважин рассчитывались удельные веса продукций (смесей нефти и воды) исследуемых скважин по следующей формуле:

$$\rho_{см} = \frac{\rho_n Q_n + \rho_v Q_v}{Q_n + Q_v} \quad (1)$$

и получены:

по скважине №182: $\rho_{см} = 1,0325 \text{ г/см}^3$;

по скважине №248: $\rho_{см} = 1,0012 \text{ г/см}^3$;

по скважине №852: $\rho_{см} = 1,0306 \text{ г/см}^3$. $\gamma_{см} = \rho_{см} g$

Учитывая значения замеренных высот статических столбов жидкости в скважинах и удельные веса продукций (смесей) скважин вычислялись значения пластового давления по исследованным скважинам следующей формулой (Табл. 2):

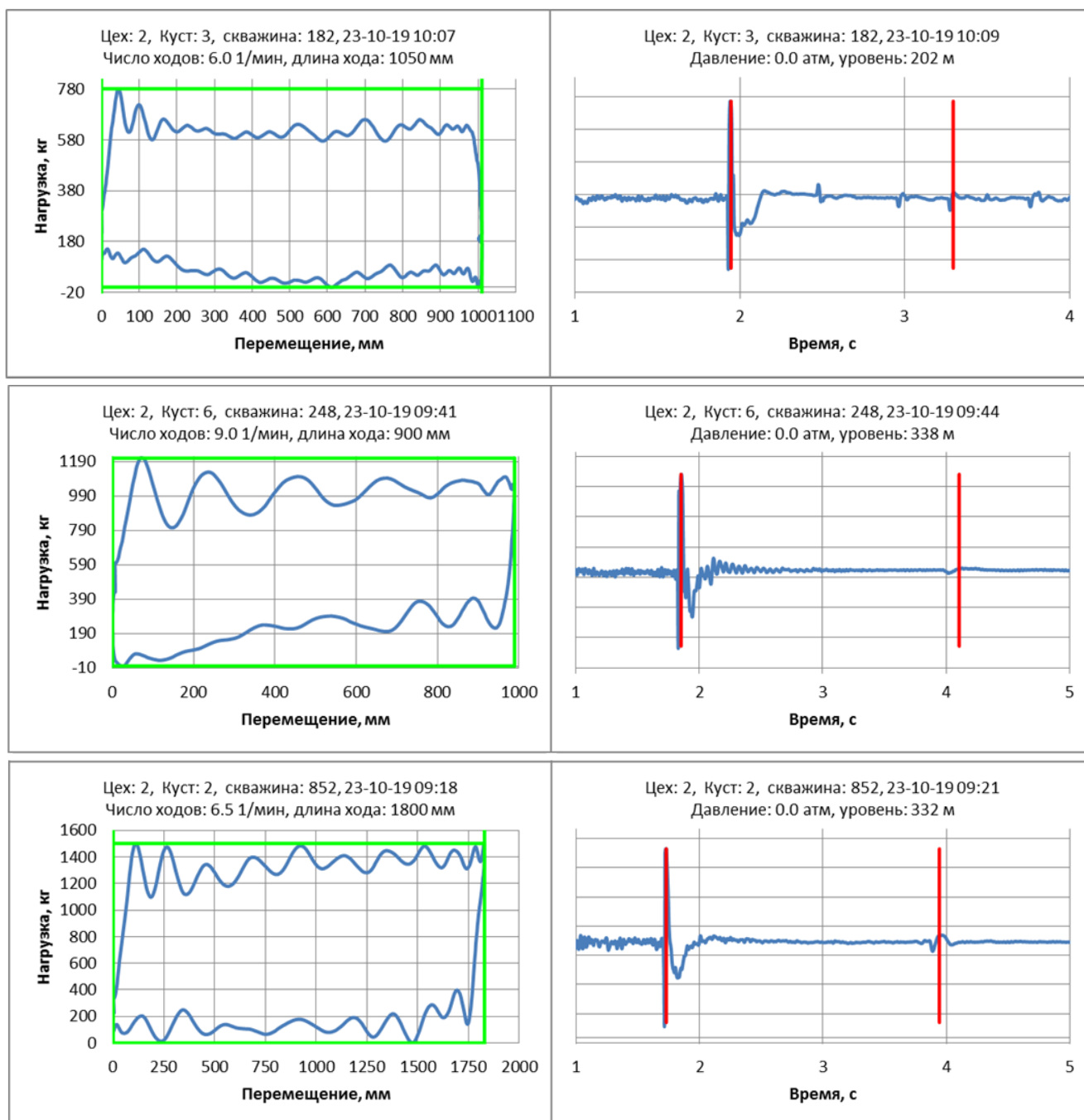


Рис. 2 – Результаты промысловых исследований в конце примечения способа

Таблица 1 – Информация об исследованных скважинах

№ п/п	№ скважины	Месторождения	Диаметр эксплуатационное колонны (")	Забой, м	Горизонт	Фильтры, м	Диаметр глубинного насоса	Н _{подвеса} , м	НКТ, м				Тип станка-качалки	S	n	Q	Фактическая добыча			Плотность нефти, г/см ³	Плотность воды, г/см ³	Коэффициент подачи	% обводненности
									2"	2½"	3/4"+ п	7/8"+п					нефть (тон/сут)	вода (м ³ /сут)	Всего				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ЦНГД № 2																							
1	182	Локбатан	10"	502	IV	502-410	43	373/10	-	383	21	25+3п	СК Н-3	1,05	6,0	13,2	0,3	10,0	10,3	0,9215	1,0358	0,78	97,1
2	248		4"	679	nVI	668-418	32	425/10	10	425	-	53+1п	СК Н-3	0,9	9,0	9,4	0,3	2,2	2,5	0,8893	1,0165	0,27	88,0
3	852		5"	487	IV	478-427	43	445/7	-	452	14	43+3п	СК Н-5	1,8	6,5	24,5	0,4	13,0	13,4	0,8973	1,0347	0,55	97,0

Таблица 2 – Результаты исследовательских работ на скважинах

№	Скважины	Q _н , м ³ /сут	Q _в , м ³ /сут	ρ _н , г/см ³	ρ _в , г/см ³	ρ _{см} , г/см ³	Динамический уровень, м	Статический уровень, м	Средина фильтра, м	Статических столбов жидкости, м	Динамических столбов жидкости, м	g, м/с ²	Р _{пл} , МПа	Р _с , МПа	ΔР, МПа
1	182	0,3	10	0,9215	1,0358	1,0325	224	202	456	254	232	9,81	2,57	2,35	0,22
2	248	0,3	2,2	0,8893	1,0165	1,0012	414	338	543	205	129		2,014	1,267	0,75
3	852	0,4	13	0,8973	1,0347	1,0306	352	332	453	121	101		1,22	1,02	0,20

$$P_{пл} = \rho_{см} g h_{см} \quad (2)$$

и получены следующие значения:

по скважине №182: $P_{пл} = 1,0325 \cdot 9,81 \cdot 254 = 25,7 \text{ ат} = 2,57 \text{ МПа}$;

по скважине №248: $P_{пл} = 1,0012 \cdot 9,81 \cdot 205 = 20,1 \text{ ат} = 2,01 \text{ МПа}$;

по скважине №852: $P_{пл} = 1,0306 \cdot 9,81 \cdot 121 = 12,2 \text{ ат} = 1,22 \text{ МПа}$.

С целью определения значений депрессий, прилагаемых в исследуемых скважинах при своих технологических режимах работы, сперва вычислены значения динамических забойных давлений в своих режимах притока.

по скважине №182: $P_c = 1,0325 \cdot 9,81 \cdot 232 = 23,5 \text{ ат} = 2,35 \text{ МПа}$;

по скважине №248: $P_c = 1,0012 \cdot 9,81 \cdot 129 = 12,7 \text{ ат} = 1,27 \text{ МПа}$;

по скважине №852: $P_c = 1,0306 \cdot 9,81 \cdot 101 = 10,2 \text{ ат} = 1,02 \text{ МПа}$.

Затем от значений пластового давления вычитывались значения динамического забойного давления скважин и найдены значения депрессий, прилагаемых в исследуемых скважинах в своих режимах.

$$\Delta P = P_{пл} - P_c \quad (3)$$

по скважине №182: $\Delta P = 25,7 - 23,5 = 2,2 \text{ ат}$;

$$\Delta P = 2,57 - 2,35 = 0,22 \text{ МПа} ;$$

по скважине №248: $\Delta P = 20,14 - 12,67 = 7,5 \text{ ат}$;

$$\Delta P = 2,014 - 1,267 = 0,75 \text{ МПа} ;$$

по скважине №852: $\Delta P = 12,2 - 10,2 = 2,0 \text{ ат}$.

$$\Delta P = 1,22 - 1,02 = 0,20 \text{ МПа} .$$

Как видно, в скважинах №182 и №852 имеется возможность повысить значение депрессии и увеличивать дебит нефти.

Выводы

1. В статье предложен новый способ определения пластового давления в штанговых глубинно-насосных нефтяных скважинах без остановки работы станка-качалки, который является самым простым и легко осуществляемым.

2. Этот способ осуществляется путем перевода полную продукцию скважины в затрубное пространство, в результате этого уровень жидкости в скважине со временем поднимается, и расход продукции, поступающий из пласта к скважине уменьшается.

3. После течения периода, по значению равного времени восстановления забойного давления, останавливается работа скважины и не задерживаясь замеряется глубина статического уровня жидкости в скважине.

4. Учитывая глубины исследуемой скважины (т.е. глубины среднего отверстия забойного фильтра) и удельного веса продукции скважины, состоящей из нефти и пластовой воды, определяется значение пластового давления.

5. Зная значение пластового давления возможно принять решение о повышении значения депрессии.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Алиев И.М. «К вопросу определения пластового давления в глубиннонасосных скважинах при откачке негнотонических нефтей» / Алиев И.М., Мустафаев С.Д., Байрамов А.А., Османов Э.Н. Ученые записки, Азерб. ин-т. нефти и химии, 1974, сер. 9, №7, 6 стр.

2. Мамедов З.И. «Принудительное изменение времени определения пластового давления глубиннонасосных скважин» / Мамедов З.И., Мустафаев С.Д., Байрамов А.А. Известия высш.учеб.зав.-й «Нефть и газ», №6, 1971г., стр. 33-36

3. Мустафаев С.Д. «Новый метод определения пластового давления в глубиннонасосных скважинах» / Мустафаев С.Д. НХ, №8, 1968 г., 4 стр.

4. Мустафаев С.Д. «Новый прием определения пластового давления глубиннонасосных скважин» / Мустафаев С.Д. // Труды Уфимского нефтяного института, Физико-химия и разработка нефтяного пласта, Выпуск VI, 1970 г.,

Москва «Недра».

5. Mustafayev S.D. Quyuların ştanqlı dərinlik nasos üsulu ilə istismarı / Mustafayev S.D., Bakı-Elm-2010, 677 səh., səh. 404-421

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aliev I.M. K voprosu opredeleniya plastovogo davleniya v glubinnonasosnykh skvazhinakh pri otkachke nenyutonovskikh neftey [On issue of determining reservoir pressure in deep pump wells for pumping non-Newtonian oils] / Aliev I.M., Mustafayev S.D., Bayramov A.A., Osmanov E.N. // Uchenyye zapiski, Azerb. in-t. nefti i khimii [Uchenye Zapiski, Azerb. Institute nefti i khimii [Scientific notes of Azerb. Institute Petroleum and Chemistry] – 1974, – Part. 9, – No. 7. – 6 pp. [in Russian]

2. Mamedov Z.I. Prinuditel'noye izmeneniye vremeni opredeleniya plastovogo davleniya glubinnonasosnykh skvazhin [Forced change in time for determining reservoir pressure of deep pump wells] / Mamedov Z.I., Mustafaev S.D., Bayramov A.A. // Izv. Vyssh.Uceb.Zav. "Neft i gaz" [Bulletin of univ. "Oil and Gas"], – No. 6, – 1971, – pp. 33-36 [in Russian]

3. Mustafaev S.D. Novyy metod opredeleniya plastovogo davleniya v glubinnonasosnykh skvazhinakh [New method for determining reservoir pressure in deep pump wells] / Mustafaev S.D. – NKh, – No. 8, – 1968, – 4 pp. [in Russian]

4. Mustafaev S.D. Novyy priyem opredeleniya plastovogo davleniya glubinnonasosnykh skvazhin», Trudy Ufimskogo neftyanogo instituta, Fiziko-khimiya i razrabotka neftyanogo plasta [New method for determining reservoir pressure of deep pump wells] / Mustafaev S.D. // [Proceedings of the Ufa Petroleum Institute, Physicochemistry and development of an oil reservoir], – Issue VI, – 1970, – Moscow Nedra. [in Russian]

5. Mustafayev S.D. Quyuların ştanqlı dərinlik nasos üsulu ilə istismarı / Mustafayev S.D. Bakı-Elm-2010, 677 p., p. 404-421

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.020>

ОБЗОР ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА СОЗДАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ООПТ НА ПРИМЕРЕ КАНАДЫ

Обзор

Жуковский А.Ю. *

ORCID: 0000-0001-6681-884X,

Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (urich21[at]yandex.ru)

Аннотация

Данное исследование сосредоточено на теме изучения системы национальных парков Канады. Роль «экологической целостности» как законодательного стандарта является отличительной чертой Канады. Несмотря на то, что данная система претерпела значительные изменения, связанные в основном с претензиями коренных народов, в Канаде имеются лишь ограниченные признаки «совместного управления». Система национальных парков не интегрирована полностью в другие федеральные инициативы.

Ключевые слова: землеустройство, кадастр, особо охраняемые природные территории, Канада.

OVERVIEW OF FOREIGN EXPERIENCE OF CREATING AND MANAGING SPECIALLY PROTECTED NATIONAL RESERVATION ON THE EXAMPLE OF CANADA

Review

Zhukovsky A.Yu. *

ORCID: 0000-0001-6681-884X,

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

* Corresponding author (urich21[at]yandex.ru)

Abstract

This study focuses on the research of Canada's national park system. The role of "environmental integrity" as a legislative standard is a hallmark of Canada. Despite the fact that this system has undergone significant changes, mainly related to the claims of indigenous peoples, there are only limited signs of "collaborative management" in Canada. The system of national parks is not fully integrated into other federal initiatives.

Keywords: land management, cadastre, specially protected natural reservation, Canada.

Введение

Объектом исследования данной научной статьи являются особо охраняемые природные территории (далее - ООПТ) Канады. Предмет исследования - процессы создания, охраны и её финансирования.

Система ООПТ Канады состоит из федеральных объектов и объектов, находящихся в подчинении провинций. Вместе же они охватывают 98,3 млн. га. или почти 10% территории страны [3].

Управление системой ООПТ на федеральном уровне осуществляют федеральные агентства (под их юрисдикцией находится примерно 50%) «Окружающая среда Канады» (заповедники дикой природы и водно-болотные угодья) и агентство «Парки Канады» (национальные парки). Органы власти территорий и провинций также отвечает за почти идентичное число ООПТ. Частные землевладельцы и местные органы управляют 0,4 % и 1,2 % объектов соответственно [9].

Основой законодательной сферы в области ООПТ является закон «О национальных парках Канады», принятый в 2000 году. Нормативно-правовая база также включает в себя ряд других федеральных законов, таких как: «О дикой природе», «Об экологической оценке», «О национальных морских охраняемых районах» и другие.

Федеральные нормы существуют наряду со сложным комплексом провинциальных регуляторов. Попытки координировать данные системы пока не позволили создать полностью интегрированную и согласованную федеральную систему управления охраняемыми территориями.

Эта сложная правовая конфигурация отражает исторический опыт Канады в части разделения юрисдикции в рамках федеративного государства. Федеральные и провинциальные органы власти осуществляют свои полномочия в качестве собственников государственных земель, которые обычно называют «землями короны».

В настоящем исследовании затрагиваются вопросы управления охраняемыми районами, находящимися в государственной собственности, а также участия коренных народов и частных землевладельцев. Разъясняются административные механизмы, включая участие общества, и отдельные вопросы, такие как планирование, управление, контроль и финансирование.

Создание и управление системой ООПТ Канады

Охраняемые территории Канады в большинстве случаев были созданы на государственных землях. Более 98 % системы ООПТ принадлежат государству. Несмотря на это, активно поощряется вовлечённость коренных общин, частных партнёров и других организаций [1]. Однако их участие ограничивается в основном консультациями по вопросам планирования и не распространяется на принятие реальных управленческих решений. Например, обеспечение экологической целостности в национальном парке острова Святого Лаврентия требует от его руководства тесного взаимодействия с жителями окружающих земель.

В законодательстве Канады предусмотрено, что в случае создания ООПТ на землях коренных народов, их права, такие как добыча ресурсов, учитываются и сохраняются. В таком случае учреждается национальный парк-заповедник.

Одним из примеров тесного взаимодействия является заключение соглашения между Правительством и народом Хайда в 1993 году. Этот документ стал следствием протестов коренного населения в отношении лесозаготовительной деятельности на острове Саут-Морсби в Британской Колумбии. Несмотря на то, что право собственности на эти территории оспаривается, за аборигенами закреплены их традиционные занятия в области использования ресурсов и культуры [5].

Ещё одним вариантом сотрудничества является передача земель, приобретённых природоохранной организацией, в собственность коренному населению. При этом заключается соглашение о владении землёй, предусматривающее её сохранение. Эта и приведённые выше инициативы носят название «совместного управления» [3].

Частные организации и землевладельцы также принимают участие в защите окружающей среды. В Канаде существуют природные районы, которые не включены в систему национальных парков, но являются экологически значимыми. Для таких территорий заключаются соглашения об управлении и природоохранные сервитуты.

Идея о создании упорядоченной сети национальных парков возникает в 1960-х годах. Системное планирование предусматривает учреждение таких ООПТ с учётом соблюдения концепции экологической репрезентативности.

Агентство «Парки Канады» отвечает за долгосрочное планирование создания системы национальных парков, исторических объектов и морских заповедных зон. После окончания каждого планового периода, проводится обзор достигнутого прогресса. В настоящий момент 28 из 39 природных регионов представлены в системе национальных парков.

Также агентство «Парки Канады» отвечает за проведение переговоров и вынесение рекомендаций министру о создании новых национальных парков и морских заповедных зон.

Учреждение или расширение национального парка может осуществляться губернатором, если земля принадлежит государству и соответствующая провинция согласна на использование этой земли. Также необходимым условием является представление предложения о создании в Палату общин и Сенат, подкреплённое всеми необходимыми документами [8].

Процесс учреждения ООПТ часто бывает длительным, что является следствием долгих переговоров и достижения консенсуса между государством и землевладельцами. Основным спорным вопросом является условие существенного ограничения в использовании земли.

Смягчить данную проблему помогает проведения зонирования территории национального парка. Выделяется 5 типов зон: специальные заповедные; дикой природы; природной среды; рекреационные; парковых служб.

Темпы расширения сети ООПТ в последние годы сильно возросли, что связано с проблемами изменения климата, охраны исчезающих видов, загрязнённости воздуха и другими. В этот процесс всё больше вовлекаются органы управления провинций [2], [10].

Ответственность за нарушение законодательства и финансирование

Существует несколько категорий правонарушений в отношении особого режима использования объектов ООПТ. Например, самовольное занятие земель национального парка, нарушений условий выданных лицензий, охота и захламление территории, приводящее к деградации [6].

Наказание применяется в виде штрафов: от 2 до 5 тысяч канадских долларов. Самой строгой мерой взыскания является штраф в размере 250 000 канадских долларов и/или тюремное заключение на срок до 5 лет. Такое наказание может быть применено за преступления, связанные с охотой или владением некоторыми видами дикой природы. Ожидается, что штрафные санкции в ближайшее время будут увеличены. Судья определяет наказание с учётом характера затронутой окружающей среды, степени ущерба, преднамеренности действий и т.д.

Агентство «Парки Канады» получает финансирование напрямую от Парламента. Другие источники доходов включают в себя:

- доходы от продажи имущества;
- поступления от сдачи в аренду недвижимого имущества;
- плата за услуги или пользование парковыми объектами.

В целом же стоит отметить, что общее финансирование федеральных природоохранных исследований и инициатив в области рационального природопользования сокращалось, начиная с 1980-х годов. Ситуация немного улучшилась до начала глобального финансового кризиса в 2008 году, однако перспективы увеличения расходов на экологические программы в настоящий момент остаются неопределёнными.

Заключение

На основании проведённого исследования можно сделать вывод, что традиционное использование земли, различные механизмы контроля, включая министерскую ответственность и публичную отчётность, периодические проверки эффективности обеспечивают плодотворную деятельность Канады в отношении ООПТ [4], [7].

Однако децентрализация ответственности в рамках государства требует широких межправительственных консультаций в отношении тех вопросов, которые касаются изменения прав собственности и использования природных ресурсов. В настоящее время широко обсуждается, нужна ли такая сложная правовая система.

Правовой основой на федеральном уровне является закон «О национальных парках Канады». Именно в этом законе установлены стандарты эффективности для системы ООПТ. На протяжении почти 125 лет она развивалась с переменным успехом. Современная практика и методы управления привели к более чётко сформулированной политике, которая получила законодательное выражение. Эта система сталкивается с новыми вызовами, среди которых наиболее заметными являются изменения климата и адаптация к нему. Вместе с тем, она построена таким образом, что способна противостоять этим угрозам, а общая национальная политика способствует этому.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Locke H. Civil society and protected areas. Canadian Parks for Tomorrow Conference / Locke H. 2008, 40th Anniversary. Calgary, May 8–12;
2. Friesen J. A critical shield against global warming / Friesen J. // Globe and Mail, January 4; 2008
3. Lewis F. Aird. The Nature Conservancy of Canada. In James Gordon Nelson (ed.) / Lewis F. // Canadian Parks in Perspective. Montreal: Harvest House, 1970
4. Environment Canada. Canadian Biodiversity Strategy; 1995.
5. Ellis S. The Land That We Keep For Us: an aboriginal perspective on conservation. Canadian Parks for Tomorrow Conference / Ellis S., Enzo G. 2008, 40th Anniversary. Calgary May 8–12;
6. Sandlos J. Hunters at the Margin: Native People and Wildlife Conservation in the Northwest Territories / Sandlos J. Vancouver: University of British Columbia Press; 2007
7. Slocombe D. Scott. Forty years of change and institutional arrangements for Canadian protected areas. Canadian Parks for Tomorrow Conference / Slocombe D. Scott. 40th Anniversary. Calgary May 8–12; 2008
8. McKim W. Townsite administration and management in Canadian national parks. In James Gordon Nelson (ed.), Canadian Parks in Perspective / McKim W. Montreal: Harvest House. National Post. 2003. Investing in nature. January 17; 1970
9. Kopas P. Taking the Air: Ideas and Change in Canada's Protected Areas / Kopas P. Vancouver: University of British Columbia Press; 2007
10. Jones B. Climate Change Scenarios for Canada's National Parks: A Users Manual / Jones B, Daniel S, Elaine B., Nancy W., 2003

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.021>

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА КАРАКОЛ

Научная статья

Калдыбаев Б.К.^{1,*}, Ибраева Г.Б.², Кадырова Г.Б.³

¹ORCID: 0000-0002-2095-6099;

^{1, 2, 3} Исык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова, Каракол, Киргизия

* Корреспондирующий автор (k_bakyt[at]rambler.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются экологические вопросы устойчивого развития для города Каракол Исык-Кульской области Кыргызстана. В целях сохранения окружающей среды и рационального природопользования для города актуальным являются: улучшение зеленой инфраструктуры, использование возобновляемых источников энергии (солнца, Земли, воды, ветра, биомассы), переработка и повторное использование твердых бытовых отходов, улучшение качества предоставляемых услуг по водоснабжению и водоотведению, развитие устойчивого и безопасного транспорта.

Ключевые слова: Устойчивое развитие, экология, Каракол.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF KARAKOL CITY

Research article

Kaldybaev B.K.^{1,*}, Ibraeva G.B.², Kadyrova G.B.³

¹ORCID: 0000-0002-2095-6099;

^{1, 2, 3} Issyk-Kul State University named after K. Tynystanov, Karakol, Kyrgyzstan

* Corresponding author (k_bakyt[at]rambler.ru)

Abstract

The paper considers environmental issues of sustainable development for Karakol city in the Issyk-Kul region of Kyrgyzstan. In order to preserve the environment and keep rational nature management for the city, the following things are relevant: improve green infrastructure, use renewable energy sources (solar, earth, water, wind, biomass), process and reuse municipal solid waste, improve the quality of the services provided for water supply and sanitation, develop sustainable and safe transport.

Keywords: Sustainable development, ecology, Karakol.

Введение

«Устойчивое развитие – это развитие общества, которое предусматривает равное внимание к экономической, социальной и экологической составляющим развития, ставит во главу угла интересы человека и будущих поколений. Данная концепция является самой распространенной «всемирной моделью будущего цивилизации» [1], [2].

Город Каракол – административный и культурный центр Исык-Кульской области Кыргызстана. В 1889-1922 и 1939-1992 гг. носил название Пржевальск. Каракол – зеленый, чистый и благоустроенный город, где гражданам обеспечиваются благоприятные условия проживания, работы, развития и отдыха. Город обладает потенциальными возможностями развития экотуризма, переработки и производства экологически чистой продукции, развития экономики без рисков для окружающей среды.

Основными источниками поступления загрязняющих веществ в атмосферу являются автотранспорт, объекты энергетики и промышленные предприятия. Выбросы загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников по г. Каракол за 2017 год были относительно ниже других городов республики и составили 1 тыс. тонн, среди них 0,7 твердых и 0,3 газообразных, в том числе сернистого ангидрида 0,2 тонны. В республике 87 % основных загрязняющих веществ поступает в атмосферный воздух от автотранспорта [3]. Для г. Каракол характерно увеличение количества автотранспортных средств, работающих на бензине, увеличение количества пассажиро- и грузоперевозок. По результатам проведенных нами исследований на локальных участках пересечений улиц, с интенсивным движением автотранспорта в почве обнаруживается свинец – токсичный тяжелый металл, однако его содержание не превышает предельно допустимой концентрации.

Гидрографическая сеть в г. Каракол представлена системой реки Каракол, дающей питание многочисленным ирригационным каналам. Река Каракол берет начало из Каракольского ледника с северного склона Терской Ата-Тоо на абсолютной высоте 5200 метров и впадает в озеро Исык-Куль. Протяженность реки, примерно составляет 50 км., площадь водосборного бассейна – 394 км². Река Каракол, как и все притоки, относится к рекам снежно-ледникового питания, режим расходов её тесно связан с режимом температуры воздуха. В горах река представляет собой бурный горный поток, а на конусе выноса приобретает более спокойный характер. Город Каракол расположен в среднем ее течении. В течение года расход воды в реке Каракол подвержен значительным изменениям, наибольшая его величина приходится на июль (18 м³/с), наименьшая – март (1,66 м³/с). По химическому составу вода реки Каракол слабо минерализована, гидрокарбонатно-сульфатного типа, с преобладанием кальция. В зависимости от сезонов года минерализация воды варьирует в пределах 129,5 -188 мг/кг. Содержание химических элементов (Mn, Ni, Ti, Cr, Cu, Pb, Zn, Sn, Ga, P, Sr, Ba, Li) в воде реки Каракол находится в пределах естественных уровней содержания их в речной воде, превышение ПДК не установлено.

Почвенный покров г. Каракол представлен горно-долинными светло-каштановыми, горно-долинными каштановыми почвами. Основная масса почв в городе находится под зданиями, домами, дорогами, газонами.

Естественные почвы встречаются в парковых зонах города. Содержания химических элементов (Ag, Sn, Mo, W, Ni, Mn, Ti, V, Cr, Ga, Ge, Bi, Sr, Co, Ba, Li, As, Ba) в почвах г. Каракол варьируют в пределах естественных уровней. Радиоэкологическая ситуация на территории города благополучная, мощность радиационного фона по гамма-излучению варьирует в пределах 16 - 30 мкР/ч (безопасным считается уровень радиации до величины, приблизительно 50 микрорентген в час).

В целях устойчивого развития города и сохранения окружающей среды необходимо вести работу по следующим направлениям:

1. Улучшение зеленой инфраструктуры города.

Зеленые насаждения выполняют ряд функций, среди которых основными являются санитарно-экологическая и эстетическая. Рекомендуется, чтобы площадь территории зеленых насаждений и водных объектов не была меньше 20% от общей площади города [4]. В целях озеленения города Каракол, необходимо высаживать больше лиственных деревьев - не менее 70% от общего количества высаживаемых растений. Основной ассортимент деревьев и кустарников, рекомендуемые для озеленения города Каракол:

- Тополь серебристый (*Populus alba*)
- Тополь пирамидальный (*Populus nigra*)
- Береза повислая (*Betula pendula*)
- Вяз мелколистный (*Ulmus pumila*)

2. Использование возобновляемых источников энергии: энергия Солнца, Земли, воды, ветра, энергии разложения (сбраживания) биомассы органических отходов. Самыми перспективными для развития, экономически окупаемыми являются малая гидроэнергетика и солнечная энергия [5].

3. Переработка твердых бытовых отходов. Городу Каракол необходимы инвестиции в проекты по управлению твердыми бытовыми отходами, в рамках которых необходимо построение на территории действующего полигона ТБО мусоросортировочного комплекса, поставка новой мусоровывозящей техники, контейнеров [6].

4. Чистая вода и санитария. Сохранение водных ресурсов региона – реки Каракол, родников и подземных вод и при этом обеспечении для всех доступ к воде являются одной из самых жизненно важных задач, стоящих перед городским сектором. В Кыргызстане принята «Стратегия развития систем питьевого водоснабжения и водоотведения населенных пунктов до 2026 года». Данная стратегия направлена на улучшение качества предоставляемых услуг по водоснабжению и водоотведению для населения, решение главных проблем, определение перспективных направлений, задач и функций заинтересованных министерств, административных ведомств и органов местного самоуправления [7].

5. Устойчивый транспорт. По данным Государственной регистрационной службы, в республике на 2017 год было зарегистрировано 1 173 тысяч машин, из которых 94,6% составлял транспорт возрастом старше 10 лет и более. Данная статистика указывает на устаревание текущего автопарка страны. При этом важно понимать, что перевод транспортных средств, а в особенности общественного транспорта на использование природного газа – позволяет значительно снизить количество вредных выбросов в атмосферу городов. Кыргызстан создаёт благоприятные условия для использования электромобилей, подписано распоряжение правительства для использования в Кыргызстане электромобилей. Согласно документу, будут отменены ряд налоговых и неналоговых платежей, установлены преференции по ряду направлений, которые дадут экономические и социальные преимущества для владельцев электромобилей [8].

Заключение

Время «коричневой» экономики уходит, необходимо развивать принципы «зеленой» экономики, в частности, нетрадиционную энергетику, снижать ресурс- и водоемкость технологических систем, развивать общественный не «бензиновый» транспорт, совершенствовать способы утилизации отходов, улучшать озеленение городских территорий, водообеспечение населения, вести работу по защите природных экосистем [9].

Финансирование

Публикуется в рамках научного проекта Министерства образования и науки Кыргызской Республики за 2019 год «Экологические аспекты устойчивого развития города Каракол».

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

Published in the framework of the scientific project of the Ministry of Education and Science of the Kyrgyz Republic for 2019, «Environmental Aspects of Sustainable Development of the City of Karakol».

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ващалова Т. В. Устойчивое развитие / Ващалова Т. В. - Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 186 с.
2. Национальная стратегия развития Кыргызской Республики на 2018-2040 годы. – Бишкек, 2018. – 150 с.
3. Окружающая среда в Кыргызской Республике. Нацстатком Кыргызской Республики 2018. – 89 с.
4. Городские зеленые зоны: краткое руководство к действию. - Всемирная организация здравоохранения, 2017. – 24 с.
5. Закон КР от 31 декабря 2008 года № 283 «О возобновляемых источниках энергии». [Электронный ресурс] - URL: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/properties/ru-ru/203243/70> (дата обращения: 20.10.2019)
6. Гарин В.М. Утилизация твердых отходов в населенных пунктах и на производстве / Гарин В.М., Хвостиков А.Г. Ростов н/Д.: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2010. - 118 с.
7. Стратегия «развития систем питьевого водоснабжения и водоотведения населенных пунктов Кыргызской Республики до 2026 года». [Электронный ресурс] - URL: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/properties/ru-ru/99118/10> (дата обращения: 20.10.2019)

8. Распоряжение Правительства КР от 11 октября 2019 года № 385-р (Об утверждении Плана мероприятий по стимулированию использования колесных транспортных средств с электрическими двигателями и созданию зарядной инфраструктуры в Кыргызской Республике на 2019-2020 годы).

9. Концепция зеленой экономики в Кыргызской Республике "Кыргызстан - страна зеленой экономики" (Утверждена постановлением Жогорку Кенеша Кыргызской Республики от 28 июня 2018 года № 2532-VI).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vashchalova T. V. Ustoychivoye razvitiye. [Sustainable development] / Vashchalova T. V. - Moscow: Yurayt Publishing House. - 2019. - 186 p. [in Russian].

2. Natsional'naya strategiya razvitiya Kyrgyzskoy Respubliki na 2018-2040 gody. [The National Development Strategy of the Kyrgyz Republic for 2018-2040. - Bishkek]. - 2018. - 150 p. [in Russian].

3. Okruzhayushchaya sreda v Kyrgyzskoy Respublike. Natsstatkom Kyrgyzskoy Respubliki [The environment in the Kyrgyz Republic. National Statistical Committee of the Kyrgyz Republic]. - 2018. - 89 p. [in Russian].

4. Gorodskie zelenyye zony: kratkoye rukovodstvo k deystviyu. - Vsemirnaya organizatsiya zdavookhraneniya [Urban green areas: a quick guide to action. - World Health Organization]. - 2017. - 24 p. [in Russian].

5. Zakon KR ot 31 dekabrya 2008 goda № 283 «O vozobnovlyayemykh istochnikakh energii» [Law of the Kyrgyz Republic dated December 31, 2008 No. 283 «On Renewable Energy Sources»] [Electronic resource] URL: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/properties/ru-ru/203243/70> (accessed:20.10.2019) [in Russian].

6. Garin V.M. Utilizatsiya tverdykh otkhodov v naselennykh punktakh i na proizvodstve. - Rostov n/D.: Rostovskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya [Disposal of solid waste in settlements and in the workplace] / Garin V.M., Khvostikov A.G.. -Rostov N/A: Rostov State University of Railway Engineering. - 2010. - 118 p. [in Russian].

7. Strategiya «razvitiya sistem pit'yevogo vodosnabzheniya i vodootvedeniya naselennykh punktov Kyrgyzskoy Respubliki do 2026 goda» [Strategy «development of drinking water supply and sanitation systems of settlements of the Kyrgyz Republic until 2026»] [Electronic resource] URL: <http://cbd.minjust.gov.kg/act/properties/ru-ru/99118/10> (accessed:20.10.2019) [in Russian].

8. Rasporyazheniye Pravitel'stva KR ot 11 oktyabrya 2019 goda № 385-r (Ob utverzhdenii Plana meropriyatiy po stimulirovaniyu ispol'zovaniya kolesnykh transportnykh sredstv s elektricheskimi dvigatelyami i sozdaniyu zaryadnoy infrastruktury v Kyrgyzskoy Respublike na 2019-2020 gody) [The order of the Government of the Kyrgyz Republic of October 11, 2019 No. 385-r (On approval of the Plan of measures to stimulate the use of wheeled vehicles with electric engines and the creation of charging infrastructure in the Kyrgyz Republic for 2019-2020)] [in Russian].

9. Kontseptsiya zelenoy ekonomiki v Kyrgyzskoy Respublike «Kyrgyzstan - strana zelenoy ekonomiki» (Utverzhdena postanovleniyem Zhogorku Kenesha Kyrgyzskoy Respubliki ot 28 iyunya 2018 goda № 2532-VI) [The concept of the green economy in the Kyrgyz Republic «Kyrgyzstan is the country of the green economy» (Approved by the Resolution of the Jogorku Kenesh of the Kyrgyz Republic dated June 28, 2018 No. 2532-VI)] [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.022>**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ РАССЕЯННОГО ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА
ПРИМОРСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В МАРТЕ 2019 Г.**

Научная статья

Стародымова Д.П.^{1,*}, Шевченко В.П.², Белоруков С.К.³, Лохов А.С.⁴, Яковлев А.Е.⁵¹ ORCID: 0000-0001-6983-1724;² ORCID: 0000-0002-9045-297X;^{1, 2, 3, 4, 5} Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (d.smokie[at]gmail.com)

Аннотация

Изучение химического состава нерастворимых частиц в снежном покрове дает возможность оценить выпадения из атмосферы в зимнее время. В работе рассмотрены особенности элементного состава нерастворимых частиц (рассеянного осадочного вещества) в снеге и озерном льду фоновых и импактных районов Архангельской области. Для проб, отобранных вблизи автодороги и в городе, характерны более высокие концентрации нерастворимых частиц. Рассеянное осадочное вещества в снеге и льду обогащено тяжелыми металлами (Ni, Cr, Pb, Cd). Наибольшее обогащение получено для среднего прослоя льда. В работе приведены оценки потоков тяжелых металлов на поверхность. Наибольшие содержания и потоки свинца получены для фоновой станции оз. Пикалево.

Ключевые слова: снег, атмосферный перенос, тяжелые металлы, загрязнение.**ELEMENTAL COMPOSITION OF THE DISSIPATED SEDIMENT OF THE SNOW COVER OF PRIMORSKY
DISTRICT OF ARKHANGELSK REGION IN MARCH OF 2019**

Research article

Starodymova D.P.^{1,*}, Shevchenko V.P.², Belorukov S.K.³, Lokhov A.S.⁴, Yakovlev A.E.⁵¹ ORCID: 0000-0001-6983-1724;² ORCID: 0000-0002-9045-297X;^{1, 2, 3, 4, 5} Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

* Correspondent author (d.smokie[at]gmail.com)

Abstract

The study of the chemical composition of insoluble particles in the snow cover enables the evaluation of atmospheric deposition in winter. The paper considers the features of the elemental composition of insoluble particles (dissipated sediment) in the snow and lake ice of the background and impact regions of the Arkhangelsk region. Samples taken near the highway and in the city are characterized by higher concentrations of insoluble particles. Dissipated sediment in snow and ice is high in content of heavy metals (Ni, Cr, Pb, Cd). The greatest enrichment was obtained for the middle layer of ice. The paper presents estimates of heavy metal flows to the surface. The highest contents and flows of lead were obtained for the background station of Lake Pikalevo.

Keywords: snow, atmospheric transport, heavy metals, pollution.**Введение**

Снежный покров фиксирует выпадения аэрозольных частиц, поэтому может служить индикатором состояния атмосферы в зимний период. Исследования рассеянного осадочного вещества (нерастворимых частиц) в снеге перед снеготаянием помогает извлечь информацию о суммарных выпадениях из атмосферы за период, начиная со становления снежного покрова, что для северных регионов может составлять до полугода. Аэрозольные частицы в атмосфере могут переноситься на значительные расстояния в зависимости от метеорологических условий и оказывают значительное влияние на теплообмен в атмосфере [6], [14]. Выпадая на поверхность снежного покрова, аэрозоли могут значительно снизить альбедо поверхности, что также приводит к изменению теплового баланса приземной атмосферы [13]. Кроме того, аэрозоли, распространяющиеся от антропогенных источников, могут содержать токсичные вещества и попадая в окружающую среду оказывать негативное воздействие на биоту [4], [7], [10].

Изучение состава снежного покрова дает возможность вычислить потоки элементов, выпадающих на поверхность из атмосферы, что в свою очередь позволяет оценить вклад поступления аэрозольного материала в осадочные бассейны. Исследование рассеянного осадочного вещества с 2001 г. в снежном покрове отдельных районов водосборного бассейна Белого моря проводилось в рамках проекта «Система Белого моря» (руководитель – академик А.П. Лисицын) [16].

Материалы и методы

Материалы для данной работы были собраны в марте 2019 г. в Приморском районе Архангельской области (рис. 1). Снег был отобран с поверхности озер во избежание попадания частиц почвы. Точки пробоотбора включали в себя одну фоновую станцию (оз. Пикалево), станцию с повышенной антропогенной нагрузкой, находящейся на территории города Архангельска (точка 2, Соломбала), а также станции (точки 3–9, оз. Заднее), находящиеся на разном удалении от локального источника загрязнения (автодороги).

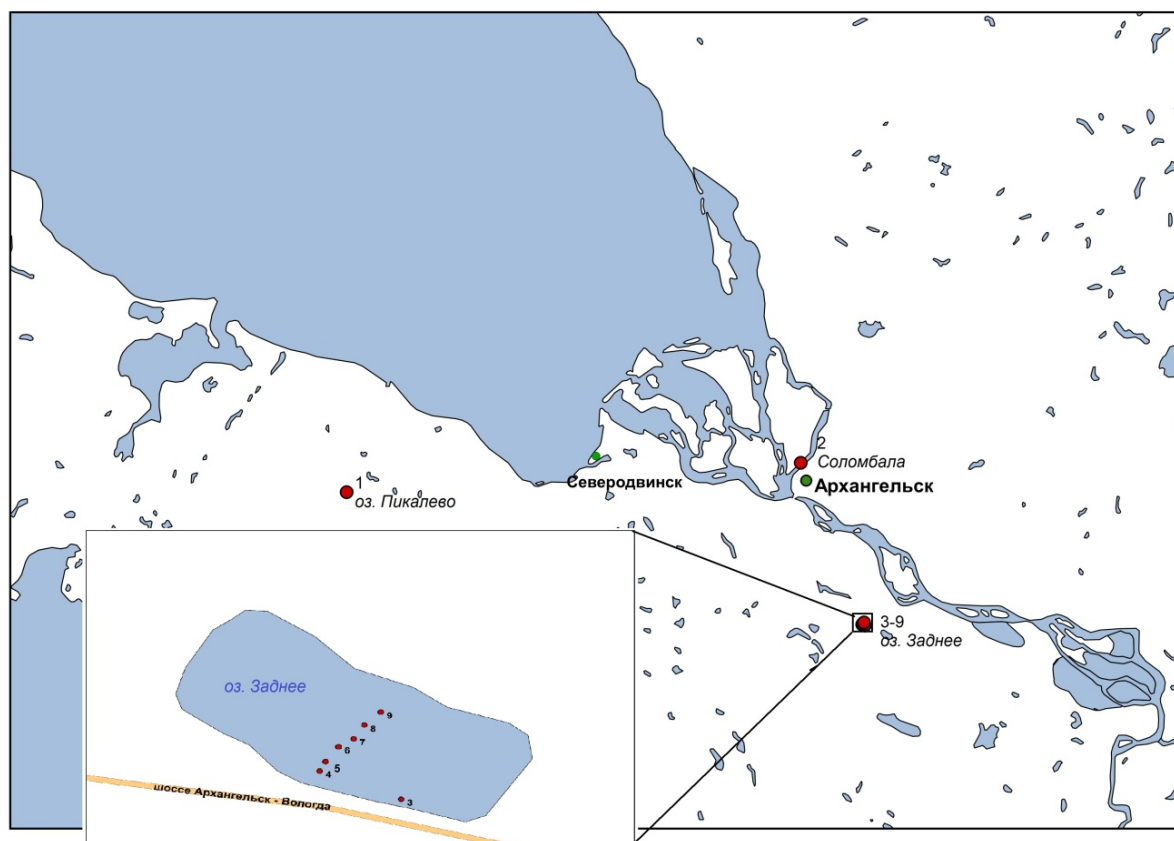


Рис. 1 – Схема пробоотбора

Отбор снега производился с помощью пластиковой лопаты и предварительно отмытого пластикового контейнера. Отбор осуществлялся из фиксированного шурфа на всю глубину залегания снега. Кроме снега на станции 1 (оз. Пикалево) были отобраны керны озерного льда, а также подледная и придонная вода для изучения процессов трансформации осадочного вещества в толще воды. Пластиковые контейнеры с пробами были доставлены в лабораторию. В лаборатории пробы снега и льда были растоплены при комнатной температуре, конечный суммарный объем пробы фиксировался в журнале. Растопленные пробы были отфильтрованы под вакуумом, а пробы озерной воды были отфильтрованы сразу. Фильтрация проводилась через предварительно взвешенные на аналитических весах с точностью до 10^{-5} мг лавсановые ядерные мембранные фильтры (Объединенный институт ядерных исследований, Дубна) с диаметром пор 0,45 мкм. Каждая проба была профильтрована через три фильтра, для получения достоверных значений массовой концентрации взвеси. Объем профильтрованной воды фиксировался в журнале. После фильтрации фильтры были помещены в чашки Петри и высушены в сушильном шкафу при температуре 55°C. После высушивания фильтры были повторно взвешены.

