

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

**СИМФЕРОПОЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

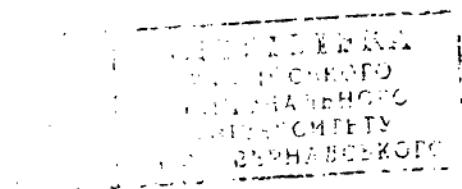
№ 7 (46)

**СИМФЕРОПОЛЬ
1998**

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
СИМФЕРОПОЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 7 (46):

*Биология. Математика. Психология.
Физическая культура. Физика. Химия.*



ISBN 5-7763-9818-5

Журнал зарегистрирован 31 января 1996 года
Серия КМ № 238

Редакционная коллегия:

Сидякин В. Г. – главный редактор
Багров Н. В. – заместитель главного редактора
Ена В. Г. – ответственный редактор

Редакционный совет:

Исторические науки

Буров Г. М.
Гарчев П. И. (редактор отдела)
Дементьев Н. Е.
Урсу Д. П.
Филимонов С. Б.

География

Боков В. А. (редактор отдела)
Дублянский В. Н.
Олиферов А. Н.
Пистун Н. Д.
Топчиев А. Г.

Математика

Донской В. И.
Игнатенко В. Ф. (редактор отдела)
Копачевский Н. Д.
Кужель А. В.
Чехов В. Н.

Физика

Бержанский В. Н. (редактор отдела)
Воляр Н. В.
Мицай Ю. Н.
Тerez Э. И.

Философия

Лазарев Ф. В. (редактор отдела)
Мельников Г. И.
Мартынюк Ю. Н.
Николко В. Н.
Хриенко П. А.

Филология

Казарин В. П.
Киречек П. М. (редактор отдела)
Меметов А. М.
Новикова М. А.
Орехова Л. А.

Экономика

Алатова Н. В.
Ефремов А. В.
Кудряшов А. П.
Подсолонко В. А. (редактор отдела)

Биология

Апостолов Л. Г. (редактор отдела)
Коренюк И. И.
Мананков М. К.
Толкачева Н. В.
Юрахно М. В.

Химия

Дрюк В. Г.
Конощенко С. В.
Федоренко А. М.
Чирва В. Я. (редактор отдела)
Шульгин В. Ф.

Статьи опубликованы в авторской редакции

© Симферопольский государственный университет, 1998 г.

Подписано в печать 06.07.98 Формат 60x84 1/8

Усл. печ. л. 10,2. Тираж 500. Заказ № 24.

Отпечатано в информационно-издательском отделе СГУ.

333000, г. Симферополь, ул. Ялтинская, 4

СЛОВО О ПЕРВОМ РЕКТОРЕ ПЕРВОГО УНИВЕРСИТЕТА КРЫМА

(К 80-летию Симферопольского госуниверситета)

Сидякин В. Г., ректор, профессор

Ена В. Г., профессор

Крымская "оикумена" на протяжении двух с половиной тысячелетий была в центре внимания рождающегося научного мира.

История научной мысли Крыма связана плеядой выдающихся исследователей и искателей, творивших здесь на протяжении многих столетий. С древней Таврикой, Тавридой, Крымом и Черноморьем тесно связаны, например, всемирно известные имена Геродота и Страбона, Плиния Старшего и Птолемея. Масуди и Эдризи. Ибн-Баттуты и Афанасия Никитина, Эвлия Челеби и Василия Зуева, Н. С. Налласа и Х. Х. Стевена. В. В. Докучаева и Н. А. Головкинского, многих других путешественников и ученых... [1]

Но только к началу XX столетия в Крыму, наконец, созрели условия для создания своей высшей школы-университета. Этому эпохальному научному событию в Тавриде проложили дорогу многие выдающиеся отечественные ученые современности: академики-естественноиспытатели геолог А. П. Павлов и физиолог И. П. Павлов, геохимик В. И. Вернадский и геолог Н. И. Андрусов, профессора ботаник Н. И. Кузнецов и агрохимик Д. Н. Прянишников, математики Н. М. Крылов, Л. А. Граве, С. М. Метальников и М. А. Тихомандрицкий, биолог В. Л. Рыжков и геолог-географ В. А. Обручев, экономист Г. К. Воблый. Большую группу профессоров Киевского университета, стоявших у истоков рождающегося Таврического университета, возглавлял известный ученый-анатом, профессор медицины Р. И. Гельвиг, избранный в 1918 году его первым ректором.

В наши дни, с "высоты" 80-летнего юбилея Таврического – ныне Симферопольского государственного университета, когда у руля первого высшего учебного заведения Крыма работает уже 22-ой по счету ректор, особенно рельефно проявляется выдающаяся роль его первого руководителя. И хотя Роман Иванович Гельвиг был ректором только первые два года в жизни вуза (1918-1920 гг.; он умер в сентябре 1920 г.) на его плечи легли, пожалуй, самые трудные по исполнению задачи по созиданию буквально на пустом месте первого крымского вуза – Таврического университета, по формированию его структуры, кадрового состава ученых-педагогов, организации учебного процесса многотысячного студенческого контингента.

Таврический университет, как известно, рождался в сложных условиях гражданской войны и иностранной военной интервенции в Крыму. Под научную и учебную работу первоначально приходилось использовать приспособленные помещения не только в Симферополе, но и в других местах Крыма. Так, еще в мае 1918 года на правах филиала Киевского университета были открыты в Ялте (Ливадии) физико-математический и медицинский факультеты. По предложению декана

медицинского факультета профессора Р. И. Гельвига было принято решение "о наименовании филиального отделения (Киевского. – Авт.) университета Св. Владимира в Крыму Таврическим университетом" [2]. 28 июля этого же года на заседании коллегии профессоров и президиума Совета попечителей Р. И. Гельвиг был избран ректором Таврического университета. Он настоятельно добивался единения всех факультетов "под одной крышей" в центре Крыма. В результате в сентябре в Симферополе уже начались занятия, а 14 октября 1918 года, наконец, в помещении театра Таврического дворянства (ныне Русский академический театр на улице Пушкина в Симферополе) состоялось торжественное официальное открытие Таврического университета. На этом торжестве в адрес новорожденного вуза были оглашены 97 приветственных выступлений и посланий.

В своей речи на торжественном открытии университета ректор Р. И. Гельвиг, в частности, сказал [3]:

"Таврический университет открыт... Наступают долгие годы его формирования и развития. Всякое новое дело создается трудно. Во много раз труднее создание университета, в особенности теперь, в период общей разрухи... Университет- Universitas, ведь в нем все научные дисциплины! Университет представляет собой хранилище человеческих знаний и колыбель их дальнейшего развития. Он является источником знаний для всех, его окружающих. Он должен быть на высоте своего положения. В этом главный залог его процветания..."

... В формировании университета принимает участие один из старейших русских университетов, Университет Св. Владимира... Не нужно забывать, что наука имеет свою историю. С этой историей, с историей науки, тесно связана и история университета, история его развития и совершенствования... Главная задача науки установить факты, найти законы фактов и явлений. Она стремится найти истину и облечь ее в определенные формы, простые и понятные. В этой своей основной задаче наука интернациональна. Научная истина всегда объективна, а в вопросах жизни человека всегда гуманитарна...

Нет науки, как некоторые склонны думать, науки буржуазной или пролетарской, – наука одна. Она знает только объективную истину, она знает человека, как определенную fazu в развитии жизни на земной поверхности. Она знает все его совершенства и недостатки. Наука стремится к праву и справедливости, обосновывая эти понятия объективными данными беспристрастной истины...

Истина, если она истина, всегда одна и всегда одинакова, в каких бы символах она ни выражалась, в алгебраической ли формуле или в словах различного говора, различных национальностей...

Таврический университет, как храм науки, с сегодняшнего дня должен зажечься ярким светом истины, он должен стать светильником знания, постоянно и ярко горящим. Он должен светить и быть источником света и тепла... К нему будут приходить молодые жизни, чтобы получить свой свет, идти в жизнь и светить, светить вокруг".



Первый ректор Гаврического университета

Роман Иванович Гельваг.

В течение первых двух лет под руководством ректора Романа Ивановича Гельвига в Таврическом университете было открыто 5 факультетов: физико-математический (с естественным и математическим отделениями), историко-филологический, агрономический, медицинский и юридический (с экономическим отделением). Размещались они в десяти отдельных помещениях в разных местах Симферополя (из них лишь территория по нынешней ул. Студенческой и теперь входит в состав Симферопольского университета – здесь размещается факультет физической культуры).

Общее число обучающихся в вузе к концу 1920 года достигло 3000 студентов [4], а список профессоров и преподавателей университета составил около сотни человек, образовавших "золотой" фонд вуза. Среди них, кроме уже названных корифеев науки, в университете в те годы работали академики В. И. Палладин и П. П. Сушкин, профессора и доценты Д. В. Айналов, Д. Д. Арцыбашев, А. А. Байков, Г. В. Вернадский, Г. Н. Высоцкий, Б. Д. Греков, Н. К. Гудзий, А. Г. Гурвич, А. И. Деревицкий, А. И. Елистратов, А. П. Кадлубовский, Л. О. Кордыш, В. И. Лучицкий, А. И. Маркевич, Э. А. Мейер, Г. Ф. Морозов, В. А. Розов, М. Л. Франк и другие. Из молодых преподавателей тогда работали, ставшие впоследствии крупными учеными, Е. В. Вульф, П. А. Двойченко, Н. С. Кошляков, И. И. Пузанов, И. Е. Тамм, Я. И. Френкель, Д. И. Щербаков, Н. Л. Эрнст...

Об эффективности учебной и научной работы в Таврическом университете в те годы можно судить хотя бы по таким частным фактам. Один из студентов университета тех лет, впоследствии ставший доктором географических наук, Лауреатом Государственной премии СССР, Б. А. Федорович, например, вспоминая, писал: "Мы, студенты, были избалованы нашими прекрасными профессорами. Всегда увлеченный Н. И. Андрусов заражал своим энтузиазмом, тончайшими познаниями и ясностью мысли. Спокойны и глубоко продуманы были лекции В. А. Обручева... Каждая лекция иллюстрировалась серией таблиц, вычерченных им самим или Дмитрием Ивановичем Щербаковым (впоследствии академик). Все это давало нам прочные и прекрасно систематизированные знания. На лекциях В. И. Вернадского... мы постигали тайны строения атома материи и мироздания. А как интересны были лекции академика-зоолога П. П. Сушкина, ботаников А. В. Палладина и Н. И. Кузнецова, лесовода Г. Ф. Морозова, почвоведа Г. Н. Высоцкого, химика А. А. Байкова" [5].

Другой пример. Из 19 студентов группы математического факультета, в которой учился в Таврическом университете Игорь Васильевич Курчатов – будущий великий физик академик, Трижды Герой Социалистического труда, – двое впоследствии стали академиками, шесть выпускников – профессорами!

Успехи первых лет в работе Таврического университета позволили академику Владимиру Ивановичу Вернадскому, избранному после Р. И. Гельвига вторым ректором этого вуза, со всей уверенностью заявить в 1920 году, что "Университет большой... с огромным будущим" [6].

Однако реалии жизни в Симферополе в те годы были тяжелыми. Гражданская война, нехватка продовольствия и топлива, сложная эпидемиологическая обстановка в Крыму негативно сказывались на деятельности Таврического университета. Жертвой тяжелых лет в истории ВУЗа стал его первый ректор. Газета "Крымская мысль" 26. 09. 1920 г. с печалью оповестила мир о том, что "19 сентября умер от сыпного тифа ректор Таврического университета профессор Гельвиг Роман Иванович, 47 лет". Общественность Симферополя с болью прощалась с главой своего первого высшего учебного заведения: состоялось заседание, посвященное памяти Р. И. Гельвига. Городская дума почтила его память, справедливо записав в журнале своей летописи, что "Если университет в дни этой разрухи вырос и окреп, и существует, то в этом громадная заслуга его первого ректора – Р. И. Гельвига. Его деятельная и исключительная вера в успешное развитие университета, его удивительная и неутомимая энергия и любовь к своему делу помогли окрепнуть университету" [7].

Тогда же небольшая площадь в Симферополе по улице Лазаретной, где размещался медицинский факультет университета, была названа именем Р. И. Гельвига (ныне – это район улицы Студенческой, где расположены здания и самый большой в Крыму крытый спортивный манеж факультета физической культуры СГУ). К сожалению, это название – площадь Гельвига – незаслуженно ушло из топонимики города, хотя никто его официально не отменял...

Со временем основания Таврического университета прошло 80 лет. Его прямой преемник, современный Симферопольский государственный университет, свято хранит и развивает лучшие научные и учебные традиции своего родоначальника. Ныне в старейшем крымском высшем учебном заведении на 10 факультетах 62 кафедрах трудятся около 10 тысяч студентов, сотрудников и преподавателей, в том числе 60 профессоров и докторов наук, около 270 доцентов и кандидатов наук. В юбилейный год назовем лишь самых заслуженных ветеранов из числа ученых-педагогов работающих сегодня в вузе. В их числе: Заслуженные деятели науки и техники Украины профессора Н. Д. Копачевский, В. Г. Сидякин, Ю. А. Шевляков; Заслуженный работник высшей школы Украины профессор А. Ф. Переход; Заслуженные работники народного образования Украины профессора Л. Г. Апостолов, Н. В. Багров, И. Г. Губанов, В. Г. Ена, В. Я. Касьянов, А. Меметов, Ж. Н. Мона, В. М. Ронгинский, А. М. Сташков; Заслуженные изобретатели Украины профессора Н. А. Грошенко, М. Г. Лейкин; Заслуженный врач Украины Э. П. Легков; Заслуженный тренер Украины Т. Ф. Корнев.

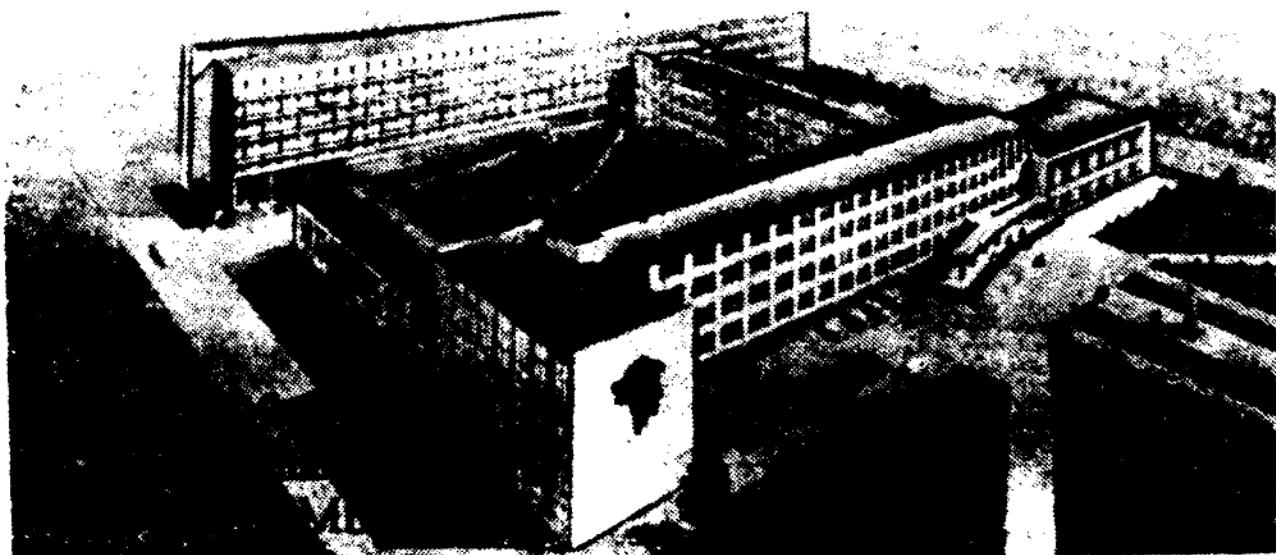
В составе СГУ функционируют два учебных института – Южно-Украинский и Экономический, научно-исследовательский комплекс с НИИ проблем геодинамики, КБ "Домен", вычислительный центр и другие учебно-научные подразделения. В свое время от университета "отпочковались" и ныне являются самостоятельными вузами: Крымский государственный аграрный университет и Крымский государственный медицинский университет, работающие в Симферополе.

За годы существования Таврического университета – Крымского университета – Крымского педагогического института – Симферопольского государственного университета вузу суждено было пройти очень сложный путь развития, пережить немало трудностей в годы Великой Отечественной войны, эвакуироваться в Дагестан. Но, как и предполагали его основатели в 1918 году, университет действительно стал храмом науки и образования в Крыму и не только здесь. За восемь десятилетий в университете подготовлено свыше 65 тысяч высококвалифицированных специалистов, успешно работающих в Крыму, Украине, в других республиках – государствах СНГ, в 40 странах Европы, Азии, Африки и Латинской Америки!