Фильтры с максимальной навеской были проанализированы на микроэлементный состав. Для этого фильтр был помещен в савиллексовую (второпластовую) бюксу, к нему добавлены концентрированные азотная, плавиковая кислоты и перекись водорода. Затем бюксы были нагреты в ультразвуковой ванне, после чего фильтры были извлечены из бюкс, а остаточный раствор выпаривали на плитке. В ходе выпаривания в пробы два раза добавляли концентрированную соляную кислоту. После выпаривания объем пробы был доведен до 20 мл добавлением 0,1 н раствором азотной кислоты. Вместе с пробами по тому же протоколу были обработаны холостые пробы (пустой фильтр) и фильтр с навеской стандарта. В качестве стандарта использовался GSD 2 – стандарт аллювиальных отложений, который отвечает по составу терригенному веществу.

Измерение элементного состава проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Agilent 7500a. Перед измерением в пробы были добавлены фиксированные аликвоты стандартного раствора индия для введения коррекции на дрейф прибора.

Результаты

Массовая концентрация нерастворимых частиц в снеге Архангельской области составила от 0,96 (на оз. Пикалево) до 5,04 (на оз. Заднее, вблизи шоссе) мг/л. По результатам исследования, выполненного в 2016 г. на тех же точках пробоотбора, концентрация взвеси в фоновых районах находится на близком уровне (1,1 и 0,96 мг/л в снеге оз. Пикалево в 2016 и 2019 г. соответственно). Концентрация взвеси в снеге озера Заднее в 2016 г. на точке вблизи шоссе составляла 27 мг/л [1], [9], что на полпорядка выше, чем в 2019 г. Таким образом, разброс концентраций взвеси в снеге, измеренных в 2019 г., оказался существенно ниже, чем в 2016 г., что может быть связано с количеством осадков. При удалении от дороги на 300–500 м концентрация взвеси в снеге уменьшилась вдвое (рис. 2), тогда как в 2016 г. [1] наблюдалось уменьшение концентрации взвеси на порядок.

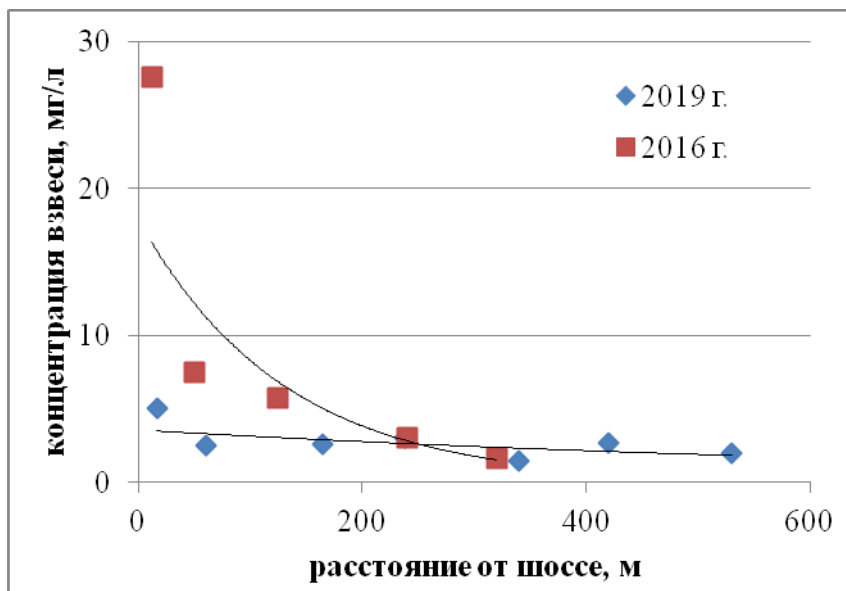


Рис. 2 – Распределение массовой концентрации взвеси в снеге оз. Заднего в 2016 и в 2019 г.

Концентрации взвеси в снеге, воде и нижнем слое льда (рис. 3) близки между собой и составляют 0,96; 1 и 1,2 мг/л соответственно. Нижний слой льда образуется в результате намерзания подледной воды на уже устоявшийся ледовый покров, поэтому концентрация взвеси в этом слое соответствует концентрации взвеси в подледной воде. Верхний слой льда образуется в основном за счет намерзания атмосферной влаги. В среднем слое льда наиболее вероятно находится тот лед, который образовался первым во время первых заморозков, в этот слой оказывается внедрена взвесь поверхностного слоя воды, концентрация которой (в том числе за счет биологических процессов в поверхностном слое воды до того как водоем замерзнет) оказывается выше, чем в подледной воде. Поэтому концентрация взвеси в среднем слое льда оказывается максимальной в данной системе (3,95 мг/л) замерзания верхнего слоя воды, в то время как в верхних слоях льда большое влияние оказывает уплотненный снег.

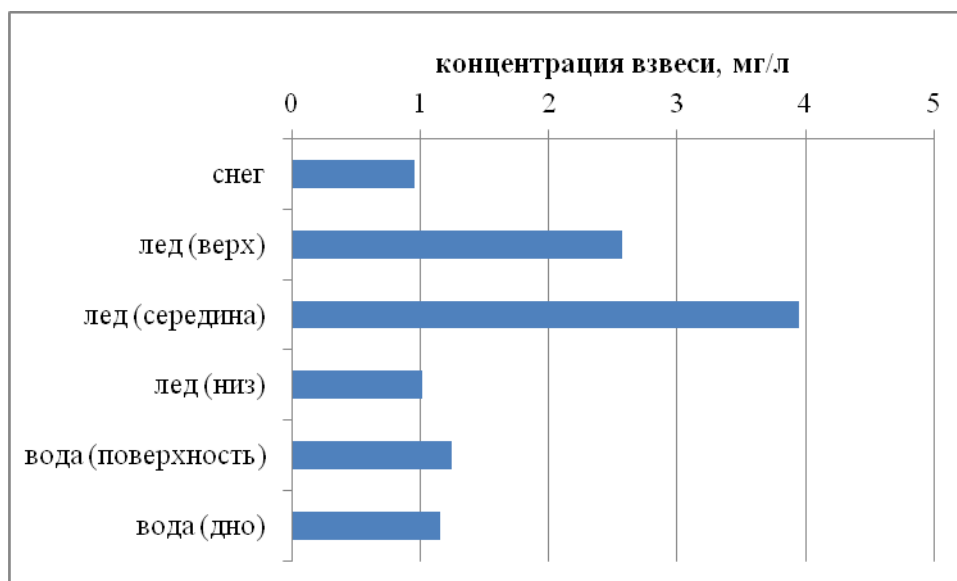


Рис. 3 – Распределение массовой концентрации взвеси в системе снег-лед-вода оз. Пикалево

Содержания элементов во взвеси придонного горизонта на 20–30 % ниже, чем во взвеси подледного горизонта воды. Исключение составляют Zn, Sr и U, содержание которых в обоих горизонтах на одном уровне, и Ba, содержание которого в придонном горизонте в 2 раза выше, чем в подледном. Это объясняется разбавлением материала взвеси биогенным веществом, поступающего во взвесь из верхнего слоя донных осадков (наилка), богатого органическим материалом.

На рисунке 4 показаны содержания элементов во взвеси снега и льда, нормированные на содержания в поверхностном (подледном) слое воды. Взвесь снега озера Пикалево характеризуется более высоким содержанием Al, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Th, U. Для среднего слоя льда характерно повышенное содержание Cd и Pb относительно всех остальных частей системы вода-лед-снег.

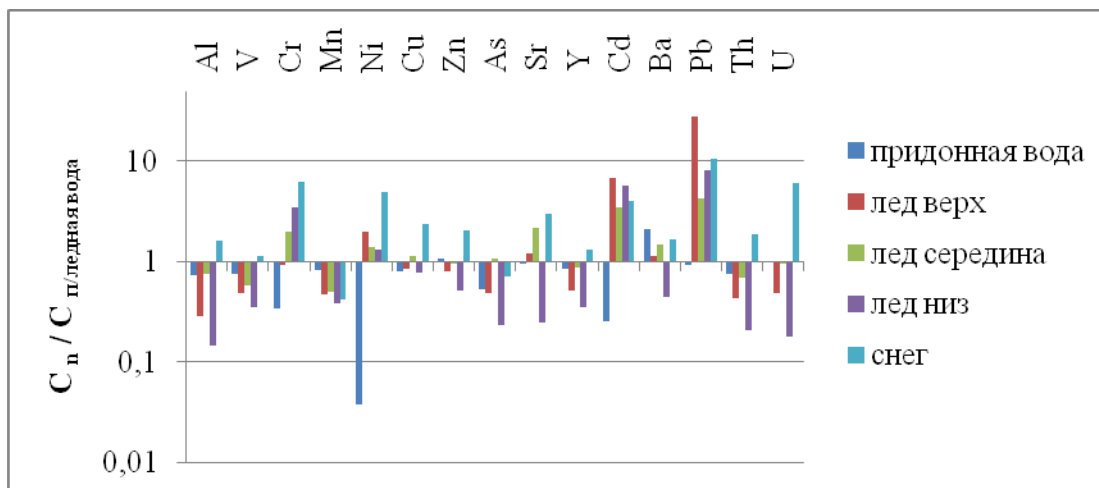


Рис. 4 – Состав взвеси снега, льда и воды оз. Пикалево, нормированный на состав взвеси подледной воды

Среднее содержание Al во взвеси снега составило 4%, меняясь от 2,3% в снеге на оз. Заднее (наиболее удаленная от автодороги станция) до 5,5% на территории Архангельска в Соломбале. Исходя из среднего содержания Al в земной коре (8,15% [15]), можно оценить долю литогенного материала во взвеси снега, которая составляет от 28 до 67%.

На рисунке 5 представлены содержания элементов в снеге, нормированные на содержание во взвеси фоновой станции (оз. Пикалево). По сравнению со всем остальными станциями Пикалево характеризуется более высокими содержаниями Cu, Zn, Rb, Ba, Pb, Bi. Станция в Соломбале характеризуется повышенными содержаниями Al, V, Sr, Th, U во взвеси снега. Станция возле автодороги (оз. Заднее) характеризуется повышенными содержаниями Cr, Co, Ni (за счет разрушения стальных деталей автомобилей). Для проб, находящихся на удалении от автодороги характерно повышенное содержание Cd. Таким образом, фоновая станция характеризуется высокими содержаниями элементов, характерных для дальнего атмосферного переноса, станция, расположенная в городе, характеризуется более высокими содержаниями литогенных элементов, а станция, расположенная возле автодороги – повышенным содержанием элементов группы железа.

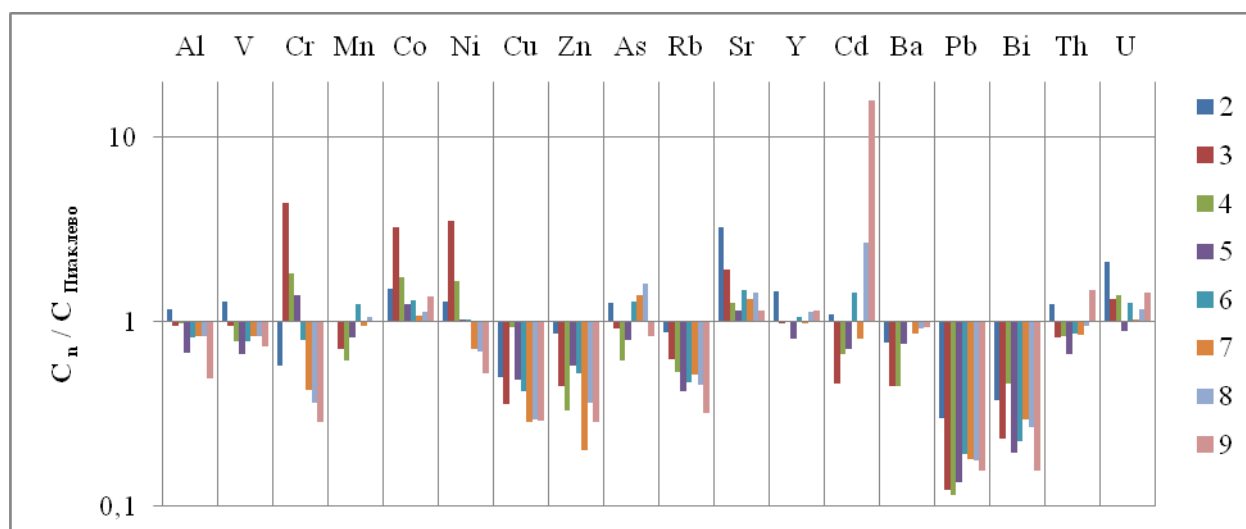


Рис. 5 – Элементный состав взвеси снега, нормированный на состав взвеси снега оз. Пикалево

Для оценки отличия взвеси снега от литогенного вещества были вычислены коэффициенты обогащения (КО) по формуле:

$$КО = \frac{\left(\frac{Эл}{Al}\right)_{\text{проба}}}{\left(\frac{Эл}{Al}\right)_{\text{з. к.}}}$$

Где Эл/Al – это отношение содержания элемента к содержанию алюминия в пробе и в земной коре [15] соответственно. Значения КО в пределах 10 означают, что данный элемент имеет преимущественно литогенное происхождение. Для взвеси озерной воды (рис. 6) характерны высокие (более 10) значения КО для Mn, Zn и Cd, что возможно, связано с подледным биогенным веществом. КО для таких элементов как Zn, Pb, Cd и Bi повышены (близки или превышают 10) во всех пробах. Наибольшее обогащение Pb (а также Cd) получено для среднего прослоя озерного льда, что говорит о том, что первый лед улавливает наибольшее количество загрязняющих веществ за счет того, что в этот лед попадает наиболее загрязненный тонкий поверхностный слой озерной воды. Обогащение Cu

характерно только для проб, отобранных на оз. Пикалево (и лед, и снег, и подледная вода). Кроме перечисленных элементов, которыми обогащены все пробы, проба, отобранная возле автодороги, также обогащена Ni и Cr.

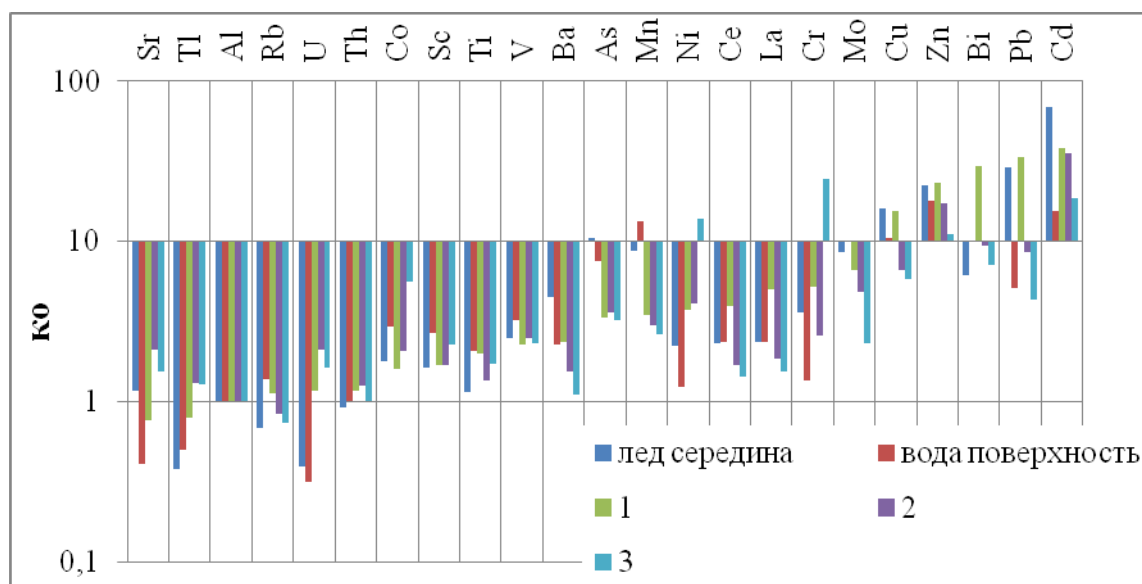


Рис. 6 – Коэффициенты обогащения относительно среднего состава земной коры для взвеси среднего слоя льда, поверхностного слоя воды, снега оз. Пикалево (1), Соломбалы (2), оз. Заднего (3)

Сопоставление данных 2019 г. с данными 2016 г. (табл. 1) показало, что концентрации взвешенной формы металлов в снеге фоновых районов близки в разные годы, в то время как концентрации в импактных районах подвержены значительной межгодовой изменчивости, что частично объясняется разным уровнем концентраций взвеси в снеге. Концентрации взвешенной формы металлов в снеге Архангельской области в основном на 1–1,5 порядка ниже, чем ранее измеренные концентрации в фоновых районах Мурманской и Ленинградской областей и Западной Сибири, что объясняется как региональным фоном, так и возможными различиями в концентрациях взвеси.

Таблица 1 – Концентрации взвешенной формы тяжелых металлов в снеге Архангельской области и других районов

	Конц-я взвеси	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Cd	Pb	Bi	Источник
единица измерения:	мг/л	мкг/л	мкг/л	мкг/л	мкг/л	мкг/л	мкг/л	мкг/л	мкг/л	мкг/л	мкг/л	нг/л	
оз. Пикалёво	1,0	0,1	0,3	1,5	0,02	0,10	0,2	0,9	0,1	0,002	0,3	2,6	Данная работа
Соломбала	2,9	0,5	0,5	4,5	0,07	0,37	0,4	2,2	1,3	0,006	0,3	2,9	
оз. Заднее возле автодороги	5,0	0,6	6,1	5,6	0,26	1,80	0,4	2,0	1,4	0,005	0,2	3,1	
оз. Заднее 500 м от автодороги	2,0	0,2	0,2	27,4	0,04	0,11	0,1	0,5	0,3	0,06	0,1	0,8	
оз. Заднее, 2016 г.	27,6	2,1	1,48	9,1	0,30	0,84	0,79		2,3	0,005	0,55	0,010	[9]
Архангельская обл., фоновые районы, 2016 г.	1,6	0,2	0,14	0,7	0,02	0,10	0,10		0,2	0,003	0,37	0,005	
Мурманская обл., 2000-е, фоновые районы				11,9	3,6	7	9						[3]
Центральная часть Западной Сибири				2,8		0,5	1		2,3	0,04			[5]
Ленинградская обл. (2000-2001) фоновые районы		1	0,9	3	0,08	1,1	1,4		0,8	0,04	1,3		[12]

Исходя из средней концентрации взвеси, размера снежного шурфа и приблизительного срока залегания снега, были вычислены потоки нерастворимых частиц и некоторых элементов из атмосферы. Оценки потока нерастворимых частиц составили от 0,3 до 1,5 мг/м²/сут, что существенно ниже оценок потоков, полученных в 2016 г, когда поток нерастворимых частиц на поверхность составлял от 1,7 до 41 мг/м²/сут.

Оценки потоков элементов на поверхность за снежный сезон приведены в таблице 2. Максимальные потоки элементов получены для пробы, отобранной возле дороги. Значения этих потоков близки к оценкам, полученным для Соломбалы. Максимальный поток свинца наблюдается в фоновой пробе на оз. Пикалево. По остальным элементам потоки на поверхность оз. Пикалево близки к потокам на оз. Заднее на удалении от дороги. Сопоставление с ранее опубликованными данными (Таблица 2) показало, что потоки на поверхность Cr, Ni и Pb, оцененные для разных районов республики Коми [2], в 3–10 раз выше полученных нами. Эти различия, возможно определяются региональным фоном.

Таблица 2 – Потоки металлов на подстилающую поверхность (мкг/м² за снежный сезон)

Мкг/м ² за снежный сезон	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Bi	U	Источник
оз. Пикалево	8,3	3,0	7,4	26,5	0,27	0,06	9,7	0,08	0,05	Данная работа
Соломбала	13,3	10,8	10,3	64,1	0,96	0,18	8,0	0,08	0,31	
Оз. Заднее возле дороги	188,2	55,1	13,7	62,1	1,31	0,14	6,2	0,10	0,37	
оз. Заднее 500 м от дороги	4,5	3,0	4,1	14,4	0,43		2,9	0,02	0,15	
респ. Коми южная тайга	70	46	8			0,035	33			[2]
респ. Коми Северная тайга	34,9	17,9	3,1			0,0033	15,9			

Заключение

Нерастворимые частицы в снеге Архангельской области формируются на 30–60% литогенным материалом. Лед, образующийся в начале снежного сезона, фиксирует наибольшее количество загрязняющих веществ (в том числе тяжелых металлов). Пробы, отобранные в импактных районах (вблизи автодороги, в городе), характеризуются повышенной пылевой нагрузкой. Нерастворимые частицы в снеге обогащены тяжелыми металлами (Ni, Cr, Pb, Cd). Наибольшее обогащение получено для среднего прослоя льда. Пробы, отобранные в импактных районах, характеризуются значительной межгодовой изменчивостью в концентрациях частиц и металлов в снеге и повышенными потоками тяжелых металлов. Наибольшие содержания и потоки свинца получены для фоновой станции оз. Пикалево.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №19-05-00938).

Благодарности

Авторы благодарны академику А.П. Лисицыну и В.Б. Коробову за поддержку и ценные советы.

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

Work was financially supported by RFBR (project №19-05-00938).

Acknowledgement

The authors are grateful to Academician A.P. Lisitsyn and V.B. Korobov for support and valuable advice

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Булохов А.В. Рассеянное осадочное вещество в снежном покрове водосбора Двинского залива Белого моря / Булохов А.В., Шевченко В.П., Боев А.Г. и др. // Комплексные исследования Мирового океана. Материалы II Всероссийской научной конференции молодых ученых. – 2017. – С. 451–454.
2. Василевич М.И. Накопление растворимых и малорастворимых форм металлов в снежном покрове таежной зоны европейского северо-востока России / Василевич М.И., Безносиков В.А., Кондратёнок Б.М. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2015. – № 2. – С. 111–118.
3. Виноградова А.А. Металлы в снежном покрове на территории Мурманской области / Виноградова А.А., Котова Е.И. // Экологическая химия. – 2017. – Т. 26. – № 1. – С. 34–40.
4. Голохваст К.С. Атмосферная взвесь небольшого арктического города (на примере Салехарда и Лабытнанги) / Голохваст К.С., Ефимова Н.В., Елфимова Т.А. и др. // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2015. – № 58. – С. 71–76.
5. Ермолов Ю.В. Фоновые концентрации химических элементов в снежном покрове центрального сектора Западной Сибири / Ермолов Ю.В., Махатков И.Д., Худяев С.А. // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27. – № 9. – С. 790–800.
6. Кондратьев К.Я. Свойства, процессы образования и последствия воздействий атмосферного аэрозоля: от нано- до глобальных масштабов. / Кондратьев К.Я., Ивлёв Л.С., Крапивин В.Ф. – СПб.: ВВМ, 2007. – 860 с.
7. Котова Е.И. Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора Арктических морей России. [Электронный ресурс] / Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П. //

Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: www.science-education.ru/106-7843. (дата обращения: 20.11.2019)

8. Митяев М.В. Нерастворимая фракция аэрозолей и тяжёлых металлов в свежеснеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018 г. / Митяев М.В., Герасимова М.В., Рыжик И.В., Ишкулова Т.Г. // Лёд и снег. – 2019. – Т. 59. – № 3. – С. 307–318.

9. Стародымова Д.П. Геохимия рассеянного осадочного вещества снега в Приморском районе Архангельской области. / Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К. и др. // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 2. – С. 140–145.

10. Таловская А.В. Исследование состава пылевого аэрозоля на фоновой и городской станциях наблюдения в Томском регионе зимой 2012/13 г. / Таловская А.В., Симоненков Д.В., Филимоненко Е.А. и др. // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27, № 11. – С. 999–1005.

11. Шевченко В.П. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики. / Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р. и др. // Проблемы Арктики и Антарктики. № 75. Результаты исследований высокоширотной Арктики в преддверии Международного полярного года. – Санкт-Петербург: ААНИИ, 2007. – С. 106–118.

12. Яхнин Э.Я. Сравнительный анализ данных о составе атмосферных осадков и снежного покрова на территории Ленинградской области и юго-восточной Финляндии и уточнение параметров выпадения тяжелых металлов. / Яхнин Э.Я., Томилина О.В., Чекушин В.А., Салминен Р. // Экологическая химия. – 2003. – Т. 12. – № 1. – С. 1–12.

13. Evangeliou N. Origin of elemental carbon in snow from western Siberia and northwestern European Russia during winter–spring 2014, 2015 and 2016 / Evangeliou N., Shevchenko V.P., Yttri K.E. et al. // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2018. – V. 18. – P. 963–977.

14. Lisitzin A.P. Arid sedimentation in the oceans and atmospheric particulate matter // Russian Geology and Geophysics. – 2011. – V. 52. – P. 1100–1133.

15. Rudnick R.L. Composition of the Continental Crust / Rudnick R.L., Gao S. // Treatise on Geochemistry. H.D. Holland, K.K. Turekian (Eds.). – Elsevier, 2003. – V.3. – P. 1–63.

16. Shevchenko V.P. Dispersed sedimentary matter of the atmosphere / Shevchenko V.P., Lisitsyn A.P., Vinogradova A.A. et al. // Biogeochemistry of the Atmosphere, Ice and Water of the White Sea: The White Sea Environment. Part I. / A.P. Lisitsyn, V.V. Gordeev (eds.). The Handbook on Environmental Chemistry. – V. 81. – Springer Nature, 2018. – P. 9–46.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bulohov A.V. Rassejannoe osadochnoe veshhestvo v snezhnom pokrove vodosbora Dvinskogo zaliva Belogo morja [Dispersed sedimentary matter in the snow cover of the Dvina Bay catchment of the White Sea] / Bulohov A.V., Shevchenko V.P., Boev A.G., Korobov V.B., Jakovlev A.E. // Kompleksnye issledovaniya Mirovogo okeana. Materialy II Vserossijskoj nauchnoj konferencii molodyh uchenyh. [Integrated research of the World Ocean. Materials of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists.] – 2017. – P. 451–454. [in Russian].

2. Vasilevich M.I. Nakoplenie rastvorimyh i malorastvorimyh form metallov v snezhnom pokrove taezhnoj zony evropejskogo severo-vostoka Rossii [Accumulation of soluble and slightly soluble forms of metals in the snow cover of the taiga zone of the European North-East of Russia] / Vasilevich M.I., Beznosikov V.A., Kondratjonok B.M. // Geoekologija. Inzhenernaja geologija. Gidrogeologija. Geokriologija. [Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology.] – 2015. – № 2. – P. 111–118. [in Russian].

3. Vinogradova A.A. Metally v snezhnom pokrove na territorii Murmanskoy oblasti [Metals in the snow cover in the territory of the Murmansk region] / Vinogradova A.A., Kotova E.I. // Ekologicheskaja himija. [Ecological chemistry.] – 2017. – V. 26. – № 1. – P. 34–40. [in Russian].

4. Golohvast K.S. Atmosfernaja vzves' nebol'shogo arkticheskogo goroda (na primere Saleharda i Labytnangi) [Atmospheric suspension of a small Arctic city (on the example of Salekhard and Labytnangi)] / Golohvast K.S., Efimova N.V., Elfimova T.A. and others // Bjulleten' fiziologii i patologii dyhanija. [Bulletin of physiology and pathology of respiration.] – 2015. – № 58. – P. 71–76. [in Russian].

5. Ermolov Ju.V. Fonovyje koncentracii himicheskikh jelementov v snezhnom pokrove central'nogo sektora Zapadnoj Sibiri [Background concentrations of chemical elements in the snow cover of the central sector of Western Siberia] / Ermolov Ju.V., Mahatkov I.D., Hudjaev S.A. // Optika atmosfery i okeana. [Atmospheric and oceanic optics] – 2014. – V. 27. – № 9. – P. 790–800. [in Russian].

6. Kondrat'ev K.Ja. Svoystva, processy obrazovaniya i posledstviya vozdeystvij atmosfernogo ajerozolija: ot nano- do global'nyh masshtabov. [Properties, formation processes and consequences of atmospheric aerosol impacts: from nano to global scales.] / Kondrat'ev K.Ja., Ivlev L.S., Krapivin V.F. – SPb.: VVM, 2007. – 860 p. [in Russian].

7. Kotova E.I. Osobennosti formirovaniya ionnogo sostava snezhnogo pokrova v pribrezhnoj zone zapadnogo sektora Arkticheskikh morej Rossii. [Features of the formation of ionic composition of snow cover in the coastal zone of the western sector of the Arctic seas of Russia] [Electronic resource] / Kotova E.I., Korobov V.B., Shevchenko V.P. // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. [Contemporary problems of science and education] – 2012. – № 6. – URL: www.science-education.ru/106-7843. (accessed: 20.11.2019) [in Russian].

8. Mitjaev M.V. Neraстворимая фракция аэрозолей и тяжёлых металлов в свежеснеге на северо-западе Колского полуострова в 2018 г. [Insoluble fraction of aerosols and heavy metals in fresh snow in the northwest of the Kola Peninsula in 2018] / Mitjaev M.V., Gerasimova M.V., Ryzhik I.V., Ishkulova T.G. // Ljod i снег. [Ice and snow] – 2019. – V. 59. – № 3. – P. 307–318. [in Russian].

9. Starodymova D.P. Geohimija rassejannogo osadochnogo veshhestva снега в Приморском районе Архангельской области. [Geochemistry of dispersed sedimentary matter of snow in the Primorsky district of the Arkhangelsk region] / Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Belorukov S.K. and other. // Uspеhi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern science]. – 2018. – № 2. – P. 140–145. [in Russian].

10. Talovskaja A.V. Issledovanie sostava pylevogo ajerozolja na fonovoj i gorodskoj stancijah nabljudenija v Tomskom regione zimoj 2012/13 g. [A study of the composition of dust aerosol at the background and city observation stations in the Tomsk region in winter 2012/13] / Talovskaja A.V., Simonenkov D.V., Filimonenko E.A. et al. // Optika atmosfery i okeana [Atmospheric and oceanic optics]. – 2014. – V. 27, № 11. – P. 999–1005. [in Russian].
11. Shevchenko V.P. Raspreделение i sostav nerastvorimyh chastic v snege Arktiki [Distribution and composition of insoluble particles in the snow of the Arctic]. / Shevchenko V.P., Lisicyn A.P., Stein R. and other // Problemy Arktiki i Antarktiki. № 75. Rezul'taty issledovanij vysokosirotnoj Arktiki v preddverii Mezhdunarodnogo poljarnogo goda. [Problems of the Arctic and Antarctic. No. 75. Results of studies of the high-latitude Arctic on the eve of the International Polar Year]. – Sankt-Peterburg: AASRI, 2007. – P. 106–118. [in Russian].
12. Jahnin Je.Ja. Sravnitel'nyj analiz dannyh o sostave atmosferynyh osadkov i snezhnogo pokrova na territorii Leningradskoj oblasti i jugo-vostochnoj Finljandii i utocnenie parametrov vypadenija tjazhelyh metallov [Comparative analysis of data on the composition of atmospheric precipitation and snow cover in the Leningrad Region and southeastern Finland and the refinement of heavy metal deposition parameters] / Jahnin Je.Ja., Tomilina O.V., Chekushin V.A., Salminen R. // Jekologicheskaja himija. [Ecological chemistry] – 2003. – V. 12. – № 1. – P. 1–12.
13. Evangeliou N. Origin of elemental carbon in snow from western Siberia and northwestern European Russia during winter–spring 2014, 2015 and 2016 / Evangeliou N., Shevchenko V.P., Yttri K.E., Eckhardt S., Sollum E., Pokrovsky O.S., Kobelev V.O., Korobov V.B., Lobanov A.A., Starodymova D.P., Vorobiev S.N., Thompson R., Stohl A. // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2018. – V. 18. – P. 963–977. [in Russian].
14. Lisitzin A.P. Arid sedimentation in the oceans and atmospheric particulate matter // Russian Geology and Geophysics. – 2011. – V. 52. – P. 1100–1133.
15. Rudnick R.L. Composition of the Continental Crust / Rudnick R.L., Gao S. // Treatise on Geochemistry. H.D. Holland, K.K. Turekian (Eds.). – Elsevier, 2003. – V.3. – P. 1–63.
16. Shevchenko V.P. Dispersed sedimentary matter of the atmosphere / Shevchenko V.P., Lisitsyn A.P., Vinogradova A.A., Starodymova D.P., Korobov V.B., Novigatsky A.N., Kokryatskaya N.M., Pokrovsky O.S. // Biogeochemistry of the Atmosphere, Ice and Water of the White Sea: The White Sea Environment. Part I. / A.P. Lisitsyn, V.V. Gordeev (eds.). The Handbook on Environmental Chemistry. – V. 81. – Springer Nature, 2018. – P. 9–46.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.023>**ПРИВЛЕЧЕНИЕ В КОЛЛЕКЦИЮ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ ПОЛЯРНОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ ФИЛИАЛА ВИР ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДИКОРАСТУЩИХ ПОЧВОПОКРОВНЫХ И СТЕЛЮЩИХСЯ РАСТЕНИЙ**

Научная статья

Бабкова А.С. *

ORCID: 0000-0002-1577-1065,

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, Полярная опытная станция - филиал ВИР, Апатиты, Россия

* Корреспондирующий автор (alla-babkova[at]yandex.ru)

Аннотация

Целью данной работы является привлечение в коллекцию декоративных растений Полярной опытной станции филиала ВИР почвопокровных и стелющихся растений за счет местных культурных и дикорастущих форм. Для озеленения урбанизированных территорий Мурманской области необходимо расширение зонального ассортимента декоративных растений. С 2017 года на Полярной опытной станции филиала ВИР началась планомерная научная работа, направленная на интродукцию декоративных травянистых многолетников и кустарников. В настоящее время сформирован перспективный коллекционный фонд декоративных растений из 217 образцов (167 видов) декоративных культур из 42 семейств, в том числе, 131 образец многолетних травянистых растений (77 родов), 57 – декоративных кустарников (10 родов), 8 – древесных растений (4 рода). Существующий на данный момент на Полярной опытной станции ассортимент дикорастущих растений включает в себя почвопокровные и стелющиеся виды травянистых многолетников, что является важным фактором для оборудования цветников городских ландшафтов. Дальнейшее расширение коллекции почвопокровных и стелющихся растений планируется вести, опираясь на интродукцию декоративных представителей из местной флоры Кольского полуострова, а также за счет образцов ботанических садов и питомников, близких по климатическим условиям Полярной опытной станции филиала ВИР [2].

Ключевые слова: почвопокровные растения, стелющиеся растения, ботанические экспедиции, интродукция растений, адаптация, травянистые многолетние растения, сохранение генофонда, арктическая зона.

ADDING DECORATIVE PERSPECTIVE WILD-GROWING COVER-GROUND AND CREEPING PLANTS OF POLAR EXPERIMENTAL STATION, VIR BRANCH TO COLLECTION

Research article

Babkova A.S. *

ORCID: 0000-0002-1577-1065,

Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, Polar Experimental Station – VIR Branch, Russia, Apatity, Russia

* Corresponding author (alla-babkova[at]yandex.ru)

Abstract

The goal of this work is to add cover-ground and creeping plants to the collection of ornamental plants of the Polar Experimental Station, the VIR branch, with some locally cultivated and wild forms. Greening the urban areas of the Murmansk region requires expanding zonal assortment of ornamental plants. A systematic scientific work has begun at the Polar Experimental Station, a branch of VIR, aimed at introducing decorative herbaceous perennials and shrubs in 2017. At present, a promising collection fund of ornamental plants has been formed from 217 samples (167 species) of decorative crops from 42 families, including 131 samples of perennial herbaceous plants (77 genera), 57 – ornamental shrubs (10 genera), 8 – woody plants (4 genera). The range of wild plants they currently have at the Polar Experimental Station includes cover-ground and creeping species of herbaceous perennials, which is an important factor for equipping flower gardens of urban landscapes. Further expansion of the collection of ground cover and creeping plants is planned, based on the introduction of decorative representatives from the local flora of the Kola Peninsula, as well as the samples of botanical gardens and nurseries close to the climatic conditions of the Polar Experimental Station of the VIR branch [2].

Keywords: cover-ground plants, creeping plants, botanical expeditions, plant introduction, adaptation, herbaceous perennials, conservation of the gene pool, Arctic zone.

Введение

Аборигенная флора Крайнего Севера сравнительно бедна декоративными растениями, поэтому исключительно важную роль в обогащении видового разнообразия играет интродукция [6].

Кольское Заполярье относится к зоне экстремального земледелия, где средняя температура воздуха в короткий вегетационный период (не более 90 дней) не поднимается выше +15°C. Поэтому в Мурманской области (район Крайнего Севера России) чрезвычайно актуальна проблема подбора декоративных растений для озеленения населенных пунктов.

В настоящее время, несмотря на все трудности возделывания культурных (в том числе декоративных) растений в арктической зоне, их ассортимент постоянно расширяется [4].

Полярная опытная станция филиал Всероссийского института растениеводства в 2017 году взялась за разработку ассортимента декоративных культур, который внедряется в практику зеленого строительства городов Мурманской области [3]. В настоящее время коллекции декоративных растений на Полярной опытной станции динамично развиваются и насчитывают 167 видов растений, которые принадлежат к 102 родам и 42 семействам. Научная работа с декоративными растениями заключается в интродукции и акклиматизации видов и сортов растений [5, С. 26].

Одним из компонентов озеленения могут быть дикорастущие декоративные многолетники. Практика показывает, что многолетники придают цветникам многоликость, многоцветие, многообразие. Кроме того, их правильное применение способствует сбережению фиторазнообразия, удешевляет озеленительные работы [4, С. 286].

С целью расширения зонального ассортимента культурных декоративных растений в 2017 году сотрудниками опытной станции были начаты сборы местных наиболее перспективных для интродукции дикорастущих форм многолетних растений в суровых природно-климатических условиях Кольского полуострова [2].

Основные результаты

С 2017 по 2019 годы сотрудники опытной станции осуществили 7 ботанических экспедиций по территории Мурманской области с целью сбора диких родичей декоративных многолетних растений для расширения коллекционного ассортимента.

Маршруты экспедиций в 2017-2019 гг.:

1. г. Апатиты – гора Айкуайвенчорр (Хибины).
2. г. Апатиты – гора Куэльпорр (Хибины).
3. г. Апатиты - западный берег озера Ловозеро, село Ловозеро.
4. г. Апатиты – населенный пункт Ёнский.
5. г. Апатиты - Терский берег Белого моря, село Варзуга – 3 экспедиции.

Поскольку климатические условия Хибин, Ловозерских тундр и Терского берега Белого моря являются наиболее холодными (безморозный период – менее 60 дней, и средняя годовая температура воздуха -2°C [2], можно было предположить, что растения этих местностей обладают наиболее высокой устойчивостью к низким температурам [1].

Дикие виды декоративных многолетников планируется ввести в работу по активному озеленению урбанизированных территорий Мурманской области. Всего за 3 года с начала формирования коллекционного фонда декоративных растений было собрано 35 диких видов декоративных многолетников, включающих травянистые растения и кустарники, из которых 15 видов представлены почвопокровными и стелющимися травянистыми многолетними растениями, что является важным фактором для оборудования цветников городских ландшафтов. Они служат альтернативой газону, хотя и сами очень органично и выигрышно смотрятся на нем. Почвопокровные растения имеют широкое применение в саду, рокариях, альпийских горках. Образцы растений, собранных в живом виде, были включены в коллекцию декоративных культур, им был присвоен номер временного каталога ВИР.

Дикорастущие многолетние травянистые почвопокровные и стелющиеся растения, интродуцированные на Полярной опытной станции филиале ВИР в 2017-19 гг.:

1. *Alchimilla alpina* L. - Манжетка альпийская. Сем. *Rosaceae*. Сбор произведен в районе горы Айкуайвенчорр (Хибины). В течение адаптационного периода растение показало высокий потенциал – хорошую приживаемость и высокий прирост. Зимостойкость 100%. Можно рекомендовать для использования в создании альпинариев и в других озеленительных посадках.

2. *Cornus suecica* L. - Дерен шведский. Сем. *Cornaceae*. Сбор произведен в районе горы Куэльпорр (Хибины). По результатам наблюдений на станции на следующий год приживаемость не высокая. Зимостойкость 50%. Для размножения дерна рекомендуется создать условия максимально приближенные к его диким условиям произрастания – торфяные влажные почвы. Отлично подходит для ландшафтного дизайна, красив во время цветения.

3. *Dryas octopetala* L. - Дриада восьмилепестковая. Сем. *Rosaceae*. Сбор произведен в районе горы Куэльпорр (Хибины). Зимостойкость на первый год адаптации на питомнике 50%. Очень декоративное растение благодаря красивой листве и цветкам. При полном привыкании растения к новым условиям произрастания можно использовать для формирования цветочных ковров при создании альпинариев.

4. *Harrimanella hypnoides* L. - Cov. Гарриманелла моховидная. Сем. *Ericaceae*. Сбор произведен в районе горы Куэльпорр (Хибины). Зимостойкость на первый год адаптации на питомнике 50 %. Своеобразное растение, интересное для каменистых садов.

5. *Honckenya peploides* (L.) Ehrh. Гонкения бутерлаковидная. Сем. *Caryophyllaceae*. Сбор произведен в районе села Варзуга (Терский берег) у побережья Белого моря. Низкая приживаемость, всего 10%. Это связано с тем, что дикие условия ее обитания (песчано-галечниковые пляжи морских побережий) в корне отличаются от условий произрастания на питомнике. При адаптации растения возможно использование его для создания альпинариев.

6. *Loiseleuria procumbens* L. Desv. - Луазелеурия лежачая. Сем. *Ericaceae*. Сбор произведен в районе горы Куэльпорр (Хибины). Зимостойкость в первый год адаптации 80%. Подходит для создания флористических подушек в ландшафтном дизайне.