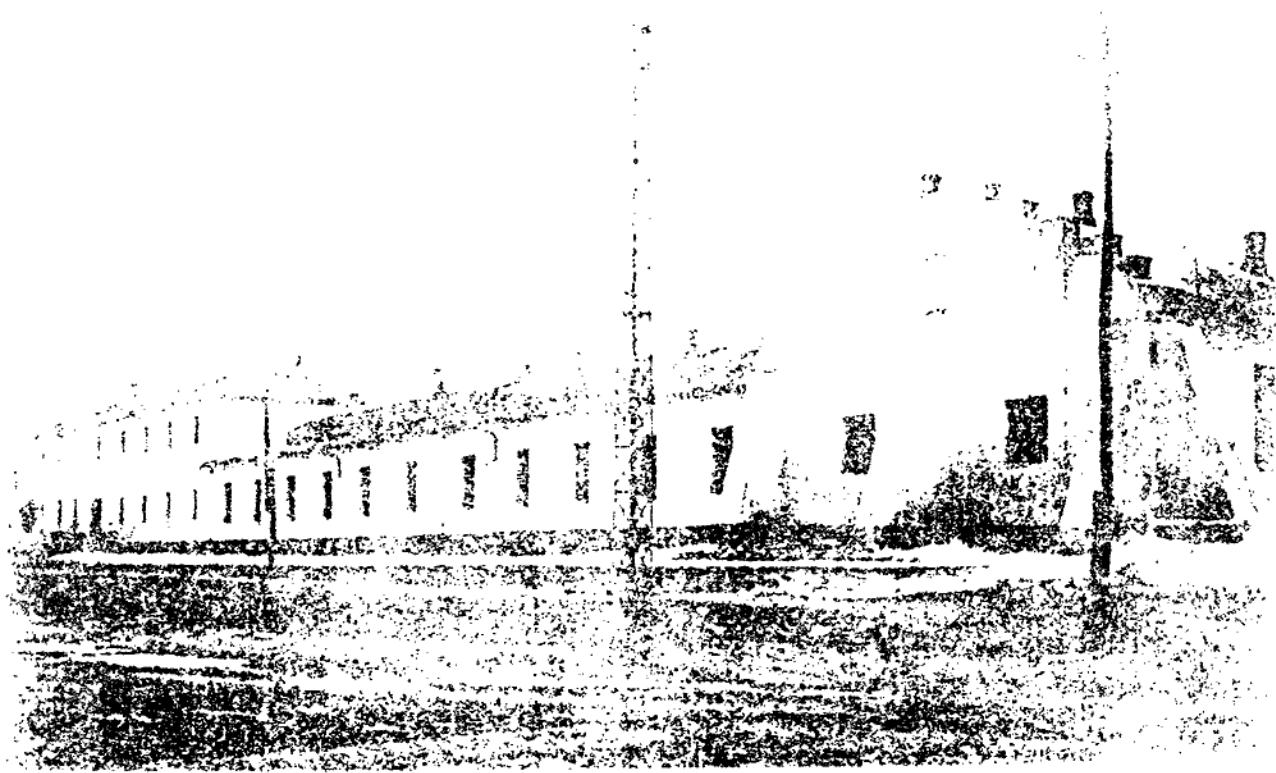
Университет отмечает свое 80-летие в канун нового, XXI столетия. Соизмеряя прошлое и настоящее вуза, в перспективе Симферопольский государственный университет видится как ведущий научный, образовательный, культурный и просветительский центр Автономной Республики Крым, осуществляющий активные многогранные связи с научными, учебными и культурными организациями, рекреационно-курортным, промышленным и аграрным комплексами Крыма, Украины и Причерноморья.

Литература.

1. Ена В. Г. Открыватели земли крымской. – Симферополь: Крым. – 1969. – С. 3–31.
2. Когоношвили К. К. Краткий словарь истории Крыма. – Симферополь: Бизнес Информ, 1995. – С. 275.
3. Открытие Таврического университета // Известия Таврического университета.– Отд. отиск.– Симферополь: Первая Совет. типогр., 1919.– №1. – С. 3
4. Маркевич А. И. Симферополь. его исторические судьбы, старина и недавнее прошлое.– Симферополь, 1924.– С. 113.
5. Федорович Б. А. Воспоминания.– Университетская жизнь.– СГУ, 1992.
6. Письма В. И. Вернадского А. Е. Ферсману. – М.: Наука, 1985. – С. 98-99.
7. Очерки истории Симферопольского гос. университета. – Симферополь: Таврида, 1993. – С. 63



Панорама основного комплекса современного
Симферопольского университета.



Архивная фотопродукция - площадь Гельвига по ул. Лазаретной в
Симферополе (на месте этих зданий расположен ныне по
ул. Студенческой спортивный комплекс СГУ).



Поздравляем преподавателей, сотрудников,

студентов и выпускников с 80-летием

со дня основания

Симферопольского государственного университета

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЛЕСНЫХ И ЛЕСОПАРКОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ КРЫМСКОГО ЮЖНОБЕРЕЖЬЯ

Апостолов Л. Г., доктор биологических наук, профессор

Ивашов А. В., кандидат биологических наук, доцент

Колодочка А. А., начальник Крымской республиканской станции защиты леса

Оценка лесопатологической обстановки

Очаги насекомых фитофагов являются одним из основных информативных показателей, характеризующих лесопатологическую обстановку на ЮБК. Леса Крыма расположены в зоне периодически повторяющихся вспышек массового размножения вредителей леса. Основными видами насекомых-вредителей для ЮБК являются непарный шелкопряд, зеленая дубоваялистовертка и комплекс пядениц с преобладанием пяденицы-обдирало и зимней. Эти вредители образуют как самостоятельные, так и комплексные очаги в различных сочетаниях. Кроме того, с 1977 года отмечено массовое размножение южной можжевеловой моли [1].

Непарный шелкопряд (НШ) – Lymantria dispar L.

Очаги массового размножения НШ в Крыму зафиксированы с 1842 года, интервал между вспышками составлял около 10-20 лет [2]. С 1980 по 1989 год этот вредитель имел наибольшее распространение в лесах Крыма. В 1988 году площадь очагов НШ составляла 61.9 тыс. га, это максимальное значение за последние 40 лет.

С 1982 года очаги непарного шелкопряда наблюдались в области Главной лугово-лесной гряды и Предгорной лесостепи (Севастопольский, Куйбышевский, Бахчисарайский лесхозы), в 1987 году очаги зафиксированы на Крымском южнобережном субсредиземноморье (Судакский, Алуштинский лесхозы, Ялтинский заповедник).

В 1988 году очаги НШ действовали на всей территории Крымского южнобережного субсредиземноморья, Главной лугово-лесной гряды и Предгорной лесостепи, что свидетельствует о существовании самостоятельных популяций в указанных областях. Это подтверждается наблюдениями численности НШ в различных областях на Южном макросклоне. Количество гусениц на ростовую точку в области КЮСС была выше в 1.8 раза, чем в ГЛЛГ, что обеспечивалось переносом гусениц младшего возраста ветрами северо-западного направления, господствующими в этот период. Хотя наличие гусениц отмечалось до высоты 800-900 метров, существенных повреждений листвьев не было, яйцекладок не обнаружено. Таким образом, механический перенос особей НШ южнобережной популяции в соседнюю физико-географическую область не являлся достаточным условием для реализации вспышки.

Следует отметить особую роль лесных культур сосны крымской и кипариса на ЮБК в развитии очагов НШ. В 1988-89 годах после сплошного объедания основных кормовых пород (дуба пушистого и других лиственных) гусеницы старших возрастов докармливались хвоей сосны, кипариса и можжевельника высокого, затем оккукливались и откладывали яйца преимущественно на эти же породы, плотность кладок достигала в 1988 году 100 шт. на 1 дерево, в 1989 году – 30 шт. на дерево при отсутствии яйцекладок на лиственных породах [3].

Отрицательное воздействие НШ в условиях ЮБК заключается в потере эстетических качеств насаждений, снижении прироста, аллергической реакции человека на волоски гусениц. Если потеря прироста изучалась различными авторами [2, 4], то методика определения потерь декоративности и эстетических качеств курортных лесов не разработана. Сведения об аллергии открытых участков тела при проведении работ не систематизированы, хотя достоверность их не вызывает сомнений.

Зеленая дубовая листовертка (ЗДЛ) – *Tortrix viridana L.*

ЗДЛ как в составе комплексных очагов, так и самостоятельно широко распространена в дубовых насаждениях Крымского южнобережья. Часто формирует хронические очаги (Ялтинский заповедник. Оползневское лесничество). Обычно доминирует в насаждениях дуба пушистого. В цвететах природно-территориального комплекса численность на дубе пушистом часто в несколько раз выше, чем на дубе скальном [5]. Плотность популяции в хронических очагах поддерживается на среднем уровне.