7. *Orthilia secunad* L. House. Ортилия однобокая. Сем. *Ericaceae*. Сбор произведен в районе озера Ловозеро. Зимостойкость в первый год адаптации 100%. Можно рекомендовать для разведения в частных садах не только как декоративное растение, но и для применения в лекарственных целях.

8. *Oxyria digyna* (L) Hull. Кисличник двухстолбчатый. Сем. *Polygonaceae*. Сбор произведен в районе горы Куэльпорр (Хибины). Зимостойкость в первый год адаптации 100%. Рекомендуется размножать для декоративных и хозяйственных целей (в качестве пищевого продукта).

9. *Oxytropis sordida* (Willd.) Pers. Остролодочник грязноватый. Сем. *Fabaceae*. Сбор произведен в районе села Варзуга (Терский берег) у побережья Белого моря. Зимостойкость в первый год адаптации 100%. Растение показало высокие декоративные свойства. Возможна посадка остролодочника при оформлении бордюров и миксбордеров.

10. *Phyllodoce caerulea* (L.) Bab. Филлодоце голубая. Сем. *Ericaceae*. Сбор произведен в районе горы Куэльпорт (Хибины). Зимостойкость в первый год адаптации 100%. Имеет декоративный внешний вид, подходящий для садового озеленения.

11. *Polystichum lonchitis* L. Roth. Многогрядник копьевидный. Сем. *Dryopteridaceae*. Сбор произведен в районе горы Айкуайвенчорр (Хибины). Зимостойкость в первый год адаптации на питомнике 100%, прирост высокий. Можно рекомендовать для выращивания как комнатное или садовое декоративно-лиственное растение.

12. *Saxifraga adenophora* K. Koch. Камнеломка железистая. Сем. *Saxifragaceae*. Сбор произведен в районе горы Куэльпорт (Хибины). Зимостойкость в первый год адаптации 100%. Можно использовать в комнатном цветоводстве, садоводстве и ландшафтном дизайне.

13. *Silene acaulis* (L.) Jacq. Смолевка бесстебельная. Сем. *Caryophyllaceae*. Сбор произведен в районе горы Куэльпорт (Хибины). Зимостойкость в первый год адаптации 100%. Распространенная садовая культура. Рекомендуется к размножению в качестве декоративного растения как на приусадебных участках, так и для создания городских ландшафтов.

14. *Thymus serpyllum* L. Тимьян ползучий. Сем. *Lamiaceae*. Сбор произведен в окрестностях села Варзуга (Терский берег). Зимостойкость 100%. Формирует красивые, густые массивы, в связи с чем рекомендуется для разведения садоводам-любителям.

15. *Veronica officinalis* L. Вероника лекарственная. Сем. *Plantaginaceae*. Сбор произведен в окрестностях села Варзуга (Терский берег). Зимостойкость 100%. Можно размножать на приусадебных участках в качестве декоративного или лекарственного растения.

Заключение

Коллекция декоративных почвопокровных и стелющихся травянистых многолетников, сформированная на Полярной опытной станции филиале ВИР, представляет собой не только коллекционный фонд декоративных многолетних растений для использования в качестве декоративных растений при озеленении населенных пунктов, но и служит для сохранения генофонда растительного мира, источником для введения в культуру новых перспективных образцов, служит маточником для размножения ценных для озеленения видов [2]. Необходимо сохранить собранные образцы, а также исследовать адаптационную способность и потенциал размножения вышеперечисленных видов. При положительном результате исследований образцы будут рекомендованы, как нетрадиционные декоративные растения, которые могут заменить более прихотливые цветочные и орнаментальные культуры и занять своё место в оформлении городских ландшафтов Кольского Заполярья, а также войдут в состав коллекционного фонда цветочно-декоративных растений ВИРА [1].

Финансирование

Работа выполнена в соответствии с государственным бюджетным проектом ВИР № 0662-2019-0004.

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

The work was carried out in accordance with the VIR state budget project No. 0662-2019-0004.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бабкова А. С. Интродукция декоративных многолетних цветковых растений в условиях Мурманской области / Бабкова А. С. // Вестник науки и образования. - Москва, 2018. - № 4 (40). Том 1. - С. 20–22.
2. Бабкова А. С. Формирование коллекционного фонда декоративных многолетних растений семейства розоцветных на Полярной опытной станции – филиале ВИР / Бабкова А. С. // Vavilovia. - 2019. - № 1, Т. 2. - С. 57–62.
3. Бабкова А.С. Перспективы формирования коллекции цветочно-декоративных растений в условиях Кольского Заполярья / Бабкова А.С.// Вестник науки и образования. - Москва, 2018. - № 7 (43). Том 2. - С. 16–18.
4. Воронин А.А. Дикорастущие декоративные многолетники для оптимизации городских ландшафтов / Воронин А.А., Комова А.В., Муковнина З.П. // Цветоводство: история, теория, практика. Материалы VII междунар. науч. конф. - Минск, 2016. - С. 286–287.
5. Ефимов С.В. Развитие коллекций декоративных растений в ботаническом саду МГУ и их значение для Российского цветоводства / Ефимов С.В., Дворцова В.В., Дацюк Е.И., Смирнова Е.В. // Цветоводство: история, теория, практика. Материалы VII междунар. науч. конф. - Минск, 2016. - С. 26–29.
6. Святковская Е.А. Анализ и пути расширения видового разнообразия ассортимента многолетних травянистых цветочных растений для озеленения урбанизированных территорий Кольской субарктики / Святковская Е.А., Тростенюк Н.Н., Салтан Н.В., Гонтарь О.Б. // Самарский научный вестник. - 2018. - № 2(23), Т.7. - С. 106–111.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Babkova A. S. Introduccia dekorativnih cvetkovih rasteniy v usloviyah Murmanskoy oblasti [Introduction of ornamental perennial flowering plants in the conditions of Murmansk region] / A.S. Babkova // Vestnik nauki i obrazovaniya [Bulletin of science and education] – 2018. - № 4 (40), 1. – P. - 20–22 [in Russian].
2. Babkova A.S. Formirovanie colleccionnogo fonda dekorativnih mnogoletnih rasteniy semeystva rozocvetnykh na Polyarnoy opytnoy stancii – filiale VIR [Formation of the representatives collection funds of ornamental perennials from Rosaceae family at VIR Branch Polar Experimental Station] / A.S. Babkova // Vavilovia - 2019. № 1, 1. - P. 57–62 [in Russian].
3. Babkova A.S. Perspektivi formirovaniya colleccii cvetochno-dekorativnih rasteniy v usloviyah Kolskogo Zapolyaria [The prospects of collection of ornamental plants in the conditions of Kola Polar Region] / A.S. Babkova// Vestnik nauki i obrazovaniya [Bulletin of science and education] – 2018. - № 7 (43), 2. – P. – 16–18 [in Russian].
4. Voronin A.A. Dikorastushie dekorativniye mnogoletnikidlya optimizacii gorodskih landshaftov [Wild ornamental perennials for optimization of urban landscapes] / A.A. Voronin, A.V. Komova, Z.P. Mukovkina // Cvetovodstvo: istoria,

teoriya, praktika. Materialy VII mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii [Proceeding of the VII international scientific conference «Floriculture: history, theory, practice»] – Minsk: 2016. – P. 286-287 [in Russian].

5. Efimov S.V. Razvitie kollekciy dekorativnyh rasteniy v botanicheskom sadu MGU i ih znachenie dlya Rossiyskogo cvetovodstva [The development of collections of the ornamental plants in the botanical garden of the Moscow state university and their importance for the Russian floriculture] / S.V. Efimov, V.V. Dvortsova, E.I. Datsuk, E.V. Smirnova // Cvetovodstvo: istoria, teoriya, praktika. Materialy VII mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii [Proceeding of the VII international scientific conference «Floriculture: history, theory, practice»] – Minsk: 2016. – P. 286-287 [in Russian].

6. Sviatkovskaya E.A. Analiz i puty rasshireniya vidovogo raznoobraziya assortimenta mnogoletnyh travyanistykh cvetochnykh rasteniy dlya ozeleneniya urbanizirovannykh territoriy Kolskoy subarktiki [Analysis and ways to expand the species diversity of the assortment of perennial herbaceous flowering plants for landscaping urban areas of the Kola Polar region] / E.A. Sviatkovskaya, N.N. Trostenyuk, N.V. Saltan, O.V. Gontar // Samarskiy nauchnyy vestnik [Samara scientific Bulletin] – 2018. № 2 (23), 7. – P. 106-111 [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.024>**ОРХИДНЫЕ (ORCHIDACEAE JUSS.) НА ТЕРРИТОРИИ БАСЕЙНА РЕКИ ИНЗЫ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ)**

Научная статья

Истомина Е.Ю. *

ORCID: 0000-0002-3748-1456,

ВО Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова; Ульяновск, Россия

* Корреспондирующий автор (istominaeyu[at]yandex.ru)

Аннотация

На территории бассейна реки Инзы отмечены 18 видов из семейства *Orchidaceae*, причём 8 (*Coeloglossum viride* (L.) C. Hartm., *Corallorhiza trifida* Chatel., *Cypripedium calceolus* L., *Cypripedium guttatum* Sw., *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Gymnadenia conopsea* (L.) R.Br., *Hammarbia paludosa* (L.) O. Kuntre., *Neottianthe cucullata* (L.) Schlechter.) известны по гербарным сборам и не были обнаружены в последние 50 лет, поэтому относятся к группе вероятно исчезнувших с данной территории. Обнаружены новые местонахождения для таких видов, как *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo, *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Schult., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichenb. Приводятся данные о численности ценопопуляций этих видов и возрастном состоянии особей. Проведение ежегодных эколого-флористических работ, направленных на изучение видов семейства *Orchidaceae*, позволит не только провести оценку состояния ценопопуляций видов на ранее известных территориях, но и осуществлять поиск новых мест произрастания с целью правильной оценки уникальности территории и природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: Приволжская возвышенность, бассейн реки Инзы, редкие виды, *Orchidaceae*.

ORCHID (ORCHIDACEAE JUSS.) ON INZA POOL TERRITORY (CENTRAL PART OF VOLGA HILL)

Research article

Istomina E.Yu. *

ORCID: 0000-0002-3748-1456,

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N.Ulyanovsk, Russia

* Corresponding author (istominaeyu[at]yandex.ru)

Abstract

Eighteen species from the *Orchidaceae* family were recorded on the territory of the Inza River basin, with 8 (*Coeloglossum viride* (L.) C. Hartm., *Corallorhiza trifida* Chatel., *Cypripedium calceolus* L., *Cypripedium guttatum* Sw., *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Gymnadenia conopsea* (L.) R.Br., *Hammarbia paludosa* (L.) O. Kuntre., *Neottianthe cucullata* (L.) Schlechter.) are known from herbarium collections and have not been discovered for the last 50 years; therefore they probably disappeared from this territory. New locations have been found for such species as *Cephalanthera rubra* (L.) Rich., *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo, *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Schult., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichenb. Data on the number of coenopopulations of these species and the age status of individuals are presented. The annual ecological and floristic work aimed at studying the species of the *Orchidaceae* family will allow not only to assess the status of coenopopulations of species in previously known territories, but also to search for new growth sites in order to correctly assess the uniqueness of the territory and environmental measures.

Keywords: Volga Upland, Inza river basin, rare species, *Orchidaceae*.

В настоящее время антропогенный прессинг прямо или косвенно испытывают все природные сообщества. Одними из первых исчезают из состава фитоценозов виды семейства *Orchidaceae* Juss. Всё больше число видов семейства переходят в категорию редких и исчезающих, поэтому охраняются они на региональном, государственном и международном уровнях. Представители этого семейства в силу своей биологии и экологии являются маркерной группой для оценки состояния растительного покрова [6]. Почти каждый вид семейства орхидные в растительном сообществе является редким. Половина (66 из 136 видов) из известных на территории Российской Федерации представителей семейства *Orchidaceae* являются редкими и включены в Красную книгу Российской Федерации [3] с категориями редкости – 1 (находящиеся под угрозой исчезновения) и 2 (сокращающиеся в численности). На территории Ульяновской области из известных 23 видов *Orchidaceae* – 15 входят в Красную книгу Ульяновской области [5]. Таким образом, в настоящее время новые местонахождения орхидных и их ценопопуляционные исследования являются актуальным направлением в научной и природоохранной деятельности.

С 2007 по 2019 годы, в рамках изучения флоры бассейна реки Инзы, нами впервые предпринята попытка обобщить полученные данные о нахождении и распространении, в том числе и представителей семейства *Orchidaceae*. Основным материалом для исследования послужили собственные полевые исследования, сведения, имеющиеся в литературе и гербарных хранилищах Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (MW), Ульяновского (UPSU), Мордовского (GMU) и Пензенского (PKM) университетов. Данные о нахождении представителей семейства *Orchidaceae* на территории бассейна р. Инзы не многочисленны и связаны с

исследованиями начала XX в. А.И. Введенского, И.И. Спрыгина, Е.Н. Новодережкина, а так же более поздними работами В.В. Благовещенского, Е.О. Бородиной и А.В. Масленникова, Т.Б. Силаевой.

Территория исследований относится к центральной части Приволжской возвышенности, бассейну реки Суры, правым притоком которой является река Инза. Площадь бассейна р. Инзы составляет 3115 км², расположенных в Ульяновской и Пензенской областях. Растительность изучаемой территории лесостепная, с преобладанием сосновых лесов. Почвообразующими породами служат пески и песчаники палеогена, поэтому преобладают песчаные почвы. В растительном покрове доминирующая роль принадлежит сосново-широколиственным и сосновым лесам. Значительные участки занимают фрагменты песчаных степей. Кроме этого характерным для района является наличие озер и болот на водораздельных пространствах, покрытых лесом [7].

Основным методом при изучении видов семейства *Orchidaceae* на территории бассейна р. Инзы является маршрутный метод и метод закладки геоботанических площадок (площадь площадки 10×10 м). Всего было заложено более 30 площадок на всей территории бассейна. На площадках определялась численность ценопопуляций согласно категориям, предложенным Л.В. Денисовой с соавторами [2]: «малочисленные (до 100 особей), средней численности (от 100 до 500) и многочисленные (свыше 500 особей)». Указывалось так же возрастное состояние особей с использованием схемы А.А. Уранова [8], согласно которой выделялись следующие возрастные группы особей: «ювенильные (j), имматурные (im), виргинильные (v), генеративные (g), сенильные (s)». Характеристика проводилась по морфометрическим показателям их надземных частей (высота растения, число листьев, длина листа, ширина листа, число жилок). Ниже приводятся местонахождения и популяционные характеристики представителей семейства *Orchidaceae*.

***Cephalanthera rubra* (L.) Rich.** – травянистый корневищный многолетник с восходящим или почти вертикальным корневищем и прямым или слегка извилистым олистивным стеблем 25-60 см высоты. Этот европейско-западноазиатский вид имеет дизъюнктивный ареал с несколькими фрагментами. Основной участок ареала охватывает центральную часть Европейской России, в том числе Приволжскую возвышенность. Распространён в широколиственных лесах и опушках, преимущественно на карбонатных почвах. Охраняется на международном уровне, та как входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания, а так же в Приложение II конвенции СИТЕС. Вид включён в Красную книгу Российской Федерации [3] (категория 3б – редкий вид с дизъюнктивным ареалом) и в Красные книги всех регионов Среднего Поволжья.

На территории бассейна р. Инзы известен в двух точках: в 6 км северо-западнее р.п. Сура Никольского района на территории памятника природы регионального значения «Инзенский массив». Леса представлены старовозрастными клено-липняками с дубом и ясенем осоково-снытевые, снытевые и папоротниково-осоково-снытевые [9].

Нами обнаружен в 3 км юго-западнее от с. Папузы Базарносызганского района на опушке сосново-березово-липового леса с дубом и кленом осоково-снытево-разнотравном. Популяция малочисленна (4 особи: 2 v; 2 g).

***Coeloglossum viride* (L.) C. Hartm.** – травянистый клубнекорневой многолетник с двураздельным клубнем с шиловидно-удлиненными концами и прямым олистивным стеблем 10-40 см высоты. Растёт на опушках, луговинах, в зарослях кустарников, по краю лесных болот на достаточно плодородной и влажной почве. В центральных районах европейской части России встречается преимущественно в нечернозёмной полосе. На территории Ульяновской области известен по сбору 1916 г. А.П. Шенникова в окрестностях с. Новый Дол Барышского района. В Пензенской области вид найден в 1916 г. А.И. Введенским и в 1927 г. И.И. Спрыгиным. За последние 50 лет на территории Ульяновской и Пензенской областей не обнаружен, поэтому считается исчезнувшим из флоры этих регионов.

Ранее на территории бассейна р. Инзы обнаружен в одном пункте А.И. Введенским в 1916 г.: окрестности села Базарная Кеньша Никольского района, светлый осиново-березовый лес (РКМ).

***Corallorhiza trifida* Chatel.** – сапрофитный многолетник с подземным корневищем, разветвлённым на короткие веточки, напоминающие коралл. Эта теневыносливая влаголюбивая сапрофитная орхидея произрастает в сырых хвойных и лиственных лесах, на сфагновых болотах, в ольшаниках и на торфяниках. На территории России встречается редко, преимущественно в лесной зоне. Входит в Приложение II конвенции СИТЕС. В Пензенской области обнаружена в Городищенском, Лунинском и Кузнецком районе [4].

В Ульяновской области и на территории бассейна р. Инзы известен по старому сбору А.И. Введенского 1916 г. в окрестностях с. Панцировка Инзенского района, на сфагновом болоте (РКМ).

***Cypripedium calceolus* L.** – короткокорневищное растение высотой 20-50 см с 3-5 широко-эллиптическими листьями. Произрастает во влажных смешанных лесах, по окраинам болот, на лесных полянах с карбонатными почвами. Встречается в европейской и азиатской частях России. Входит в список редких видов Европы [10] и приложение II конвенции СИТЕС, в Красную книгу Российской Федерации [3] с категорией 3 (R), а так же Красную книгу Ульяновской [5] и Пензенской [4] областей. В Ульяновской области встречается только в Правобережной части, в том числе в Инзенском районе. В Пензенской области отмечается в Бессоновском, Городищенском, Иссинском, Мокшанском, Никольском, Пензенском и Сосновоборском районах. Локальные популяции вида малочисленные и небольшие по площади.

На территории бассейна р. Инзы указывается в 1927 г. И.И. Спрыгиным для Никольского района: в лесу у деревни Ночка (РКМ). За последние 50 лет вид более не обнаружен.

***Cypripedium guttatum* Sw.** – многолетнее растение с длинным ползучим корневищем и опушенным стеблем 15-30 см. высотой. Произрастает в светлых смешанных и хвойных лесах, на лесных лужайках и в кустарниках, на влажной дерновой почве. Распространен в Средней России, в нечернозёмной полосе и очень редко. Этот вид резко сократил численность за последнее столетие в результате хозяйственной деятельности человека. Входит в Приложение II конвенции СИТЕС.

На территории бассейна р. Инзы отмечен в 1912 г. М.Г. Поповым у села Столыпина (Междуречье) ныне Никольского района, склон в лесу (РКМ).

***Dactylorhiza maculata* (L.) Soo** – многолетник с пальчатыми сплюснутыми клубнями и плотным стеблем 25-50 см. высотой. Этот сокращающийся в численности лесной вид, растёт на сырых светлых лесных полянах, лугах, по окраинам болот и ручьёв. В России встречается в средней полосе Европейской части. Популяции вида небольшие по площади и плотности особей. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания, в Приложение II конвенции СИТЕС, Красную книгу Ульяновской [5] и Пензенской [4] областей. На территории Ульяновской области проходит южная граница ареала. Встречается редко, отмечен в Барышском, Инзенском, Майнском районах. В Пензенской области известен в центральных и западных районах.

На территории бассейна р. Инзы встречается преимущественно в северной части. Обнаружен в 6 км северо-западнее р.п. Сура Никольского района на территории памятника природы «Инзенский массив» в широколиственном лесу [9].

По сборам Е.О. Бородиной и А.В. Масленникова, в окрестностях села Юлово Инзенского района, в смешанном лесу около болота Малое (UPSU).

Нами обнаружен в 1,5 км. восточнее села Красная Сосна Базарносызганского района, вдоль дороги в сосново-березовом папоротниково-злаково-разнотравном лесу. Популяция малочисленна (4 особи: 2 v; 2 g).

Северо-восточнее города Никольска, в сосново-широколиственном лесу с осиной и липой осоково-снытевый, папоротниково-осоково-снытевый и мятликово-осоково-разнотравный, злаково-разнотравный. Популяция малочисленна, обнаружено 2 цветущие особи и 2 виргинильные (2 v, 2 g).

В 3 км северо-западнее с. Сосновый Бор Базарносызганского района Ульяновской области, на участке разнотравного луга около болота. Популяция малочисленна (4 особи: 2 v; 2 g).

***Dactylorhiza incarnata* (L.) Soo** – клубнекорневой многолетник, высотой 20-60 см. Растёт по заболоченным лугам, сырым лесным полянам, травяным болотам. Требователен к увлажнению и свету. В России встречается в Европейской части. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания, в Приложение II конвенции СИТЕС, Красную книгу Ульяновской [5] и Пензенской [4] областей. В Ульяновской области находится на границе ареала. В Правобережной части области отмечается в Барышском, Вешкаймском, Инзенском, Карсунском, Сурском и Тереньгульском районах. В Пензенской области вид отмечен в большинстве районов, но популяции локальны и немногочисленны.

На территории бассейна р. Инзы известен по сбору 1924 г. Е.Н. Новодережкина близ станции Ночка в Никольском районе (PKM).

В окрестности села Юлово Инзенского района, на болоте Малое, собран Е.О. Бородиной и А.В. Масленниковым (UPSU).

Обнаружен входе экспедиции Т.Б. Силаевой, И.В. Кирюхиным и А.А. Чиркаевой восточнее села Аристовка Инзенского района (GMU).

***Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo** – травянистый многолетник с пальчатыми сплюснутыми клубнями, 15-65 см. высотой. Растёт в болотистых лесах, на заболоченных лугах, на травяных болотах. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания, в Приложение II конвенции СИТЕС, в Красную книгу Ульяновской области [5] как вид, сокращающийся в численности. Отмечен в Вешкайском, Инзенском, Сенгилеевском, Сурском, Павловском районах. На территории Пензенской области – по болотистым лугам и лесам в восточных районах области.

В бассейне р. Инзы встречается в 1 км. северо-восточнее города Никольска, в сосново-широколиственном лесу с осиной и липой осоково-снытевый, папоротниково-осоково-снытевый и мятликово-осоково-разнотравный, злаково-разнотравный. Популяция средней численности, обнаружено 120 цветущих особей и 40 виргинильных (160 особей: 40 v, 120 g).

В 1,5 км. юго-восточнее села Глотовка Инзенского района. Встречался небольшими группами (от 4 до 30 особей) на всём протяжении лесной дороги от села Глотовка до болота Мохового, а также на полянах и опушках сосново-широколиственного леса. Популяция средней численности (120 особей: 40 v, 80 g).

Самая многочисленная популяция вида обнаружена северо-восточнее села Дубенки Инзенского района в сосново-березово-осиновом злаково-разнотравном лесу. Популяция средней численности, отмечено около 200 цветущих особей и 50 виргинильных (250 особей: 50 v, 200 g).

***Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Schult.** – короткокорневищный травянистый многолетник с укороченным корневищем и стеблем 25-60 см. высотой. Произрастает в разреженных дубовых лесах и берёзовых рощах на перегнойно-карбонатных почвах, реже на чистом мелу. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания, в Приложение II конвенции СИТЕС, в Красные книги Ульяновской [5] и Пензенской областей [4]. Распространен в европейской части России, преимущественно в южных и западных областях Средней России и в Западной Сибири. В Пензенской области находится на северной границе ареала и отмечен в центральных и восточных районах области. В Ульяновской области встречается редко и в небольшом обилии в Правобережье области – Инзенском, Базарносызганском, Майнском, Новоспасском, Радищевском районах.

В бассейне р. Инзы известен из одного пункта: 1,3 км северо-восточнее села Папузы Базарносызганского района, в сосново-широколиственном папоротниково-разнотравном лесу. Единично, в фазе цветения.

***Epipactis helleborine* (L.) Crantz.** – травянистый многолетник с укороченным корневищем и крупными стеблями 35-100 см. высотой. Растет по тенистым листовым и смешанным лесам, а так же на сырых лугах. В России встречается в европейской части и в Сибири. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания и в Приложение II конвенции СИТЕС, поэтому необходим мониторинг за состоянием популяций этого вида.

На территории бассейна р. Инзы имеет достаточно широкое распространение. Встречается как единично или небольшими группами в сосновых, сосново-широколиственных и смешанных лесах. Известен из следующих пунктов

Инзенского района Ульяновской области: в окрестностях села Юлово; около болота Малое; севернее города Инза; юго-западнее станции Вырыпаевка; западнее села Панциревка; северо-восточнее села Забалуйка; Базарносызганского района Ульяновской области: северо-восточнее р.п. Базарный Сызган; северо-восточнее села Папузы; восточнее села Красная Сосна; северо-восточнее села Вороновка; Никольского района Пензенской области: севернее села Кенчурка; севернее села Забалуйка; восточнее города Никольск.

Самая многочисленная популяция вида обнаружена южнее села Юлово Инзенского района в сосново-березово-дубовом осоково-разнотравном лесу. Отмечено около 50 цветущих особей и 30 виргинильных (80 особей: 30 v, 50 g) на площади около 5 км².

***Epipactis palustris* (L.) Crantz** – многолетник с ползучим корневищем и стеблями 20-70 см. высотой. Встречается по сырым болотистым лугам и опушкам заболоченных лесов. В России известен по всей европейской части и в Сибири. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания и в Приложение II конвенции СИТЕС, в Красную книгу Пензенской области [4].

На территории бассейна р. Инзы известен по сбору 1916 г. А.И. Введенского близ села Аристовка Инзенского района, сырой луг в пойме р. Инзы (PKM).

***Goodyera repens* (L.) R. Br.** – травянистый многолетник с ветвистым ползучим тонким корневищем и многочисленными побегами. Стебель 8-35 см. высотой со скученными в нижней части стебля листьями. Растёт в хвойных зеленомошных лесах на лёгких почвах. В России распространен в лесном поясе европейской части, в Сибири и на Дальнем Востоке. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания и в Приложение II конвенции СИТЕС, в Красную книгу Ульяновской области [5] с категорией 1 – исчезающий вид. В Ульяновской области находится на южной границе ареала и только в бассейне р. Инзы. Известен по сбору Т.Б. Силаевой 2005 года близ села Труслейка Инзенского района (GMU). Популяция малочисленна. На площади около 1 м² отмечена небольшая группа разновозрастных особей, среди которых было несколько цветущих экземпляров.

***Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br.** – травянистый многолетник с пальчато-раздельными клубнями и полым олистным стеблем 25-50 см. высотой. Растёт на сырых лугах, полянах и опушках, среди кустарников. Требователен к гидрологическому режиму. В России в европейской части, кроме юго-востока, в Сибири и на Дальнем Востоке. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания и в Приложение II конвенции СИТЕС, в Красные книги Пензенской [4] и Ульяновской области [5]. Отмечен в Предволжье в Барышском, Радищевском, Новоспасском, Кузоватовском и Базарносызганском районах. На территории Пензенской области встречается в разреженных лесах, на лугах в восточных районах области.

На территории бассейна р. Инзы известен по сбору В.В. Благовещенского 1947 г.: южнее села Черный Ключ Базарносызганского района, бор брусничный (UPSU).

***Hammarbia paludosa* (L.) O. Kuntze.** – многолетник с тонким корневищем, ежегодно образующимся продолговато-эллиптическим клубнем, одетым листовыми влагалищами, и тонким стеблем 6-25 см. высотой. Растёт по сфагновым и осоково-сфагновым болотам, почти полностью погружена в мох, над которым возвышается лишь соцветие. В России встречается в северных районах европейской части и в Сибири. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания, в Приложение II конвенции СИТЕС, в Красную книгу Ульяновской области [5] с категорией 1 – вид, находящийся под угрозой исчезновения. В Ульяновской области находится на южной границе ареала. Отмечен в Инзенском, Кузоватовском, Николаевском, Старомайском и Тереньгульском районах.

На территории бассейна р. Инзы обнаружен В.В. Благовещенским в 1986 г. на болоте Ягодном Инзенского района (UPSU).

***Neottia nidus-avis* (L.) Rich.** – сапрофитный многолетник желтовато-бурого цвета, лишенный хлорофилла. Растение получает от нитей грибницы питательные вещества для своего роста. Стебель 20-45 см. высоты, покрыт 3-5 чешуевидными влагалищными листьями. В России встречается повсеместно в европейской части и в Сибири. Растет на рыхлых, богатых гумусом почвах по тенистым, умеренно влажным широколиственным и смешанным лесам. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания и в Приложение II конвенции СИТЕС, поэтому нуждается в постоянных мониторинговых наблюдениях за состоянием популяций.

На изучаемой территории встречается изредка, единично или небольшими группами (3-20 особей) по всему бассейну. Растёт в тенистых лиственных и смешанных лесах в местах с несомкнутым травяным покровом. Самая многочисленная популяция вида обнаружена в березово-осиново-липовом осоково-разнотравном лесу в 7 км северо-западнее р.п. Базарный Сызган одноименного района. Популяция малочисленна, отмечено около 40 цветущих особей (40 g) на площади 1,5 км².

На площади в 4 км² юго-восточнее села Глотовка Инзенского района *Neottia nidus-avis* (L.) обнаружена на тенистых участках березово-осинового осково-снытево-подмаренникового леса. Популяция малочисленна (30 особей), все особи находились в фазе цветения.

***Neottianthe cucullata* (L.) Schlechter.** – многолетник с почти шаровидным клубнем и ребристым стеблем 10-30 см. высотой. Растёт в светлых сосняках-зеленомошниках на песчаной почве. Встречается в европейской части России центральных нечернозёмных районах, в Сибири и на Дальнем Востоке. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией EN – исчезающий, в Приложение II конвенции СИТЕС, в Красную книгу РФ [3] с категорией 3 (R), в Красные книги Пензенской [4] и Ульяновской областей [5]. В Ульяновской области вид встречается преимущественно в западных районах области. В Пензенской области находится на южной границе своего ареала и имеет статус 1 – находящийся под угрозой исчезновения. Указывается для Кузнецкого, Бессоновского, Городищенского, Лопатинского, Никольского и Шемышейского районов.

На территории бассейна р. Инзы известен по старым сборам из следующих пунктов: западнее села Глотовка Инзенского района, В.В. Благовещенский, 1947 г. (UPSU). Указывается для Никольского района Пензенской области [1].

***Platanthera bifolia* (L.) Rich.** – травянистое многолетнее растение с продолговато-яйцевидным клубнем, оттянутым в шнуровидное окончание. Стебель 25-60 см. высотой с двумя сближенными продолговато-обратнояйцевидными прикорневыми листьями. Растёт в светлых лесах, на полянах и опушках. В России встречается практически во всей лесной полосе, но чаще в нечернозёмных областях. Входит в Европейский список краснокнижных сосудистых растений [10] с категорией LC – требующий внимания и в Приложение II конвенции СИТЕС, поэтому требует контроля за состоянием популяций. Численность популяций вида уменьшается в связи с сокращением и антропогенной трансформацией лесных экосистем.

На территории бассейна р. Инзы *Platanthera bifolia* распространена достаточно часто, в сосново-широколиственных, лиственных и смешанных лесах, на лесных полянах и опушках. Популяции малочисленны, по 10-50 растений. В четырёх местообитаниях нами проведены популяционные исследования.

Юго-восточнее села Глотовка Инзенского района на площади 2 км² обнаружена малочисленная популяция *Platanthera bifolia*. Найдено 30 особей в стадии цветения (30 г).

В 1,5 км южнее станции Вырыпаевка Инзенского района, в сосново-березовом разнотравном лесу на площади 1 км² зарегистрирована популяция *Platanthera bifolia*. Обнаружено 40 цветущих особей и 20 виргинильных (60 особей: 20 в, 40 г).

Северо-восточнее села Дубенки Инзенского района в сосново-березовом злаково-разнотравном лес обнаружено около 40 цветущих особей и около 20 виргинильных (60 особей: 20 в, 40 г).

На территории «Базарносызганского государственного охотничьего заказника» в 1,5 км. севернее р.п. Базарный Сызган в сосново-березово-осиновом разнотравном лесу найдена небольшая по численности популяция *Platanthera bifolia*. Нами отмечено 30 цветущих особей, 15 виргинильных и 8 сенильных (53 особи: 15 в, 30 г, 8 с).

***Platanthera chlorantha* (Cust.) Reichenb.** – многолетник с продолговато-яйцевидным клубнем, имеющим внизу тонкое удлинённое окончание и стеблем, высотой 30-60 см. с двумя эллиптическими тупыми прикорневыми листьями. Растёт в лесах с богатой умеренно увлажнённой почвой. В России встречается в центральных и западных районах европейской части. Входит в Приложение II конвенции СИТЕС.

Вид встречается изредка по всему бассейну р. Инзы в смешанных и лиственных лесах. Известна из следующих пунктов: между городом Инза и селом Труслейка Инзенского района (GMU); близ села Кенчурка Никольского района, правый берег р. Инзы (GMU). Нами обнаружена небольшая популяция *Platanthera chlorantha* в 1,5 км северо-восточнее села Юлово Инзенского района. На площади около 10 м² найдено 20 цветущих растений.

Таким образом, растительный покров изучаемой территории, как и всего Среднего Поволжья, претерпел значительные изменения. Резкое сокращение площади лесов привело к сокращению численности популяций многих растений и животных. Эти изменения отразились на распространении видов семейства *Orchidaceae*. На территории бассейна р. Инзы из отмеченных 18 видов этого семейства – 8 видов не были обнаружены в последние 50 лет, поэтому относятся к группе вероятно исчезнувших с данной территории. Проведение ежегодных эколого-флористических работ, направленных на изучение видов семейства *Orchidaceae*, позволит не только провести оценку состояния ценопопуляций видов на ранее известных территориях, но и осуществлять поиск новых мест произрастания с целью правильной оценки уникальности данных территорий и природоохранных мероприятий.

Финансирование

Статья подготовлена в рамках Договора № 04/2019-Р о предоставлении гранта Всероссийской общественной организацией «Русское географическое общество».

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

This work was conducted within the framework of Agreement No. 04/2019-R on the grant from the All-Russian Public Organization Russian Geographical Society.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Васюков В.М. Растения Пензенской области (конспект флоры) / В.М. Васюков. – Пенза, 2004. – 184 с.
2. Денисова Л.В., Никитина С.В., Заугольнова Л.Б. Программа и методика наблюдений за ценопопуляциями видов растений Красной книги СССР / Л.В. Денисова, С.В. Никитина, Л.Б. Заугольнова. – М.: Госагропром, 1986. – 36 с.
3. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). – М.: Тв-во науч. изд. КМК, 2008. – 855 с.
4. Красная книга Пензенской области. Т.1: Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения / под ред. А.И. Иванова. 2-изд. – Пенза, 2013. – 300 с.
5. Красная книга Ульяновской области / под науч. ред. Е.А. Артемьевой, А.В. Масленникова, М.В. Корепова; Правительство Ульяновской области. – Москва: Изд-во «Буки Веди», 2015. – 550 с.
6. Силаева Т.Б. Орхидные (*Orchidaceae* Juss.) на северо-западе Ульяновской области / Т.Б. Силаева, И.В. Кирюхин, Е.В. Письмаркина // Экология и география растений и сообществ Среднего Поволжья. – Тольятти: Кассандра, 2014. – С. 367-371.
7. Ступишин А.В. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / А.В. Ступишин. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1964. – С. 122-124.
8. Уранов А.А. Онтогенез и возрастной состав популяций цветковых растений / А.А. Уранов. – М.: Наука, 1967. – С. 3-8.
9. Чистякова А.А. Широколиственные леса / А.А. Чистякова // Международный инновационный проект «Ноополис Луговой». Т. 1: Проблемы экологической реабилитации природной среды русской деревни. Коллективная монография. – М.: Научная книга, 2002. – С. 30-41.

10. Bilz M. European Red List of Vascular Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union / Bilz M., Kell S.P., Maxted N., Lansdown R.V. 2011. – 130 p.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vasyukov V.M. Rasteniya Penzenskoy oblasti (konspekt flory) [Plants of Penza region (compendium of flora)] / V.M. Vasyukov. – Penza, 2004. – 184 p. [in Russian]
2. Denisova L.V., Nikitina S.V., Zagol'gova L.B. Zaigol'nova L.B. Programma i metodika nablyudeniya za tsenopopulyatsiyami vidov rasteniy Krasnoy knigi SSSR [Program and methodology for observing cenopopulations of plant species of Red Book of USSR] / L.V. Denisova, S.V. Nikitina, L.B. Zagolova. – M.: Gosagroprom, 1986. – 36 p. [in Russian]
3. Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby) [Red Book of Russian Federation (plants and mushrooms)]. – M.: Tov. nauch. publishing house. KMK, 2008. – 855 p. [in Russian]
4. Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. T.1: Griby, lishayniki, mshi, sosudistyye rasteniya [Red Book of Penza Region. V.1: Mushrooms, lichens, mosses, vascular plants] / Ed. by A.I. Ivanov. 2-ed. – Penza, 2013. – 300 p. [in Russian]
5. Krasnaya kniga Ul'yankovskoy oblasti [Red Book of Ulyanovsk Region] / Ed. by E.A. Artemyev, A.V. Maslennikov, M.V. Korepov; Government of the Ulyanovsk region. – Moscow: Buki Vedi Publishing House, 2015. – 550 p. [in Russian]
6. Silaeva T.B., Kiryukhin I.V., Pismarkina E.V. Orkhidnyye (Orchidaceae Juss.) na severo-zapade Ul'yankovskoy oblasti [Orchidaceae (Orchidaceae Juss.) in the North-west of the Ulyanovsk region] / T.B. Silaeva, I.V. Kiryukhin, E.V. Pismarkina // Ekologiya i geografiya rasteniy i soobshchestv Srednego Povolzh'ya [Ecology and geography of plants and communities of the Middle Volga]. – Tolyatti: Kassandra, 2014. – P. 367-371. [in Russian]
7. Stupishin A.V. Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye Srednego Povolzh'ya [Physical and geographical zoning of the Middle Volga region] / A.V. Stupishin. – Kazan: Publishing house of Kazan University, 1964. – P. 122-124. [In Russian]
8. Uranov A.A. Ontogenez i vozrastnoy sostav populyatsiy tsvetkovykh rasteniy [Ontogenesis and age composition of flowering plant populations] / A.A. Uranium. – M.: Nauka, 1967. – P. 3-8. [in Russian]
9. Chistyakova A.A. Shirokolistvennyye lesa [Broad-leaved forests] / A.A. Chistyakova // Mezhdunarodnyy innovatsionnyy proyekt «Noopolis Lugovoy». V. 1: Problemy ekologicheskoy reabilitatsii prirodnoy sredy russkoy derevni. Kollektivnaya monografiya [International innovation project “Noopolis Lugovoi”. V. 1: Problems of ecological rehabilitation of the natural environment of the Russian countryside. Collective monograph]. – M.: Scientific book, 2002. – P. 30-41. [in Russian]
10. Bilz M., Kell S.P., Maxted N., Lansdown R.V. European Red List of Vascular Plants. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. – 130 p.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.025>

МИКСОПЛОИДНОСТЬ СОРТА ВИНОГРАДА АВРОРА МАГАРАЧА

Научная статья

Клименко В.П.*

ORCID: 0000-0002-7452-0776,

Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач»,
Ялта, Россия

* Корреспондирующий автор (vikpaulklim[at]mail.ru)

Аннотация

Целью данной работы является оценка встречаемости клеток с отклонением от диплоидности в меристематической ткани растений сорта винограда Аврора Магарача. Всего исследовали 6812 клеток. В ткани растений сорта Аврора Магарача, в отличие от исходного сорта Совиньон зеленый, наблюдали миксоплоидию. В меристематической ткани растений встречали и учитывали триплоидные клетки с числом хромосом $3n = 57$. Средняя частота триплоидных клеток в наблюдениях составила 0,64, частота варьировала в зависимости от группы наблюдения, от 22,1 до 98,2 %. Вариация объясняется встречающейся у винограда химерностью.

Ключевые слова: виноград, митоз, миксоплоидия, триплоид, химерность.

MIXOPLOIDY OF GRAPE VARIETY AURORA MAGARACH

Research article

Klimenko V.P.*

ORCID: 0000-0002-7452-0776,

All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach", Yalta, Russia

* Corresponding author (vikpaulklim[at]mail.ru)

Abstract

The evaluation of the emergence of cells with the deviation from diploidy in the meristematic tissue of plants of the grape variety Aurora Magarach was the aim of this work. A total of 6812 cells were examined. The mixoploidy in the plant tissue of the variety Aurora Magarach was observed, in contrast to the initial variety Sauvignon Vert. Triploid cells with a chromosome number of $3n = 57$ were met and taken into account in the meristematic tissue of plants. The average frequency of triploid cells in the observations was 0.64, the frequency varied depending on the group of observations, from 22.1 to 98.2%. The variation is explained by the chimera encountered in grapes.

Keywords: grape, mitosis, mixoploidy, triploid, chimera.

Introduction

For a long time, there was the unreasonably little work on mutagenesis, polyploidy and cytogenetics of grapes. According to the development of embryo rescue technologies, modern cytogenetic and molecular genetic methods, the number of studies in this area has increased significantly; these approaches are used in breeding and implemented as new varieties. The most important results were obtained in the creation and study of triploids.

Interploid crossings have led to the appearance of many grape triploid hybrids and varieties [1]. An effective system for the breeding of triploid seedless grapes was created using embryo rescue [2]. The study of the influence of the level of ploidy on the formation of parthenocarpic berries in diploid and tetraploid grape varieties led to the assumption that the development of seedless berries can be enhanced by increasing the level of ploidy from diploid to tetraploid [3]. The results of reciprocal crosses indicated that the yield promising triploids decreased when tetraploid varieties used as the maternal forms [4]. The study of the inheritance of sugar and organic acids in berries according to the tetraploid \times diploid variety crossing scheme showed that the sugar content turned out to be additive with increasing ploidy level, the total acid content decreased with increasing ploidy level [5]. Certain progress has been achieved in endosperm culture to obtain triploid plants [6]. A cytogenetic analysis of grape plants obtained from embryoids in a tissue culture made it possible to establish the presence of mixoploidy [7], [8]. Triploid plants are of great economic importance and are promising for the creation of new plant varieties. Due to the rapid progress in DNA sequencing technology, triploids may be the focus of genomic research in the future and create unprecedented opportunities for the monitoring of genomic changes in unbalanced genomes [9, P. 49].

Despite the successful results obtained, studies on polyploidy and cytogenetics of grapes in Russia have not yet reached an acceptable scale and level [10]. Some new grape varieties were obtained using induced mutagenesis and polyploidy. The known grape variety Aurora Magarach was obtained as a result of treating stratified seeds of random pollination of Sauvignon Vert by the mutagen ethyleneimine at a concentration of 0.05% [11, P. 101–106]. A cytogenetic analysis of this variety has not yet been performed.

The evaluation of the emergence of cells with the deviation from diploidy in the meristematic tissue of plants of the grape variety Aurora Magarach was the aim of this work.

Methods

The plants of variety Sauvignon Vert of species *Vitis vinifera* Linn. and variety Aurora Magarach, the complex interspecific hybrid of the genus *Vitis* (Tournef.) Linn., were the material for cytogenetic research. A total of 9 groups of observations were made. Laboratory studies were carried out at the Institute "Magarach", Yalta, in 2015-2018. The cytogenetic analysis was carried out according to the recommended methods for grape [12, P. 37–42]. The 3-5 mm long roots of sprouted shortened cuttings were used as objects; the meristem of the root apex was examined. The 3-5 temporal acetocarmine

preparations were made for each variant. The XSP-146TP biological microscope ("Ulab", TM), the Granum DC 1300 video camera ("NVL Granum", Ltd.), and the Canon Powershoot A620 digital camera ("Canon", Inc.) were used for cytogenetic analysis. A total of 6812 root meristematic cells of grape were examined. The mitotic index was calculated as the proportion of cells dividing in mitosis from the total number of analyzed cells. The proportion of cells deviating from diploidy was calculated as the ratio of the number of cells with this type of ploidy to the total number of cells in metaphase and expressed as a percentage.

The statistical processing of data was carried out according to common accepted methods [13, P. 37–45, 111–127] using the analytics software package Statistica 10 ("StatSoft", Inc.). Experiments were carried out in 3 replicates. The mean (M) and standard deviations (\pm SD) were calculated and presented in the table. The significance of the difference between the variants was evaluated using Student's t-test. Differences between variants were considered statistically significant at a confidence level of $p \leq 0.05$.

Results

All stages of mitosis were observed during cytogenetic experiments. A total of 2473 cells were found in the division state (see table 1). The mitotic index varied significantly.

The mixoploidy in the meristematic plant tissue of the variety Aurora Magarach was observed, in contrast to the initial variety Sauvignon Vert. Triploid cells with a chromosome number of $3n = 57$ were met and taken into account in the meristematic tissue of plants (see figure 1).

A total of 2217 cases of deviations from diploidy were observed, the frequency of deviations varied depending on the observation group. The variation is explained by the chimera encountered in grapes. Most triploid cells were observed in the observation group 2.

Table 1 – The results of evaluation of the deviation from diploidy in grape varieties Sauvignon Vert and Aurora Magarach ($M \pm SD$, Laboratory of Institute "Magarach", Yalta, 2015-2018)

Observation group	Deviations from diploidy in variety Sauvignon Vert			Deviations from diploidy in variety Aurora Magarach		
	number of cells, PC.	mitotic index, %	triploid cells, %	number of cells, PC.	mitotic index, %	triploid cells, %
1	343	36.2 \pm 0.4	0	308	33.4 \pm 0.5	49.8 \pm 2.4
2	379	18.8 \pm 0.4	0	301	49.7 \pm 0.5	98.2 \pm 2.0
3	330	34.3 \pm 0.4	0	342	41.7 \pm 0.4	86.7 \pm 2.1
4	365	22.5 \pm 0.4	0	323	48.5 \pm 0.4	58.8 \pm 2.0
5	374	28.7 \pm 0.4	0	304	46.5 \pm 0.5	22.1 \pm 2.1
6	331	41.1 \pm 0.4	0	317	47.2 \pm 0.4	81.3 \pm 2.0
7	301	36.4 \pm 0.5	0	513	46.8 \pm 0.3	48.2 \pm 1.6
8	431	26.9 \pm 0.3	0	361	31.6 \pm 0.4	66.7 \pm 2.3
9	486	32.7 \pm 0.3	0	703	29.7 \pm 0.5	68.2 \pm 2.4

Notes: values have statistically significant differences at $p \leq 0.05$

Discussion

Earlier studies of the morphological features of tetraploid and triploid grape hybrids showed that the leaves of them, compared with diploid plants, are more solid, very large and dense, intense green color, with pointed teeth [12, P. 180–198]. Triploidy increases the size of somatic cells and the number of chloroplasts, which leads to increased photosynthesis and resistance to stress [6], [9, P. 43]. Therefore, many triploid plants are more vigorous than their diploid prototypes, and have wide, thick, dark green leaves. Studies have shown that the thickness of the leaf spongy tissue of the mutant is greater than that of the original variety, and the differences are significant [14]. Seeds obtained from triploids are generally not viable [12, P. 215-226]. In cases where some seeds germinated, the set of chromosomes in seedlings was diploid.

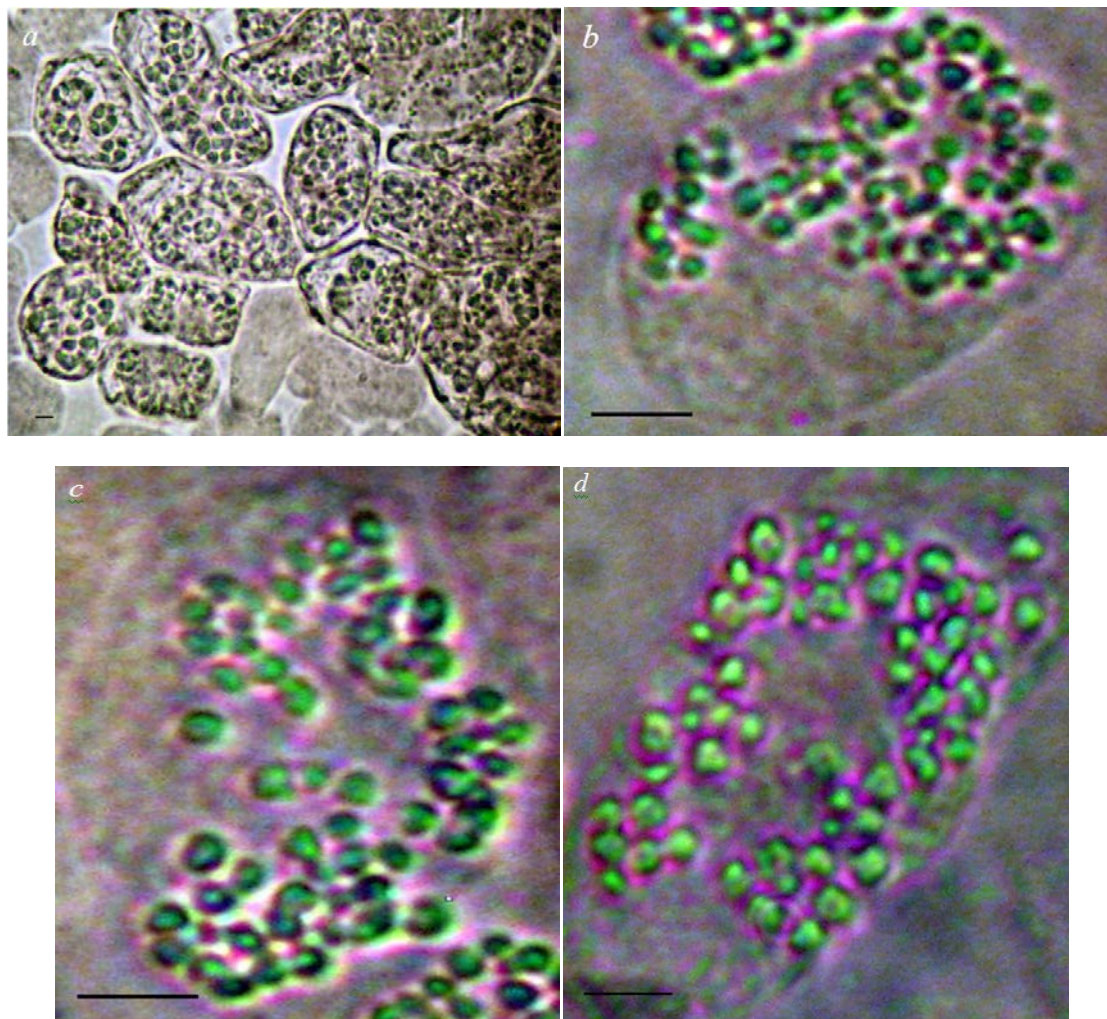


Fig. 1 – Mixoploidy in the meristematic tissue of plants of the grape variety Aurora Magarach: *a* – a group of mixoploid cells; *b, c, d* – triploidy ($3n=57$)
Notes: scale – 5 μm

Variety Aurora Magarach differs from the initial variety Sauvignon Vert by vigor vines, larger clusters and larger berries, as well as resistance to diseases and pests. These properties could be used in the grape breeding, but the viability of the offspring of mutants and polyploids is low [15, P. 49]. The leaf of this variety is rather large, very dense, weakly dissected, lateral clippings are small and medium, open, barely marked. The teeth on the edge of the leaf are small and pointed. The lamina is smooth, shiny and very dense, dark green color persists until defoliation. Therefore, the characteristic of the variety Aurora Magarach largely corresponds to the features of triploid forms of grapes.

It is not always possible to determine whether the plant is triploid or chimera. Mixoploid chimeras are one of the common results of interploid crosses or endosperm culture [9, P. 49]. In most cases, somatic mutations do not affect the whole plant; rather, they act on only one cell layer, leading to periclinal chimeras [16]. These structures are stable during vegetative propagation.

One of the features of the variety Aurora Magarach is the presence of a well-defined yellowish leaf edging, what is typical for metabolic disorders of magnesium in some grape varieties and may be due to genetic reasons. Variety Welschriesling is known for similar symptoms of inefficient assimilation of magnesium. Based on the analysis of the offspring from the Welschriesling \times Sirius crossing, a genetic linkage map was constructed, which made it possible to identify the loci of signs associated with the visual manifestation of magnesium deficiency and its content in leaves [17]. Genetic factor is one of the most important reasons for the lack of chlorophyll pigments and chloroplast membranes in plants [18]. Advances in the study of the fundamental principles of magnesium metabolism are necessary to improve the diagnosis of stress and selection using genetic markers.

Conclusion

Thus, the mixoploidy in the meristematic plant tissue of the variety Aurora Magarach was observed, in contrast to the parental variety Sauvignon Vert. The average frequency of triploid cells in the observations was 0.64. The results obtained can be used in the grape practical breeding for creating new varieties. In the future, the possibility of overcoming the lethality of generative offspring of the variety Aurora Magarach related to mixoploidy will be studied, using biotechnological methods.

Финансирование

Работа выполнена как поисковое исследование.

Благодарности

Автор выражает искреннюю признательность к.б.н., доценту В. Ф. Безрукову за инспирацию данной работы.

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

This work was carried out as exploratory research.

Acknowledgement

The author thanks V. F. Bezrukov, Ph.D., associate professor, for the inspiration of this work.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Yamada M. Advances in table grape breeding in Japan / M. Yamada, A. Sato // *Breeding Science*. – 2016). – Vol. 66 (1). – pp. 34–45. doi: 10.1270/jsbbs.66.34.
2. Ji W. *In vitro* embryo rescue culture of F₁ progenies from crosses between different ploidy grapes / W. Ji, G. R. Li, Y. X. Luo and others // *Genetics and Molecular Research*. – 2015. – Vol. 14 (4). – pp. 18616–18622. doi: 10.4238/2015.
3. Sarikhani H. Effect of ploidy on parthenocarpy in grape cultivars / H. Sarikhani, A. Wakana // *Acta Horticulturae*. – 2009. – Vol. 827. – pp. 433–438. doi: 10.17660/ActaHortic. 2009. 827.74.
4. Sun L. The study of triploid progenies crossed between different ploidy grapes / L. Sun, G. Zhang, A. Yan and others // *African Journal of Biotechnology*. – 2011. – Vol. 10 (32). – pp. 5967–5971. doi: 10.5897/AJB10.1850.
5. Liang Z. Inheritance of sugar and acid contents in the ripe berries of a tetraploid × diploid grape cross population / Z. Liang, M. Sang, A. Ma and others // *Euphytica*. – 2011. – Vol. 182. – pp. 251–259. doi: 10.1007/s10681-011-0487-x.
6. Thomas Th.D. Endosperm culture: a novel method for triploid plant production / Th. D. Thomas, R. Chaturvedi // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 2008. – Vol. 93. – pp. 1–14. doi: 10.1007/s11240-008-9336-6.
7. Марченко А. О. Соматический эмбриоидогенез в культуре ткани винограда / А. О. Марченко, П. Я. Голодрига, В. П. Клименко и др. // *Физиология и биохимия культурных растений*. – 1987. – Т. 19, № 4. – С. 408–411.
8. Klimenko V. P. Pathological Mitosis and Mixoploidy in the Meristematic Tissues of Grape Plant / V. P. Klimenko // *Russian Journal of Developmental Biology*. – 2019. – Vol. 50(2). – pp. 31–38. doi: 10.1134/S1062360419020024.
9. Wang X. Breeding Triploid Plants: A Review / X. Wang, Z.-M. Cheng, Sh. Zhi and others // *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. – 2016. – Vol. 52(2). – pp. 41–54. doi: 10.17221/151/2015-CJGPB.
10. Зленко В. А. Оптимизация методологии получения полиплоидных растений из почек винограда в культуре тканей *in vitro* / В. А. Зленко, В. В. Лиховской, В. А. Волюнкин и др. // «Магарач». Виноградарство и виноделие. – 2017. – №1. – С. 3–5.
11. Киреева Л. К. Новые методы в селекции винограда / Л. К. Киреева. – Ялта: ВНИИВиП «Магарач», 1991. – 134 с.
12. Топале Ш. Г. Кариология, полиплоидия и отдаленная гибридизация винограда / Ш. Г. Топале. – Кишинев: Ботанический сад АНМ, 2008. – 507 с.
13. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
14. Guo D. Histological and Molecular Characterization of Grape Early Ripening Bud Mutant / D. Guo, Y. Yu, F. Xi and others // *International Journal of Genomics*. – 2016. – Vol. 2016(4). – pp. 1–7. doi: 10.1155/2016/5620106.
15. Клименко В. П. Генетические основы создания сортов винограда при участии источников ценных признаков с низкой фертильностью / В. П. Клименко, И. А. Павлова // «Магарач». Виноградарство и виноделие. – 2015. – № 3. – С. 47–49.
16. Pelsy F. Molecular and cellular mechanisms of diversity within grapevine varieties / F. Pelsy // *Heredity*. – 2010. – Vol. 104(4). – pp. 331–340. doi: 10.1038/hdy.2009.161.
17. Mandl K. A genetic map of Welschriesling × Sirius for the identification of magnesium-deficiency by QTL analysis / K. Mandl, J. L. Santiago, R. Hack and others // *Euphytica*. – 2006. – Vol. 149(1-2). – pp. 133–144. doi: 10.1007/s10681-005-9061-8.
18. Kumari M. Albinism in plants: A major bottleneck in wide hybridization, androgenesis and doubled haploid culture. Critical Review / M. Kumari, J. C. Heather, S. Ian and others // *Critical Reviews in Plant Science*. – 2009. – Vol. 28. – pp. 393–409. doi: 10.1080/07352680903133252.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yamada M. Advances in table grape breeding in Japan / M. Yamada, A. Sato // *Breeding Science*. – 2016). – Vol. 66 (1). – pp. 34–45. doi: 10.1270/jsbbs.66.34.
2. Ji W. *In vitro* embryo rescue culture of F₁ progenies from crosses between different ploidy grapes / W. Ji, G. R. Li, Y. X. Luo and others // *Genetics and Molecular Research*. – 2015. – Vol. 14 (4). – pp. 18616–18622. doi: 10.4238/2015.
3. Sarikhani H. Effect of ploidy on parthenocarpy in grape cultivars / H. Sarikhani, A. Wakana // *Acta Horticulturae*. – 2009. – Vol. 827. – pp. 433–438. doi: 10.17660/ActaHortic. 2009. 827.74.
4. Sun L. The study of triploid progenies crossed between different ploidy grapes / L. Sun, G. Zhang, A. Yan and others // *African Journal of Biotechnology*. – 2011. – Vol. 10 (32). – pp. 5967–5971. doi: 10.5897/AJB10.1850.
5. Liang Z. Inheritance of sugar and acid contents in the ripe berries of a tetraploid × diploid grape cross population / Z. Liang, M. Sang, A. Ma and others // *Euphytica*. – 2011. – Vol. 182. – pp. 251–259. doi: 10.1007/s10681-011-0487-x.
6. Thomas Th.D. Endosperm culture: a novel method for triploid plant production / Th. D. Thomas, R. Chaturvedi // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. – 2008. – Vol. 93. – pp. 1–14. doi: 10.1007/s11240-008-9336-6.
7. Marchenko A. O. Somaticheskij jembrioidogenez v kul'ture tkani vinograda [Somatic embryoidogenesis in grape tissue culture] / A. O. Marchenko, P. Ya. Golodriga, V. P. Klimenko and others // *Fiziologiya i biokhimiya kulturnyh rastenij* [Physiology and biochemistry of cultivated plants]. – 1987. – Vol. 19 (4). – pp. 408–411. [in Russian]

8. Klimenko V. P. Pathological Mitosis and Mixoploidy in the Meristematic Tissues of Grape Plant / V. P. Klimenko // Russian Journal of Developmental Biology. – 2019. – Vol. 50(2). – pp. 31–38. doi: 10.1134/S1062360419020024.
9. Wang X. Breeding Triploid Plants: A Review / X. Wang, Z.-M. Cheng, Sh. Zhi and others // Czech Journal of Genetics and Plant Breeding. – 2016. – Vol. 52(2). – pp. 41–54. doi: 10.17221/151/2015-CJGPB.
10. Zlenko V.A. Optimizacija metodologii poluchenija poliploidnyh rastenij iz pochk vinograda v kul'ture tkanej *in vitro* [Optimization of the methodology for producing polyploid plants from grape buds in an *in vitro* tissue culture] / Zlenko V. A., Lihovskoj V. V., Volynkin V. A. and others // "Magarach". Vinogradarstvo i vinodelie ["Magarach". Viticulture and winemaking]. – 2017. – № 1. – pp. 3–5. [in Russian]
11. Kireeva L. K. Novye metody v selekcii vinograda [New methods in the grape breeding] / L. K. Kireeva. – Yalta: VNIIViPP "Magarach" [ASIIIVaPP "Magarach"], 1991. – 134 p. [in Russian]
12. Topale Sh.G. Kariologiya, poliploidiya i otdalennaya gibridizaciya vinograda [Karyology, Polyploidy, and Distant Hybridization in Grapevine] / Sh. G. Topale. – Chisinau: Botanicheskiy sad ANM [Botanical Garden of the ASM], 2008. – 507 p. [in Russian]
13. Lakin G. F. Biometriya [Biometry] / G. F. Lakin. – Moscow: Vysshaya shkola [Graduate School], 1990. – 352 p. [in Russian]
14. Guo D. Histological and Molecular Characterization of Grape Early Ripening Bud Mutant / D. Guo, Y. Yu, F. Xi and others // International Journal of Genomics. – 2016. – Vol. 2016(4). – pp. 1–7. doi: 10.1155/2016/5620106.
15. Klimenko V. P. Geneticheskie osnovy sozdaniya sortov vinograda pri uchastii istochnikov cennykh priznakov s nizkoj fertil'nost'yu [Genetic basis for the creation of grape varieties with the participation of sources of valuable traits with low fertility] / V. P. Klimenko, I. A. Pavlova // "Magarach". Vinogradarstvo i vinodelie ["Magarach". Viticulture and winemaking]. – 2015. – № 3. – pp. 47–49. [in Russian]
16. Pelsy F. Molecular and cellular mechanisms of diversity within grapevine varieties / F. Pelsy // Heredity. – 2010. – Vol. 104(4). – pp. 331–340. doi: 10.1038/hdy.2009.161.
17. Mandl K. A genetic map of Welschriesling × Sirius for the identification of magnesium-deficiency by QTL analysis / K. Mandl, J. L. Santiago, R. Hack and others // Euphytica. – 2006. – Vol. 149(1-2). – pp. 133–144. doi: 10.1007/s10681-005-9061-8.
18. Kumari M. Albinism in plants: A major bottleneck in wide hybridization, androgenesis and doubled haploid culture. Critical Review / M. Kumari, J. C. Heather, S. Ian and others // Critical Reviews in Plant Science. – 2009. – Vol. 28. – pp. 393–409. doi: 10.1080/07352680903133252.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.026>**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ СЕНСОМОТОРНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ОТ МОМЕНТА ПРЕДЪЯВЛЕНИЯ СЕНСОРНОЙ ПОРОГОВОЙ СТИМУЛЯЦИИ, СИНХРОНИЗИРОВАННОЙ С ЗАДАННОЙ ФАЗОЙ ДОМИНИРУЮЩЕГО ФОНОВОГО РИТМА ЭЭГ ЧЕЛОВЕКА.**

Научная статья

Пушкин А.А.^{1,*}, Мелещенко Е.А.²¹ ORCID: 0000-0002-9412-9475;² ORCID: 0000-0002-9230-8293;^{1,2} Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия

* Корреспондирующий автор (artyompushkin[at]yandex.ru)

Аннотация

На 22 практически здоровых обследуемых обоего пола показано, что фотостимуляция, синхронизованная с восходящими фазами альфа-волн, вызывает статистически значимое снижение мощности в альфа-частотном диапазоне по сравнению с фоном. Было установлено, что зрительные стимулы, подаваемые на нисходящей фазе альфа-волн, приводят к росту показателя мощности частот тета- и альфа-ритмов по сравнению с фоном. Показана зависимость латентного периода сенсомоторной реакции от фазы потенциала альфа-волны.

Ключевые слова: фазозависимое влияние, сенсорная стимуляция, сенсомоторная интеграция, пейсмекерный альфа-ритм ЭЭГ.

RESEARCH OF DEPENDENCE OF SENSOMOTOR INTEGRATION SPEED ON PRESENTATION TIME OF TOUCH THRESHOLD STIMULATION SYNCHRONIZED WITH PRESENT PHASE OF HUMAN EEG BACKGROUND RHYTHM

Research article

Pushkin A.A.^{1,*}, Meleshenko E.A.²¹ ORCID: 0000-0002-9412-9475;² ORCID: 0000-0002-9230-8293;^{1,2} Academy of Biology and Biotechnology named after D. I. Ivanovsky, SFU, Rostov-on-Don, Russia

* Corresponding author (artyompushkin [at] yandex.ru)

Abstract

22 healthy subjects of both sexes showed that photostimulation synchronized with the ascending phases of alpha waves causes a statistically significant decrease in power in the alpha frequency range compared to the background. It was found that visual stimuli given in the descending phase of alpha waves lead to an increase in the power index of the frequencies of theta and alpha rhythms compared to the background. The dependence of the latent period of the sensorimotor reaction appeared to depend on the phase of the alpha-wave potential.

Keywords: phase-dependent effect, sensory stimulation, sensorimotor integration, pacemaker alpha-rhythm of the EEG.

Введение

Фаза ритмической составляющей электроэнцефалограммы (ЭЭГ) является одним из главных параметров биоэлектрической активности, определяющих общую интегративную деятельность головного мозга человека. В частности установлено, что фаза альфа-ритма, от которой зависит момент перцепции [1], [2], отражает циклические флуктуации процесса возбуждения нейронных ансамблей [3], [4], [5].

Показано, что фаза альфа-ритма, т.е. цикл ЭЭГ [6], модулирует когнитивные процессы. Так, согласно литературным сведениям, осознание и идентификация подпороговых стимулов строго зависит от фазового параметра альфа-ритма [11], [12]. Экспериментально доказано, что от фазы альфа-волны также зависит распознавание формы геометрических фигур [12], букв алфавита [13], аудиальных стимулов [14], скорость простой сенсомоторной реакции [12], [14] и амплитуда потенциалов, связанных с событием [15], [16], [17].

Однако эти оригинальные работы имеют, с нашей точки зрения, ключевой методический недостаток, состоящий в организации синхронизации стимула с фазой α -волны сугубо лишь по достижению заданного экспериментатором амплитудного порога, что, в итоге, не может гарантировать подачу стимула строго в фазу волны выбранной частотной полосы. В связи с этим, отличительной особенностью настоящего исследования от вышеупомянутых является фактор частотно-фазовой синхронизации внешних стимулов с эндогенной активностью в α -частотной полосе, поскольку, как нам представляется, именно от него существенно зависят особенности постстимульных модификаций пластических изменений ритмической активности головного мозга.

Таким образом, задача настоящего исследования заключалась в изучении зависимости скорости сенсомоторной интеграции от момента предъявления сенсорной пороговой стимуляции, синхронизированной с заданной фазой доминирующего фонового ритма ЭЭГ человека.

Методы исследования

В электрофизиологическом исследовании приняли участие 22 добровольца в возрасте от 18 до 30 лет (14 мужчин и 8 женщин, средний возраст составил 24.40 ± 6.23). Добровольцы отбирались по критерию представленности высокоамплитудных альфа-волн в окципитальных областях. В рамках экспериментальной парадигмы фазозависимой сенсомоторной реакции человека было выполнено 44 ЭЭГ-исследования.

Анализ влияния сенсорной афферентации, сопряженной в режиме “real time” с необходимыми, свойственными для конкретного добровольца, фазами альфа-потенциалов на процессы длительных перестроек фонового ритмогенеза головного мозга человека и скорость сенсомоторной реакции осуществлялся при одномоментном использовании двух усилителей биоэлектрической активности мозга человека. Для идентификации требуемого частотного диапазона и определения фазы для синхронизации визуального стимула в режиме “real time” применялся аналоговый восьмиканальный усилитель потенциалов «Биоскрипт БСТ-112» (Германия). Регистрирующиеся биопотенциалы с выхода БСТ-112 подавались на вход блока обработки параметров ЭЭГ и управления стимулирующими воздействиями (БОиУ).

Экзогенная афферентация подавалась в определенную фазу потенциала альфа-ритма, если БОиУ находил полное сходжение характеристик (частота, амплитуда, фаза) потенциалов волн мозга с мгновенными значениями опорного синусоидального сигнала Баттерворда.

Регистрирующий электрод, используемый для регистрации фаз потенциалов альфа-ритма при управляемой от фазы сенсорной стимуляции (триггерной стимуляции), располагался над правой окципитальной областью (О2). Сенсорные экзогенные стимулы, представлявшие собой диффузные вспышки света продолжительностью в 50 мкс и с энергией 35 Дж, подавались на восходящей или нисходящей фазах биопотенциалов (в зависимости от этапа исследования), соответствующих индивидуально доминирующей частоте альфа-ритма. Необходимую частоту выявляли по результатам спектрального анализа 30-секундных эпох ЭЭГ, зафиксированных при помощи аналогового биоусилителя «БСТ-112». Далее сенсорный стимул подавался на восходящие или нисходящие фронты фаз потенциалов фоновых альфа-волн ЭЭГ человека с пороговым значением амплитуды альфа-волн не менее 100 мкВ. В итоге, каждому добровольцу предъявлялись порядка 100 стимулов с межстимульным интервалом не менее 2222 мс. В свою очередь, зрительные стимулы генерировались фотостимулятором «ФС-02», который размещался на уровне глаз добровольца, на расстоянии порядка 30 см, через подачу на вход последней пускового импульса от БОиУ, усиленного электростимулятором «ЭСЛ-2». Все исследования проводились в дневное время суток в слабо освещенной экранированной камере со звукоизоляцией. Все добровольцы во время регистрации электроэнцефалограммы находились в состоянии пассивного бодрствования с закрытыми глазами. Зрительные стимулы, представлявшие собой диффузные вспышки света длительностью 50 мкс и с энергией вспышки 35 Дж, предъявляли на восходящей или нисходящей фазах колебаний (в зависимости от этапа исследования), соответствующих индивидуально доминирующей частоте альфа-ритма. Задачей каждого добровольца являлось отреагировать на фазозависимый сенсорный стимул нажатием на кнопку.

При анализе электроэнцефалограмм, для каждого из отведений проводили спектральный анализ в диапазоне частот 0,5-35 Гц с шагом по частоте 4 Гц (спектральное окно 4 Гц) на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье с целью вычисления абсолютных значений мощности (АЗМ) ритмов ЭЭГ для 3 функциональных проб: «фон» (состояние покоя с закрытыми глазами до стимуляции), «стимуляция» (на фоне стимуляции, синхронизированной с той или иной фазой альфа-волн), и «последствие» (состояние покоя после завершения стимуляции). В каждом из состояний анализировались 60-ти секундные эпохи, не содержащие артефактов физической и физиологической природы. Значения мощности частотных диапазонов (дельта-, тета-, альфа-, бета1-, бета2-), соответствующие пробам «стимуляция» и «последствие» сравнивались с аналогичными в состоянии «фон» по всем отведениям при помощи дисперсионного анализа one-way ANOVA (для проверки гипотез о различии между средними нескольких нормально распределенных случайных величин), с последующим применением апостериорных сравнений средних значений (критерий Тьюки) для анализа эффектов взаимодействий. Сравнение значений индексов мощности между пробами осуществляли по 1-факторной схеме, т.е. в качестве группирующего признака выступала функциональная проба (фон до стимуляции, стимуляция на восходящей или нисходящей фазе в отдельности, фон после). Все расчеты производились с использованием пакета прикладных программ Statistica 10.0. Результаты представлены в виде среднего арифметического значения и ошибки среднего ($M \pm m$).

Результаты исследований и их обсуждение

На начальном этапе обработки данных, полученных в ходе исследования влияния фазозависимой сенсорной стимуляции на параметры фонового ритмогенеза и скорость сенсомоторной реакции человека, нами осуществлялся мониторинг динамики показателей мощности ритмов ЭЭГ, регистрируемых во время состояния покоя до стимуляции, на фоне стимуляции, синхронизированной с восходящей фазой альфа-волны и в состоянии покоя после завершения стимуляции. Апостериорный сравнительный анализ средних значений мощности диапазонов показал, что, зрительные стимулы, синхронизированные с восходящей фазой альфа-волны, вызывали статистически значимое изменение мощности в альфа-частотном диапазоне по сравнению с фоном (Рис.1).

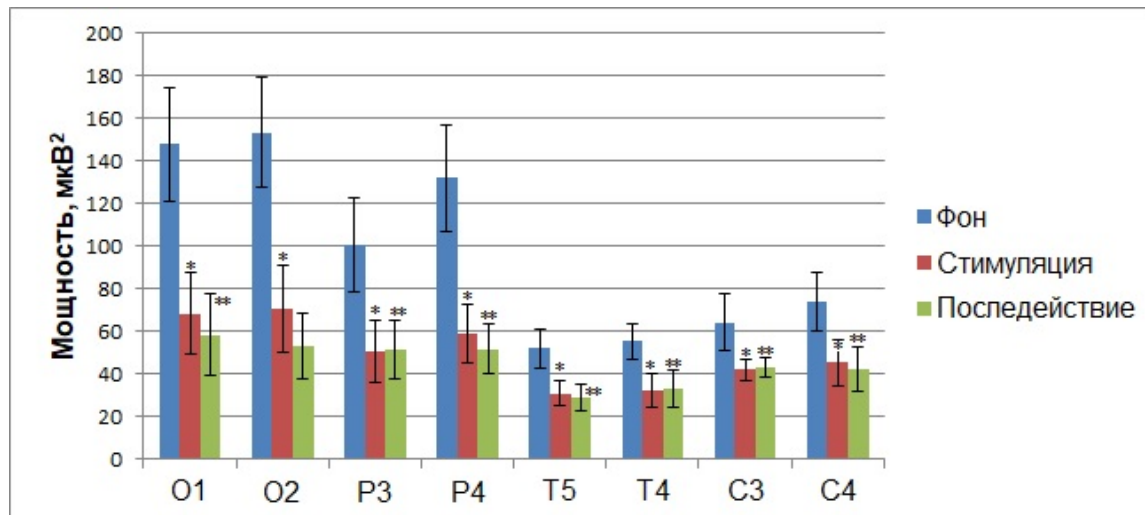


Рис. 1 – Статистически достоверные различия ($p < 0,05$) значений ($M \pm m$) мощности альфа-ритма функциональных проб «стимуляция»* и «последействие»**, полученные в результате предъявления зрительных стимулов на восходящей фазе альфа-волн, по сравнению со значением мощности альфа-ритма «фона» до стимуляции
Примечание: по оси абсцисс обозначены отведения, в которых были зарегистрированы статистически достоверные различия значений мощности по сравнению с фоном до стимуляции

В частности, было установлено статистически достоверное снижение по сравнению с фоном показателя абсолютной мощности в альфа-частотном диапазоне электроэнцефалограмм всех обследуемых, зарегистрированных во время сенсорной стимуляции, подаваемой на восходящей фазе альфа-волн, в отведениях O1 ($F(2, 63)=5,0293$, $p < 0,00941$), O2 ($F(2, 63)=6,5900$, $p < 0,00252$), P3 ($F(2, 63)= 6,5087$, $p < 0,042887$), P4 ($F(2, 63)=6,0661$, $p < 0,00390$), T4 ($F(2, 63)= 5,8111$, $p < 0,007887$), T5 ($F(2, 63)= 4,1202$, $p < 0,039072$), C3 ($F(2, 63)=3,1921$, $p < 0,032235$), C4 ($F(2, 63)= 3,7821$, $p < 0,003502$) (Рис. 6). Данный эффект сохранялся и после завершения сенсорной стимуляции на протяжении 1 минуты (Рис. 1).

Следующий этап обработки экспериментального материала заключался в сравнительном анализе показателей мощности ритмов ЭЭГ, зарегистрированных до стимуляции, с показателями мощности ритмов во время сенсорной стимуляции, синхронизированной с нисходящей фазой альфа-волны. Апостериорный сравнительный анализ средних значений мощности диапазонов показал, что кратковременные вспышки света, синхронизированные с нисходящей фазой альфа-волны, вызывали статистически значимые изменения мощности в тета- и альфа-частотных диапазонах по сравнению с фоном. В результате было установлено, что зрительные стимулы, подаваемые на нисходящей фазе альфа-волн, приводили к росту показателя мощности частот тета- и альфа-ритмов по сравнению с фоном.

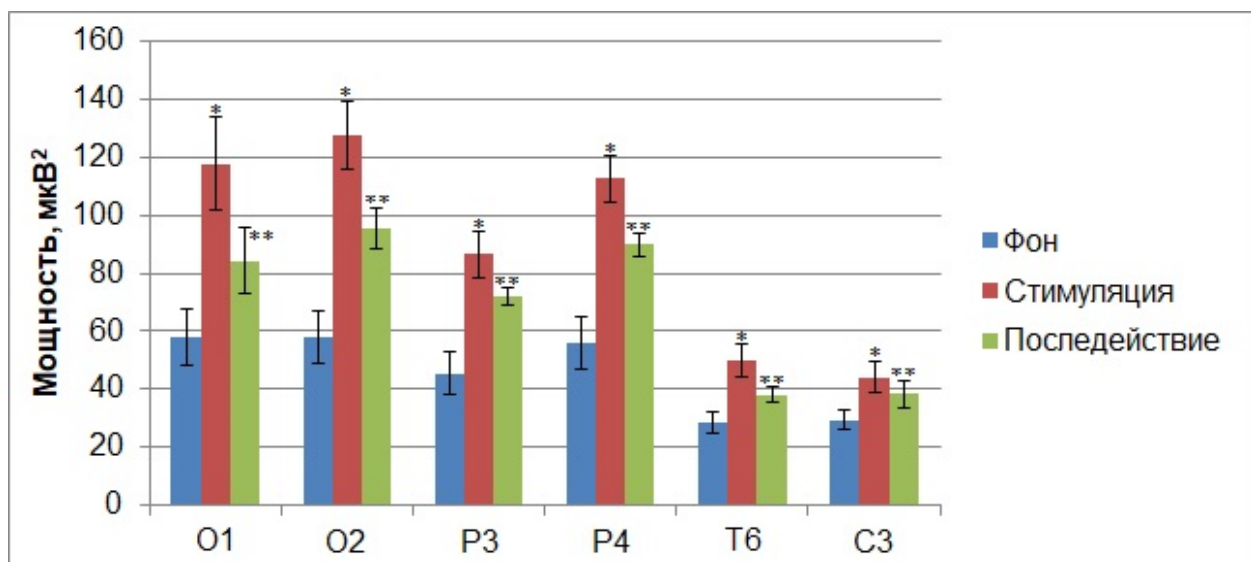


Рис. 2 – Статистически достоверные различия ($p < 0,05$) значений ($M \pm m$) мощности альфа-ритма (Б) функциональных проб «стимуляция»* и «последействие»**, полученные в результате предъявления зрительных стимулов на нисходящей фазе альфа-волн, по сравнению со значением мощности альфа-ритма «фона» до стимуляции
Примечание: по оси абсцисс обозначены отведения, в которых были зарегистрированы статистически достоверные различия значений мощности по сравнению с фоном до стимуляции

Так, было установлено статистически достоверное увеличение по сравнению с фоном показателя абсолютной мощности в альфа-частотном диапазоне электроэнцефалограмм всех обследуемых, зарегистрированных во время сенсорной стимуляции, подаваемой на нисходящей фазе альфа-волн, в отведениях O1 ($F(2, 63)=5,7239$, $p < 0,00520$), O2 ($F(2, 63)=6,7702$, $p < 0,00217$), P3 ($F(2, 63)=3,2374$, $p < 0,04589$), P4 ($F(2, 63)=3,8227$, $p < 0,02711$), T6 ($F(2, 63)=5,3853$,

$p < 0,00693$), С3 ($F(2, 63) = 4,5024$, $p < 0,024855$) (Рис. 7). Данный эффект сохранялся и после завершения сенсорной стимуляции на протяжении 1 минуты (Рис. 2). В результате было установлено, что зрительные стимулы, подаваемые на нисходящей фазе альфа-волн, приводили к снижению мощности частот тета-ритма в электрограммах мозга, зарегистрированных во время стимуляции по сравнению с фоновыми показателями мощности. Статистически значимым это снижение было в отведениях С4 и Т3. При этом значения мощности, зарегистрированные во время сенсорной стимуляции, подаваемой на нисходящей фазе альфа-волн, статистически достоверно снижались по сравнению с фоном. В частности данный рост мощности был зафиксирован в отведениях С4 ($F(2, 63) = 2,510$, $p < 0,027124$) ($39,61 \pm 3,77$) и Т3 ($F(2, 63) = 6,522$, $p < 0,028218$) ($20,93 \pm 1,890$) по сравнению с фоновыми показателями в отведениях С4 ($28,80 \pm 2,61$) и Т3 ($15,46 \pm 1,50$).

Последующий этап обработки экспериментального материала заключался в сравнительном анализе показателей латентных периодов сенсомоторных реакций добровольцев в ответ на фазозависимую фотовспышку. В наших исследованиях было установлено, что более длительный латентный период сенсомоторной реакции человека коррелирует с нисходящей фазой потенциала альфа-волны (Рис. 3).



Рис. 3 – Латентные периоды сенсомоторной реакции всех добровольцев, включенных в группу анализа, в зависимости от фазы предъявления стимула

В частности, было установлено, что латентный период сенсомоторной реакции зависит от фазы потенциала альфа-волны. Латентный период сенсомоторной реакции человека короче, если экзогенный стимул предъявляется в восходящую фазу альфа-волны (рис.4) по сравнению с реакцией в ответ на стимул, подаваемый в нисходящую фазу потенциала альфа-волны ($T(2,079614) = -10,3252$, $df = 21$) (Рис.4).

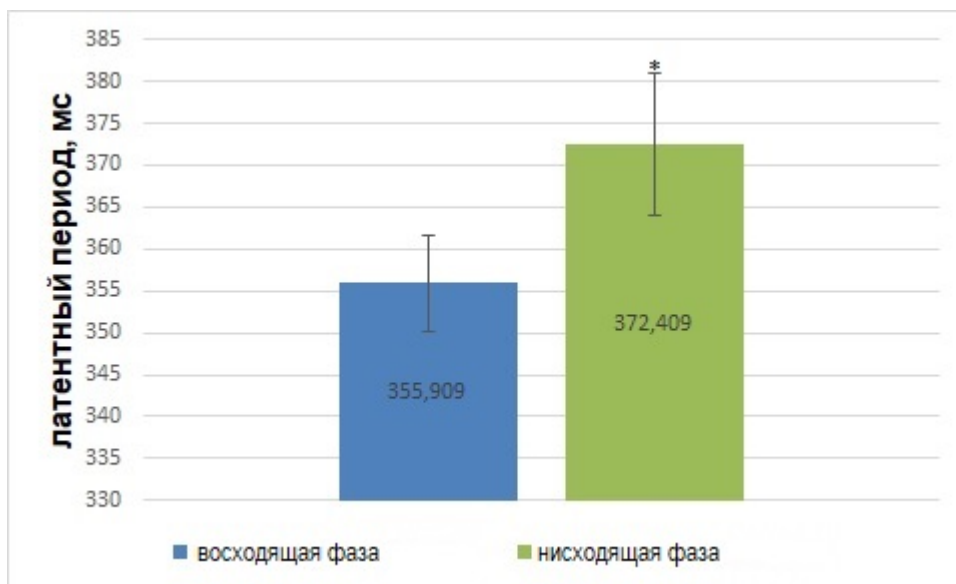


Рис. 4 – Статистически достоверные различия ($p < 0,05$) значений ($M \pm m$) латентного периода сенсомоторной реакции в ответ на фазозависимую сенсорную стимуляцию

Примечание: по оси абсцисс обозначены фаза альфа-волны, в которую были поданы фотостимулы;

** - статистически достоверные отличия группового показателя латентного периода сенсомоторной реакции в ответ на подачу стимула в нисходящую фазу альфа-волны, по сравнению с латентным периодом сенсомоторной реакции в ответ на стимул, предъявленный в нисходящую фазу*

Результаты настоящего исследования показали наличие фазозависимого влияния сенсорной стимуляции, синхронизированной с восходящей или нисходящей фазами индивидуально доминирующих альфа-колебаний, на выраженность в ЭЭГ частот альфа- и тета-диапазонов. При этом синхронизация кратковременного сенсорного стимула с восходящей фазой альфа-волны приводит к снижению по сравнению с фоном показателя абсолютной мощности в альфа-частотном диапазоне электроэнцефалограмм всех обследуемых в париетально-окципитальных и темпорально-центральных отделах коры (Рис.1). Наконец, стимуляция, синхронизированная с нисходящей фазой

фоновых альфа-волн, приводит к повышению в ЭЭГ мощности альфа-ритма (Рис.2) и одновременно – понижению мощности тета-ритма. Важно отметить, что подача стимула в нисходящую фазу альфа-волны примечательна тем, что эффект после такого рода стимуляции является пролонгированным и наблюдается не только на фоне редко (с интервалами 2 с и более) подаваемых зрительных стимулов, но и в течение десятков секунд и минут после прекращения стимуляции. Установленная в наших исследованиях зависимость латентного периода сенсомоторной реакции человека от фазы потенциала альфа-волны согласуется с данными [18], [19]. Согласно результатам нашего исследования, короткий латентный период сенсомоторной реакции человека коррелирует с восходящей фазой

потенциала альфа-волны.