Достаточно сильным фактором, сдерживающим рост численности ЗДЛ, являются энтомофаги. На фазе куколки паразитирование достигает 58% [6], гусеницы активно поедаются птицами [7]. Народы на гусеничной фазе играют менее значительную роль [8].

При определении влияния листовертки на дубовые леса следует учитывать быстрое восстановление фотосинтезирующего аппарата дубов за счет вторичной листвы, что позволяет скапливать достаточное количество пластических веществ за длинный вегетационный период.

Наличие очагов ЗДЛ в зоне КЮСС можно считать природнообусловленным, а дубравы адаптированными к систематическому объеданию листвы. Отсутствие данных о массовых усыханиях дубов после сильных объеданий свидетельствует о достаточном уровне адаптации, сложившейся в ходе совместной эволюции. По мнению [9], дубы могут терять без последствий до 30% листвы и это не оказывается на текущем приросте.

Пяденицы зимняя (ПЗ) и обдирало (ПО) – *Operophtera brumata L.*, *Erannis defoliaria Cl.*

Указанные виды являются преобладающими в составе комплексных очагов. Кроме них в состав комплекса входили пяденицы родов: *Biston*, *Phigalia*, *Boarmia* [10].

Распределение пядениц по численности и видовому составу зависит от характеристик ПТК. Очаги пядениц приурочены в основном к насаждениям дуба скального [3], тем не менее в разные

годы происходит смена предпочтаемых кормовых пород. В 1991 году наибольшие повреждения отмечены на ясене, грабиннике и грабе, в меньшей степени на дубе скальном. Дуб пушистый практически не повреждался. В 1990 году наблюдалась в области КЮСС обратная последовательность [5].

По степени воздействия на лесные сообщества ЮБК пяденицы занимают третье место после НШ и ЗДЛ.

Южная можжевеловая моль (ЮММ) - Gelechia senticetella Stgr.

Массовое размножение вредителя отмечено в 1977-79 гг. [3] и 1987-90 гг. на площади 1.6 тыс. га. В области КЮСС к очагам отнесены все обследованные насаждения можжевельника высокого [5].

ЮММ повреждает 34 вида хвойных, основной кормовой породой является можжевельник высокий [11].

По данным Крымской горно-лесной опытной станции влияние ЮММ на деревья можжевельника выражается в потере прироста до 2-2.5 раза и снижении эстетических качеств насаждений. Наличие усохших деревьев в очагах ЮММ не превышает 3%, что соответствует уровню естественного отпада.

В большей степени ЮММ повреждает деревья можжевельника высокого в возрасте 200 и более лет. В младших возрастах можжевельник объедается меньше и быстрее восстанавливает хвою.

**Оценка эффективности принятых технологий химической
и микробиологической защиты леса**

Опрыскивание лесных массивов водными растворами инсектицидов авиационными и наземными агрегатами остается до настоящего времени основным и наиболее распространенным способом борьбы с вредителями лесов в Крыму. Другие способы применяются на небольших площадях, объемы их выполнения не зависят от состояния очагов вредителей и, в конечном итоге не являются фактором, сдерживающим численность насекомых.

В годы вспышек массового размножения площадь авиационной обработки достигает значительных объемов, в 1989 году эта величина была максимальной и составила 10.8% от всей площади лесов или 15% от покрытой лесом площади.

За последние годы произошло перераспределение доли химических и биологических препаратов в проводимых авиационных обработках лесов Крыма. Если в 1988 году на авиахимборьбу приходилось 73% площади авиаоборьбы, то в 1991 году химические инсектициды не применялись. Это вызвано как изменением лесопатологической обстановки, так и целенаправленными усилиями специалистов лесозащиты и органов управления лесным хозяйством. Применение химических инсектицидов в качестве добавок к биопрепаратам в сублетальных дозах от 0.1 до 0.5 полных

дозировок по препарату, также изменилось от высокотоксичных (хлорофос, цимбуш) к гормоноподобным препаратам (димилин).

Таблица 1

Объем лесозащитных мероприятий по объединению "Крымлес" за 1987-91 гг.

Вид мероприятий	Площадь, га				
	1987 г.	1988 г.	1989 г.	1990 г.	1991 г.
Химическое авиа	—	2240	14380	2410	—
Опрыскивание: наземное	1348	1373	1388	730	23
Биологическое авиа	580	2750	22078	10918	6500
Опрыскивание: наземное	2386	2074	567	1665	1927
Развешивание гнездовий	1543	1120	825	1123	370
Огораживание муравейников	50	25	25	150	
Устройство кормушек	290	225	372	4645	
Физико-механические	393	713	344	727	
Обработка кладок НШ вирн. ЭНШ микроочажным методом			19012		

Техническая эффективность авиаборьбы колеблется в широких пределах в зависимости от применяемых препаратов, вида вредителей, погодных условий (табл. 2). Наиболее низкая эффективность при обработке очагов ЮММ, сравнимая с гибелю вредителя от энтомофагов. Но даже высокая техническая эффективность не исключает обработку насаждений на протяжении нескольких лет подряд.

В связи с этим невозможно согласиться с требованиями оценки авиаборьбы только по данному показателю [12]. В основе комплексной оценки проводимых лесозащитных мероприятий должны быть результаты ландшафтно-экологической таксации и данные лесопатологического мониторинга.

Одним из основных критериев назначения борьбы является степень угрозы объедания 30% хвои и 50% листвы [4]. Вследствие того, что леса Крыма, в особенности Южнобережья, не имеют эксплуатационного значения, относятся к первой группе и выполняют в основном санитарно-защитные и рекреационные функции, критерии назначения борьбы нуждаются в пересмотре.

Обследования 1989-90 гг. показали, что в области КЮСС доля свежего сухостоя в дубовых лесах не превышает 0.2%, несмотря на значительное повреждение дубрав комплексом листогрызущих насекомых в 1987-1989 гг [5]. И хотя окончательные выводы требуют дополнительных наблюдений, на данном этапе

исследований можно утверждать, что однократное сплошное или сильное повреждение на протяжении 1-2 вегетационных периодов не приводит к усыханию деревьев, значительно превышающему естественный отпад в насаждениях лиственных пород.

К основным недостаткам авиационных обработок следует отнести их проведение, как правило, в фазе собственно вспышки (2-й год) или фазе кризиса, что является следствием неудовлетворительного проведения надзора и жестким планированием лесозащитных мероприятий.

Тем не менее, проведение авиаобработок на площади 4.4 тыс. га в 1989 году было целесообразным, что подтверждается изменением плотности кладок НШ в 1989 году по отношению к 1988 г. в среднем в 22.5 раза.

Таблица 2

Авиационные меры борьбы на Крымском южнобережье

Физико-географический район	Виды вредителей	Площадь, га	Препарат	Расход л/га (кг/га)	Техническ. эффективность, % (с добавл.)
1987 г.					
Не проводились					
1988 г.					
Восточный	НШ	1198	Цимбуши	0.08	95
	НШ	1040	Хлорофос	1.5	86
	НШ	120	вирин-ЭНШ	0.13	40
	ЮММ	170	дendробациллин	3.0	(25-30)
Западный	НШ	600	лепидоцид	1.0	85
1989 г.					
Восточный	ЮММ	776	лепидоцид	1.0	30
	НШ, ЗДЛ, ПЗ	6584	лепидоцид	1.0-1.1	69-84 (90)
	- « -	4750	цимбуш	0.05-1.0	95-97
	- « -	200	десис	0.07	93
	- « -	2110	битоксибацилл.	1.5-1.8	(88-91)
	- « -	670	дendробациллин	0.8-1.5	(94)
	НШ	200	вирин-ЭНШ	0.03	47
	НШ	530	димилин	0.04	95
Западный	НШ, ЗДЛ	640	лепидоцид	1.0	82-84
	НШ	1130	вирин-ЭНШ	0.03	55-67
	НШ	70	цимбуш	0.08	94
1990 г.					
Восточный	ЗДЛ, ПО, ПЗ	4932	лепидоцид	0.8-1.0	(82-92)
	- « -	1366	битоксибацил.	1.2	
	- « -	450	димилин	0.04	
Западный	ЗДЛ	1140	лепидоцид	1.0	(90)

- « -	790	битоксибацилл.	1.0	93 (89-90) (84)
1991 г.				
Западный	ЗДЛ ЮММ	1100 500	лепидоцид битоксибацилл.	1.0 1.5

Совершенствование лесопатологического мониторинга

На наш взгляд, основным подходом в совершенствовании лесопатологического мониторинга является рассмотрение его как части экологического мониторинга лесов, сопряженного в свою очередь с экологическим мониторингом геосистем.