Таким образом, различное фазозависимое влияние сенсорной стимуляции на параметр мощности фонового альфа-ритма очевидно свидетельствует об его пейсмерном кортикальном происхождении. На это дополнительно указывает еще и тот факт, что динамика мощности, зависящая от фазы предъявления стимула, не находит своего логического объяснения в рамках парадигмы нейросетевой синаптической организации альфа-активности. Кроме того, наши исследования доказывают зависимость эффективности обработки сенсорной информации в головном мозге от фазы эндогенного альфа-ритма, которая соответствует активности тех или иных катионных мембранных каналов пейсмерных корковых нейронов. Так, стимул, приходящийся на восходящую фазу колебаний эндогенного потенциала пейсмерного нейрона, с учетом времени [19] (30-50 мс) прохождения импульса от рецептора к корковому представителю, приходится на фазу «открытых» низкочастотных Ca^{2+} и, в последующем – Na^{+} -каналов пейсмерных клеток. Последнее тормозит пейсмерную активность нейронов, что приводит к «срыву» альфа-ритма. Напротив, стимул, приходящийся на нисходящую фазу колебаний эндогенного потенциала пейсмерного нейрона, т.е. на фазу «открытых» K^{+} -каналов, которые активируются гиперполяризацией нейронной мембраны пейсмерных, приводит, в конечном итоге, к повышению мощности альфа-ритма в период стимуляции и развитию пролонгированного эффекта последствия, длящегося минуты.

Следовательно, от состояния мембранных H^{+} -каналов нейронов зависит процесс обработки сенсорной информации, т.к. именно этот класс ионных каналов обеспечивает как дендритную интеграцию, фасилитацию синаптической трансмиссии, так и генерацию ритмической активности на уровне той или иной структуры [21], [22].

Резюмируя все вышесказанное, можно заключить, что разработанный нами метод синхронизации сенсорной стимуляции с разными фазами потенциалов фоновой ритмической активности позволяет, во-первых, исследовать нейрофизиологические механизмы обработки информации мозгом, во-вторых, организовать целенаправленное управление амплитудно-частотными параметрами активности мозга, а значит, его функциональным состоянием, что является чрезвычайно важным с биомедицинской точки зрения.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-315-00201.

Funding

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-315-00201.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

Not specified.

Список литературы / References

1. VanRullen R. Is perception discrete or continuous? / VanRullen R., Koch C. // Trends Cogn. Sci. 2003. V. 7. P. 207–213.
2. VanRullen R. Perceptual echoes at 10 Hz in the human brain / VanRullen R., Macdonald J. Curr. Biol. 2012. V. 22. P. 995–999.
3. Bishop G. Cyclic changes in excitability of the optic pathway of the rabbit / Bishop G. Am. J. Physiol. 1933. V. 103. P. 213.
4. Lakatos P. Entrainment of neuronal oscillations as a mechanism of attentional selection / Lakatos P. Science. 2008. V. 320. P. 110–113.
5. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information / Klimesch W. // Trends in Cognitive Sciences. 2012. V. 16. № 12. P. 606–617.
6. Surwillo W. W. The relation of decision time to brain wave frequency and to age. Electroenceph. clin. Neurophysiol / Surwillo W. W. 1964. V. 16. P. 510–514.
7. Bartley S.H. Some factors in brightness discrimination / Bartley S.H. // Psychol. Rev. 1939. V. 46. P. 337–358.
8. Boddy J. The relationship of reaction time to brain wave period: a re-evaluation. Electroenceph. clin. Neurophysiol / Boddy J. 1971. V. 30. P. 229–235.
9. Dugue L. The phase of ongoing oscillations mediates the causal relation between brain excitation and visual perception / Dugue L. J. Neurosci. 2011. V. 31. P. 11889–11893.
10. Romei V. Sounds reset rhythms of visual cortex and corresponding human visual perception / Romei V., Gross J., Thut G. Curr. Biol. 2012. V. 22. P. 807–813.
11. Mathewson K.E. To see or not to see: prestimulus alpha phase predicts visual awareness / Mathewson K.E., Gratton G., Fabiani M. et al. J. Neurosci. 2009. V. 29. P. 2725–2732.
12. Naruse Y. Phase shifts in alpha-frequency rhythm detected in electroencephalograms influence reaction time / Naruse Y., Takiyama K., Okada M. et al. // Neural Networks. 2015. V. 62. P. 47–51.
13. Шевелев И.А. Волновые процессы в зрительной коре. Природа / Шевелев И.А. 2001. №12. С. 28–35.
14. Dustman R.E. Phase of alpha brain waves, reaction-time and visually evoked potentials. Electroenceph. / Dustman R.E., Beck E.C. Clin. Neurophysiol. 1965. V. 18. P. 433–440.
15. Neuling T. Good vibrations: Oscillatory phase shapes perception NeuroImage / Neuling T., Rach S., Wagner S. et al. 2012. V. 63. P. 771–778.

16. Kruglikov S. Y. Interplay of Electroencephalogram phase and auditory-evoked neural activity / Kruglikov S. Y., Schiff S.J. // The journal of Neuroscience. 2003. V. 23. P. 10122.
17. Barry R.J. Age and gender effects in EEG coherence. I. Developmental trends in normal children. / Barry R.J., Clarke A.R., Mc Carthy R. et al. // Clinical Neurophysiology. 2004. V. 115. P. 2252–2258.
18. Callaway E.I. Relationship between reaction time and electroencephalographic alpha phase / Callaway E.I., Yeager C.L. // Science. 1960. V. 132. №. 3441. P. 1765–1766.
19. Drewes J. This is the rhythm of your eyes: the phase of ongoing electroencephalogram oscillations modulates saccadic reaction time / Drewes J., VanRullen R. // J. Neurosci. 2011. V. 31. №. 12. P. 4698–4708.
20. Гусельников В.И. Электрофизиология головного мозга / Гусельников В.И. М: Высшая школа. 1976. – 423 с. [in Russian]
21. Сухов А.Г. Особенности посттетанической модификации синаптической передачи в таламо-кортикальном входе соматосенсорной коры крыс / Сухов А.Г., Бездудная Т.Г., Медведев Д.С. Журн. высш. нерв. деят. 2003. 53 (5): 622–632. [in Russian]
22. Biel M. Hyperpolarization-Activated Cation Channels: From Genes to Function. Physiol / Biel M., Wahl-Schott C., Michalakakis S., Zong X. Rev. 2009. 89: 847–885.

Список литературы на английском языке / References in English

1. VanRullen R. Is perception discrete or continuous? / VanRullen R., Koch C. // Trends Cogn. Sci. 2003. V. 7. P. 207–213.
2. VanRullen R. Perceptual echoes at 10 Hz in the human brain / VanRullen R., Macdonald J. Curr. Biol. 2012. V. 22. P. 995–999.
3. Bishop G. Cyclic changes in excitability of the optic pathway of the rabbit / Bishop G. Am. J. Physiol. 1933. V. 103. P. 213.
4. Lakatos P. Entrainment of neuronal oscillations as a mechanism of attentional selection / Lakatos P. Science. 2008. V. 320. P. 110–113.
5. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information / Klimesch W. // Trends in Cognitive Sciences. 2012. V. 16. №. 12. P. 606–617.
6. Surwillo W. W. The relation of decision time to brain wave frequency and to age. Electroenceph. clin. Neurophysiol / Surwillo W. W. 1964. V. 16. P. 510–514.
7. Bartley S.H. Some factors in brightness discrimination / Bartley S.H. // Psychol. Rev. 1939. V. 46. P. 337–358.
8. Boddy J. The relationship of reaction time to brain wave period: a re-evaluation. Electroenceph. clin. Neurophysiol / Boddy J. 1971. V. 30. P. 229–235.
9. Dugue L. The phase of ongoing oscillations mediates the causal relation between brain excitation and visual perception / Dugue L. J. Neurosci. 2011. V. 31. P. 11889–11893.
10. Romei V. Sounds reset rhythms of visual cortex and corresponding human visual perception / Romei V., Gross J., Thut G. Curr. Biol. 2012. V. 22. P. 807–813.
11. Mathewson K.E. To see or not to see: prestimulus alpha phase predicts visual awareness / Mathewson K.E., Gratton G., Fabiani M. et al. J. Neurosci. 2009. V. 29. P. 2725–2732.
12. Naruse Y. Phase shifts in alpha-frequency rhythm detected in electroencephalograms influence reaction time / Naruse Y., Takiyama K., Okada M. et al. // Neural Networks. 2015 V. 62. P. 47–51.
13. Shevelev I.A. Volnovye processy v zritel'noj kore. Priroda [Wave processes in the visual cortex. Nature] / Shevelev I.A. 2001. No. 12. P. 28–35. [in Russian]
14. Dustman R.E. Phase of alpha brain waves, reaction-time and visually evoked potentials. Electroenceph. / Dustman R.E., Beck E.C. Clin. Neurophysiol. 1965. V. 18. P. 433–440.
15. Neuling T. Good vibrations: Oscillatory phase shapes perception NeuroImage / Neuling T., Rach S., Wagner S. et al. 2012. V. 63. P. 771–778.
16. Kruglikov S. Y. Interplay of Electroencephalogram phase and auditory-evoked neural activity / Kruglikov S. Y., Schiff S.J. // The journal of Neuroscience. 2003. V. 23. P. 10122.
17. Barry R.J. Age and gender effects in EEG coherence. I. Developmental trends in normal children. / Barry R.J., Clarke A.R., Mc Carthy R. et al. // Clinical Neurophysiology. 2004. V. 115. P. 2252–2258.
18. Callaway E.I. Relationship between reaction time and electroencephalographic alpha phase / Callaway E.I., Yeager C.L. // Science. 1960. V. 132. №. 3441. P. 1765–1766.
19. Drewes J. This is the rhythm of your eyes: the phase of ongoing electroencephalogram oscillations modulates saccadic reaction time / Drewes J., VanRullen R. // J. Neurosci. 2011. V. 31. №. 12. P. 4698–4708.
20. Guselnikov V.I. Elektroфизиология головного мозга [Electrophysiology of the brain] / Guselnikov V.I. M: High school. 1976.- 423 p. [in Russian]
21. Sukhov A.G. Osobennosti posttetanicheskoy modifikacii sinapticheskoy peredachi v talamo-kortikal'nom vhode somatosensornoy kory krys [Features of post-tetanic modification of synaptic transmission in the thalamo-cortical inlet of rat somatosensory cortex] / Sukhov A.G., Bezudnaya T.G., Medvedev D.S. Zhurn. higher nerve. activist 2003. 53 (5): 622–632. [in Russian]
22. Biel M. Hyperpolarization-Activated Cation Channels: From Genes to Function. Physiol / Biel M., Wahl-Schott C., Michalakakis S., Zong X. Rev. 2009. 89: 847–885.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.027>**ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ ХИБИН И ЛОВОЗЁРСКИХ ТУНДР И
ИНТЕНСИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ**

Научная статья

Семенов В.А.*

ВО Российский государственный университет правосудия, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (kosarevanatalia[at]rambler.ru)

Аннотация

В статье анализируются особенности химического состава наиболее типичных представителей растительности Хибинских и Ловозёрских тундр. Специальное внимание уделено зольности и валовой концентрации ряда химических элементов в растениях. Рассчитан коэффициент биологического поглощения (K_b) по методикам Б.Б. Полюнова и А.И. Перельмана. Отмечено, что больше всего в золе растений таких элементов как К, Na, Ca, Mg, Si, P, Al. Геохимическая специализация различных групп растений проявляется в повышенной концентрации отдельных элементов: для лишайников – Si, Ti, Cr; для березы извилистой – Ca, Mg; для березы пушистой – Ca, Mg, P; для ели сибирской – К, Na, Mn, P; для черники – Na, Si, Ti, Cr. К аккумулирующимся в растениях элементам, коэффициент биологического поглощения которых составляет от 1,5-2 до $n \cdot 100$, относятся Ca, Mg, P, K, Na, Mn. Другие элементы поглощаются растительностью очень слабо, их K_b меньше 1.

Ключевые слова: зольность, химический состав растений, коэффициент биологического поглощения, биохимическая специализация.

**FEATURES OF CHEMICAL COMPOSITION OF Khibin PLANTS AND LOVOZERO TUNDRA AND
INTENSITY OF BIOLOGICAL ABSORPTION**

Research article

Semenov V.A. *

FSBEI of HE All-Russian State University of Justice, Moscow, Russia

* Corresponding author (kosarevanatalia[at]rambler.ru)

Abstract

The paper presents the analysis of the chemical composition features of the most typical vegetation representatives of the Khibin and Lovozero tundra. Special attention is paid to the ash content and gross concentration of a number of chemical elements in plants. The biological absorption coefficient (K_b) was calculated according to the Polynov's and Perelman's methods. It should be noted that such elements as K, Na, Ca, Mg, Si, P, Al dominate in the ash of plants. The geochemical specialization of various plant groups is manifested in an increased concentration of specific elements: Si, Ti, Cr – for lichens; Ca, Mg – for sinuous birch; Ca, Mg, P – for fluffy birch; K, Na, Mn, P – for Siberian spruce; Na, Si, Ti, Cr – for blueberries accumulating in plants. Their biological absorption coefficient is from 1.5-2 to $n \cdot 100$, include Ca, Mg, P, K, Na, Mn. Other elements are very poorly absorbed by vegetation; their K_b is less than 1.

Keywords: ash content, the chemical composition of plants, biological absorption coefficient, biochemical specialization.

Введение

Растительность является достаточно важным компонентом и фактором перераспределения химических элементов в ландшафте. Тот или иной тип растительности определяет количество и характер органического вещества почв, часто оказывает влияние на степень развития подзоло- или буроземообразовательных процессов, влияет на химический состав воздуха, является экологическим индикатором. Растительность Мурманского Заполярья является кормовой базой для оленеводства, элементом ягодного и грибного хозяйства, источником лекарственного и витаминного сырья, играет важную экономическую роль. В связи с этим представляется интересным рассмотреть особенности некоторых основных представителей растительного мира горных массивов Кольского полуострова. Если о растительности Хибин имеется достаточно большое количество научных публикаций, то Ловозёрские тундры (Луяврурт) весьма слабо изучены в геоботаническом и биохимическом отношении, что подчёркивает актуальность исследуемой темы.

Химический состав растений зависит от множества факторов. К таковым относят: возраст организма, фазу вегетации, среду обитания (почву, характер почвообразующих и коренных пород, условия увлажнения, сумму активных температур и т.п.), систематическое положение растения. Ко всему прочему содержание элементов в одних и тех же растениях, но обитающих в разных условиях одного и того же склона, может существенно различаться [12, С. 8-9]. Добровольский В.В. обратил внимание на избирательность аккумуляции того или иного элемента в растениях [4, С. 122]. Это явление ученый объяснил различной способностью химических элементов к образованию стойких комплексных органических соединений и, как следствие, разным накоплением в компонентах клеток растений. Наконец, существует гипотеза о том, что химический состав золы отражает не столько состав породы или почвы, на которой теперь произрастает растение, сколько состав пород и почв, на которых произрастали предыдущие поколения представителей данного вида, особенно в эпоху видообразования [9, С. 228]. Марченко А.И. и Карлов Е.И. отметили для лесотундры Архангельской области [8, С. 54-55] меньшее общее содержание золы и большую аккумуляцию Mn, N, отчасти K и P, и тенденцию к меньшему поглощению Ca по сравнению с аналогичными видами растений из таежной зоны. Манаков К.Н. выявил большее богатство берез из кольской лесотундры N, Ca, K, но бедность Al, Si, Mg [7, С. 208]; общее же содержание элементов в золе березы лесотундры Кольского полуострова в 1,5-2 раза выше, чем в золе березы лесотундры Архангельской области. Это объяснялось автором более благоприятными почвенными

и климатическими условиями для ее произрастания на Кольском полуострове. В то же время тундровые кустарнички характеризуются меньшей зольностью, чем одноименные виды из северной тайги и из архангельской лесотундры [8, С. 58-59]. Козаренко А.Е. и Семенов В.А. [6, С. 64-65] отметили тот факт, что зола растений нефелиново-сиенитовых провинций содержит много щелочноземельных элементов, в том числе алюминия и железа. Несмотря на некоторые различия, обусловленные экологическими причинами, общей тенденцией изменения минерального состава растений от тайги к тундре является уменьшение зольности, а в составе золы – Ca и N и увеличение количества P, K и Mn [7, с. 209]. На биогеохимическую уникальность растительности высотных поясов Хибин указывала К.М. Рябцева [11, С. 22].

Основные результаты

Геоботаническое описание и отбор образцов растений производились в трех основных типах ландшафтов Хибинских и Ловозерских массивов: горно-таежного, переходного лесотундрового, горно-тундрового. В Луяврурте также описывалась растительность ландшафта субальпийских березняков. В пределах указанных элементарных ландшафтов отбирались основные представители растительности, а также, по возможности, виды, встречающиеся и в других высотных поясах. Помимо указанных, одним из параметров отбора служило также наличие на участке исследования значительного количества особей, необходимого для лабораторных исследований. К таковым мы отнесли следующих представителей растительного мира: ель сибирская (*Picea sibirica*), береза пушистая (белая) и извилистая (*Betula pubescens* (alba), *tortuosa*), черника (*Vaccinium myrtillus*), лишайники родов *Cetraria* и *Cladonia*. Зольность растений определялась озолением в муфельной печи Nabertherm LV 3/11 в фарфоровых тиглях при температуре 600-650°C, с последующим взвешиванием на атомных весах, на базе УНЦ геохимии ландшафта географического факультета МПГУ. Химический состав золы растений определялся по методике рентген-флюоресцентного анализа на приборе Philips PW-1600 в ЦЛАВ ГЕОХИ им. В.И. Вернадского. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Зольность и валовая концентрация химических элементов в золе некоторых растений Луяврурта и Хибин (36 проб)

Массив	Растения, высотный пояс	Зольность, %	Элементы, % от золы								
			Na	Mg	Si	P	K	Ca	Ti	Cr	Mn
Луяврурт	Черника (листья и побеги), горная тайга	3,01	5,66	3,89	9,36	3,31	8,60	10,88	0,386	0,007	0,78
	Ель (хвоя), горная тайга	3,26	3,07	3,66	4,80	4,46	15,11	15,27	0,024	0,000	1,82
	Береза пушистая (листья), субальпийские березняки	6,15	2,09	7,03	0,00	4,52	11,52	24,63	0,026	0,000	1,53
Хибины	Ель (хвоя), горная тайга	2,58	2,52	3,43	2,97	3,95	13,75	21,40	0,027	0,000	2,29
	Береза извилистая (листья), горная лесотундра	5,17	2,41	8,36	0,00	4,18	9,13	26,03	0,026	0,000	1,07
	Цетрария, горная тундра	0,81	1,41	2,39	13,0	1,18	6,49	8,22	1,010	0,088	1,43

Зольность рассмотренных растений колеблется в пределах 0,81–6,15 % для разных представителей. Низкие значения установлены для лишайников (0,81 %), максимальные значения характеризуют березу пушистую – 6,15 %. Зольность хвои ели сибирской составляет 2,58–3,26 %. Зольность определяется прежде всего содержанием в растении зольных элементов. Колебания зольности у одних и тех же представителей растительности могут объясняться различными условиями местообитания, неодинаковым поступлением минеральных частиц из атмосферы и талых снеговых вод и др. Так, в тундровых и лесотундровых ландшафтах, на внешних склонах, встречающих северо-западные ветра с Оленегорского и Мончегорского горно-обогатительных комбинатов и предприятий Треста «Апатит», зольность растений многократно выше, чем у тех же растений, обитающих в ветровой тени [5, с. 44].

Концентрации химических элементов в золе растений отличаются значительной дифференциацией. Максимальные значения отмечены для Ca, K и Si – десятки % (см. табл. 1). Для Na, Mg, P и Mn характерны единицы %; доля остальных элементов в золе растений, в основном, исчисляется десятками и сотыми долями % (Ti, Cr). Результаты проведенных исследований дают основания судить о биохимической специализации отдельных систематических групп.

Кустистые лишайники. Зола лишайников отличается наивысшей из изученных растений концентрацией многих элементов: кремния (13 %), титана (1,01 %), хрома (0,088 %). Лишайники, как и листья березы, можно было бы назвать довольно сильным геохимическим аккумулятором многих рассмотренных элементов. Наряду с этим здесь отмечено наименьшее содержание Ca-Mg (8,22–2,39 %), K-Na (6,49–1,41 %), P (1,18 %). Ряд убывания концентрации представляет следующий вид: Si > Ca > K > Mg > Mn > Na > P > Ti > Cr.

Береза извилистая. Для многих элементов, концентрирующихся в листьях данного растения, отмечены наибольшие и высокие значения. Концентрации кальция и магния максимальны, 26,03 и 8,36 % соответственно. Интересно отметить, что Si и Cr в золе березы извилистой практически отсутствуют, то есть их концентрация очень мала. Это определяет интенсивный вынос названных элементов за пределы растения, в том числе с опадом. Ряд убывания концентрации имеет вид: Ca > K > Mg > P > Na > Mn > Ti > Si = Cr = 0.

Береза пушистая. Этот вид березы выделяется наивысшими концентрациями фосфора в золе (4,52 %). Здесь также весьма много калия – 11,52 %, кальция – 24,63 % и магния – 7,03 %. Содержание натрия и марганца невелико, составляя единицы %. Из всех рассмотренных растений здесь минимально содержание кремния и хрома, как и в предыдущем случае. Ряд убывания концентрации таков: $\text{Ca} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Na} > \text{Mn} > \text{Ti} > \text{Si} = \text{Cr} = 0$.

Ель сибирская. В золе хвои ели обнаружено максимальное содержание калия (15,11 %) и марганца (2,29 %) из всех изученных образцов растений. Высокие концентрации отмечены для натрия – 2,52–3,07 %, фосфора – 3,95–4,46 %, кальция – 15,27–21,40 %. Относительно небольшими концентрациями выделяются Mg (3,43–3,66 %), Ti (0,024–0,027 %). Хром, как и в случае с листьями березы, фактически полностью отсутствует. Ряд убывания концентрации имеет следующий вид: $\text{Ca} > \text{K} > \text{Si} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Mn} > \text{Ti} > \text{Cr} = 0$.

Черника. Анализ золы зеленой части этого растения позволяет выявить наибольшие значения натрия (5,66 %) из всех рассмотренных зольных проб. Также велика доля кремния – 9,36 %, титана – 0,386 %, хрома – 0,007 %. Достаточно низкие концентрации характеризуют фосфор (3,31 %), кальций (10,88 %), отмечен минимум по марганцу (0,78 %). Ряд убывания концентрации выглядит так: $\text{Ca} > \text{Si} > \text{K} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Mn} > \text{Ti} > \text{Cr}$.

Химические элементы, избирательно накапливающиеся в той или иной группе растений, можно также представить рядами убывания концентрации, которые имеют следующий вид:

Na – черника > ель > береза извилистая > береза пушистая > лишайники;

Mg – береза извилистая > береза пушистая > черника > ель > лишайники;

Si – лишайники > черника > ель > береза извилистая = береза пушистая;

P – береза пушистая > ель > береза извилистая > черника > лишайники;

K – ель > береза пушистая > береза извилистая > черника > лишайники;

Ca – береза извилистая > береза пушистая > ель > черника > лишайники;

Ti – лишайники > черника > береза пушистая = береза извилистая > ель;

Cr – лишайники > черника > береза пушистая = береза извилистая = ель;

Mn – ель > береза пушистая > лишайники > береза извилистая > черника.

Для оценки интенсивности биологического поглощения, мы воспользовались методикой Б.Б. Полюнова [10, С. 328], предложившего характеризовать этот параметр частным от деления содержания элемента в золе растения на его концентрацию в горных породах. Указанный коэффициент А.И. Перельман [9, С. 189] назвал коэффициентом биологического поглощения (K_b). Мы произвели расчет K_b для изученных растительных образцов как на местные коренные породы, так и на гранитный слой литосферы (см. табл. 2). Расчеты K_b показали, что независимо от горного массива интенсивность поглощения строго выдерживается. Имеется ряд элементов, которые весьма интенсивно поглощаются растительностью обоих массивов. К ним относятся Ca-Mg, P, K, Mn, K_b которых (относительно кларка коренных пород) составляет от 1,5-2 до $n \cdot 100$ и даже выше. Максимальным K_b характеризуются P и Ca. Представители другой группы поглощаются растительностью очень слабо, их K_b меньше 1. Таковы Na, Al, Si, Fe, Ti, Cr. Минимум K_b отмечен для Fe и Cr.

Таблица 2 – Коэффициенты биологического поглощения для некоторых растений Луяврурта и Хибин (на коренные породы¹ и гранитный слой литосферы²)³ (36 проб)

Массив	Растения	Элементы										
		Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe общ.
Луяврурт	Черника (листья и побеги)	<u>0,72</u> 2,57	<u>6,08</u> –	<u>0,50</u> 0,53	<u>0,38</u> 0,23	<u>80,73</u> 41,38	<u>2,25</u> 3,19	<u>10,56</u> 4,35	<u>0,54</u> 1,17	<u>2,59</u> –	<u>2,29</u> 11,14	<u>0,78</u> 1,17
	Ель (хвоя)	<u>0,39</u> 1,40	<u>5,72</u> –	<u>0,05</u> 0,06	<u>0,19</u> 0,12	<u>108,78</u> 55,75	<u>3,96</u> 5,60	<u>14,83</u> 6,11	<u>0,03</u> 0,07	<u>0,00</u> 0,00	<u>5,35</u> 26,00	<u>0,00</u> 0,00
	Береза пушистая (листья)	<u>0,27</u> 0,95	<u>10,98</u> –	<u>0,02</u> 0,02	<u>0,00</u> 0,00	<u>110,24</u> 56,50	<u>3,02</u> 4,27	<u>23,91</u> 9,85	<u>0,04</u> 0,08	<u>0,00</u> 0,00	<u>4,50</u> 21,86	<u>0,00</u> 0,00
Хибины	Ель (хвоя)	<u>0,36</u> 1,15	<u>8,17</u> –	<u>0,03</u> 0,05	<u>0,12</u> 0,07	<u>42,93</u> 49,38	<u>3,15</u> 5,09	<u>16,85</u> 8,56	<u>0,05</u> 0,08	<u>0,00</u> 0,00	<u>14,31</u> 32,71	<u>0,00</u> 0,00
	Береза извилистая (листья)	<u>0,34</u> 1,10	<u>19,9</u> –	<u>0,02</u> 0,03	<u>0,00</u> 0,00	<u>45,43</u> 52,25	<u>2,09</u> 3,38	<u>20,50</u> 10,41	<u>0,04</u> 0,08	<u>0,00</u> 0,00	<u>6,69</u> 15,29	<u>0,00</u> 0,00
	Цетрария	<u>0,20</u> 0,64	<u>5,69</u> –	<u>0,65</u> 0,92	<u>0,51</u> 0,33	<u>12,83</u> 14,75	<u>1,49</u> 2,40	<u>6,47</u> 3,29	<u>1,68</u> 3,06	<u>25,88</u> –	<u>8,94</u> 20,43	<u>1,45</u> 1,42

¹ Средний химический состав пород Луяврурта принят по данным В.И. Герасимовского и др. [3, С. 148-152], то же для Хибинского массива – по А.В. Галахову [2, С. 89-91].

² В числителе – расчет на коренные породы, в знаменателе – расчет на гранитный слой литосферы – по А.А. Беусу [1, С.112-115].

³ Проверка означает отсутствие данных в литературе; цифры по хрому приблизительны и рассчитаны по средним результатам рентген-флюоресцентного анализа горных пород.

При сравнении полученных цифр с K_b относительно кларка гранитного слоя литосферы, дающим больше оснований судить о поглощении или рассеянии тех или иных элементов земной коры растениями, также можно отметить ряд важных особенностей. Во-первых, коэффициенты биологического поглощения относительно гранитного

слоя литосферы и K_6 относительно коренных пород сходны по соотношению химических элементов, то есть конфигурации кривых K_6 , если изображать их графически, – однотипны, независимо от того, в условиях какого массива и ландшафта был отобран растительный образец. Во-вторых, в сравнении с вычислениями K_6 на коренные породы, в расчетах данного показателя на гранитный слой увеличивается K_6 натрия (в четырех случаях из 6 – больше 1), алюминия (в 2 случаях из 6 – близок к 1), титана и железа (в 2 случаях из 6 больше 1). K_6 кальция, фосфора, калия и марганца как на гранитный слой, так и на коренные породы – превышает 1. Максимальный коэффициент биологического поглощения в расчете на коренные породы характерен для Р и Са, а при расчете на гранитный слой – для Р и Мп. В-третьих, полученные результаты сопоставимы с данными других авторов. Так, по В.В. Добровольскому [4, С. 52-53], K_6 Тi для лишайников Хибин больше или равен 1; K_6 Мп для хвои ели (на выступах диабазов и гнейсов Карелии) – более 10.

В то же время разные растения поглощают одни и те же элементы с неодинаковой интенсивностью. Черника выделяется на фоне рассмотренных растений более активной аккумуляцией Na, Al, Si, Ti, Cr, Fe. В целом, то же характерно и для лишайников, которые помимо более существенного накопления Al, Si, Ti, Fe, отличаются наивысшим K_6 марганца и хрома. Кроме этого, для черники и лишайников нигде не отмечен нулевой K_6 , в отличие от других рассмотренных растений. Хвоя ели Хибин и Луяврурта, характеризуясь исключительно похожими K_6 , выделяется максимумом по Са-Mg, Р, К и Мп. Нулевые значения коэффициента биологического поглощения отмечены здесь для Fe и Cr. Наконец, для листьев березы пушистой и извилистой, K_6 которых почти полностью идентичен, отмечено весьма активное накопление Са-Mg, Р, Мп. Положительный (более 1) K_6 выявлен также для калия. Наименьшим накоплением здесь характеризуются Na, Al, Ti, а также Si, Cr, Fe (их K_6 для березы равен нулю).

При сравнении K_6 у изученных растений с K_6 элементов для растительности Мировой суши [4, С. 33], выясняется, что поглощение некоторых химических элементов местной растительностью опережает растительность суши. При этом некоторые элементы поглощаются растениями Хибин и Луяврурта слабее, чем растениями суши Земли. К первой группе, в целом, можно отнести Са-Mg, Si, Р, Мп, отчасти также Al, Fe. Ко второй группе отнесем К-Na, в большинстве случаев – Ti. Сравнивая валовое содержание рассмотренных элементов в растениях обоих массивов с их относительным содержанием в живом веществе Мировой суши [4, с. 44-45], обращает на себя внимание повышенное содержание Р, Mg, Na, Si, Al и Fe (из макрокомпонентов), Мп и Ti (из рассеянных элементов) в растениях Хибин и Луяврурта.

Закключение

Обобщая вышесказанное, отметим, что больше всего в золе растений таких элементов как К-Na, Са-Mg, Si, Р и Al. В некоторых случаях велики также значения Мп и Fe. Такая картина, по всей видимости, объясняется богатством элювио-делювия коренных пород, флювиогляциальных отложений и, особенно, почв названными элементами. Низким содержанием в растениях характеризуются Cr и Ti. Биохимическая специализация различных групп растений проявляется в повышенной концентрации отдельных элементов: для лишайников – Si, Ti, Cr; для березы извилистой – Са-Mg; для березы пушистой – Са-Mg, Р; для ели сибирской – К-Na, Мп, Р; для черники – Na, Si, Ti, Cr. Помимо этого, растения Луяврурта в большей степени богаты такими элементами как К-Na, в отличие от тех же растений Хибин, где выше содержание Са-Mg. Это может объясняться нюансами химико-минералогического состава пород каждого из рассматриваемых массивов. Интенсивность биологического поглощения химических элементов неодинакова. К накапливающимся элементам, K_6 которых составляет от 1,5-2 до $n \cdot 100$, относятся Са-Mg, Р, К-Na, Мп. Максимальны K_6 у фосфора и кальция. Другие элементы поглощаются растительностью очень слабо, их K_6 меньше 1. К таковым мы отнесли Al, Si, Fe, Ti, Cr. Минимум K_6 отмечен для железа и хрома. Кроме этого, неодинакова интенсивность биологического поглощения и у разных растений. Так, черника выделяется на фоне других растений более активной аккумуляцией Na, Al, Si, Ti, Fe, лишайники наиболее интенсивно накапливают Al, Si, Ti, Fe, отличаются наивысшим K_6 марганца и хрома. Хвоя ели выделяется максимумом K_6 по Са-Mg, Р, К и Мп, в наименьшей степени аккумулируя Fe и Cr. Для листьев березы пушистой и извилистой отмечено весьма активное накопление Са-Mg, Р, Мп, К. Наименьшим накоплением здесь характеризуются Na, Al, Ti, Si, Cr, Fe. Растительность Хибин и Луяврурта характеризуется повышенным поглощением Са-Mg, Si, Р, Мп, Al и Fe на фоне K_6 растительности Мировой суши. Также растения обоих массивов отличаются повышенным валовым содержанием отдельных элементов относительно кларка растительности Мировой суши: Р, Mg, Na, Si, Al и Fe (из макрокомпонентов), Мп и Ti (из рассеянных элементов).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Беус А. А. Геохимия литосферы / Беус А. А. – М.: Недра, 1972. – 296 с.
2. Галахов А. В. Петрология Хибинского щелочного массива / Галахов А. В. – Л.: Наука, 1975. – 256 с.
3. Герасимовский В. И. Геохимия Ловозерского массива / В. И. Герасимовский, В. П. Волков, Ю. А. Балашов, и др. – М.: Наука, 1966. – 380 с.
4. Добровольский В. В. Основы биогеохимии / Добровольский В. В. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.
5. Козаренко А. Е. Некоторые формы алюминия в почвах Хибинско-Ловозерского щелочного плутона / А. Е. Козаренко, В. А. Семенов // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. № 1 (29). – 2018. – С. 35-46.
6. Козаренко А. Е. Особенности химического состава почв Хибинского и Ловозерского массивов / А. Е. Козаренко, В. А. Семенов // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. – № 2(22). – 2016. – С. 62-72.
7. Манаков К. Н. Элементы биологического круговорота в лесотундровых ландшафтах Кольского полуострова / Манаков К. Н. // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. – Л.: Наука, 1971. – С. 207-212.

8. Марченко К. Н. Минеральный обмен в еловых лесах северной тайги и лесотундры Архангельской области / К. Н. Марченко, Е. М. Карлов // Почвоведение. – №7. – 1962. – С. 52-66.
9. Перельман А. И. Геохимия ландшафта / Перельман А. И. – М.: Высшая школа, 1975. – 341 с.
10. Полюнов Б. Б. Первые стадии почвообразования на массивно-кристаллических породах / Полюнов Б. Б. // Почвоведение. – №7. – 1945. – С. 327-339.
11. Рябцева К. М. Геохимические особенности растительности высотных поясов Хибинских гор / Рябцева К. М. // Ученые записки МГПИ. Вопросы геохимии и геологии. – №261. – 1968. – С. 20-28.
12. Филатова Е. В. Формы аккумуляции тяжелых металлов в ландшафтно-геохимических условиях Восточно-Европейского сектора Субарктики. / Филатова Е. В. // Автореферат дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук: защищена 11.05.1992 : утв. 23.10.1992 / Е. В. Филатова. – М.: МПГУ, 1992. – 16 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Beus A. A. Geochimiya lytosfery [Geochemistry of the lithosphere] / Beus A. A. – М.: Nedra, 1972. – 296 p. [in Russian]
2. Galakhov A. V. Petrologiya Khibinskogo schelotschnogo massiva [Petrology of the Khibinsky alkaline massif] / Galakhov A. V. – L.: Nauka, 1975. – 256 p. [in Russian]
3. Gerasimovskiy V. I. Geochimiya Lovozerskogo massiva [Geochemistry of the Lovozersky massif]. / V. I. Gerasimovskiy, V. P. Volkov, U. A. Balashov et al. – М.: Nauka, 1966. – 380 p. [in Russian]
4. Dobrovolskiy V. V. Osnovy biogeokhimii [Basics of the biogeochemistry] / Dobrovolskiy V. V. – М.: Vyschaya shkola, 1998. – 413 p. [in Russian]
5. Kozarenko A. E. Nekotorye formy aluminiya v potchvah Khibinsko-Lovozerskogo schelochного plutona [Some forms of aluminium in the Soils of the Khibinskiy-Lovozerskiy alkaline pluton] / V. A. Semenov, A. E. Kozarenko // Vestnik MGPU. Estestvennye nauki [Bulletin of MGPU. Natural sciences]. – № 1(29). – 2018. – P. 35-46. [in Russian]
6. Kozarenko A. E. Osobennosti khimicheskogo sostava potchv Khibinskogo i Lovozerskogo Massivov [Chemical Composition's Features of the Soils in the Khibinskiy and Lovozerskiy Massifs] / A. E. Kozarenko, V. A. Semenov // Vestnik MGPU. Estestvennye nauki [Bulletin of MGPU. Natural sciences]. – № 2(22). – 2016. – P. 62-72. [in Russian]
7. Manakov K. N. Elementy biologicheskogo krugovorota v lesotundrovyykh landschaftakh Kolskogo poluostrova [Elements of the biological cycle in the forest-tundra landscapes of the Kola Peninsula] / Manakov K. N. // Biologicheskaya produktivnost i krugovorot khimicheskikh elementov v rastitelnykh soobshchestvakh Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах [Biological productivity and circulation of the chemical elements in the plant communities]. – L.: Nauka, 1971. – P. 207-212. [in Russian]
8. Martchenko K. N. Mineralnyi obmen v elovykh lesakh severnoi taigi i lesotundry Arkhangel'skoi oblasti [Mineral exchange in the spruce forests of the Northern taiga and forest tundra of the Arkhangelsk region] / K. N. Martchenko, E. M. Karlov // Pochvovedenie [Pedology]. – №7. – 1962. – P. 52-66. [in Russian]
9. Perelman A. I. Geochimiya landschafta [Geochemistry of the landscape] / Perelman A. I. – М.: Vyschaya shkola, 1975. – 341 p. [in Russian]
10. Polynov B. B. Pervyye stadii pochvoobrazovaniya na massivno-kristallicheskikh porodakh [The first stages of the soil formation on the massive-crystalline rocks] / Polynov B. B. // Pochvovedenie [Pedology]. – №7. – 1945. – P. 327-339. [in Russian]
11. Ryabtseva K. M. Geokhimicheskiye osobennosti rastitelnosti vysotnykh pojasov Khibinskiykh gor [Geochemical features of the vegetation of the high-altitude zones of the Khibiny mountains] / Ryabtseva K. M. // Uchenye zapiski MGPI. Voprosy geokhimii i geologii [Scientific notes of Moscow state pedagogical Institute. Questions of Geochemistry and Geology]. – №261. – 1968. – P. 20-28. [in Russian]
13. Filatova E. V. Formy akkumulyatsii tyazhelykh metallov v landschaftno-geokhimicheskikh usloviyakh Vostochno-Evropeyskogo sektora Subarktiki [Forms of accumulation of the heavy metals in the landscape-geochemical conditions of the Eastern European subarctic sector] / Filatova E. V. / autoabstract ... of PhD in Geography : defense of the thesis 11.05.92 : approved 23.10.1992 – М.: MGPU, 1992. – 16 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.028>

УЧАСТИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОФАМИНА В ПРОЦЕССАХ УГНЕТЕНИЯ ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КРЫС ПРИ ЕЖЕДНЕВНОМ ТЕСТИРОВАНИИ

Научная статья

Хусаинов Д.Р.^{1,*}, Аблякимова В.Л.², Кормочи К.А.³, Зиновик Е.В.⁴, Клименко К.С.⁵¹ORCID: 0000-0003-0974-6792;^{1,2}ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Симферополь, Россия;^{3,4,5}Средняя образовательная школа №18, Симферополь, Россия

* Корреспондирующий автор (gangliu[at]yandex.ru)

Аннотация

В результате проведенного исследования было выяснено, что при ежедневном шестидневном тестировании крыс-самок в открытом поле наблюдается выраженная двигательная депривация, начиная с третьих суток эксперимента. При этом, уровень тревожности животных остается относительно стабильным, следовательно фактор тревожности не может являться причиной происходящего угнетения двигательной активности. Блокада моноаминоксидазы-B селегилином (введение внутривентрикулярное в дозе 2,5 мг/кг за 1,5 часа до тестирования) слабо изменяет направленность и выраженность угнетения двигательной активности крыс-самок и с третьего дня динамики изменений поведенческой активности животных контрольной и экспериментальной групп полностью совпадают. Следовательно, центральный дофамин не способен препятствовать подавлению указанных характеристик в концентрации, которая формируется через 1,5 часа после введения блокатора моноаминоксидазы-B.

Считаем, что основной причиной угнетения двигательной активности при ежедневном тестировании животных в одинаковых экспериментальных условиях, в нашем случае в открытом поле, является потеря мотивации к исследованию тестового пространства. Это происходит в силу того, что животные постепенно запоминают экспериментальную установку и теряют к ней исследовательский интерес. С этой точки зрения, можно говорить о том, что центральный дофамин не только не вызывает двигательной активации, но и не способствует поддержанию исследовательской мотивации, по крайней мере, через 1,5 часа после блокады моноаминоксидазы-B.

Ключевые слова: двигательная депривация, дофамин, тревожность, открытое поле.

ROLE OF CENTRAL DOPAMINE IN BEHAVIORAL SUPPRESSION PROCESSES OF RATS DURING DAILY TESTING

Research article

Khusainov D.R.^{1,*}, Ablyakimova V.L.², Kormochi K.A.³, Zinovik E.V.⁴, Klimenko K.S.⁵¹ORCID: 0000-0003-0974-6792;^{1,2}Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia;^{3,4,5}Secondary School No.18, Simferopol, Russia

* Corresponding author (gangliu[at]yandex.ru)

Abstract

According to the results, it is found that with a daily six-day testing of female rats in an open field, a significant motor deprivation is observed starting from the third day of the experiment. At the same time, the anxiety level of animals remains relatively stable, therefore, the anxiety factor cannot be the reason of the inhibition of motor activity. The blockade of monoamine oxidase-B by selegiline (intraperitoneal administration at a dose of 2.5 mg/kg 1.5 hours before testing) slightly changes the direction and severity of inhibition of motor activity of female rats and from the third day, the dynamics of changes in the behavioral activity of animals in the control and experimental groups completely coincide. Therefore, central dopamine is not able to prevent the suppression of these characteristics in a concentration that forms 1.5 hours after the administration of the monoamine oxidase-B blocker.

The authors believe that the main reason for the suppression of motor activity during daily testing of animals in the same experimental conditions, in the case of an open field, is the loss of motivation to study the test space. This is due to the fact that animals gradually memorize the experimental conditions and lose their research interest. From this point of view, we can say that central dopamine does not cause motor activation, but also does not contribute to the maintenance of research motivation, at least 1.5 hours after the blockade of monoamine oxidase-B.

Keywords: motor deprivation, dopamine, anxiety, open field.

Введение

Важнейшим аспектом жизнедеятельности млекопитающих является познавательная исследовательская активность, формирующая естественную потребность к изучению всего нового: пространства, объекта, явления и т.д. Общеизвестным фактом является то, что в случае повторяющегося явления любой модальности и природы интерес к нему постепенно снижается, вплоть до полного подавления его значимости. Считается, что такое угнетение познавательной активности животных (реакция на новизну) в экспериментальных лабораторных условиях при ежедневном тестировании в открытом поле развивается к третьим-четвертым суткам тестирования [1]. Выражается это угнетение, например в открытом поле, в снижении таких показателей, как пройденная дистанция, исследовательская активность, время и количество выходов в центр [1], [2]. В целом, животное перестает исследовать тестовое пространство и демонстрирует пассивное поведение. Кроме того, на динамику процесса угнетения

поведенческой активности крыс могут сказываться дополнительные факторы, например, изменение уровня тревожности [2].