Лесопатологический мониторинг (ЛПМ) строится на ландшафтной основе в границах экологических стационаров. Наблюдения проводятся с установленной периодичностью на стационарных маршрутах, базовых постоянных пробных площадях и специализированных учетных пунктах. Сбор информации должен проводиться во всех лесах вне зависимости от ведомственной принадлежности, видов собственности и назначения лесов. Если не следовать этому правилу, то при сложной ландшафтной структуре территории Крыма, наличии значительного числа патогенных факторов, имеющих мобильные пространственно-временные характеристики всегда будут оставаться бесконтрольными локальные участки, с которых могут начинаться патологические процессы.

Система ЛПМ разделена на несколько подсистем, отличающихся степенью детализации и периодичностью наблюдения патологических факторов. По этим признакам, а также учитывая возможности существующих организационных структур выделяются:

– подсистема "Предприятие" – осуществляется силами государственной лесной охраны или специалистами защиты леса (растений) на подведомственной территории ежегодно по фиксированным маршрутам и учетным пунктам. При этом регистрируется наличие патологических процессов, развитие которых достигает уровня, влияющего на габитус древостоя. Эта система позволит выделить на всей площади лесов участки, наиболее подверженные влиянию определенных патогенных факторов.

В 1991 году разработана и внедрена схема маршрутов и учетных пунктов для Алуштинского лесничества Симферопольского ГЛОХ в границах Алуштинского экологического стационара.

Зaproектировано 84 учетных пункта (1 у.п. на 107 га), из них 58 – в естественных лесах, 26 – в лесных культурах.

– подсистема "Станции защиты леса" – ведется станцией защиты леса по фиксированным маршрутам, постоянным пробным площадям и специализированным маршрутам, учетным пунктам ежегодно, сроки наблюдений определяются фазами развития растительности, популяции вредителей

и периодичностью проявления патологий. Маршрутные ходы и специализированные учетные пункты частично совпадают с предыдущей подсистемой и служат для контроля и уточнения количественных характеристик патологических процессов с применением стандартных методик проведения детального надзора за вредителями леса и болезнями.

Информация, полученная при функционировании указанных подсистем, обобщается с привлечением данных, в пределах экологических стационаров и является основной для краткосрочного прогноза воздействия патологических факторов на лесные экосистемы и проектирование лесозащитных мероприятий.

Оптимизация лесозащитных мероприятий

Основная задача проектирования и выполнения лесозащитных мероприятий – достижение оптимального экономического эффекта при минимальном отрицательном воздействии на лесные экосистемы. Лесозащитные мероприятия должны проектироваться и проводятся на основании информации, полученной в результате функционирования экологического и лесопатологического мониторинга лесов.

Авиационные и наземные истребительные меры борьбы с применением сильнодействующих инсектицидов могут назначаться только при угрозе распространения карантинных видов насекомых, устойчивой тенденции изменения соотношения основных элементов естественных древостоев в результате деятельности хронических очагов вредителей, то есть в зоне "активного воздействия", образования комплексных очагов массового размножения вредителей ранневесеннего комплекса, для сохранения отдельных уникальных участков леса.

При наличии очагов ЗДЛ в зоне "ограниченного воздействия" или комплекса пядениц истребительные меры борьбы с применением бактериальных препаратов назначаются при обедании не менее 75% листвы на протяжении 1-2 лет подряд или однократного 100% повреждения. Авиационная борьба должна проводиться бактериальными препаратами в двухкратной повторности с обязательным учетом ландшафтной структуры территории (ландшафтная авиаобработка).

Истребительные мероприятия при более низкой угрозе обедания не менее 50%, могут проводиться только при необходимости сохранения эстетических качеств отдельных участков леса в местах массового отдыха или экскурсионных объектов. При этом решение принимается в каждом случае с учетом состояния насаждений и популяции вредителей.

При возникновении очагов массового размножения НШ во всех ПТК рекомендуется применение вирусного препарата вирин-ЭНШ начиная со 2-й фазы вспышки. Учитывая вредоносность данного вида, а также опасность возникновения аллергических реакций у человека, вызываемых волосками гусениц, что недопустимо в зоне курортных лесов, обработки необходимо повторять ежегодно до фазы кризиса, сочетая наземные, авиационные обработки и физико-механические методы уничтожения яйцекладок в условиях парков и лесопарков. При высокой численности НШ для

достижения необходимого лесозащитного эффекта (при угрозе объедания более 75% в лиственных лесах и более 30% на участках культур сосны) применяются дополнительные обработки бактериальными препаратами наиболее уязвимых элементов ПТК.

Введение ограничений при проектировании авиационных мер борьбы позволяет значительно снизить площади обрабатываемых насаждений без ущерба для лесных экосистем. Если следовать этим критериям, то в 1989 году повреждения насаждений в средней, сильной и сплошной степени на площади 1741, 1737 и 115 га соответственно вредителями ранневесеннего комплекса, необходимо было провести авиаоборьбу на 115 га, при традиционном же подходе следовало обрабатывать 1852 га, что привело бы более чем к 16-кратному увеличению затрат.

В целом, изменение подходов к авиационной борьбе позволит уменьшить нагрузку на лесные экосистемы, сохранить сложившиеся трофические связи, сохранить численность энтомофагов и редких видов насекомых, занесенных в Красную книгу.

Заключение

Секретариат ООН по окружающей среде определил экологический мониторинг как систему повторных наблюдений за элементами окружающей среды в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленными программами. Программа экологического мониторинга лесопарковых насаждений Крымского южнобережья учитывает структуру природно-территориального комплекса, особенности экологической обстановки в ландшафте в целом и в лесопарках в частности. Базовые постоянные пробные площади и специализированные учетные пункты заложены в пределах экологических стационарных пунктов в насаждениях, где особенно сказывается влияние рекреации. Список показателей, используемых для ведения мониторинга составлен с учетом рекреационной дигressии курортных лесов и включает: древостой, вытогтанность территорий и площадь тропиночной сети, коэффициент водорегулирования.

Лесопатологический мониторинг является важнейшей частью экологического мониторинга и основывается на наблюдениях, проводимых за различными группами организмов с периодичностью от нескольких дней до пяти лет.

Среди всех видов комплекса листогрызущей энтомофауны важнейшим объектом лесоэнтомологического мониторинга является непарный шелкопряд. Его отрицательное влияние в условиях санаторно-курортной зоны Крыма, помимо дефолиации и снижения прироста лесных культур, заключается в снижении их эстетических качеств и возникновения аллергических реакций у населения. Очаги его массового размножения, как правило, возникают в лиственных насаждениях, однако в условиях Крымского южнобережья хвойные (сосна, можжевельник, кипарис) служат местом сохранения части популяции в период массовой его гибели от недостатка корма. Эти особенности должны учитываться при проведении лесозащитных мероприятий.

Литература.

1. Васильева Е.А. Южная можжевеловая моль в Крыму // Бюлл. ГНБС. – Вып. 38. Ялта, 1979. – С. 59-61.
2. Пархоменко В.Ю. Непарний шелкопряд у лісах Криму. К.: УАН, 1935. – 118 с.
3. Отчет по лесопатологическому обследованию лесов Крымского ОПЛХО "Крымлес" МЛХ УССР. Брянск, 1989.
4. Справочник по защите леса от вредителей и болезней / Тимченко Т.А., Авраменко И.Д., Завода Н.М. и др. К.: Урожай, 1988. – 224 с.
5. Отчет по лесопатологическому обследованию лесов Крымского ОПЛХО "Крымлес" МЛХ УССР. Брянск, 1990
6. Ивашов А.В., Сиренко М.Д., Подмарьков Н.Ю. Особенности микропопуляций дубовой зеленой листовертки в консорциях дуба // Природные комплексы Крыма, их оптимизация и охрана. Симферополь: СГУ, 1984. – С. 127-135
7. Аностолов Л.Г. Вредная энтомофауна лесных биогеоценозов Центрального Приднепровья. К.: Вища школа, 1981. – 232 с.
8. Иванов А.В., Подмарьков Н.Ю. Роль паразитов в снижении численности личинок зеленой дубовой листовертки (*Tortrix viridana*) в горном Крыму // Вестник зоологии. – 1998. – № 2. – С. 53-59.
9. Воронцов А.И. Некоторые вопросы динамики численности лесных насекомых // Вопросы защиты леса. М.: МЛТИ, 1974. – Вып. 65. – С. 7-18.
10. Сабан Я.А. Экология горных лесов. М., 1982. – 168 с.
11. Коршунов В.П. Кормовые растения южной можжевеловой моли // Бюлл. ГНБС. – Вып. 70. Ялта, 1989. – С. 79-85.
12. Временные методические указания по определению ущерба от хвое-листогрызущих вредителей и экономической оценке мероприятий по борьбе с ними в лесах УССР. К., 1988.