По общепризнанной моноаминергической теории важнейшую роль в контроле поведенческой активности играет дофамин, в том числе и в познавательной деятельности. Но взгляды различных авторов на уровень его участия в поддержании интереса к исследованию, сохранению познавательной мотивации остаются спорными и противоречивыми. Так встречаются работы, в которых не обнаружено значимого влияния центрального дофамина на процессы обучения [3], но по результатам других авторов, наоборот, наблюдается улучшение процессов обучения у крыс в тесте Морриса [4]. Немало работ, в которых указаны протекторные и восстановительные эффекты дофамина в когнитивной сфере [5], [6]. Не менее противоречивы данные по эффектам увеличения концентрации центрального дофамина на двигательную активность и психоэмоциональное состояние животных. По направленности этого влияния указывается на угнетение двигательной активности [7], ее стимуляцию [8], отсутствие видимого эффекта [9] и, даже, на разнонаправленные эффекты в зависимости от дозы блокатора моноаминоксидазы (МАО) селегилина [10]. Отмечается наличие антидепрессантного и анксиолитического эффектов [7], [11], стимуляция груминга [3], [12] или отсутствие значимых психоэмоциональных поведенческих реакций [13]. Особенно слабо изученным и проблемным этот вопрос остается в сфере половой принадлежности животных, а именно, практически не изучен на самках млекопитающих.

В связи с указанным, **цель настоящей работы** была сформулирована так: выяснить участие центрального дофамина в процессах угнетения поведенческой активности крыс-самок при ежедневном тестировании.

Методы и принципы исследования

Исследования проводились на 20-ти белых крысах-самках линии Вистар возрастом 7 месяцев, содержащихся в стандартных условиях вивария. Все животные представляли собой однородную выборку со средней двигательной активностью; все самки в начале эксперимента находились в фазе диэструса (подтверждалось мазками). Крысы были разделены на две группы: контроль (n=10) и экспериментальная группа (n=10). Затем обе группы подвергались шестидневному ежедневному тестированию в круглом открытом поле диаметром 1 м. Показатели первого дня были приняты за фоновые значения. Клетки с животными обеих групп за два часа до тестирования переносились из вивария в лабораторию этологии. Крысам экспериментальной группы за 1,5 часа до начала тестирования внутривенно вводился блокатор МАО селегилин (в фармакологической форме «Юмекс», Sanofi, Венгрия) в дозе 2,5 мг/кг объемом 0,2 мл. По литературным данным в указанной дозе селегилин преимущественно блокирует МАО-В [10], [11]. Важно подчеркнуть, что временной промежуток между инъекцией блокатора и началом тестирования был выбран не случайно. Опираясь на литературные данные можно констатировать, что поведенческие реакции животных на блокаду МАО могут отличаться в зависимости от этого интервала [10], [14]. В встречающихся работах тестирование могло начинаться через различное время после инъекции блокатора, например, через 1,5; 2; 3 часа или более. В настоящем исследовании мы выбрали интервал в 1,5 часа и в дальнейшем планируем повторить исследовательский цикл, но уже с другими интервалами.

Животным контрольной группы также за 1,5 часа до тестирования вводили 0,2 мл физиологического раствора.

Перед началом тестирования в тестовой установке прогонялась, так называемая, нулевая крыса. После каждого животного все биологические следы удалялись и поле тщательно протиралось. Время нахождения каждой крысы контрольной и экспериментальной групп составляло 5 минут. Этот отрезок времени записывался видеокамерой высокого разрешения, затем видеозапись автоматически анализировалась в программном комплексе Noldus EthoVision 12. Пространство поля было разделено на три зоны: центр, следующий за ним внутренний круг и названный нами внешний круг, контактирующий с ограничивающей стенкой.

Статистическому анализу были подвергнуты такие показатели: пройденная дистанция, скорость передвижения и время нахождения крыс в различных зонах открытого поля в программе GraphPad Prism 7.0.

Основные результаты и обсуждение

В описании результатов исследования уделим особое внимание группе крыс, у которых блокировалась МАО-В, данные по контрольной группе будут представлены в виде сравнения с экспериментальной группой.

Итак, при анализе поведенческих показателей крыс-самок, у которых блокировалось МАО-В, было выяснено, что при шестидневном тестировании происходит постепенное угнетение двигательной активности. Так, на рисунке 1 проиллюстрировано шестидневная динамика пройденной дистанции и скорости передвижения крыс-самок. Видно, что к третьему дню тестирования происходило достоверное снижение показателя пройденной дистанции по отношению к первому (фоновому) дню тестирования. Фоновое значение пройденной дистанции составляло $2028 \pm 251,2$ см, а на третий день сокращалось до $1098 \pm 116,9$ см при $p \leq 0,05$. Далее этот показатель постепенно сокращался с возрастанием уровня значимости отличий от фонового значения.

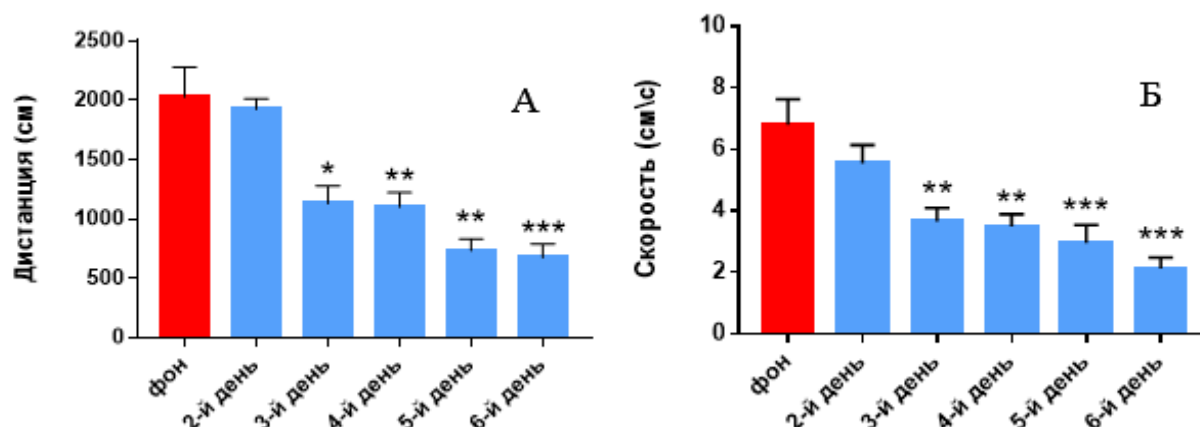


Рис. 1 – Шестидневная динамика пройденной дистанции (А) и скорости передвижения крыс-самок в открытом поле при блокаде моноаминоксидазы-В

Примечания: даны среднее значение и ошибка среднего, значение показателя первого дня принято за фон, * - отличия от показателя первого дня (фон) при $p \leq 0,05$, ** - при $p \leq 0,01$, *** - при $p \leq 0,001$

Показателем взаимосвязанным с пройденной дистанцией крысами-самками является их скорость передвижения. Так, из рисунка 1 (Б) видно, что к третьему дню тестирования происходило достоверное снижение показателя скорости передвижения по отношению к первому (фоновому дню) дню тестирования. Фоновое значение скорости передвижения составляло $6,8 \pm 0,83$ см/с на третий день – $3,6 \pm 0,44$ см/с. Далее этот показатель постепенно сокращался с возрастанием уровня значимости отличий от фонового значения.

Следовательно, двигательная активность экспериментальных животных при шестидневном тестировании в открытом поле в условиях блокады MAO-B постепенно снижается по отношению к фоновому показателю, достигая достоверного уровня значимости различий начиная с третьего дня эксперимента. Таким образом, увеличение концентрации центрального дофамина не препятствует угнетению двигательной активности при ежедневном тестировании, по крайней мере, через 1,5 часа после блокады MAO-B. Этот экспериментальный результат совпадает с данными ряда авторов, которые не обнаружили значимого влияния селегилина в сопоставимых дозах и временных интервалах на двигательную активность крыс [7], [10], [13].

Исследуя график зависимости нахождения крыс в центре открытого поля, можно констатировать факт отсутствия достоверных отличий на протяжении всего шестидневного экспериментального периода (рис. 2). При этом, обращает на себя внимание пятый день эксперимента, на который происходило существенное расслоение исследуемого показателя. Для наглядной иллюстрации указанного феномена на рисунке 2 данные представлены в виде среднего и стандартного отклонения. Возможно, такое явление связано с изменением психоэмоционального фона животных в условиях повышенной концентрации центрального дофамина. Также, можно полагать, что эти изменения могут носить циклический характер и обнаруженный факт расслоения становится актуальным вопросом для дальнейшего исследования и может послужить стартовой позицией для последующего экспериментального поиска.

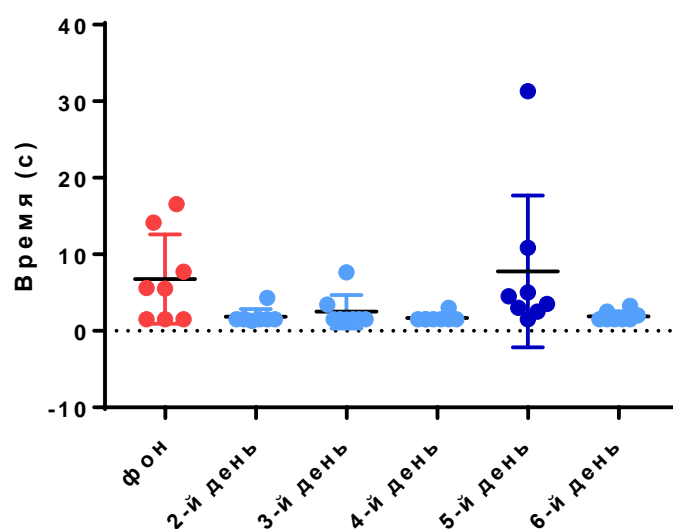


Рис. 2 – Шестидневная динамика времени нахождения крыс-самок в центре открытого поля при блокаде моноаминоксидазы-В

Примечания: даны среднее значение и стандартное отклонение

Последними двумя показателями, которые были проанализированы в настоящей работе, явились время нахождения крыс во внутреннем и внешнем кругах открытого поля (рис. 3).

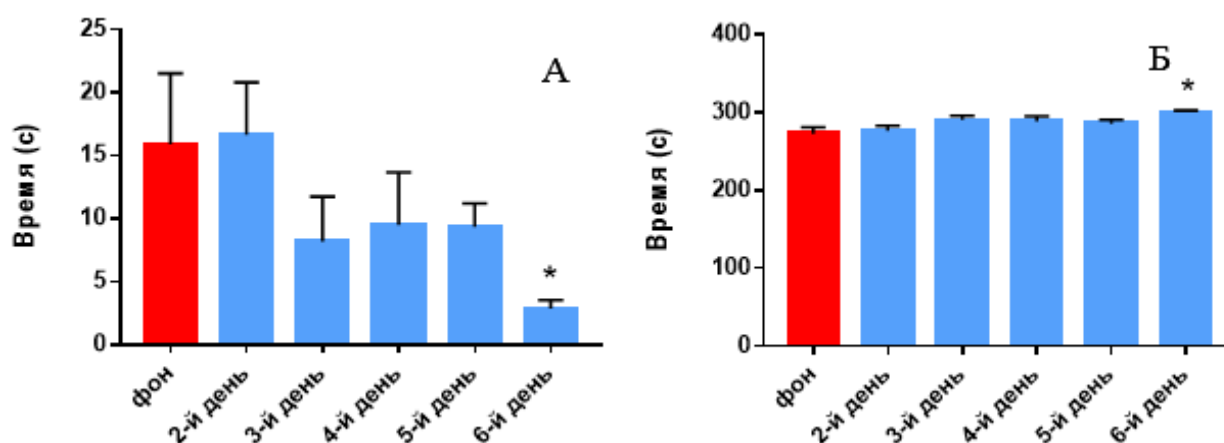


Рис. 3 – Шестидневная динамика времени нахождения крыс-самок во внутреннем круге (А) и внешнем круге (Б) открытого поля при блокаде моноаминоксидазы-В

Примечания: обозначения те же, что и на рис. 1

На указанных рисунках чётко видно, что достоверные отличия фиксируются только на шестой день эксперимента: время во внутреннем круге сокращается (от $15,9 \pm 5,6$ сек в фоне до $2,8 \pm 0,7$ на шестой день при $p \leq 0,05$) и, соответственно, во внешнем увеличивается (от $273,2 \pm 8,2$ сек до $298 \pm 1,4$ сек при $p \leq 0,05$).

Избегание центральных частей открытого поля может указывать на увеличение уровня тревожности животных [7], следовательно, обнаруженное изменение можно расценивать, как увеличение уровня тревожности животных на шестой день тестирования. Но мы считаем, что утвердительно делать такой вывод сложно, так как основной маркер этого показателя – время нахождения в центре открытого поля на протяжении шести дней не изменяется. И, кроме того, дополнительный маркер – время нахождения во внутреннем круге открытого поля демонстрирует достоверное сокращение только на шестой день. По совокупному результату нельзя уверенно говорить о заметном увеличении уровня тревожности крыс-самок при шестидневном тестировании. Также, сокращение времени нахождения крыс-самок во внутреннем круге может быть, в большей степени, связано с угнетением двигательной активности, а не с изменением психоэмоционального состояния. То есть, крысы мало передвигаются и поэтому реже покидают зону максимальной комфортности в силу выраженной депривации мотивации к исследованию на шестой день тестирования, а не из-за возрастающей тревожности.

Далее будет проведено сравнение шестидневной динамики основных поведенческих показателей крыс в открытом поле между двумя группами: контроль и с блокадой МАО-В.

На рисунке 4 проиллюстрированы шестидневные динамики пройденной дистанции и скорости передвижения крыс двух групп. В целом, видно, что эти динамики совпадают и демонстрируют однонаправленные изменения. Но, следует отметить, что на вторые сутки эксперимента между группами проявляются достоверные отличия в значении пройденной дистанции и скорости передвижения животных. В группе крыс, у которых блокировалась МАО-В значения выше по сравнению с контрольными. В контроле пройденная дистанция равнялась $1733 \pm 18,6$ см, а в экспериментальной группе – $2003 \pm 223,4$ см при $p \leq 0,05$.

Аналогичные изменения наблюдались и в динамиках скорости передвижения крыс-самок: на вторые сутки в контроле ее значение составляло $3,95 \pm 0,15$ см/сек, в экспериментальной группе – $5,9 \pm 0,85$ см/сек при $p \leq 0,05$.

Также, следует сказать, что достоверные отличия таких поведенческих показателей, как пройденная дистанция и скорость передвижения по сравнению с фоновыми, в динамике контрольной группы проявляются с третьих суток эксперимента. Этот факт аналогичен таковому в экспериментальной группе, что, лишь еще раз, подтверждает общность динамик изменений поведенческих показателей в обеих группах.

Следовательно, в первые экспериментальные дни центральный дофамин несколько снижает выраженность подавления двигательной активности крыс-самок, но не препятствует общей направленности изменений и уже с третьих суток экспериментального отрезка времени показатели этих групп полностью совпадают.

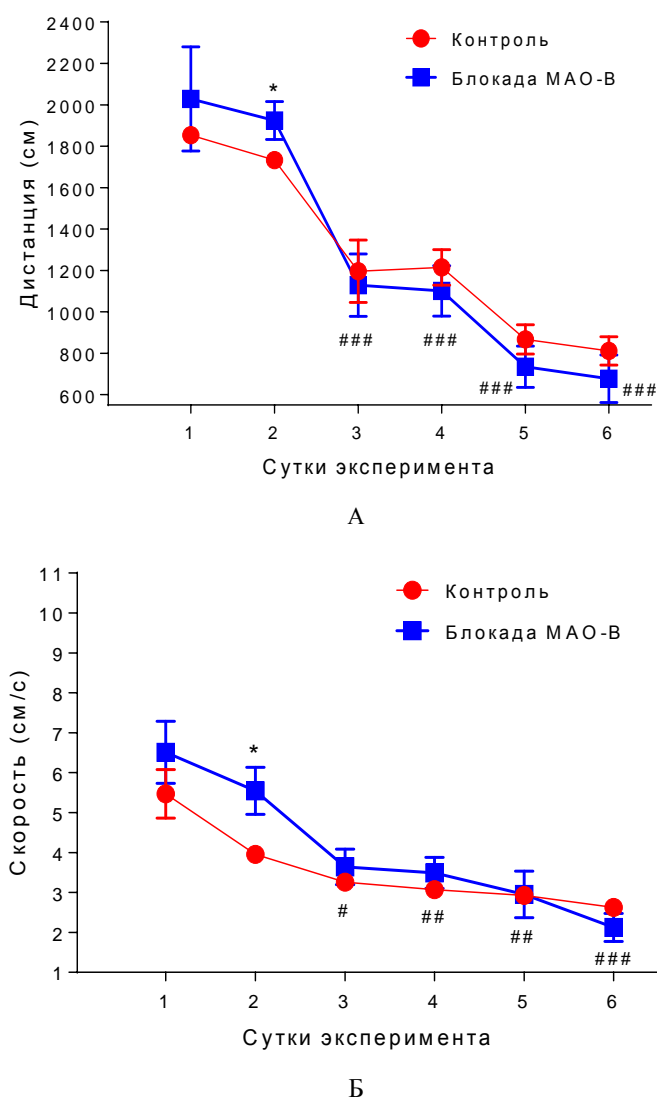


Рис. 4 – Сравнение шестидневной динамики пройденной дистанции и скорости передвижения крыс-самок контрольной и экспериментальной групп

Примечания: даны среднее значение и ошибка среднего, MAO-B – моноаминоксидаза-B, * – отличия значений показателя соответствующего дня исследования между контрольной и экспериментальной группами при $p \leq 0,05$; # – отличия от значений показателя первого дня (фон) в контрольной группе при $p \leq 0,05$, ## – при $p \leq 0,01$, ### – при $p \leq 0,001$

Так как, в использованном исследовательском подходе, двигательная активность прямопропорционально связана с естественным любопытством крыс и с их мотивацией к исследованию пространства [1], можно утверждать, что центральный дофамин не способен препятствовать подавлению указанных характеристик в концентрации, которая формируется через 1,5 часа от введения блокатора MAO-B.

Обращает на себя внимание сравнение шестидневной динамики времени нахождения крыс-самок экспериментальной и контрольной групп в центре открытого поля (рис. 5).

Видно, что на фоне общего снижения этого показателя наличествуют его пики, особо выраженные у животных с блокадой MAO-B, на третьи и пятые экспериментальные сутки. Логично предположить, что центральный дофамин существенно усиливает естественную цикличность этого показателя. В результате в указанные дни тестирования проявляется достоверное межгрупповое отличие времени нахождения крыс-самок в центре открытого поля с большими значениями в экспериментальной группе при $p \leq 0,05$. Однако, указанные отличия значимо проявляются только при межгрупповом сравнении; во внутригрупповых динамиках различий между экспериментальными днями не проявилось. Следовательно, в каждой конкретной группе животных сложно говорить о существенном увеличении уровня тревожности (ранее подробно описано для крыс-самок экспериментальной группы) и этот фактор не может выступать причиной возникающей двигательной депривации. А значит, получен экспериментальный аргумент в пользу мнения о первостепенности угнетения мотивации к исследованию крысами окружающего пространства, в результате которого и проявляется двигательная депривация. В связке со сказанным, можно предполагать, что центральный дофамин не способен препятствовать угнетению исследовательской мотивации.

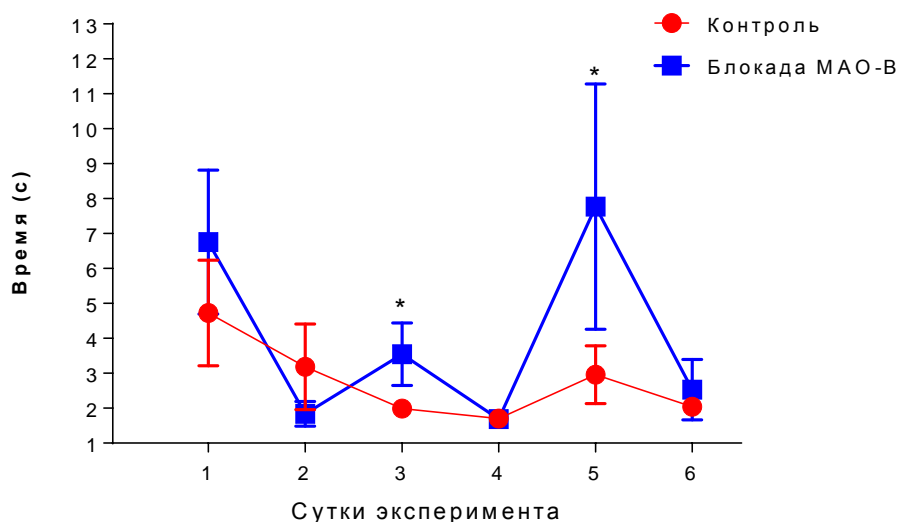


Рис. 5 – Сравнение шестидневной динамики времени нахождения крыс-самок в центре открытого поля контрольной и экспериментальной групп

Примечание: обозначения те же, что и на рис. 4

Заключение

1. Шестидневная динамика двигательной активности крыс при блокаде МАО-В демонстрирует в открытом поле постепенное линейное снижение показателя. Это угнетение проявляется в сокращении пройденной дистанции и снижении скорости передвижения по сравнению с фоновым значением и достигает достоверного уровня значимости уже с третьих суток тестирования.

2. Время нахождения животных экспериментальной группы в разных зонах открытого поля проявляет относительную устойчивость и достоверные отличия от фоновых значений наблюдаются только на шестой день: длительность нахождения во внутреннем круге открытого поля сокращается, а во внешнем увеличивается. Достоверных отличий в показателе времени нахождения крыс в центре открытого поля не выявлено.

3. Сравнение шестидневных динамик экспериментальной и контрольной групп позволяет постулировать, что центральный дофамин не препятствует подавлению поведенческой активности животных при ежедневном тестировании, но циклично продлевает время нахождения животных в центре открытого поля.

4. По совокупному результату уровень тревожности животных обеих групп демонстрирует достаточную стабильность в течении шестидневного периода, следовательно увеличение тревожности не может выступать причиной двигательной депривации.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Якимовский А. Ф. Влияние хлорида цинка, введенного в неостриатум, на двигательное поведение крыс / А. Ф. Якимовский // Журнал высшей нервной деятельности. – 2011. – Т. 61, № 2. – С. 212-218
2. Калугин А.В. Проблемы изучения стрессорного поведения / А.В. Калугин. – К.: Центр физиолого-биохимических проблем, 1998. – 133 с.
3. Barbelivien A. Inhibition of MAO-A activity enhances behavioural activity of rats assessed using water maze and open arena tasks / A. Barbelivien, L. Nyman, A. Naapalinna & J. Sirviö // Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology. – 2001. – 88(6), – P. 304-312. doi:10.1034/j.1600-0773.2001.d01-122.x
4. Singh R. Effect of L-deprenyl treatment on electrical activity, Na⁺, K⁺ ATPase, and protein kinase C activities in hippocampal subfields (CA1 and CA3) of aged rat brain / R. Singh, M. Mishra, S. Singh & D. Sharma // Indian journal of experimental biology – 2012. – 50(2). – P. 101-109. PMID 22670472
5. Takahata K. Effects of selegiline alone or with donepezil on memory impairment in rats / K. Takahata, A. Minami, H. Kusumoto, S. Shimazu & F. Yoneda // European journal of pharmacology. – 2005. – 518(2). – P. 140-144. PMID: 16061218 DOI: 10.1016/j.ejphar.2005.06.024
6. de Lima M. N. M. Selegiline protects against recognition memory impairment induced by neonatal iron treatment / M. N. M. de Lima, D. C. Laranja, F. Caldana, M. M. Grazziotin, V. A. Garcia, F. Dal-Pizzol & N. Schröder // Experimental neurology. – 2005. – 196(1). – P. 177-183. PMID: 16122736 DOI: 10.1016/j.expneurol.2005.07.017
7. Nowakowska E. Investigating potential anxiolytic, antidepressant and memory enhancing activity of deprenyl / E. Nowakowska, K. Kus, A. Chodera & J. Rybakowski // J Physiol Pharmacol. – 2001. – 52(4 Pt 2). – P. 863-73. PMID: 11785779
8. Smith D. F. Effects of tranlycypromine stereoisomers, clorgyline and deprenyl on open field activity during long term lithium administration in rats / D. F. Smith // Psychopharmacology. – 1976. – V. 50, 1. – P. 81-84. DOI:10.1007/BF00634159
9. D. Schulz Rats bred for helplessness exhibit positive reinforcement learning deficits which are not alleviated by an antidepressant dose of the MAO-B inhibitor deprenyl / D. Schulz, F. A. Henn, D. Petri & J. P. Huston // Neuroscience. – 2016.

– 329. – P. 83-92. PMID: 27163379 DOI: 10.1016/j.neuroscience.2016.04.049

10. S. Shimazu Antidepressant-like effects of selegiline in the forced swim test / S. Shimazu, A. Minami, H. Kusumoto & F. Yoneda // *European neuropsychopharmacology*. – 2005. – 15(5). – P. 563-571. PMID: 16139174 DOI: 10.1016/j.euroneuro.2005.02.003

11. M. N. Gordon Oral versus transdermal selegiline: antidepressant-like activity in rats / M. N. Gordon, C. D. Muller, K. A. Sherman, D. G. Morgan, A. J. Azzaro & L. Wecker // *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. – 1999. – 63(3). – P. 501-506.

12. Amiri S. Involvement of D1 and D2 dopamine receptors in the antidepressant-like effects of selegiline in maternal separation model of mouse / S. Amiri, H. Amini-Khoei, A. Mohammadi-Asl, S. Alijanpour, A. Haj-Mirzaian, M. Rahimi-Balaei & M. R. Zarrindast // *Physiology & behavior*. – 2016. – 163. – P. 107-114. doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.04.052

13. Pascual R. Chronic (–)-deprenyl administration attenuates dendritic developmental impairment induced by early social isolation in the rat / R. Pascual, S. P. Zamora-León // *Developmental neuroscience*. – 2006. – V. 29, 3. – P. 261-267. dx.doi.org/10.1159/000096413

14. Ferigolo M. Comparison of behavioral effects of moclobemide and deprenyl during forced swimming / M. Ferigolo, H. M. Barros, A. R. Marquardt & M. Tannhauser // *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. – 1998. – 60(2). – P. 431-437 doi.org/10.1016/S0091-3057(98)00011-2

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yakimovsky A. F. Vliyanie hlorigida cinka, vvedennogo v neostriatum, na dvigatel'noe povedenie krysa [Influence of zinc chloride introduced into the neostriatum on the motor behavior of rats] / A. F. Yakimovsky // *Zhurnal vysshej nervnoj deyatel'nosti* [Journal of higher nervous activity]. – 2011. – V. 61, 2. – P. 212-218 [in Russian]

2. Kluev A. V. Problemy izucheniya stressornogo povedeniya [Problems of the study of stress behavior] / A. V. Kluev. – K.: Center of physiological and biochemical problems, 1998. – 133 p. [in Russian]

3. Barbelivien A. Inhibition of MAO-A activity enhances behavioural activity of rats assessed using water maze and open arena tasks / A. Barbelivien, L. Nyman, A. Haapalinna & J. Sirviö // *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*. – 2001. – 88(6). – P. 304-312. doi:10.1034/j.1600-0773.2001.d01-122.x

4. Singh R. Effect of L-deprenyl treatment on electrical activity, Na⁺, K⁺ ATPase, and protein kinase C activities in hippocampal subfields (CA1 and CA3) of aged rat brain / R. Singh, M. Mishra, S. Singh & D. Sharma // *Indian journal of experimental biology* – 2012. – 50(2). – P. 101-109. PMID 22670472

5. Takahata K. Effects of selegiline alone or with donepezil on memory impairment in rats / K. Takahata, A. Minami, H. Kusumoto, S. Shimazu & F. Yoneda // *European journal of pharmacology*. – 2005. – 518(2). – P. 140-144. PMID: 16061218 DOI: 10.1016/j.ejphar.2005.06.024

6. de Lima M. N. M. Selegiline protects against recognition memory impairment induced by neonatal iron treatment / M. N. M. de Lima, D. C. Laranja, F. Caldana, M. M. Graziotin, V. A. Garcia, F. Dal-Pizzol & N. Schröder // *Experimental neurology*. – 2005. – 196(1). – P. 177-183. PMID: 16122736 DOI: 10.1016/j.expneurol.2005.07.017

7. E. Nowakowska Investigating potential anxiolytic, antidepressant and memory enhancing activity of deprenyl / E. Nowakowska, K. Kus, A. Chodera & J. Rybakowski // *J Physiol Pharmacol*. – 2001. – 52(4 Pt 2). – P. 863-73. PMID: 11785779

8. Smith D. F. Effects of tranlycypromine stereoisomers, clorgyline and deprenyl on open field activity during long term lithium administration in rats / D. F. Smith // *Psychopharmacology*. – 1976. – V. 50, 1. – P. 81-84. DOI:10.1007/BF00634159

9. Schulz D. Rats bred for helplessness exhibit positive reinforcement learning deficits which are not alleviated by an antidepressant dose of the MAO-B inhibitor deprenyl / D. Schulz, F. A. Henn, D. Petri & J. P. Huston // *Neuroscience*. – 2016. – 329. – P. 83-92. PMID: 27163379 DOI: 10.1016/j.neuroscience.2016.04.049

10. Shimazu S. Antidepressant-like effects of selegiline in the forced swim test / S. Shimazu, A. Minami, H. Kusumoto & F. Yoneda // *European neuropsychopharmacology*. – 2005. – 15(5). – P. 563-571. PMID: 16139174 DOI: 10.1016/j.euroneuro.2005.02.003

11. Gordon M. N. Oral versus transdermal selegiline: antidepressant-like activity in rats / M. N. Gordon, C. D. Muller, K. A. Sherman, D. G. Morgan, A. J. Azzaro & L. Wecker // *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. – 1999. – 63(3). – P. 501-506.

12. Amiri S. Involvement of D1 and D2 dopamine receptors in the antidepressant-like effects of selegiline in maternal separation model of mouse / S. Amiri, H. Amini-Khoei, A. Mohammadi-Asl, S. Alijanpour, A. Haj-Mirzaian, M. Rahimi-Balaei & M. R. Zarrindast // *Physiology & behavior*. – 2016. – 163. – P. 107-114. doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.04.052

13. Pascual R. Chronic (–)-deprenyl administration attenuates dendritic developmental impairment induced by early social isolation in the rat / R. Pascual, S. P. Zamora-León // *Developmental neuroscience*. – 2006. – V. 29, 3. – P. 261-267. dx.doi.org/10.1159/000096413

14. Ferigolo M. Comparison of behavioral effects of moclobemide and deprenyl during forced swimming / M. Ferigolo, H. M. Barros, A. R. Marquardt & M. Tannhauser // *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. – 1998. – 60(2). – P. 431-437 doi.org/10.1016/S0091-3057(98)00011-2

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.029>

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ СТЕКОЛ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Научная статья

Сидикова Т.Д. *

ORCID: 0000-0001-8745-6710,

Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог,
Ташкент, Узбекистан

* Корреспондирующий автор (Taxira-dalievna[at]mail.ru)

Аннотация

Обобщены данные о синтезе метастабильных стекол и стеклокристаллических материалов на основе золошлаков Ангренской (ТЭЦ), флотоотходов флюоритовой обогатительной фабрики (ФОФ). Показан состав и технологические параметры.

Такая комплексная переработка отходов угля не только обеспечит значительное расширение сырьевой базы для производства строительных материалов и выработки дополнительной энергии, но и поможет решить экологические проблемы и улучшить экологическую ситуацию в промышленных регионах.

Ключевые слова: стекло, стеклофаза, процесс спекания, расплав, кристаллизация.

RESEARCH OF CRYSTALLIZATION PROPERTIES AND GLASS STRUCTURE OF CONSTRUCTION PURPOSE BASED ON PRODUCTION WASTE

Research article

Sidikova T.D. *

ORCID: 0000-0001-8745-6710,

Tashkent Institute for design, construction and operation of automobile roads Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

* Corresponding author (taxira-dalievna[at]mail.ru)

Abstract

Data on the synthesis of metastable glasses and glass crystalline materials based on the ash and slag of the Angren (CHP), flotation waste fluorite dressing factory (FOF) are summarized in this paper. The author shows the composition and technological parameters.

Such integrated processing of coal waste will not only ensure a significant expansion of the raw material base for the production of building materials and generate additional energy, but also help to solve environmental problems and improve the environmental situation in industrial regions.

Keywords: glass, glass phase, the process of sintering, melts crystallization.

Расширение промышленного и гражданского строительства в нашей стране вызывает необходимость создания новых и повышения технологических и эксплуатационных свойств существующих строительных материалов, в том числе шлакоситаллов.

Шлаки Ангренской ТЭЦ характеризуются довольно высоким содержанием оксидов алюминия, кальция и железа. По химическому составу они могут быть отнесены к тройной системе $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Использование оксидных катализаторов кристаллизации для синтезированных составов шлакоситаллов представляет несомненный практический интерес, что определяется возможностью не только расширения ассортимента шлакоситаллов с различными физико-химическими свойствами, но и повышения стабильности процесса и удешевления производства таких материалов. Кроме того, комплексное использование промышленных отходов имеет важное значение, как с экологическим, так и экономическим аспекте. Научно обоснованный подход к данной проблеме является важной народнохозяйственной задачей и возведено на уровень государственной проблемы (политики) [1].

Цель работы – изучить особенности синтеза стеклокристаллических материалов на основе шлаков Ангренской ТЭЦ, а также исследовать их технологические свойства в зависимости от содержания исходных компонентов и температурного режима варки.

Химический состав шлаков Ангренской ТЭЦ следующий (здесь и далее массовое содержание %): SiO_2 45,07; Al_2O_3 19,84; Fe_2O_3 11,25; CaO 6,51; MgO 0,97; SO_3 1,27; Na_2O 0,70, K_2O 1,15; п.п.п 7,20.

Анализ результатов проведенных исследований показал возможность и экономическую целесообразность использования отходов флюоритовой обогатительной фабрики (ФОФ) и золошлаков ТЭЦ для изготовления декоративно - облицовочных стеклокристаллических материалов, при производстве которых обычно используют дефицитные сырьевые материалы и дорогостоящие глушители стекла.

Выбор этих материалов обусловлен тем, что золошлаки содержат в среднем 8-10% топливных остатков, что позволяет снизить температуру, и ускоряет стеклование.

По данным фазовых состав флотохвостов, состоящих в основном из кварца и полевого шпата могут служить в качестве плавней, интенсифицирующих кристаллообразование аморфных сплавов. Частично или полностью закристаллизованные стекла могут быть использованы для получения новых кристаллических материалов обладающих комплексом высоких физико-химических свойств.

В процессе проведения флотационных переработок на рудный материал воздействуют реагентами, являющимися поверхностно-активными веществами [2], [3]. В результате сырьевые материалы перемешиваются в смесителях более интенсивно, обеспечивая улучшенные качества, приготавливаемой шихты и повышает варочные характеристики стекла.

Ускорить стадии стеклообразования, можно путем полностью заменяя кварцевый песок на флотоотходы. В результате взаимодействия между гидратами, карбонатами, сульфатами образуются силикаты, зерна кварца растворяются в области более низких температур и переходят в раствор.

Получения стеклокристаллических материалов на основе вышеуказанных отходов полностью соответствует общепринятым методикам и технологическим регламентам производства синтеза стеклокристаллических материалов.

Была принята попытка максимально использовать шлак для получения стекла с удовлетворительными варочными и выработочными кристаллизационными свойствами. Были исследованы стекла девяти серий составов, отличающихся составом шихт, содержащих 10-90% леса, 90-10% золошлака. Все составы варили в одинаковых условиях при температуре 1100-1150⁰С. Синтезированные стекла имели темно-коричневый и черный цвета, что объясняется содержанием в стекломассе Fe₂O₃ 4,56-11,25% оксидов железа. В процессе варки стекол с высоким содержанием шлака вязкость расплава увеличивается. Составы, содержащие 40-60% шлака, хорошо проварились и быстро сливались при температуре 1100⁰С. Кристаллизационную способность стекол исследовали в интервале температур 800-1000⁰С.

В основе синтеза стеклокристаллических материалов лежит управляемый процесс кристаллизации стекол. Экспериментальным путем, устанавливая температурную зависимость стационарной скорости зарождения, можно либо избежать кристаллизации, либо целеустремленно ее стимулировать, выдерживая образцы стекла в области температур вблизи температуры максимума скорости зарождения.

Результаты экспериментальных данных показали, что все стекла провариваются при температуре 1000-1100⁰С с выдержкой в течение 1-2ч.

Заданный состав стекол соответствовал, масс.в %: 69 SiO₂; 8,98 Al₂O₃; 0,35-1,56 Fe₂O₃; 7,65 CaO; 1,95 MgO; 3,47 Na₂O; 2,85 K₂O; 4,50 CaF₂.

Анализ шихт показал, что провар стекломассы с использованием флотоотходов проходит более интенсивно.

В целях изучения кристаллизационных свойств образцы стекол подвергали термической обработке в электрической печи при температуре 800⁰С в течение 30 мин.

По мнению ученых [1], [2] склонность стекол объемной кристаллизации без деформации при термообработке, к формированию стеклокристаллитовой структуры определяется химическим составом исходного сырья и введением инициаторов кристаллизации. Появление в сплаве двух и более жидких фаз способствуют образованию кристаллов, и на основе этих ликвидирующих составов могут быть получены стеклокристаллы без дополнительного введения инициаторов кристаллизации. В качестве инициаторов кристаллизации в состав стекла вводят металлы. Металлические катализаторы в расплаве в атомарном состоянии образуют агрегаты. Такие катализаторы, как оксид титана и фториды, способствуют развитию при термообработке метастабильной ликвиции. Введение Fe₂O₃ в сплавах образует магнетита Fe₂O₄ способствующей развитию при термообработке метастабильной ликвиции [5].

Фазовый состав кристаллизованных стекол были исследованы методами дифференциально-термическим анализом, рентгенофазового анализа (РФА) ликвиции.

Рентгенографический анализ закристаллизованных стекол показал, что основной кристаллической фазой является β-кристоболит, разница лишь в интенсивности и скорости образования кристаллических фаз (рис-1).

На рентгенографических снимках стеклокристаллических материалов содержащих 50-70% флотоотхода, при температуре 850⁰С отмечены интенсивные пики, соответствующие анортиту, волластониту, судя по их интенсивности, является преобладающей кристаллической фазой.

С увеличением температуры выше 900⁰С интенсивные пики на рентгенографических снимках уменьшаются.

По-видимому, с появлением жидкой фазы выше 1000⁰С, интенсивность линий всех соединений уменьшается, что свидетельствует о растворении их в жидкой фазе образующиеся при высокой температуре.

Стеклокристаллиты на основе системы CaO–Al₂O₃–SiO₂ отличаются высокой износостойкостью. Основными кристаллическими фазами данной системы выделяются анортит CaO·Al₂O₃·2SiO₂ и волластонит CaO·SiO₂, магнетит Fe₂O₄ (рис.1).

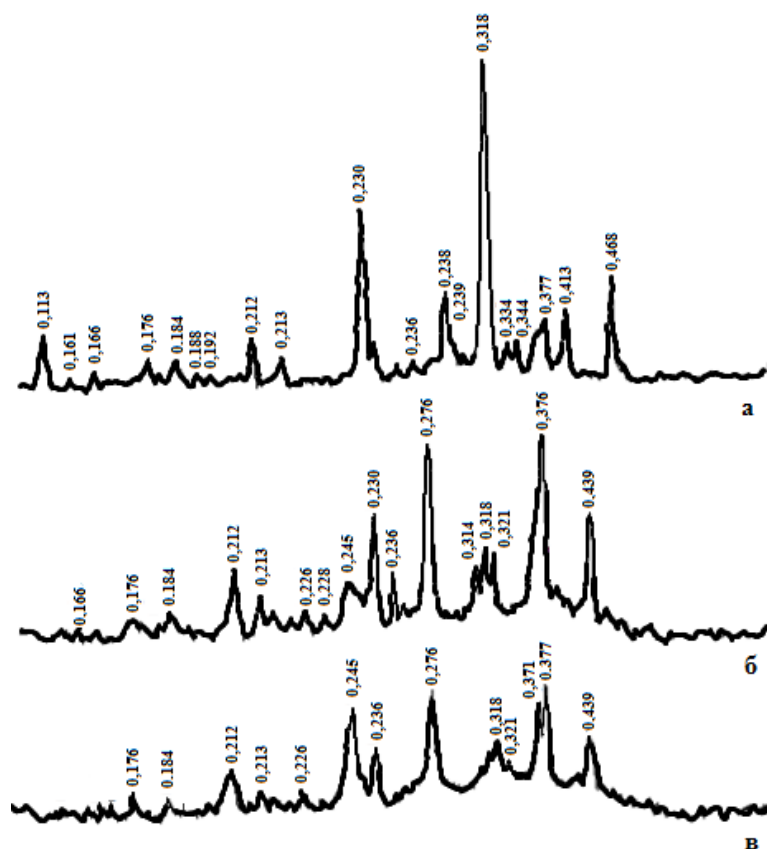


Рис. 1 – Рентгенограмма стеклокристаллических материалов:
а – при температуре 850°C; б – при температуре 900°C; в – при температуре 1000°C

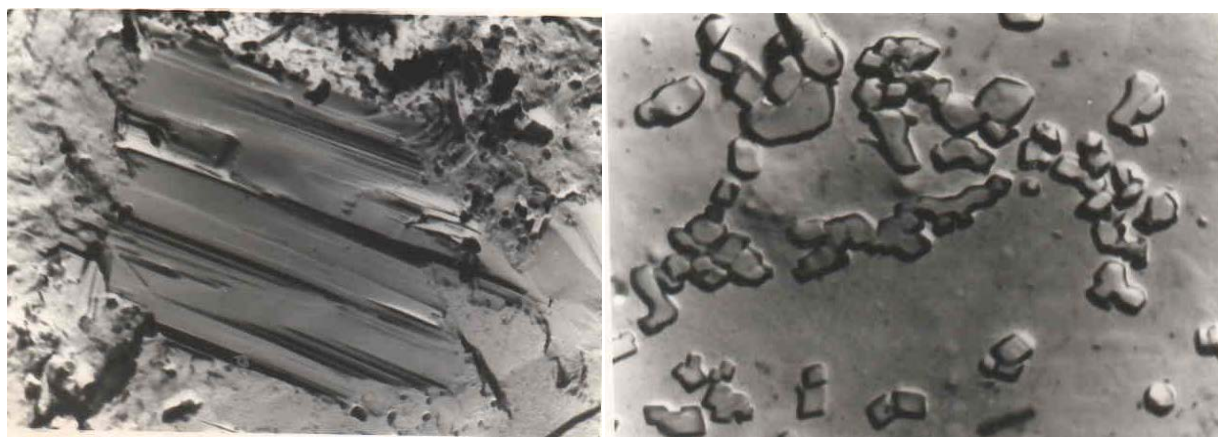
Большим преимуществом стеклокристаллических материалов, получаемых на основе этих систем, является возможность использования промышленных отходов в качестве основного сырьевого материала.

Результаты рентгено-графического анализа хорошо коррелируют данными электронно-микроскопического анализа. Электронномикроскопическое исследование закристаллизованных стекол при температуре 850°C, показало, что микроструктура неоднородна (Рис.2).

Среди стекломассы, отчетливо выделяются β-кристоболит, анортит с показателем преломления $n_g = 1,589$, $n_p + 1,576$, нередко встречается игольчатые зёрна воластонита с $n_g = 1,65$, $n_p + 1,63$. На рис.2 видны стекло кристаллы соответствующие выше упомянутым кристаллическим фазам.

Ускорение процесса варки стекол, стеклообразование значительной степени зависит от скорости диффузии компонентов, как в твердой, так и в жидкой фазе. В этом значительная заслуга CaF_2 (который содержит до 5% CaF_2) образует с компонентами шихты нестойкие промежуточные продукты и эвтектики, плавящийся при температуре 100-150°C ниже, чем эвтектики основных кристаллических фаз.

Также реакции, силикатообразования в случае использования флотоотходов заканчиваются при более низких температурах (снижение температуры в среднем на 100°C), что приводит к более раннему появлению жидкой фазы и дальнейшему растворению кварца. В целом это ускоряет процесс стеклообразования.



Т – 850°C
Т – 1000°C
Рис. 2 – Электронно-микроскопические снимки образцов (x3400)

Полученные стеклокристаллические материалы, имеют черный цвет и гладкую поверхность.

Увеличение кристаллизации анортита из аморфной фазы (β -кристоболитом, волластонитом) способствует созданию прочного каркаса структуры, обеспечивающего достаточную прочность стекло кристаллита.

На кривых ДТА исследуемых стекол обнаружен один интенсивный экзо эффект при 850-900 $^{\circ}$ C, обусловленный для кристаллизации анортита и волластонита (Рис.3).

Определены общие закономерности процесса кристаллизации. Фазовые превращения происходят в две стадии. Как первичный продукт при термообработке из стекло фазы выделяются анортит и волластонит независимо друг от друга.

С повышением температуры термообработки возрастает содержание волластонита, и появляются линии псевдоволластонита.

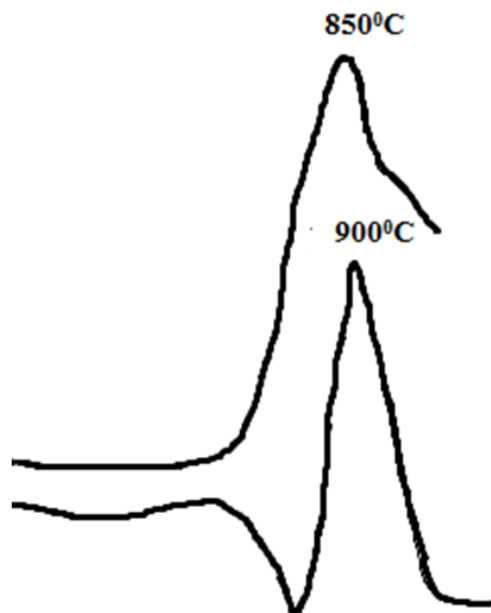


Рис. 3 – ДТА кристаллизации стекла

Оптимальной областью пред-кристаллизационного периода, наиболее сильно влияющей на стабилизацию анортита и волластонита в стекле, является температура 850 $^{\circ}$ C, при которой их содержание максимально. Полученные данные могут быть использованы при проектировании технологических режимов получения стеклокристаллических материалов.

Изучены важнейшие физико-химические свойства стекол. Плотность стекол определяли пикнометрическим методом в толуоле с точностью до $\pm 0,001$ г/см 3 , показатель светопреломления – иммерсионным методом с точностью до $\pm 0,003$.

Микротвёрдость тонко шлифованных образцов стекол измеряли на приборе ПМТ-3, снабженным четырехгранной алмазной пирамидой Виккерса с нагрузкой 100 г. (брали среднее значение из пяти измерений) [4].

Химическая устойчивость к агрессивным средам измерялась методом определения потерь веса после кипячения образцов в растворах H $_2$ SO $_4$ (25 и 75%-ной) и 2н. NaOH).

Синтезированные стекла, и стеклокристаллические материалы имеют высокую химическую стойкость, высокую механическую твердость, низкое значение ТКЛР, синтезируются без использования дополнительных инициаторов кристаллизации.

Стеклокристаллические материалы имеют черный цвет, мрамороподобный вид и могут найти широкое применение в качестве облицовочных плиток строительного назначения.

Полученные экспериментальные результаты позволяют оценить динамику и кинетику процессов, протекающих при термообработке стеклокристаллических материалов, и могут служить основой для оптимизации технологии их обжига.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Stolboushkin A.Yu. Fomina Use of Coal-Mining and Processing Wastes in Production of Bricks and Fuel for Their Burning / Stolboushkin A.Yu., A.I. Ivanov, O.A. // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016.
2. Трофимов Н.Н. Способ переработки отходов обогащательных фабрик RU 209 9145 C1. / Трофимов Н.Н.
3. Stoch L. Mechanisms of crystal structure organization in magnesium aluminosilicate glass: HREM and analytical study / Stoch L., Lelatkó J. // European Journal of Glass Science and Technology Part A. - 2008. - V. 48. - P. 183-188.
4. Wange P. Microstructure-property relationship in high strength MgO-Al $_2$ O $_3$ -SiO $_2$ -TiO $_2$ glass-ceramics / Wange P., Hoche T., Russel C. // J. Non-Cryst. Solids. - 2002. - V. 298. - P. 137-145.
5. Bhasin S. Effect of pyrophyllite additions on sintering characteristics of fly ash based ceramic wall tiles / Bhasin, S., Amritphale, S.S., Chandra, N. Brit. Ceram. Trans. 2003, 102, 83–86.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.030>**ОПЫТ ПОДВЕШИВАНИЯ КУЛЬТИ ШЕЙКИ МАТКИ ПОСЛЕ РАДИКАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА
ТАЗОВЫХ ОРГАНАХ С ЦЕЛЬЮ ПРОФИЛАКТИКИ РЕЦИДИВА ПРОЛАПСА**

Научная статья

Веркина Е.Н.^{1,*}, Баклыгина Е.А.², Чикин В.Г.³, Любимова А.Ю.⁴¹ ORCID 0000-0003-0064-0895;^{1, 2, 3} ВО «РязГМУ им.акад. И.П.Павлова» Минздрава РФ, Рязань, Россия;⁴ ГБУ РО «ГКБ №10», Рязань, Россия

* Корреспондирующий автор (L_resnichka[at]mail.ru)

Аннотация

Пролапс тазовых органов приобретает в настоящее время характер скрытой эпидемии. Все чаще жалобы, связанные с этой патологией, начинают испытывать женщины репродуктивного и трудоспособного возраста. Несмотря на длительную историю существования оперативного лечения пролапса, до настоящего времени не найдем универсальный и абсолютно безопасный метод коррекции, дающий минимум рецидивов. В связи с этим, на базе кафедры акушерства и гинекологии ФГБОУ ВО «РязГМУ им.акад. И.П.Павлова» Минздрава РФ был предложен метод профилактики рецидивов пролапса после радикальных операций на тазовых органах с использованием сетчатых имплантов.

Ключевые слова: пролапс тазовых органов, сетчатые импланты, профилактика рецидива, дисплазия соединительной ткани.

**EXPERIENCE OF SUSPENSION OF VESICAL CERVIX STUMP AFTER RADICAL OPERATIONS ON PELVIC
ORGANS FOR THE PREVENTION OF PROLAPSE RELIEF**

Research article

Verkina E.N.^{1,*}, Baklygina E.A.², Chikin V.G.³, Lyubimova A.Yu.⁴¹ ORCID 0000-0003-0064-0895;^{1, 2, 3} FSBEI of HE "Ryazan State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov" Ministry of Health of the Russian Federation, Ryazan, Russia;⁴ SBU RO "City Clinical Hospital No.10", Ryazan, Russia

* Corresponding author (L_resnichka[at]mail.ru)

Abstract

Pelvic prolapse is currently acquiring the latent epidemic nature. Increasingly, complaints related to this pathology are starting to be experienced by women of reproductive and working age. Despite the long history of the existence of surgical treatment for prolapse, until now, we have not found a universal and absolutely safe correction method that gives a minimum of relapse. In this regard, based on the Department of Obstetrics and Gynecology FSBEI of HE "Ryazan State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov", the Ministry of Health of the Russian Federation, proposed a method for the prevention of prolapse recurrence after radical surgery on the pelvic prolapse using mesh implants.

Keywords: pelvic prolapse, mesh implants, prevention of relapse, connective tissue dysplasia.

Введение

В последнее время большое значение в развитии гинекологических заболеваний и патологических состояний в акушерской практике стало отводиться дисплазии соединительной ткани (ДСТ). Соединительная ткань составляет около 50% массы тела – входит во все органы организма, образует скелет, наружные покровы, сухожилия, хрящи, связки, стенки сосудов. Вследствие этого, ДСТ является действительно значимым заболеванием, влекущим за собой серьезные последствия для здоровья человека.

На данный момент считается, что ДСТ - это аномалия развития, приводящая к формированию многочисленных соматических заболеваний с разнообразной симптоматикой и отсутствием четких критериев диагностики. Т.И. Кадурина выделяет дифференцированную ДСТ, обусловленную конкретными генными дефектами и имеющую четко обозначенный симптомокомплекс, и недифференцированную (НДСТ), в случае отсутствия четких фенотипических признаков [7]. Часть авторов считает, что НДСТ следует относить к категории конституциональной, когда только на фоне неблагоприятных внешних условий происходит декомпенсация и ее клиническая манифестация [12].

НДСТ встречается в общей популяции с частотой 26-80% [1], [10], [14]. Данная патология лежит в основе гемофилиопатий, тромбоцитопатий, что может приводить к ювенильным маточным кровотечениям. В репродуктивном периоде она приводит к нарушениям менструальной и генеративной функций, нарушению вынашивания беременности и течению родов, является фактором риска спаечного процесса органов малого таза, варикозного расширения вен, недержания мочи [3], [5], [11]. Большинство исследователей считают, что одним из наиболее частых проявлений ДСТ является пролапс гениталий, приобретающий в настоящее время характер «скрытой» эпидемии [15].

По мировым данным частота проявления пролапса тазовых органов в популяции составляет 2,9-53% [10, С.36]. Сильный разброс можно объяснить редким обращением женщин с начальными проявлениями, вследствие малой их информированности и отсутствием зависимости между тяжестью дисплазии соединительной ткани и наличием

запущенных форм пролапса [14]. Заболевание может существовать долгое время, сопровождаясь только зиянием половой щели, хроническими воспалительными заболеваниями шейки матки и влагалища, сексуальными расстройствами и др. Очень часто на связь между двумя этими патологиями указывает ранее развитие пролапса (30-35 лет) после первых неосложненных родов [10].

Во всем мире отмечается рост заболеваемости пролапсом тазовых органов. J. M. Wu et al. (2009) прогнозируют увеличение количества операций по поводу нарушения функции тазового дна с 166 000 в 2010г. до 245 970 в 2050г [16].

Пролапс тазовых органов нередко встречается в молодом возрасте, имеет тенденцию к прогрессированию и формированию структурных нарушений. До 47% женщин, страдающих этой патологией, трудоспособного возраста [13].

По частоте и степени тяжести оно достигает кульминации в пожилом и старческом возрасте (до 50–60%). Однако в отношении этиологии и патогенезе пролапса нет единого мнения. Ведущей точкой зрения остается представление о полиэтиологичности данного заболевания. Независимо от первопричины, сущность патологии заключается в несостоятельности мышц тазового дна, неспособных обеспечить необходимую поддержку внутренним органам [10].

В структуре акушерско-гинекологической патологии хирургическая коррекция пролапса гениталий занимает третье место среди показаний к оперативному лечению после доброкачественных опухолей и эндометриоза [2]. Хирургическое лечение позволяет реабилитировать и значительно улучшить качество жизни у данной категории женщин. Однако частые рецидивы пролапса гениталий после хирургического лечения (до начала использования сетчатых протезов частота рецидивов составляла 33–61% в течение трех лет после операции) требуют поиска новых подходов к выбору оперативной тактики [10]. До настоящего времени, несмотря на длительную историю изучения данной проблемы, нет единого мнения об универсальном методе оперативного лечения. Исследователями подчеркивается необходимость строго дифференцированного подхода к каждому конкретному случаю пролапса, в зависимости от степени его выраженности, топографических особенностей и клинических проявлений [10], [11].

Суммируя все вышеизложенное нельзя не отметить, что данная патология оказывает существенное влияние на качество жизни женщин, в том числе и молодых пациенток детородного и трудоспособного возрастов.

Основные результаты

Коллектив авторов Рязанского Государственного Медицинского Университета имени академика И.П. Павлова (доцент, к.м.н. Рязанцев Евгений Леонидович и к.м.н. Евсюкова Людмила Владимировна) предложили использовать проленовую или полипропиленовую сетку при надвлагалищной ампутации матки. Данный метод лечения является пионерским, представляет собой модификацию операции Джильяма-Долери и защищен свидетельством на право интеллектуальной собственности (Патент 2465851С1 Российская Федерация, МПК А61В17/42 [9].

Суть предложенной операции заключается в пришивании придатков к центру культи матки, и затем туда же подшивается полипропиленовая сетка. Далее края сетки выводятся над апоневрозом брюшной стенки через дополнительные отверстия по бокам от средней линии и накладывается 2-3 узловых капроновых шва, для укрепления сетки. Затем края сетки сшиваются между собой по средней линии 2 капроновыми швами. Способ обеспечивает надежную фиксацию культи и поддерживающую функцию, профилактику осложнений и рецидивов в последующем. Таким образом, коррекция выпадения культи шейки матки у пациенток, перенесших радикальные операции на женских половых органах, путем подвешивания культи шейки матки проленовой сеткой к апоневрозу передней брюшной стенки позволяет удерживать выпавшие органы в нужной позиции. Используемые современные аллопластические материалы, а именно проленовая или полипропиленовая сетки, в отличие от собственных функционально неполноценных тканей связочного аппарата и мышц, надежны, гипоаллергенны и долговечны [5].

В период с 2011 по 2018 год на базе ГБУ РО «Городская клиническая больница №10» г. Рязани было проведено 85 операций по авторской методике. Средний возраст женщин составил 50,9±7,1 лет. 64 женщины находились в стационаре с диагнозом неполное выпадение матки и влагалища (N81.2 МКБ-10), 10 женщин с интрамуральной лейомиомой матки (D25.1 МКБ-10), 5 - полное выпадение матки и влагалища (N81.3 МКБ-10), 2 – эндометриоз матки (N80.0 МКБ-10), 2 – субсерозная лейомиома матки (D25.2 МКБ-10), по 1 женщине с диагнозами подслизистая лейомиома матки (D25.0 МКБ-10) и доброкачественное новообразование яичника (D27.x МКБ-10).

Основными жалобами, которые предъявляли пациентки, были ощущение инородного тела в области промежности 37 женщин (45,7%), дискомфорт при движениях и ходьбе у 26 (32,1%). В анамнезе у всех женщин были роды: из них одни роды у 35 (43,2%), двое – у 38 (46,9%), три и более – у 8 (9,9%) женщин. У 3 (3,7%) пациенток были роды крупным плодом, травмой мягких тканей осложнились роды у 25 (30,8%) женщин.

Длительность пролапса варьировала от 1 года до 20 лет. 23 (28,4 %) женщины находились в постменопаузе, из них в ранней (до 5 лет) 6 женщин, 17 в поздней (больше 5 лет). У всех женщин была сопутствующая экстрагенитальная патология. Наиболее часто встречающейся патологией были заболевания сердечно-сосудистой системы (гипертоническая болезнь, ИБС, сердечная недостаточность и др.), варикозная болезнь вен нижних конечностей (21, 2%). Большинство женщин имело избыточную массу тела 49 женщин (57,6%), ожирение 1 степени было у 22 (25,9%), 2 степени у 2 (2,4%). Нормальная масса тела у 12 (14,1%) женщин.

Всем пациенткам проводили весь комплекс традиционного клинического предоперационного обследования. Все выявленные хронические заболевания находились в стадии компенсации и не требовали коррекции.

Большинство женщин было прооперировано под общей анестезией (эндотрахеальный наркоз) – 74 (87%) пациенток. 11 (13%) женщин вследствие, как правило, экстрагенитальной патологии, под комбинированной спиноэпидуральной анестезией или же отдельно эпидуральной или спинальной анестезией.

Объем хирургического вмешательства представлен в таблицах № 1 и № 2. Пластическим операциям подвергнуто 78 (92%) женщин, при этом 7 (8%) женщин не имело тех степеней выраженности опущения, которые бы требовали при данном виде операций пластических вмешательств на внутренних половых органах. Объем пластической операции зависел от вида пролапса и от конкретной клинической ситуации. Так, у 1 женщины была проведена только передняя кольпоррафия в связи выраженной рубцовой деформацией передней стенки влагалища. У 4 женщин, в связи с ранее проведенными операциями, матка уже была удалена. Подвешивание культи матки на полипропиленовую

сетку было проведено всем женщинам. Вначале выполнялся пластический этап операции, промежностным доступом по классическим методикам. Затем женщина переводилась в положение для полостной операции и разрезом по Пфанненштилю выполнялось чревосечение.

С целью профилактики инфекционных осложнений за 20 минут до начала операции всем женщинам внутривенно вводили антибиотик (цефтриаксон 2,0 мл.). Осложнений во время проведения операций и наркоза не было. Средняя кровопотеря составила 295 ± 70 мл, максимальная 650 мл, минимальная 150 мл. В послеоперационном периоде устанавливали мочевой катетер, минимум на 1 сутки с целью профилактики послеоперационных осложнений со стороны мочевого пузыря и наблюдения за функцией мочевого выделения. Обработку швов в промежности осуществляли 5% раствором перманганата калия в течение 3 дней.

Таблица 1 – Объем пластических операций в зависимости от нозологии

Нозология	n		Передняя кольпоррафия		Передняя, задняя кольпоррафия, перинеолеваторопластика		Манчестерская операция		Ампутация шейки матки		Задняя кольпоррафия, перинеолеваторопластика		Ампутация шейки матки, задняя кольпоррафия, перинеолеваторопластика	
	абс	%	абс	%	абс	%	абс	%	абс	%	абс	%	абс	%
Неполное выпадение N81.2	64	75,3	1	1,3	9	11,5	23	29	1	1,3	9	11,5	21	25,6
Полное выпадение N81.3	5	6	-	-	2	2,6	-	-	-	-	3	3,8	-	-
Подслизистая лейомиома матки D25.0	1	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3	-	-
Интрамуральная лейомиома матки D25.1	6	7	-	-	-	-	-	-	1	1,3	3	3,8	2	2,6
Субсерозная лейомиома матки D25.2	1	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3	-	-
Эндометриоз матки N80.0	1	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1,3	-	-
Всего	78	92	1	1,3	11	14	23	29	2	2,6	18	23	23	29

Таблица 2 – Объем полостных операций в зависимости от нозологии

Нозология	n		Субтотальная гистерэктомия с придатками		Субтотальная гистерэктомия без придатков		Субтотальная гистерэктомия и частичная резекция яичника		Субтотальная гистерэктомия с трубами		Тотальная гистерэктомия с придатками		Высокая ампутация матки без придатков	
	абс	%	абс	%	абс	%	абс	%	абс	%	абс	%	абс	%
Неполное выпадение N81.2	64	75,3	7	8,6	45	55,6	6	7,4	5	6,2	-	-	1	1,2
Полное выпадение N81.3	2	2,4	-	-	1	1,2	-	-	-	-	1	1,2	-	-
Подслизистая лейомиома матки D25.0	1	1,2	-	-	1	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Интрамуральная лейомиома матки D25.1	9	10,6	3	3,7	4	5	1	1,2	1	1,2	-	-	-	-
Субсерозная лейомиома матки D25.2	2	2,4	-	-	2	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Эндометриоз матки N80.0	2	2,4	1	1,2	-	-	1	1,2	-	-	-	-	-	-
Доброкачественное новообразование яичника D27.X	1	1,2	1	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего	81	95,3	12	14,7	53	65,5	8	9,8	6	7,4	1	1,2	1	1,2

У 3 женщин в послеоперационном периоде зафиксированы следующие осложнения: гематома послеоперационного шва промежности, культи у 1 женщины, послеоперационный парез кишечника у – 1 женщины, гематома послеоперационного шва после чревосечения (потребовалось релапаротомия) – у 1 женщины. 1 женщина в связи с подозрением на острый инфаркт миокарда была переведена на 4 сутки послеоперационного периода в кардиологический диспансер.

Период наблюдения женщин после операции составил от 1 года до 7 лет. На данный момент ни одна женщина не требует повторного оперативного вмешательства по поводу пролапса гениталий. Наблюдение за ними в настоящее время продолжено.

Заключение

Авторская модификация оперативного вмешательства является эффективным вариантом помощи женщинам с пролапсом тазовых органов, минимизирующим риск рецидива и необходимости повторных оперативных вмешательств.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Арсентьев В.Г. Дисплазия соединительной ткани – конституционная основа полиорганных нарушений у детей и подростков / В.Г. Арсентьев, Ю.В. Середя, В.В. Тихонов и др. // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. – 2011. - №90 (2). – С. 54-57
2. Афанасова Е.П. Реконструктивно – пластические операции на тазовом дне при пролапсе гениталий: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. — М., 2011. — 19 с.

3. Гаспаров А.С. Роль дисплазии соединительной ткани в акушерско-гинекологической практике / А.С. Гаспаров, Е.Д. Дубинская, И.А. Бабичева и др. // Казанский медицинский журнал. - 2014. - Т. 95, №6. - С.8
4. Доброхотова Ю.Э. Преграидарная подготовка и ведение беременности у пациенток с дисплазией соединительной ткани / А.С. Гаспаров, Е.Д. Дубинская, И.А. Бабичева и др. // Гинекология. - 2017. - № 19. - С. 44-49.
5. Дубинская Е.Д. Состояние репродуктивной системы больных с тазовыми перитонеальными спайками и бесплодием / Дубинская Е.Д., Гаспаров А.С., Назаров С.К. и др. // Врач. - 2010. - №7. - С. 43-46.
6. Кадурина Т.И. Дисплазия соединительной ткани: руководство для врачей / Т.И. Кадурина, В.Н. Горбунова. - СПб.: ЭЛБИ, 2009. - 714 с.
7. Мартынова А.И. Выявление и тактика ведения пациентов с недифференцированной дисплазией соединительной ткани: практическое руководство для врачей / Под ред. А.И. Мартынова. — Омск, 2011. — 52 с.
8. Масленников А.В. Особенности течения беременности и родов у женщин с недифференцированной дисплазией соединительной ткани: автореф. дис. ... канд. мед. Наук / Масленников А.В. — Уфа, 2014. — 23 с.
9. Пат. 2465851С1 Российская Федерация, МПК А61В17/42. Способ подвешивания выпавшей культи шейки матки или влагалища после радикальных операций на тазовых органах / Евсюкова Л.В., Рязанцев Е.Л.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Рязанский Государственный Медицинский Университет им.ак. И.П.Павлова» Минздрава РФ. - № 2465851; заявл. 17.08.11; опубл. 10.11.12
10. Радзинский В.Е. Перинеология: кол. Монография / под общ. ред. В.Е. Радзинского. — М.: РУДН, 2010. — 372 с.
11. Смольнова Т.Ю. Диагностика и тактика ведения больных с дисплазией соединительной ткани в акушерстве и гинекологии / Т.Ю. Смольнова, Л.В. Адамян // РЖМ. - 2010. - №6. - С. 41-46.
12. Смирнова М.Ю. Недифференцированные дисплазии соединительной ткани и их значение в акушерско-гинекологической практике (обзор литературы). / М.Ю. Смирнова, Ю.И. Строев, Д.А. Ниаури и др. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 11, Медицина. - 2006. - №4. - С. 95-104

Список литературы на английском языке / References in English

1. Arsentiev V.G. Displaziya soyedinitel'noy tkani – konstitutsionnaya osnova poliorgannykh narusheniy u detey i podrostkov [Connective tissue dysplasia – constitutional basis of multiple organ disorders in children and adolescents] / V.G. Arsentiev, Yu.V. Sereda, V.V. Tikhonov et al. // Pediatriya. Zhurnal im. G.N. Speranskogo [Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky]. - 2011. - No. 90 (2). - P. 54-57 [in Russian]
2. Afanasova E.P. Rekonstruktivno – plasticheskiye operatsii na tazovom dne pri prolapse genitaliy [Reconstructive – plastic surgery on pelvic floor with genital prolapse]: Abstract of MD thesis. - M., 2011. - 19 p. [In Russian]
3. Gasparov A.S. Rol' displazii soyedinitel'noy tkani v akushersko-ginekologicheskoy praktike [Role of connective tissue dysplasia in obstetric and gynecological practice] / A.S. Gasparov, E.D. Dubinskaya, I.A. Babicheva et al. // Kazanskiy meditsinskiy zhurnal [Kazan Medical Journal]. - 2014. - V. 95. - No. 6. - P.8 [in Russian]
4. Dobrokhotova Yu.E., Borovkova E.I. Pregravidarnaya podgotovka i vedeniye beremennosti u patsiyentok s displaziyei soyedinitel'noy tkani [Preconception preparation and pregnancy management in patients with connective tissue dysplasia] / A.S. Gasparov, E.D. Dubinskaya, I.A. Babicheva et al. // Ginekologiya [Gynecology]. - 2017. - No. 19. - P. 44-49. [in Russian]
5. Dubinskaya E.D., Gasparov A.S., Nazarov S.K. and others. Sostoyaniye reproduktivnoy sistemy bol'nykh s tazovymi peritoneal'nymi spaykami i besplodiyem [State of reproductive system of patients with pelvic peritoneal adhesions and infertility] // Vrach [Doctor]. - 2010. - No. 7. - P. 43-46. [in Russian]
6. Kadurina T.I. Displaziya soyedinitel'noy tkani: rukovodstvo dlya vrachei [Connective tissue dysplasia: guide for doctors] / T.I. Kadurina, V.N. Gorbunova. - SPb.: ELBI, 2009. - 714 p. [in Russian]
7. Martynova A.I. Vyyavleniye i taktika vedeniya patsiyentov s nedifferentsirovannoy displaziyei soyedinitel'noy tkani: prakticheskoye rukovodstvo dlya vrachei [Identification and management tactics of patients with undifferentiated connective tissue dysplasia: practical guide for doctors] / Ed. by A.I. Martynov. - Omsk, 2011. - 52 p. [in Russian]
8. Maslennikov A.V. [Features of course of pregnancy and childbirth in women with undifferentiated connective tissue dysplasia]: Abstract of MD thesis. - Ufa, 2014. - 23 p. [in Russian]
9. Pat. 2465851C1 Russian Federation, IPC A61B17/42. Rossiyskaya Federatsiya, MPK A61B17/42. Spособ podveshivaniya vypavshey kul'ti sheyki matki ili vlagalishcha posle radikal'nykh operatsiy na tazovykh organakh [Method of suspension of precipitated stump of cervix or vagina after radical surgery on pelvic organs] / Evsyukova L.V., Ryazantsev E.L.; Applicant and patent holder of FSBEI of HE "Ryazan State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov", Ministry of Health of the Russian Federation. - No. 2465851; Dec. 08/17/11; Publ. 11/10/12 [in Russian]
10. Radzinsky V.E. Perineologiya: kol. Monografiya [Perineology: coll. Monograph] / Ed. by V.E. Radzinsky. - M.: RUDN, 2010. - 372 p. [in Russian]
11. Smolnova T.Yu. Diagnostika i taktika vedeniya bol'nykh s displaziyei soyedinitel'noy tkani v akusherstve i ginekologii [Diagnosis and management of patients with connective tissue dysplasia in obstetrics and gynecology] / T.Yu. Smolnova, L.V. Adamyan // RZhM. - 2010. - No. 6. - P. 41-46. [in Russian]
12. Smirnova M.Yu. Nedifferentsirovannyye displazii soyedinitel'noy tkani i ikh znacheneye v akushersko-ginekologicheskoy praktike (obzor literatury). [Undifferentiated connective tissue dysplasia and their significance in obstetric-gynecological practice (literature review)] / M.Yu. Smirnova, Yu.I. Stroyev, D.A. Niauri et al. // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 11, Meditsina [Bulletin of St. Petersburg University. Series 11, Medicine]. - 006. - No. 4. - P. 95-104 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.031>**СТАРЫЙ «ЛОЖНЫЙ ХОД». КЛИНИЧЕСКИЕ СЛУЧАИ. КАК ИЗБЕЖАТЬ ИНТРАОПЕРАЦИОННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ?**

Научная статья

Дробязко П.А. *

ГКБ им. М.П. Кончаловского Департамент Здравоохранения г. Москвы, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (drobyazko.peter[at]gmail.com)

Аннотация

Описание 2-х клинических случаев, раннее сформированного, «ложного хода» в миометрии у пациенток с сопутствующей интрагенитальной патологией. При анализе 421 гистероскопического вмешательства за 2019 год проведенного на базе отделения кратковременного пребывания ГКБ имени М.П. Кончаловского Департамента здравоохранения города Москвы, «ложный ход» определялся в 0,415% случаев. Данная патология довольно редка, но особенно актуальна, так как малоизучена и почти всегда приводит к серьезным осложнениям во время оперативных и диагностических гистероскопий. На основании данного опыта предложены рекомендации по возможным мерам снижения интраоперационных осложнений у данных пациенток: дооперативная оценка рисков осложнений, догоспитальная подготовка пациентки, полный визуальный контроль во время операции, отказ от «слепых» манипуляций, снижение хирургической агрессии.

Ключевые слова: гистероскопия, диагностическая гистероскопия, оперативная гистероскопия, осложнения гистероскопии, ложный ход, клинические случаи, перфорация полости матки, трудная полость матки, полип эндометрия, стеноз и стриктура шейки матки, интраоперационные осложнения.

OLD "FALSE PASSAGE." CLINICAL CASES. HOW TO AVOID INTRAOPERATIVE COMPLICATIONS?

Research article

Drobyazko P.A. *Municipal clinical hospital named after M.P. Konchalovsky, Moscow Department of Health
Moscow city, Moscow, Russia

* Corresponding author (drobyazko.peter[at]gmail.com)

Abstract

The paper describes 2 clinical cases of an earlier formed *false passage* in the myometrium in patients with concomitant intragenital pathology. Analyzing 421 hysteroscopic interventions for 2019 conducted on the basis of the short-term stay department of the Municipal Clinical Hospital named after M.P. Konchalovsky, Department of Health of the city of Moscow, the *false passage* was determined in 0.415% of cases. This pathology is quite rare, but especially relevant since it has been little studied and almost always leads to serious complications during surgical and diagnostic hysteroscopy. Based on this experience, recommendations on possible measures to reduce intraoperative complications in these patients were suggested: pre-operative assessment of the risks of complications, pre-hospital preparation of the patient, full visual control during surgery, refusal from "blind" manipulations, reduction of surgical aggression.

Keywords: hysteroscopy, diagnostic hysteroscopy, operative hysteroscopy, complications of hysteroscopy, false passage, clinical cases, perforation of the uterine cavity, difficult uterine cavity, endometrial polyp, stenosis and stricture of the cervix, intraoperative complications.

Введение

Исследованиями осложнений при внутриматочной хирургии матки начали заниматься еще более века назад, литературные сведения о которых датируются с 1869 года [2]. Основным из осложнений гистероскопий, как диагностических, так и хирургических, принято считать перфорацию или же прободение матки, проблемой интраоперационной перфорации матки посвящено много крупных исследований. Группой исследователей из Нидерландов в 1997 году проведен анализ 13600 гистероскопий (11085 - диагностических и 2515 - оперативных), в 82-х медицинских учреждениях страны. Перфорация матки отмечалась в 14 (0,13%) и в 19-ти (0,76%) случаях, соответственно. Стоит отметить, что большинство прободений матки 18 из 33-х (55%) было на начальном этапе оперативного вмешательства - дилатации цервикального канала и введении гистероскопа, и 15 в ходе активных хирургических манипуляций [8]. По данным российских ученых Саркисова Э.С. и Багдасаряна А.Р. из 1100 гистероскопий проведенных с 2011 по 2012 год на базе ГКБ им. М.П. Боткина, перфорация матки была обнаружена у 5-ти пациенток, а у 2-х пациенток данное осложнение привело к экстренной лапароскопии. Из 5-ти перфораций матки по 2 приходится на прободение операционным гистероскопом и расширителем, соответственно, и одна перфорация матки кюреткой. Интраоперационная перфорация матки имеет хоть и небольшой процент встречаемости, но грозит довольно серьезными осложнениями для пациентки. Принято разделить перфорацию матки на 3 категории: неполная перфорация матки («ложный ход»), полная перфорация матки без повреждений других органов, и перфорация матки с травмами соседних органов и сосудов [1].

Проблема интраоперационного прободения матки актуальна и в настоящее время. В головном учреждении акушерско-гинекологической помощи в Иордании проведено ретроспективное описательное исследование оперативных гистероскопических вмешательств с 19 сентября 2016 года по 31 декабря 2018 года - из 1919 гистероскопических процедур (1829 (95,3%) диагностических и 90 (4,7%) оперативных гистероскопий) однократно выявлена перфорация матки из 14-ти случаев интраоперационных осложнений [4]. При исследовании проводимым

Итальянской школой малоинвазивной хирургии и гистероскопии в 12-ти гинекологических клиниках в Италии, сентябре - октябре 2019 года, изучено 1404 офисных и стационарных гистероскопий при полипе эндометрия. Из 1404 вмешательств, перфорация матки зарегистрирована в 14-ти случаях: в 13-ти (95%) случаях перфорация происходила на этапе «слепой» дилатации цервикального канала, и только одна (5%) при вагиноскопической технике [9].

В чем причина перфораций матки? Лишь ответ на этот вопрос поможет минимализировать риск данного осложнения. Британскими коллегами проведен систематический обзор более чем 26 000 гистероскопических вмешательств, что показала следующее - неудачи в амбулаторных условиях (4,2% от общего числа) были связаны либо с техническими проблемами (стеноз шейки матки, анатомические факторы и структурные аномалии), либо с факторами пациента (боль, вазовагальные эпизоды или непереносимость) [6]. Так же еще одно британское исследование из более чем 6000 процедур показало, что из 1184 случаев неудачного введения гистероскопа 61,7% были обусловлены стенозом внутреннего зева шейки матки и 23,3% - стенозом наружного отверстия цервикального канала [5]. Стеноз шейки матки наиболее часто наблюдается у нерожавших или женщины в постменопаузе [10]. Он также часто встречается у женщин, перенесших ранее операции на шейке матки; частота встречаемости составляет 10,2% после лазерной конизации и 4,3% после петлевого электрохирургического иссечения [12]. Кюретаж (приобретенный синдром Ашермана), криотерапия, травма шейки матки или Манчестерская операция в анамнезе также должны вызывать подозрение на стеноз наружного зева или стенозированный цервикальный канал [11].

На основании этих данных можно сформировать представление о критериях «трудной полости матки» у пациенток:

- 1) возраст пациентки (перименопауза или менопаузальное состояние)
- 2) акушерский анамнез - наличие и характер родов в анамнезе: через естественные родовые пути, ручное отделение последа, прерывания беременности, и способ прерывания беременности (интраполостное вмешательство - вакуумаспирация содержимого полости матки, кюретаж)
- 3) наличие в анамнезе операции в анамнезе на нижних репродуктивных путях женщины - эксцизия шейки матки (LEEP/LLETZ), пластика шейки матки (по Шредеру, Штурмдорфу, Эмметту), конизация шейки матки (электроконизация шейки матки, Cold-Knife Conization)
- 4) наличие в анамнезе операций на полости матки и матке - гистероскопии, гистерорезектоскопии, кюретаж
- 5) наличие рубца на матке - миомэктомии (в том числе через трансабдоминальный доступ - LS и LT), кесарево сечение

Отдельное внимание стоит уделить такой проблеме как «ложный ход» в мышечном слое матки. «Ложный ход» является редким осложнением при диагностической и оперативной гистероскопии. Это чаще происходит, когда матка находится в загиб или резко anteflexio, положение anteverio. Данное осложнение может привести к ошибочному диагнозу, возникновению внутриорганных рубцовых тканей, отмене процедуры, высокому дефициту жидкости растягивающей среды и возможной полной перфорации матки [3]. Несвоевременная диагностика ложного хода в матке, почти наверняка приведет к перфорации матки и связанным с ней осложнениям [7]. «Ложный ход», хоть является крайне редким осложнением, но в свою очередь, вводит в заблуждение оператора, что влечет за собой серьезные интраоперационные осложнения.

В литературных источниках недостаточно информации о возможном ведении пациенток с данной патологией. Например, в 2016 году исследователями из 2-х крупных клинических центров Китая описано только 5 случаев «ложного хода», оперативной и клинической тактики ведения данной патологии [7]. Учитывая тяжелые последствия и низкую изученность проблемы, данная тема особенно актуальна на современном этапе развития оперативной гинекологии в мире.

Исследование

Целью настоящего исследования является клинический разбор случаев старого «ложного хода» в миометрии, анализ интраоперационных действий, и возможные способы дооперативной диагностики данной патологии.

Из более чем 481 гистероскопических вмешательств, за 2019 года на базе отделения СКП (стационар кратковременного пребывания) ГКБ им. М.П. Кончаловского, Департамента Здравоохранения города Москвы, данная патология была обнаружена у двух пациенток (0,415%) что можно считать крайне редким явлением. Обе представленные пациентки были в возрасте старше 50-ти лет. Исходя из акушерско-гинекологического анамнеза можно выделить следующие ключевые данные:

- 1) перименопауза или менопаузальное состояние (возраст старше 50-ти лет)
- 2) роды через естественные родовые пути в анамнезе, без осложнений
- 3) наличие хирургического прерывания беременности, однократно более 20-ти лет назад
- 4) отсутствие в анамнезе гинекологических операций на шейке матки и полости матки
- 5) при физикальном осмотре было выявлено стенозирование наружного зева цервикального канала
- 6) по данным УЗИ органов малого таза определялась интраполостная патология - полип эндометрия до 1 см

Анамнестические данные повлияли на выбор оперативной тактики у данных пациенток - проводилось только расширение наружного зева цервикального канала расширителями Гегара до с 3 до 4,5 с шагом 0,5, на протяжении не более 1 см. Так же было решено воздержаться от зондирования полости матки гибким урогенитальным зондом тип С (Pipelle). Дальнейшая дилатация цервикального канала проводилась под постоянным визуальным контролем по средствам гидродилатации и дилатации гистероскопом. Учитывая использование 30 градусной оптики, дилатация проводилась в зависимости от положения матки в малом тазу [11]. На уровне внутреннего зева была получена следующая гистероскопическая картина (фото 1 и 2, пациентка А и В).



Рис. 1 – пациентка А, «ложный ход» на 3-х часах условно-импровизированного циферблата



Рис. 2 – пациентка В, «ложный ход» на 12-ти часах условно-импровизированного циферблата

С целью во избежание интраоперационных осложнений были приняты следующие меры:

- 1) снижение интенсивности инфуляции
- 2) снижение хирургической агрессии, крайне аккуратное воздействие гистероскопом на окружающие ткани, под полным визуальным контролем

3) выходной контроль жидкости - цвет и контроль количества жидкости выходящей из полости матки

После щадящего гистероскопического исследования удалось определить истинную полость матки и старый «ложный ход» с его характерными признаками:

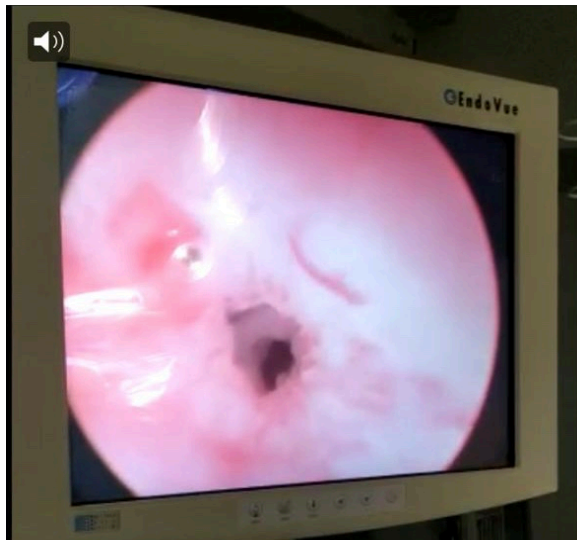


Рис. 3 – пациентка А, дно «ложного хода»



Рис. 4 – пациентка В, дно «ложный хода»

- фиброзные наложения - признаки формирования «ложного хода» вне данной процедуры
- спаечный процесс и слепое дно «ложного хода» (рисунки 3 и 4)

Основными маркерами истинной полости матки служило наличие характерных маточных устьев и эндометрия (у женщины в перименопаузе, пациентка А), а так же внутриполостной патологии - полипы эндометрия (пациентка А - фото 5,7, пациентка В - фото 6,8).



Рис. 5 – Пациентка А, полип и правое маточное устье



Рис. 6 – Пациентка В, полип и правое маточ- маточное устье



Рис. 7 – Пациентка А, полип в левом маточном и фрагмент гипертрофичного эндометрия



Рис. 8 – Пациентка В, левое маточное устье, и атрофичный эндометрия

С помощью тонкой и постепенной гистероскопической диагностики, оценки возможных интраоперационных рисков на дооперативном этапе, удалось добиться положительного результата оперативного вмешательства, и минимизировать риски такого осложнения как перфорация матки. В данных случаях длительность операции не превысила 30-ти минут, оперативная цель была достигнута в обоих случаях - удаление новообразований полости матки, обе пациентки были выписаны в день госпитализации после 4-х часового наблюдения после анестезиологического пособия. Спустя более чем 1 месяц осложнений у данных пациенток не выявлено.