ВЛИЯНИЕ ГИББЕРЕЛЛИНА НА СОДЕРЖАНИЕ КРАСЯЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЯГОДАХ ВИНОГРАДА СОРТОВ БАСТАРДО МАГАРАЧСКИЙ, САПЕРАВИ, КАБЕРНЕ

Брановицкая Т. Ю., аспирантка

Рациональное использование винограда включает в себя потребление его в свежем виде, хранение и переработку на вино. В настоящее время одной из актуальных проблем в виноделии является качество урожая винограда, включающее оптимальную сахаристость и гармоничную кислотность, а также ароматичность, букет и окраску ягод [1,2,3]. Кроме этого, увеличение содержания фенольных соединений и красящих веществ в ягодах винограда полезно для здоровья человека и продуктов винограда, в том числе вина [4,5]. Так как, флавоноиды и антоцианы обладают Р-витаминной активностью, а так же сильным бактерицидным действием, что способствует накоплению в организме витамина С, укрепляет мельчайшие кровеносные сосуды – капилляры [2,3].

Известно что, одним из методов улучшения питательной ценности винограда является применение регулятора роста – гиббереллина [6].

Однако, в настоящее время данный вопрос в литературе практически не изучен. Имеющиеся литературные данные носят противоречивый характер. Зилсин А.Н., Зехем И. [7] считают, что при действии гиббереллина в концентрации 500 мг/л на растения роз резко возрастает окраска лепестков. Ученые предполагают, что активация окраски связана с действием регулятора роста на мембранные клетки, что ведет к повышению доступности фенилаланина для биосинтеза антоцианов. Лукхер [8] в своих работах также указывает на увеличение содержания красящих веществ под действием гиббереллина, но в данном случае этот эффект достигается за счет воздействия гиббереллина на ферменты. Напротив, такие исследователи, как Кинсман, Пинфилд, Гурупрасад [9,10] считают, что экзогенный гиббереллин ингибирует процессы биосинтеза фенольных соединений и красящих веществ.

Таким образом, с целью изучения влияния гиббереллина на содержание красящих веществ и фенольных соединений нами были поставлены специальные опыты.

Методика. Опыты закладывались на виноградных плантациях с/з «Алушта» на протяжении 1994-1997 гг. Объектом исследований служили районированные в Крыму, технические сорта винограда: Бастардо магарачский, Каберне, Саперави. Система ведения виноградного куста – вертикальная шпалера, формировка двурукавная площадь питания 2×3 м. Уход за виноградниками проводился в соответствии с принятой агротехникой.

Обработка плантации водным раствором препарата гиббереллина (ГК) в концентрации 40 мг/л проводили в утренние часы методом тракторного опрыскивания через 10 дней после массового цветения винограда. Опыты закладывали в трехкратной повторности, в каждой повторности учитывалось три образца.

Содержание красящих веществ и фенольных соединений определяли с помощью методики, разработанной в ВНИИ «Магарач» [11].

Статистическая обработка данных проводилась методом условных отклонений по Плохинскому.

Результаты. В результате проведенных нами исследований установлено, что обработка гиббереллином виноградного растения стимулирует повышение содержания красящих веществ в ягодах винограда. Как свидетельствуют данные таблицы №1 при опрыскивании винограда водным раствором препарата в течении 1 года сорта Бастардо магарачский количество красящих веществ в ягодах увеличилось на 37% по сравнению с контролем, а в варианте двухлетней обработки этот параметр возрастает на 57%, в варианте трехлетней обработке он незначительно снижается, при этом на 24% превышает контроль.

Таблица 1

Влияние гиббереллина на содержание красящих веществ в ягодах винограда семенных сортов

Вариант опыта	Содержание красящих веществ	
	мг/л	% к контролю
Бастардо магарачский		
контроль	525 ± 3,42	100
обработка:		
однолетняя	720,00 ± 2,34	137,14
двуухлетняя	826,00 ± 4,24	157,2
трёхлетняя	655,64 ± 1,27	124,87
Каберне		
контроль	634 ± 0,68	100
обработка:		
однолетняя	896,71 ± 0,47	141,3
двуухлетняя	934,00 ± 1,55	147,31
трёхлетняя	851,34 ± 1,32	134,28
Саперави		
контроль	1965 ± 1,87	100
обработка:		
однолетняя	2138 ± 2,15	108,8
двуухлетняя	2565 ± 1,94	130,6
трёхлетняя	2109 ± 2,03	107,32

Особое внимание следует обратить на сорт Саперави, который относится к сортам-красителям, использующимся в виноделии для получения нужного оттенка красных вин. В контрольных ягодах этого сорта, согласно данным таблицы №1, содержание красящих веществ равно 1965 мг/л, при обработке ГК в течение одного года, содержание красящих веществ увеличилось до 2138 мг/л, а в варианте двухлетней обработке этот показатель увеличился по сравнению с контролем на 30,6% и составил 2565 мг/л, в варианте трехлетней обработке содержание красящих веществ превысило контроль на 7,3%.

Установлено, что опрыскивание регулятором роста гиббереллином виноградного растения способствует накоплению фенольных веществ в ягодах винограда. Согласно данным таблицы №2 в контрольных гроздях сорта Каберне содержание фенольных соединений составило 406,4 мг/100г свежего вещества, в варианте однолетней обработке этот показатель превышает контроль на 15%, в варианте двухлетней обработке – на 46%, что составляет 466,24 и 594,85 мг/100г свежего вещества соответственно.

Таблица 2

**Влияние гиббереллина на содержание фенольных веществ
в ягодах винограда семенных сортов**

Вариант опыта	Содержание фенольных веществ	
	мг/100г свежего в-ва	% к контролю
Бастардо магараачский		
контроль обработка: однолетняя двуухлетняя	288,48 ± 0,43	100
	346,32 ± 1,14	120
	508,13 ± 1,57	176,14
Каберне		
контроль обработка: однолетняя двуухлетняя	406,4 ± 0,81	100
	466,24 ± 1,59	114,72
	594,85 ± 1,37	146,37

Саперави		
контроль обработка: однолетняя двулетняя	496 ± 1,51 545,6 ± 1,49 685,97 ± 1,29	100 110 138,3

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что обработка винограда семенных сортов водным раствором гиббереллина 40 мг/л способствует увеличению содержания красящих веществ и фенольных соединений в ягодах винограда. Необходимо отметить, что такое повышение содержания красящих веществ и фенольных соединений благоприятно для дальнейшего применения винограда. Вина, приготовленные из винограда, обработанного препаратом ГК, имеют более интенсивную окраску, более полные и экстрактивные. При этом, гиббереллин не оказывает отрицательного действия на качество вин.

Литература.

- Бегунова Р.Д.. Динамика красящих веществ в винограда при его созревании и переработки: Авт. дисс. на канд. биол. наук. – М: 1963. – 33с.
- Валуйко Г.Г.. Виноделие и виноградорство СССР: Красящие вещества сорта Саперави. – 1992. – С. – 24-34.
- Технология переработки винограда: Учебное пособие для студентов с/х институтов/ Шольц Е.П., Пономарев В.Ф. и др.; Под общ. ред. Е.П. Шольца. – М.; Агропромиздат, 1990. – 447 с.
- Запротетов М.Н., Биохимия: Метаболизм фенольных соединений в растении. – М: Вып. 1, 1977. – С. 3-20.
- Сопромадзе А.Н., Антоцианы и лейкоантоцианы винограда сорта «Саперави»: Автореф. дисс. канд. биол. наук. – Тбилиси: 1978. – 35 с.
- Мананков М.К., Чмелева С.И., Мананкова О.П., Влияние гиббереллина на плodoобразование семенных сортов винограда // Вклад молодых ученых в развитие виноградорства и виноделия: Тез. докл. – Ялта, 1993. – С.28.
- Zielsin A.N., Zeshem I, Spiegelstein H., Halevy A.H., Acta bot. neer/ Possible membrane-associantect in gibberellic acid and phenylalanine induced rose coloration enhancement. – 1977. – V.26. – P.183-186.
- Luckher M., Planta med: Principles regulating the biosynthesis of secondary products. – 1979. – V.36. – №3. – P. 224-225.

9. Kinsman L.T., Pinfield N.I., Stobor A.K., Planta: The normal control of amaranthin synthesis in Amaranthus caudatus seedlings., 1975. – V. 127. – N3. – P. 207-212.
10. Guruprasad K.N., Lalorasya M.M., Plant science: Effect of pigment precursors on the inhibition of anthocyanin biosynthesis by GA and ABA – 1980. – V.19. – №1. – P.73-79.
11. Валуйко Г.Г. Методы технохимического контроля и микробиологического контроля в виноделии.-М.: Пищевая промышленность. – 1980. – С. 3-20.

ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛИЯНИЯ ЗАНЯТИЙ ФИЗИЧЕСКИМ ВОСПИТАНИЕМ НА УМСТВЕННУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СТУДЕНТОВ

Булич Е. В.

Существенный изъян прослеживается при анализе литературы по проблеме физического воспитания (ФВ) студентов – исследования в этой области ведутся так, как будто ничем другим, кроме занятий физическими упражнениями, студенты не занимаются. Однако, в отличие от спортивных занятий или любых занятий физическими упражнениями, выполняемых в свободное время, ФВ студентов является составной частью учебно-воспитательного процесса. Не зная, как влияет ФВ на другие элементы этого процесса, можно самыми результативными в двигательном отношении занятиями ФВ нанести ущерб другим сторонам единого процесса обучения и воспитания студента, его организму и личности. Более того, даже значительные успехи в развитии двигательной функции не всегда могут быть свидетельством правильной постановки ФВ – ведь известно, что рост мышечной работоспособности не всегда происходит на основе укрепления здоровья, но, напротив, может маскировать развитие глубоких нарушений состояния здоровья [1].

Учитывая эти соображения, наши исследования были направлены на изучение влияния занятий ФВ на другие, ранее не подвергавшиеся изучению, звенья учебно-педагогического процесса: умственную работоспособность, определяющую возможности усвоения общетеоретических и специальных предметов, и устойчивость к психоэмоциональным стрессам. Исследования были проведены на 386 (174 девушки и 212 юношей) студентах Крымского медицинского университета и Радомского политехнического университета (Польша). Исследовалось влияние 90-минутных занятий ФВ, основным содержанием которых были либо циклические упражнения (вариант А – бег, аэробика), либо гимнастические упражнения (вариант В), либо спортивные игры (вариант С – волейбол, баскетбол). В качестве контроля использовался учебный день, в котором вместо занятия ФВ применялось занятие общеобразовательным предметом или лекция (вариант 0).

Использовались методы оценки умственной работоспособности по корректурному тесту Анфимова и обработкой результатов по формуле Г. М. Уиппла:

$$K = \frac{a - (b + c)}{a + b}; I = K \times e,$$

где K – коэффициент точности, I – коэффициент работоспособности, a – количество правильно проверенных букв, b – количество пропущенных букв, c – количество допущенных ошибок, e – количество всех букв в проверенном тексте. Использовался также метод экспертных оценок преподавателей, по пятибалльной системе судивших о восприятии лекционного материала и качестве

самостоятельной работы студентов на занятиях по общеобразовательным предметам. Метод хронометража использовался для выявления количества и суммарной длительности немотивированных движений как показателя гипокинезии в процессе занятий [2].

Умственная работоспособность оценивалась перед занятиями ФВ, а затем после них в процессе последующих общеобразовательных занятий. Состояние студентов перед экзаменами использовалось в качестве ситуаций психоэмоционального стресса. Для оценки интенсивности занятий ФВ использовалась регистрация частоты сердечных сокращений (ЧСС) после основной части занятия и в конце его. Для оценки уровня физической подготовленности студентов использовался тест PWC₁₇₀ в модификации В. Л. Карпмана и др. [3].

Результаты исследований

Полученные результаты указывают на существенное и неоднозначное влияние занятия ФВ, начинаящего учебный день, на умственную работоспособность студентов. Это влияние носит фазовый характер. Длительность и выраженность фаз зависят от характера предшествующего занятия ФВ, интенсивности нагрузки, характеризуемой изменениями ЧСС, а также от уровня физической подготовленности студентов. Непосредственным влиянием, которое свойственно любым занятиям ФВ и реализуется сразу же после них, является ухудшение умственной работоспособности (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициент работоспособности до и после занятий

ФВ различного характера, $M \pm m$

Вариант занятия ФВ	До занятия, утром	После занятия, через					
		30 мин	60 мин	90 мин	120 мин	150 мин	180 мин
Вместо ФВ обще-образ. занятие (О)	230,4 $\pm 11,5$	214,8 $\pm 8,7$	226,3 $\pm 9,3$	222,5 $\pm 10,0$	218,4 $\pm 8,6$	212,5 $\pm 7,7$	206,2 $\pm 8,0$
Циклические упражнения (А)	234,3 $\pm 10,1$	182,5 $\pm 7,2$	194,2 $\pm 8,0$	200,7 $\pm 6,3$	210,7 $\pm 8,5$	218,4 $\pm 8,1$	212,8 $\pm 7,8$
Гимнастические упражнения (В)	220,9 $\pm 8,7$	184,7 $\pm 6,8$	196,4 $\pm 7,3$	205,6 $\pm 8,0$	218,4 $\pm 8,2$	228,3 $\pm 7,5$	196,7 $\pm 6,8$
Спортивная игра (С)	225,7 $\pm 8,8$	202,3 $\pm 9,0$	228,3 $\pm 9,2$	220,4 $\pm 8,1$	217,5 $\pm 7,6$	208,3 $\pm 7,3$	196,7 $\pm 6,8$
Достовер- ность различий, t и p , между	О и А	0,25 $>0,5$	2,86 $<0,02$	2,62 $<0,05$	1,84 $>0,05$	0,64 $>0,5$	0,53 $>0,5$
	О и В	0,66 $>0,5$	2,72 $<0,05$	2,53 $<0,05$	1,32 $>0,1$	— —	0,54 $>0,5$
	О и С	0,32 $>0,5$	1,00 $>0,2$	0,15 $>0,5$	0,16 $>0,5$	0,08 $>0,5$	0,40 $>0,5$

Фаза угнетения умственной работоспособности, как видно из таблицы 1, ярко выражена после занятий ФВ, основным содержанием которых были циклические упражнения (тренировка силы).

Занятия ФВ игрового характера приводили лишь к некоторому, статистически недостоверному снижению умственной работоспособности. Выраженность этого снижения связана, как свидетельствуют исследования, не только с характером занятий физическими упражнениями, но и с общей интенсивностью нагрузки, о которой можно судить по изменениям ЧСС в конце занятия ФВ.

Так, наиболее высокой ЧСС после занятия ФВ с направленностью на развитие выносливости ($126,3 \pm 9,4$ уд/мин) соответствует самое значительное снижение умственной работоспособности – на 22,1% по сравнению с уровнем этого показателя, зарегистрированным утром до занятия ФВ. Наименьшей ЧСС, обнаруживаемой после игрового занятия ($93,4 \pm 6,1$ уд/мин) соответствует снижение умственной работоспособности всего на 10,4%. Гимнастические занятия занимают в этом отношении среднее положение (табл. 2). О существовании определенной зависимости между уровнем напряжения функций, вызванным предшествующей физической нагрузкой, и степенью снижения умственной работоспособности в последующем занятии общеобразовательным предметом свидетельствует высокий уровень корреляционных взаимосвязей между показателями ЧСС и снижением умственной работоспособности, достигающий 0,963.

Таблица 2

Частота сердечных сокращений в конце занятия и степень снижения умственной работоспособности через 30 минут после него, $M \pm m$

Вариант занятия	ЧСС, уд/мин	Степень снижения умственной работоспособности, %
Общеобразовательное	$87,4 \pm 3,5$	6,8
ФВ, А	$126,3 \pm 9,4$	22,1
ФВ, В	$118,3 \pm 7,5$	16,4
ФВ, С	$93,4 \pm 6,1$	10,4

Наряду с фазой угнетения умственной работоспособности под влиянием занятия ФВ обнаруживается в последующем и фаза стимуляции. Выражена она, однако, значительно меньше, чем фаза угнетения и характеризуется лишь тенденцией к некоторому улучшению умственной работоспособности. Такое улучшение составляет после занятия с циклическими упражнениями 2,7%, после гимнастического занятия 6,9% и после игрового занятия – лишь 0,88% от исходного уровня этого показателя.

Факт угнетающего влияния занятий ФВ, обнаруженный объективным методом исследования, подтверждается данными экспертной оценки преподавателей, ведущих занятия по общеобразовательным предметам. Не различая занятий ФВ по их характеру, они отмечают, что восприятие учебного материала студентами после предшествующего занятия ФВ находится на уровне в среднем $2,8 \pm 0,2$ балла. Если же предшествующее занятие является общеобразовательным,

то этот показатель составляет $3,9 \pm 0,3$ балла ($t = 3,05$; $p < 0,02$). В том случае, если предшествующее занятие ФВ проводится в форме соревнования, то экспертная оценка преподавателей снижается до $2,3 \pm 0,1$ (t различий по сравнению с предшествующими общеобразовательными занятиями составляет $5,06$; $p < 0,001$).