Выводы

Закономерным и показательным выводом из данных случаев, служит подробное догоспитальное исследование - прицельный сбор анамнеза, акцентируя внимания на интраполостных вмешательствах различной давности, физикальный осмотр пациентки, а так же экспертное ультразвуковое исследование, взамен рутинного, при подозрении на возможные хирургические сложности. Четкая оценка рисков при наличии «сложной полости матки» у пациентки, подготовка пациентки и операционной бригады, расчет возможных сложностей и увеличение время операции, догоспитальная консультация врача анестезиолога-реаниматолога. Так же стоит уделить внимание оперативным навыкам и техникам, которые зачастую, играют ключевую роль в исходе операции, полный визуальный контроль при прохождении цервикального канала, отказ от «слепых» манипуляций, снижение интенсивности инфуляции, и внутриматочного давления среды, отказ от хирургической агрессии и малоинвазивность вмешательства. Соблюдение вышеуказанных принципов позволяет производить даже сложные интраполостные вмешательства в условиях fast-track хирургии, снижая финансовую стоимость медицинской услуги, за счет уменьшения времени пребывания в стационаре, и улучшая качество жизни пациентки.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Багдасарян А. Р. Опухоли женской репродуктивной системы/ Багдасарян А. Р., Саркисов С. Э. 2014; 1: 85-90
2. Федоров И.В. Осложнения эндоскопической хирургии, гинекологии и урологии. Руководство для врачей. / Федоров И.В., Сигал Е.И., Бурмистров М.В. М., 2012. 288 с
3. Abuzeid O.M. Management of False Passage in the Cervical Canal During Operative Hysteroscopy / Abuzeid OM, Raju R, Hebert J, Ashraf M. // Journal of Minimal Invasive Gynecology 2015; Volume 22, Issue 6, Supplement, Page S141
4. Al-Husban N. Operative hysteroscopy platform at a university teaching hospital: a retrospective study. / Al-Husban N., Abu Rokbeh, R. // Journal of International Medical Research, 2019, 5028–5036.
5. Cicinelli E. Reliability, feasibility, and safety of minihysteroscopy with a vaginoscopic approach: experience with 6000 cases. / Cicinelli E, Parisi C, Galantino P, et al. Fertil Steril 2003;80:199–202.
6. Clark T.J. Accuracy of hysteroscopy in the diagnosis of endometrial cancer and hyperplasia: a systematic quantitative review. / Clark TJ, Voit D, Gupta JK et al. JAMA 2002;288:1610–21.
7. Song, D. Management of false passage created during hysteroscopic adhesiolysis for Asherman's syndrome, / Song, D., E. Xia, Y. Xiao // Journal of Obstetrics and Gynaecology, 2016), 36:1, 87-92, DOI: 10.3109/01443615.2015.1030601
8. Istre O. Managing bleeding, fluid absorption and uterine perforation at hysteroscopy / Istre O. // Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol 2009;23(5):619-29
9. Massimo L. Effectiveness of Hysteroscopic Techniques for Endometrial Polyp Removal: The Italian Multicenter Trial / Massimo L., Massimo Del Zoppo, Serena D., et al // Journal of Minimally Invasive Gynecology, Volume 26, Issue 6, 1169 - 1176
10. Polyzos N.P. Misoprostol prior to hysteroscopy in premenopausal and post- menopausal women. A systematic review and meta-analysis / Polyzos NP, Zavos A, Valachis A et al // Hum Reprod Update 2012;18:393–404.
11. Relph S. Failed hysteroscopy and further management strategies. The Obstetrician & Gynaecologist / Relph S, Lawton T, Broadbent M, Karoshi M. 2016;18:65–8. 10.1111/tog.12261
12. Walid M.S. An invisible stenotic cervix / Walid M.S., Heaton R.L. // Arch Gynecol Obstet 2011;283 Suppl 1:121–2.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bagdasaryan A. R. Opukholi zhenskoy reproduktivnoy sistemy [Tumors of female reproductive system] / Bagdasaryan A. R., Sarkisov S. E. – 2014; - 1: 85-90 [in Russian]
2. Fedorov I.V. Oslozhneniya endoskopicheskoy khirurgii, ginekologii i urologii. Rukovodstvo dlya vrachey [Complications of endoscopic surgery, gynecology and urology. A guide for doctors] / Fedorov I.V., Sigal E.I., Burmistrov M.V. – M., 2012. – 288 p. [in Russian]
3. Abuzeid O.M. Management of False Passage in the Cervical Canal During Operative Hysteroscopy / Abuzeid OM, Raju R, Hebert J, Ashraf M. // Journal of Minimal Invasive Gynecology 2015; Volume 22, Issue 6, Supplement, Page S141
4. Al-Husban N. Operative hysteroscopy platform at a university teaching hospital: a retrospective study. / Al-Husban N., Abu Rokbeh, R. // Journal of International Medical Research, 2019, 5028–5036.
5. Cicinelli E. Reliability, feasibility, and safety of minihysteroscopy with a vaginoscopic approach: experience with 6000 cases. / Cicinelli E, Parisi C, Galantino P, et al. Fertil Steril 2003;80:199–202.
6. Clark T.J. Accuracy of hysteroscopy in the diagnosis of endometrial cancer and hyperplasia: a systematic quantitative review. / Clark TJ, Voit D, Gupta JK et al. JAMA 2002;288:1610–21.
7. Song, D. Management of false passage created during hysteroscopic adhesiolysis for Asherman's syndrome, / Song, D., E. Xia, Y. Xiao // Journal of Obstetrics and Gynaecology, 2016), 36:1, 87-92, DOI: 10.3109/01443615.2015.1030601
8. Istre O. Managing bleeding, fluid absorption and uterine perforation at hysteroscopy / Istre O. // Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol 2009;23(5):619-29
9. Massimo L. Effectiveness of Hysteroscopic Techniques for Endometrial Polyp Removal: The Italian Multicenter Trial / Massimo L., Massimo Del Zoppo, Serena D., et al // Journal of Minimally Invasive Gynecology, Volume 26, Issue 6, 1169 - 1176
10. Polyzos N.P. Misoprostol prior to hysteroscopy in premenopausal and post- menopausal women. A systematic review and meta-analysis / Polyzos NP, Zavos A, Valachis A et al // Hum Reprod Update 2012;18:393–404.
11. Relph S. Failed hysteroscopy and further management strategies. The Obstetrician & Gynaecologist / Relph S, Lawton T, Broadbent M, Karoshi M. 2016;18:65–8. 10.1111/tog.12261
12. Walid M.S. An invisible stenotic cervix / Walid M.S., Heaton R.L. // Arch Gynecol Obstet 2011;283 Suppl 1:121–2.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.92.2.032>

ОСОБЕННОСТИ ЭКСТРЕННОЙ ХИРУРГИИ ТЯЖЕЛОЙ ЧЕРЕПНО-МОЗГОВОЙ ТРАВМЫ

Научная статья

Махкамов К.Э.¹, Салаев А.Б.², Махкамов М.К.³

^{1, 2, 3} Республиканский научный центр экстренной медицинской помощи, Ташкент, Узбекистан

* Корреспондирующий автор (hosiyaushka[at]gmail.com)

Аннотация

На основании анализа клинической базы данных, состоящих из 202 больных, оперированных по поводу тяжелой черепно-мозговой травмы пролеченных в условиях Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи, выделен ряд особенностей техники операций при травматическом сдавлении головного мозга. Сформулированы рекомендации по выполнению отдельных этапов вмешательств, важные для улучшения результатов лечения наиболее тяжелого контингента нейрохирургических больных.

Ключевые слова: черепно-мозговая травма, внутричерепные гематомы, техника оперативных вмешательств, базальные цистерны мозга.

FEATURES OF EMERGENCY SURGERY OF SEVERE TRAUMATIC BRAIN INJURY

Research article

Makhkamov K.E.¹, Salaev A.B.², Makhkamov M.K.³

^{1, 2, 3} Republican Scientific Centre for Emergency Medicine, Tashkent, Uzbekistan

* Corresponding author (hosiyaushka[at]gmail.com)

Abstract

Based on the analysis of the clinical database of 202 patients operated on for a severe traumatic brain injury treated in the Republican Scientific Centre for Emergency Medicine, a number of features of the operative technique for traumatic cerebral compression were identified. Recommendations on the implementation of individual stages of interventions are given, which are important for improving the treatment outcome for the most severe cohort of neurosurgical patients.

Keywords: traumatic brain injury, intracranial hematoma, operative technique, basal brain cistern.

Проблема лечения больных с тяжелой черепно-мозговой травмой (ТЧМТ) остается актуальной в современной медицине и имеет большое социально-экономическое значение. Основной контингент больных - лица наиболее трудоспособного возраста до 40-50 лет. Увеличение инвалидизации и затраты на последующее реабилитационное лечение приносят экономический ущерб любой стране мира, что определяет необходимость разработки новых методов лечения и диагностики.

В Республике Узбекистан в среднем в год за помощью обращается 120 тыс. пострадавших с ЧМТ, при чем 15% из них - с тяжелой формой травмы головного мозга, летальность остается высокой, варьируя по разным данным от 38 до 73% [1]. У нас в стране при поддержке правительства, нейрохирургия, как одна из самых высокотехнологичных специальностей, получила значительные возможности для переоснащения. Несмотря на усовершенствование службы скорой медицинской помощи, внедрение современных подходов к оказанию первой помощи на до и госпитальном этапе, оптимизации схем маршрутизации пациентов по нозологии, не все больные с ТЧМТ попадают в нейроtraumatологические отделения. Организованные выездные бригады нейрохирургов оказывают круглосуточную диагностическую и лечебную помощь по городским и районным стационарам, куда больные доставлены с мест происшествий. Единые подходы к максимально полным и исчерпывающим методам хирургического лечения, имеют особое значение в экстренной нейрохирургии.

Цель исследования

Разработка рекомендаций по тактике оперативного лечения при экстренной хирургии тяжелой черепно-мозговой травмы.

Материал и методы

Проведен анализ оперативного лечения 202 больных с ТЧМТ, находившихся на лечении в Республиканском научном центре экстренной медицинской помощи в период с 2018-2019гг. Возраст варьировал от 18 до 82 лет (в среднем 43,7±15,8 года). Мужчин было – 171 (86,4%), женщин – 27 (13,6%). Общая летальность составила 11 (5,4%). Средний балл по шкале ком Глазго (ШКГ) больных при поступлении в стационар составил 9,2±1,9. Критериями включения пациентов в исследование были наличие внутричерепной гематомы и отсутствие тяжелой сочетанной травмы, хронических гематом, конкурирующей соматической патологии. Всем больным провели оперативное лечение в течение первых 3-6 ч с момента поступления. Выполняли резекционно-декомпрессивную трепанацию черепа (РДТЧ) с удалением компримирующего субстрата, в 129 (63%) случаях проводили расширенные декомпрессивные трепанации с птериональным доступом, в 42 (20,75) оперативное лечение дополнено вскрытием базальных цистерн - цистернотомией. Средний объем патологического сдавливающего субстрата составил 61,3±12,2 мл. Субдуральная гематома диагностирована в 45(22,2%), внутримозговая гематома 7(3,4%), в большинстве случаев выявлено сочетание внутричерепной гематомы с контузионными очагами 150 (74%). Первичная диагностика проводилась на основании клинко-неврологических данных и результатах мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ).

Результаты и их обсуждение

Результаты оценены по шкале исходов Глазго, из них хорошее восстановление отмечено в 109 (53%) случаях, умеренная инвалидизация 46 (22,7%), грубая инвалидизация 30 (14,8%), стойкое вегетативное состояние 6 (2,9%), умерло 11(5,4%).

В настоящее время к рекомендуемым хирургическим способам лечения тяжелой ЧМТ относят контролируемый сброс цереброспинальной жидкости (ЦСЖ) из желудочков мозга и РДТЧ[6,7]. Основным недостатком выведения ЦСЖ является невозможность установки вентрикулярного катетера при отеке головного мозга (ОГМ) [8], [10]. Дороговизна и отсутствие их в неспециализированных стационарах заставляют искать новые подходы к лечению данной категории больных. Отсутствие четких показаний к проведению РДТЧ[3] в современных руководствах, связана, прежде всего, с сохраняющейся высокой летальностью и осложнениями. Техника проведения РДТЧ различная в разных клиниках, что зависит от обеспеченности стационара оборудованием и инструментарием, опыта и осведомленности нейрохирургов, наличие увеличительной техники (интраоперационный микроскоп, бинокулярные лупы). Отсутствие единого подхода к проведению и технике РДТЧ приводит к различным результатам, порой зависящим от этого (недостаточность костного окна, различие высоты и нижнего края костного дефекта, развитие послеоперационного пролапса мозга, вторичная ишемия в результате сдавления в костном окне и др.).

Применение цистернотомии при РДТЧ изменяет качество и уровень вмешательства, вносит микрохирургический подход к лечению ТЧМТ.

Основываясь на исследованиях свидетельствующих о том, что образование ОГМ, связано с вхождением ЦСЖ в паренхиму головного мозга через малорезистентные пространства Вирхова-Робина (ПВР) [5] и данных, что после травмы лимфатическое удаление избыточной интерстициальной жидкости уменьшается [4], позволяя ЦСЖ перемещаться из мозговых цистерн в мозг после ЧМТ, мы пытались разрешить проблемы более быстрого разрешения послеоперационного отека, раннюю санацию ликворных пространств, создание дополнительного декомпрессивного эффекта, и раннего восстановления внутричерепных градиентных соотношений (рис. 1) [9].

Среди 42 случаев применения цистернотомии летальный исход, вследствие прогрессирования ОГМ отмечен в 1(2%) случае, скопление подлоскутных гидром в 4 (8,1%), постравматическая гидроцефалия в 2 (4%) случаях.

Выбор метода оперативного лечения в экстренном порядке определяется дежурным нейрохирургом согласно стандартам лечения принятым в учреждении. Немалую роль играет стаж и опыт работы хирурга, владение определенными навыками, а также оснащённость стационара диагностическим оборудованием и интраоперационным инструментарием. Оперативное лечение больных с ТЧМТ должно быть радикальным, максимально полным, с минимализацией риска рецидива гематом, ущемления вещества мозга в костном окне, без необходимости реопераций.

На основании данных литературы и нашего опыта предложены следующие рекомендации выполнения односторонней РДТЧ.

1. На операционном столе больного позиционируют на спине с возвышенным головным концом 25–30 градусов, поворачивая голову в контралатеральную сторону. Голову фиксируют головодержателем и подведением валика под плечо на стороне операции, что исключает резких движений головы пациента при выполнении костной части трепанации и избыточных сгибаний шеи, которые приводят к нарушению венозного оттока и усугублению отека мозга.

2. Перед разрезом кожи для уменьшения кровотечения из множественных мелких сосудов кожи и подкожной клетчатки используют с вазоконстрикторной целью инфильтрация по линии разреза раствора вазоконстриктора (Р.Адреналина 0,18%-1мл, Р. Натрия хлорид 0.9%-100мл, Р. Лидокаина 2%-4мл) (Рис.2).

3. Выполняется стандартный разрез по типу знака вопроса – trauma flap(рис.3). Кожный разрез начинают на 1 см кпереди от козелка на уровне скулового отростка, затем продолжают вверх и слегка кпереди от уха, далее кзади по направлению к теменно-затылочной области, огибают теменной бугор и следуют парасагиттально к лобной области, не доходя 2–2,5 см до средней линии и кпереди, до границы волосистой части головы. Ветвь поверхностной височной артерии и вены необходимо сохранить, взяв на держалки (рис.4). В дальнейшем кожа разрезается до височной мышцы, которая далее рассекается электроножом. Образованный лоскут откидывается одним блоком.

4. Наложение фрезевых отверстий и выпиливание костного лоскута выполняются традиционно – после отслойки надкостницы накладывают несколько фрезевых отверстий и осуществляют резекцию кости кусачками Люэра или краниотомом в границах: спереди – до уровня латеральной границы орбиты, сзади – до 4 см кзади от наружного слухового отверстия, сверху – до уровня верхнего сагиттального синуса, снизу – до уровня средней черепной ямки, осуществляя подвисочную декомпрессию, освобождая тем самым полюс височной доли. После выпиливания костного лоскута по его периметру и периметру костного окна сверлом выпиливается несколько отверстий диаметром 2–3 мм для последующего подшивания твёрдой мозговой оболочки (ТМО) с целью профилактики послеоперационных эпидуральных гематом. При повреждении базальных отделов лобной и височной доли, дополнительно проводится птерионеальный доступ с резецированием крыла основной кости, до достижения единой плоскости с латеральной частью передней черепной ямки, что создает более большой обзор в операционной ране и возможность микрохирургических манипуляций, достигается декомпрессия проекции силвиевой щели и её анатомических структур (рис.5).

5. Вскрытие ТМО должно предотвращать ранение подлежащей коры при выраженном отеке мозга. Для этого лезвие скальпеля направлено по касательной к поверхности наружного листка ТМО, кончиком скальпеля захватывается ее наружный листок и приподнимается с одновременным захватыванием её пинцетом, при этом создаются местные условия декомпрессии под оболочкой, куда устремляется ликвор, создавая защиту мозга от ранения при вскрытии внутреннего листка ТМО. Оболочка вскрывается на расстоянии, отступающая более толщины кости от края дефекта, для того чтобы избежать ранения коры о края дефекта в случаях пролабирования мозга (рис. 6).

6. Удаление гематомы. Сгустки крови удаляются отмыванием струей физиологического раствора и электроотсосом – вокруг трепанационного окна. Нельзя манипулировать отсосом «вслепую» за его краями, это может спровоцировать кровотечение из корковых артерий или переходных вен. На этом этапе обязательно использование бинокулярной лупы с осветителем или операционного микроскопа, позволяя ревизировать полюс лобной доли, базальные части височной и лобной долей.

7. Санация очагов разможения мозга. Удаляются явно нежизнеспособные участки разможения мозгового вещества в виде мозгового детрита и сгустков крови, вызывающих дополнительный масс эффект и зоны перифокального отека.

8. При множественных контузионных очагах, массивном субарахноидальном кровоизлиянии, вялой пульсации мозга выполняется цистернотомия с целью санации ликвора из базальных цистерн, дополнительной внутренней декомпрессии. Доступ к основанию черепа осуществляется методом «пинцет и отсос», путём тракции полюса лобной доли. В последующем визуализируется зрительный нерв со стороны доступа (рис.7 а, б), вскрывается оптико-хиазмальная цистерна (рис. 8 в, г), далее вскрывается оптико-каротидная цистерна методом острой диссекции тупоконечными микроножницами, что позволяет уменьшить риск неконтактного разрыва сосудов (рис.9). Диссекция оптико-каротидной цистерны проводится с медиальной части внутренней сонной артерии и латеральной части зрительного нерва, так как, там отсутствуют перфорантные артерии. Диссекция продолжается в дистальном направлении до проксимальной части сильвиевой щели. В последующем производится вскрытие межножковой цистерны, т.е. мембраны Лииквиста. Ход хирургического доступа направляется в проекцию прехиазмальной цистерны, которая в последующем вскрывается путем острой диссекции (рис.10). Визуализируется хиазма, терминальная пластинка (рис.11), далее, производится вскрытие терминальной пластинки (рис.12 д, е.). После вскрытия всех вышеперечисленных цистерн мозга достигается релаксация мозгового вещества с появлением удовлетворительной пульсации (Рис. 13 ж, з).

9. При развитии интраоперационного злокачественного отека мозга, нужно действовать строго последовательно, паническое зашивание раны недопустимо. Нужно быстро оценить достаточность костного окна с учетом ситуации, при необходимости быстрое расширение по периметру, дополнительно резекция височной мышцы, удаление контузионных очагов и малофункциональных зон мозга (передние трети средней и нижней височной извилин[11]), вскрытие пре и хиазмальной цистерн до появления ликвора.

10. Особое внимание должно уделяться гемостазу. В остром периоде травмы из-за реактивной гиперемии ткани кровоточат интенсивнее, мозговое вещество на фоне отека более ранимое, кроме того, у всех больных с острой травмой имеются нарушения свертываемости крови и рецидивы или послеоперационные гематомы являются одной из ведущих причин неблагоприятных исходов. Следует избегать тракций мозга, резких и грубых манипуляций в ране, особое внимание следует обращать на степень разрежения аспирации - ее чрезмерность приводит к рецидиву кровотечения из ранее тромбированных, или механическому повреждению интактных сосудов. В случае же развития кровотечения надо четко визуализировать кровоточащий сосуд путем орошения раны или временным прижатием влажных ватников и коагулировать его, начиная с небольшой силы тока. При диффузном кровотечении следует избегать коагуляции, которая может еще больше его спровоцировать. Лучше применить гемостатическую рассасывающуюся марлю «Суржигель» или препарат «Тахокомб». ТМО в конце операции ушивают парусом с дополнительной заплатой из апоневроза височной мышцы или надкостницы, при этом создается дополнительное резервное пространство для циркуляции ликвора, реализации послеоперационного отека мозга без нарушения ликворо и гемодинамики мозга.

11. К концу операции необходимо адекватное дренирование раны. Применение с этой целью резиновых полосок часто неэффективно, лучше применять мягкие, тонкие силиконовые трубки, которые оставляют в ложе удаленной внутричерепной гематомы или в проекции цистерн мозга, что позволяет дополнительно санировать ликвор и снижать ВЧГ.

Выводы

В условиях экстренного хирургического лечения больных с ТЧМТ, наиболее частыми видами оперативных вмешательств являются РДТЧ в лобно-височной области дополненная современными методиками - расширенный птериональный доступ, цистернотомия базальных цистерн. В связи с высокой частотой послеоперационных осложнений в виде отека мозга и рецидива гематом основное внимание должно быть сосредоточено на создании адекватной декомпрессии, гемостазе и дренировании операционной раны. Оперативное лечение должно быть максимально полным и адекватным тяжести травмы мозга.

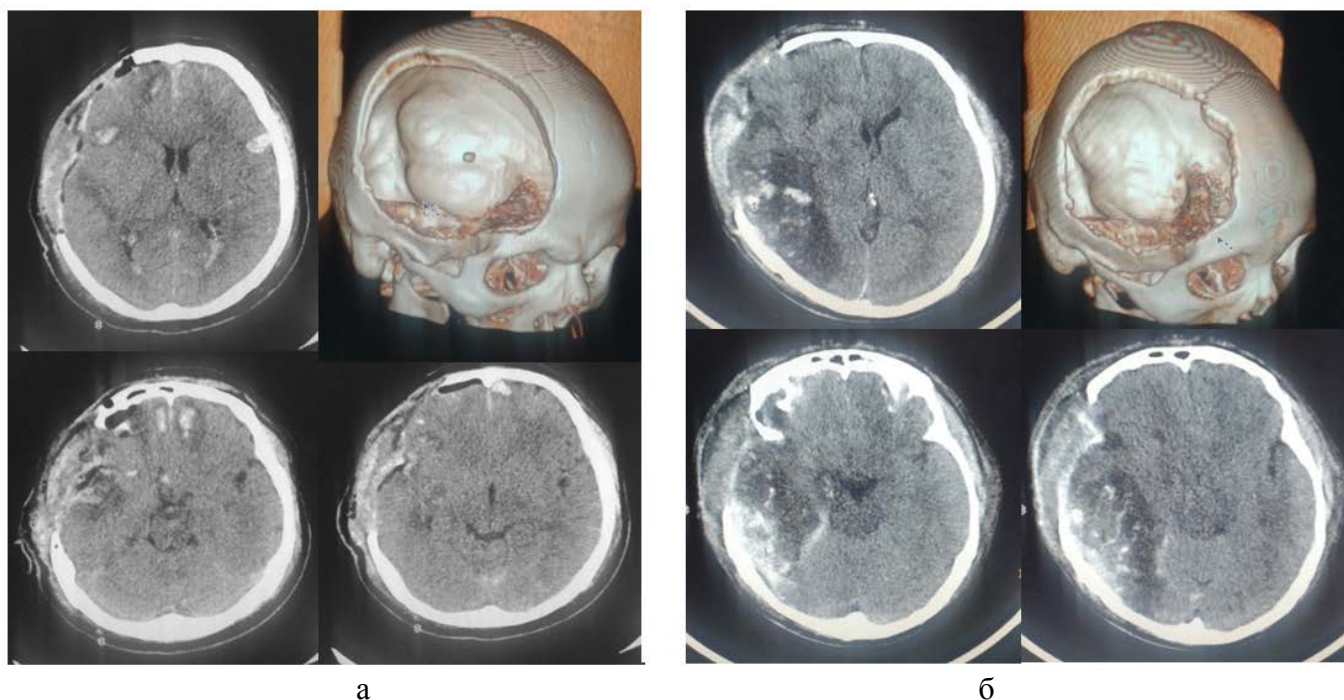


Рис. 1 – Сравнительная МСКТ в послеоперационный период *а)* РДТЧ с удалением внутричерепной гематомы и контузионного очага с дополнительной цистернотомией, визуализируется обводная цистерна *б)* РДТЧ с удалением внутричерепной гематомы и контузионного очага без цистернотомии, сохраняется отек, сдавление цистерн основания мозга



Рис. 2 – Введение вазоконстриктора по линии разреза кожи



Рис.3 – Разметка линии разреза по типу знака



Рис. 4 – Сохранение ветвей поверхностной височной артерии

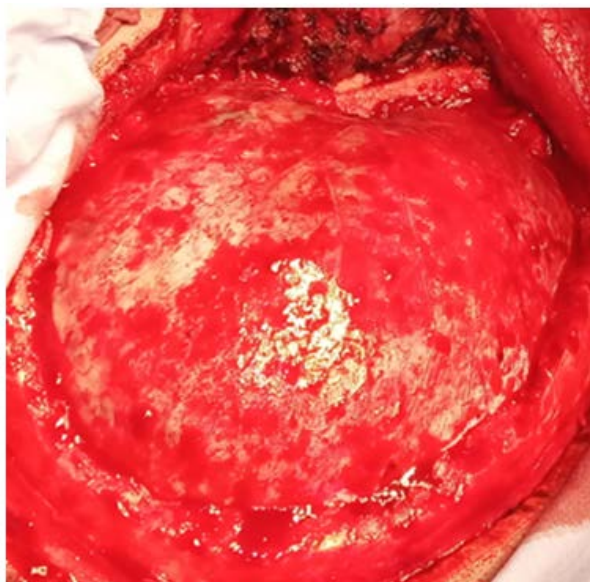


Рис.5 – Птерионеальный доступ с резецированием крыла основной кости

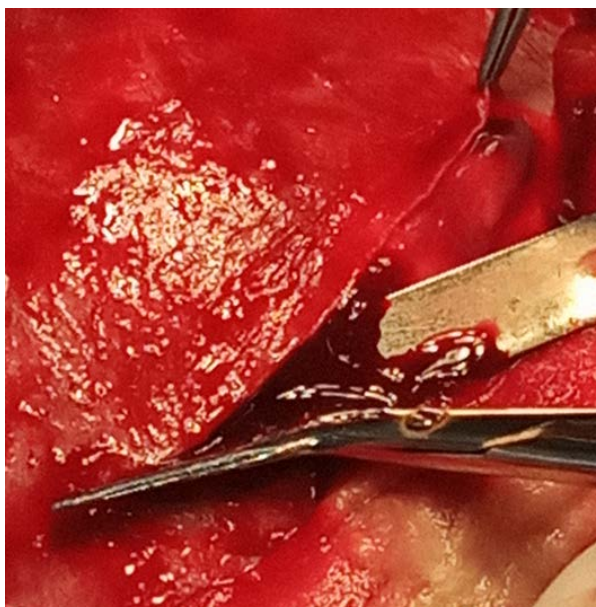


Рис. 6 – Вскрытие ТМО, отступ от края костного дефекта на толщину кости

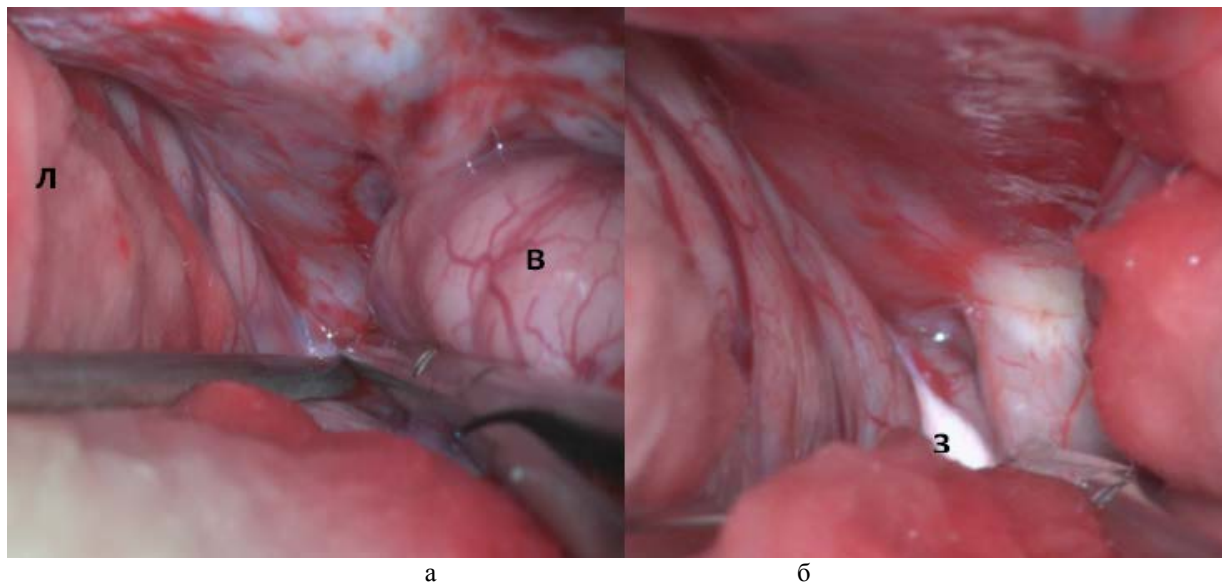


Рис. 7 – а) доступ к зрительному нерву методом пинцет-отсос, л-лобная доля, в-височная доля б) вскрыта цистерна зрительного нерва з – зрительный нерв

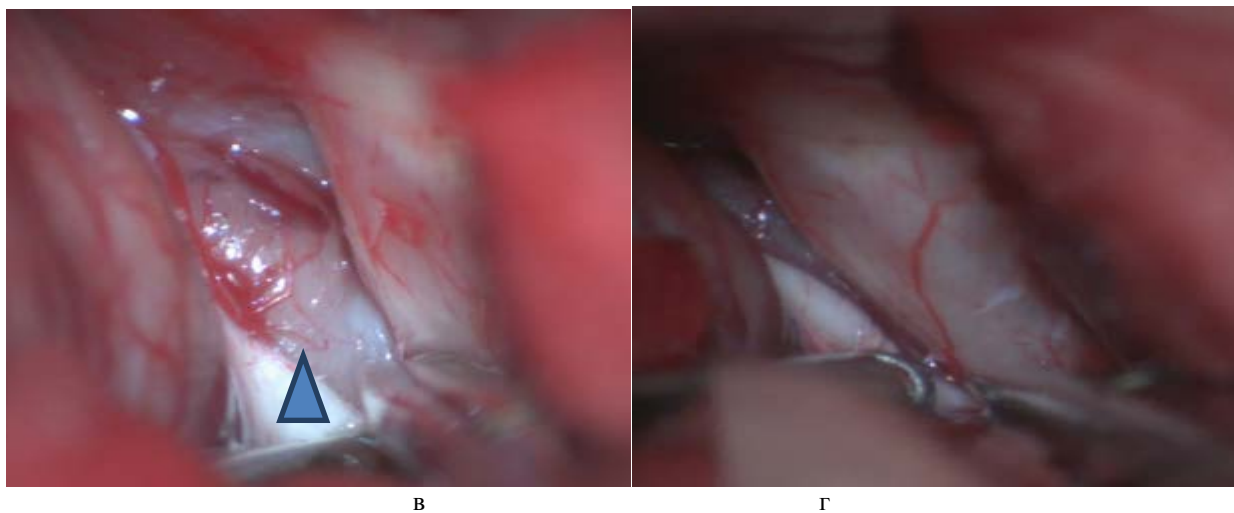


Рис. 8 – в) обнажена оптико-хиазмальная цистерна обозначено треугольником г) вскрытие микроножницами оптикохиазмальной цистерны



Рис. 9 – Вскрытие цистерны сонной артерии с – сонная артерия.

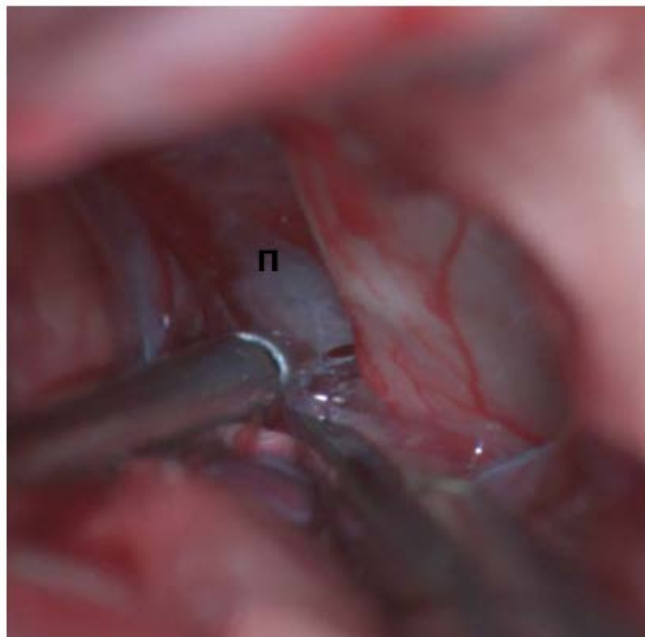


Рис. 10 – Обнажена прехиазмальная цистерна п – прехиазмальная цистерна

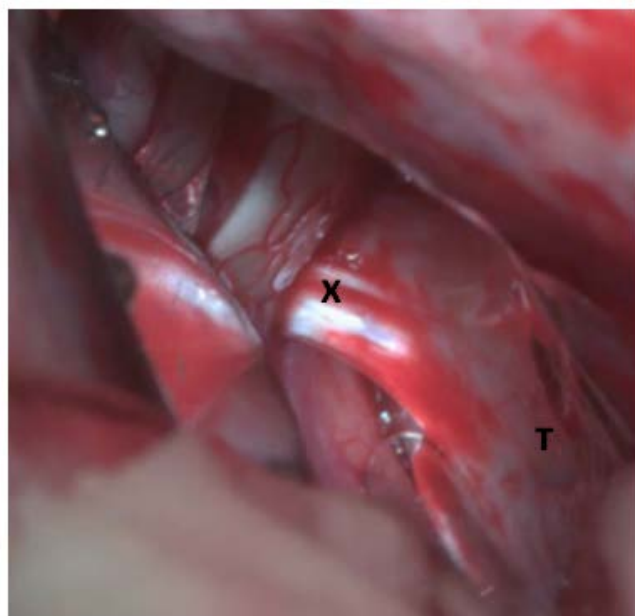


Рис. 11 – Обнажена хиазма, доступ к терминальной пластинке х – хиазма зрительного нерва, т – терминальная пластинка

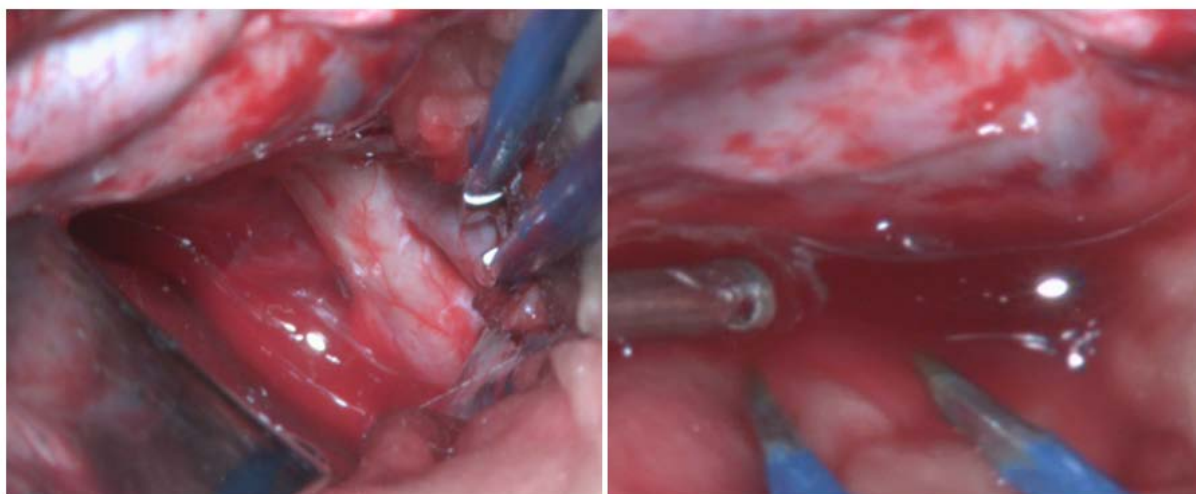


Рис. 12 – д) вскрытие терминальной пластинки, е) обильное поступление эритрохромного ликвора

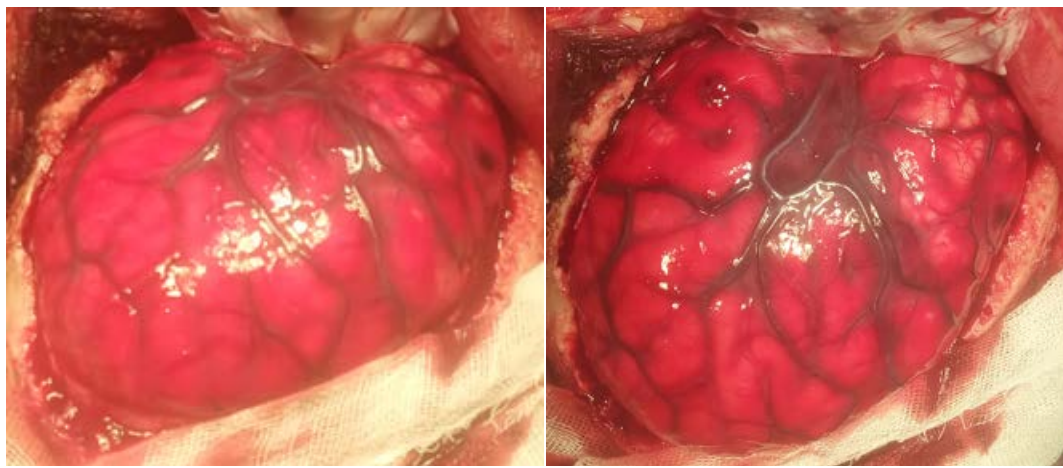


Рис. 13 – ж) нарастание отека мозга до вскрытия цистерн, з) спадение отека и появление пульсации после цистернотомии

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Махкамов К.Э. Методы хирургического лечения тяжелой черепно-мозговой травмы / Махкамов К.Э., Салаев А.Б. // Вестник экстренной медицины 2018г. Том 11 №4 стр 73
2. Струк Ю.В. Оказание экстренной нейрохирургической помощи / Струк Ю.В. // Журнал им. Н.В.Склифосовского «Неотложная медицинская помощь» - №3от 2015 стр 36.
3. Bullock R.M.. Management and prognosis of severe traumatic brain injury / Bullock R.M., Chesnut R.M., Clifton G.L. // Brain Trauma Foundation (c), Vashington, 2000. — 286 p.
4. Cherian I. Cisternostomy for traumatic brain injury: Pathophysiological mechanisms and surgical technical notes. / Cherian I, Bernardo A, Grasso G. // World Neurosurg. 2016;29:51–7.
5. Iliff J.J. Impairment of glymphatic pathway function promotes tau pathology after traumatic brain injury. / Iliff JJ, Chen MJ, Plog BA, Zeppenfeld DM, Soltero M, Yang L, et al. J Neurosci. 2014;34:16180–93
6. Iliff J.J. A paravascular pathway facilitates CSF flow through the brain parenchyma and the clearance of interstitial solutes, including amyloid beta / Iliff JJ, Wang M, Liao Y et al, Sci Transl Med. 2012;4:147ra111.
7. Jonston H.I. Raised intracranial pressure and cerebral blood flow.3.Venous outflow tract pressure and vascular resistances in experimental intracranial hypertension / Jonston H.I., Rowan J.O. // J.Neurol. Neurosurg. Psychiatry 1974; 37: 392-40240.
8. Li L.M. Review article: the surgical approach to the management of increased intracranial pressure after traumatic brain injury / Li L.M., Timofeev I., Czosnyka M., Hutchinson P.J. // Anesth Analg. — 2010. — Vol. 111 (3). — P. 736-748
9. Makhamov K.E. Estimation of results and microsurgical aspect at severe craniocerebral injury / Makhamov K.E., Salaev A.B. // American Journal of Medicine and Medical Sciences 2019, 9(10): 365-371 DOI: 10.5923/j.ajmms.20190910.03
10. Neurotrauma and critical care of the brain / Edited by J.Jallo, C.M. Loftus. — New York-Stuttgart: Thieme, 2009. —485 p
11. Puras Y.V. Selective microsurgical resection of the temporal lobe in the surgical treatment of the dislocation syndrome of patients with severe traumatic brain injury / Puras Y.V., Talypov A.E., Khovrin D.V., Krylov V.V. // Journal of Neurosurgery, № 2, 2012.p 46

Список литературы на английском языке/ References in English

1. Mahkamov K.E. Metody khirurgicheskogo lecheniya tyazheloi cherepno-mozgovoi travmy [Methods of Surgical Treatment of Severe Traumatic Brain Injury] / Mahkamov K.E., Salaev A.B.// Vestnik ekstrennoy meditsiny [Herald of Emergency Medicine] – 2018. – Volume 11, - No. 4 – p. 73 [In Russian]
2. Struk Yu.V. Okazanie ekstrennoi neirokhirurgicheskoi pomoshchi [Provision of Emergency Neurosurgical Care] / Struk Yu.V. // Zhurnal im. N.V.Cklifosovskogo «Neotlozhnaya meditsinskaya pomoshch'» [Magazine named after N.V. Sklifosovskiy “Emergency Medical Care”] – No. 3. – 2015, – p. 36. [In Russian]
3. Bullock R.M.. Management and prognosis of severe traumatic brain injury / Bullock R.M., Chesnut R.M., Clifton G.L. // Brain Trauma Foundation (c), Vashington, 2000. — 286 p.
4. Cherian I. Cisternostomy for traumatic brain injury: Pathophysiological mechanisms and surgical technical notes. / Cherian I, Bernardo A, Grasso G. // World Neurosurg. 2016;29:51–7.
5. Iliff J.J. Impairment of glymphatic pathway function promotes tau pathology after traumatic brain injury. / Iliff JJ, Chen MJ, Plog BA, Zeppenfeld DM, Soltero M, Yang L, et al. J Neurosci. 2014;34:16180–93
6. Iliff J.J. A paravascular pathway facilitates CSF flow through the brain parenchyma and the clearance of interstitial solutes, including amyloid beta / Iliff JJ, Wang M, Liao Y et al, Sci Transl Med. 2012;4:147ra111.
7. Jonston H.I. Raised intracranial pressure and cerebral blood flow.3.Venous outflow tract pressure and vascular resistances in experimental intracranial hypertension / Jonston H.I., Rowan J.O. // J.Neurol. Neurosurg. Psychiatry 1974; 37: 392-40240.
8. Li L.M. Review article: the surgical approach to the management of increased intracranial pressure after traumatic brain injury / Li L.M., Timofeev I., Czosnyka M., Hutchinson P.J. // Anesth Analg. — 2010. — Vol. 111 (3). — P. 736-748
9. Makhamov K.E. Estimation of results and microsurgical aspect at severe craniocerebral injury / Makhamov K.E., Salaev A.B. // American Journal of Medicine and Medical Sciences 2019, 9(10): 365-371 DOI: 10.5923/j.ajmms.20190910.03
10. Neurotrauma and critical care of the brain / Edited by J.Jallo, C.M. Loftus. — New York-Stuttgart: Thieme, 2009. —485 p
11. Puras Y.V. Selective microsurgical resection of the temporal lobe in the surgical treatment of the dislocation syndrome of patients with severe traumatic brain injury / Puras Y.V., Talypov A.E., Khovrin D.V., Krylov V.V. // Journal of Neurosurgery, № 2, 2012.p 46