Результаты наших исследований обнаружили взаимосвязь между уровнем физической подготовленности студентов и их устойчивостью по отношению к ситуации психоэмоционального стресса. У группы студентов, занимающихся спортом, с показателями теста PWC₁₇₀ выше среднего уровня, коэффициент умственной работоспособности и, особенно, коэффициент точности снижаются в предэкзаменационной ситуации значительно меньше, чем у студентов-неспортсменов с низким уровнем физической подготовленности. Характерно, что в обычных условиях, вне ситуации психоэмоционального стресса существенных различий в показателях умственной работоспособности у студентов этих групп не обнаруживается. Однако, в ситуации стресса эти различия проявляются крайне выражено (табл. 3).

Таблица 3

Показатели теста Анфимова у студентов с разным уровнем физической подготовленности в обычных условиях и в предэкзаменационной ситуации, $M \pm m$

Группа студентов	Показатель теста PWC ₁₇₀ KIM/мин.кг	Показатели теста Анфимова			
		в обычных условиях		перед экзаменом	
		K	I	K	I
Спортсмены	1186,5 $\pm 72,6$	0,92 $\pm 0,03$	235,4 $\pm 9,5$	0,84 $\pm 0,03$	210,8 $\pm 9,7$
С низкой физической подготовленностью	810,7 $\pm 61,2$	0,94 $\pm 0,03$	242,3 $\pm 10,0$	0,73 $\pm 0,02$	182,4 $\pm 7,2$
Достоверность различий, t и p	3,96 $<0,01$	0,47 $>0,5$	0,50 $>0,5$	3,05 $<0,01$	2,32 $<0,02$

Полученные результаты свидетельствуют о том, что занятия ФВ оказывают существенное влияние на умственную работоспособность студентов. Непосредственным влиянием этих занятий является снижение умственной работоспособности, которое длится – в зависимости от характера занятий – около 1-1,5 часов после занятий ФВ. Чем выше уровень физической нагрузки, о котором можно судить по изменениям ЧСС, тем более выраженным и длительным оказывается угнетающее влияние занятий ФВ на умственную работоспособность.

Полученные данные никоим образом не указывают на нежелательность использования занятий физическими упражнениями в режиме труда и отдыха – они лишь указывают на неблагоприятные эффекты совмещения умственных и физических нагрузок. Известно, что интенсивные физические нагрузки вызывают торможение условно-рефлекторной деятельности [4,5]. Вот почему они во

времени должны быть разделены. Кроме того, тормозящее влияние присуще крайне интенсивным и продолжительным физическим нагрузкам [6,7], причем изменения в центральной нервной системе имеют фазовый характер [8]. Эти данные объясняют обнаруженные в наших исследованиях изменения умственной работоспособности.

Есть все основания полагать, что основной результат систематических занятий физическими упражнениями – тренированность – представляет собой ценнейший компонент учебно-воспитательного процесса студентов, его оздоровительную основу. Это подтверждается благоприятным воздействием физической подготовленности на сопротивляемость психоэмоциональному стрессу, а также известными из литературы сведениями о высокой эффективности кратковременных занятий физическими упражнениями как средства, стимулирующего умственную работоспособность [9,10]

Полученные результаты указывают на необходимость рассматривать и планировать занятия ФВ студентов как неотъемлемый компонент общего учебно-воспитательного процесса. Только при этом условии можно обеспечить оптимальное взаимодействие между физическими и умственными "слагаемыми" этого процесса в интересах гармонического развития организма и личности молодого специалиста. В работах по формированию стратегии развития физического воспитания студентов [11] вопросам этого взаимодействия должно быть уделено особое внимание.

Литература.

1. Муравов И. В. Физическая культура и компенсаторно-приспособительные реакции организма при старении //Теория и практика физической культуры. –1964. –№3. –С.57-63.
2. Булич Э. Г. Медицинское обоснование активного отдыха в трудовой и учебной деятельности: Автореферат диссертации доктора медицинских наук, Киев, 1994. –43с.
3. Кариман В. Л., Белоцерковский З. Б., Гудков И. А. Тестирование в спортивной медицине. –М.: Физкультура и спорт, 1988. –208с.
4. Риккль А. В. Влияние мышечной работы на деятельность коры головного мозга //Русский физиологический журнал. –1930. –Том 13, вып. 2. –С.287-296.
5. Орбели Л. А. Взаимоотношение афферентных систем //Физиологический журнал СССР. –1934. – Том 17, вып. 6. –С. 1105-1113.
6. Филиппова А. Г. Изменение двигательных условных рефлексов под влиянием мышечных нагрузок //Головной мозг и регуляция функций: Сб. научных трудов. Киев: Изд. АН УССР, 1963. – С.47-49.
7. Розенблат В. В. Утомление //Руководство по физиологии труда. –М.: Медицина, 1983. – С.227-250.

8. Данько Ю. И. Фазовые изменения в центральной нервной системе человека при выполнении физических упражнений //Теория и практика физической культуры. –1959. –№8. –С.682-687.
9. Иванов Н. Ю. Физкультурная пауза в вузе // Теория и практика физической культуры. –1961. – Том 24, в.1. –С.51-53.
- 10.Булич Е. В. Оздоровительные эффекты стимуляции умственной работоспособности в условиях учебной деятельности //Научная конференция "Здоровье человека: технология формирования здравостроителя в системах образования и здравоохранения Украины": Сборник научных трудов. Вып. 2. Днепропетровск, 1995. –С.52-53.
- 11.Магльований А. В. Фізична культура як підсистема в системі охорони здоров'я і здорового способу життя //I Всеукраїнська науково-практична конференція "Здоров'я і освіта". Частина II, Львів, 1993. –С.162-163.

**ДИНАМИКА РЕЛИКТОВЫХ МОЖЖЕВЕЛОВЫХ
РЕДКОЛЕСИЙ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ
АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Кобечинская В. Г., кандидат биологических наук, доцент,

Отурина И. П., кандидат биологических наук, доцент

В балансе площадей крымских лесов на долю можжевеловых приходится менее 1,5%, но сосредоточены они в наиболее посещаемой, значительно преобразованной деятельностью человека южной части полуострова. Насаждения с участием можжевельника высокого в этой климатической, флористической и функциональной зоне представляют собой немногочисленные остатки естественной лесной растительности. Сохранились они здесь благодаря неприхотливости этого вида к здравотопическим условиям и его способности произрастать на сухих склонах и осыпях.

Антropогенное воздействие на можжевеловые леса в основном связано с бурным развитием курортного строительства и туризма. В связи с этим возникла острая потребность обоснования путей восстановления и охраны можжевеловых насаждений как естественных эталонов лесов Южнобережья. Это позволит расширить средозащитные, санитарно-гигиенические, эстетические и рекреационные функции курортной зоны.

На территории горного Крыма высокоможжевеловые редколесья распространены фрагментарно в западной его части и по южному берегу. Вдоль побережья они произрастают отдельными небольшими массивами в нижнем поясе среди дубовых лесов на очень сухих маломощных или почти смытых коричневых почвах.

Сообщества можжевельника высокого в значительной степени изменились под воздействием рекреационных нагрузок, вследствие чего трудно выявить их характерные компоненты и воссоздать исходный тип фитоценозов. Возможно, что в силу уязвимости часть пациентов подверглась элиминации, а их место заняли устойчивые к воздействию антропогенного фактора виды. Динамика изменения можжевеловых ценозов крайне сложна. Основными дегрессионными рядами являются: 1) замещение можжевеловых сообществ пушистодубовыми, что приводит к изменению хода почвообразовательных процессов; 2) деградация редколесий, в ходе которой выпадает древесный ярус и формируются кустарниковые либо томиллярные и другие сообщества (Дидух, 1992). Для выявления современного состояния можжевеловых редколесий в Крыму были заложены 10 пробных площадей, охватывающие все области произрастания этого вида – это район Черноречья, урочище Батилиман, мыс Сарыч, Новый Свет (район Судака) и Карадаг. Геоботанические и лесотаксационные исследования проводились по общепринятым методикам (Погребняк, 1954; Воробьев, 1973; Уткин, 1975). Для оценки показателей рекреационной нагрузки использовались следующие параметры:

полный видовой состав, горизонтальная и вертикальная структура насаждений, степень сомкнутости древостоя, проективное покрытие, показатели продуктивности древесно-кустарникового и травяного ярусов, санитарное состояние участков, характер возобновления и др.

Можжевеловые насаждения отличает сложность и мозаичность их пространственной структуры, что обусловлено пестротой физико-географических условий гор и характером ценотического состава редколесий, в которых деревья чередуются с полянами. Это создает различную освещенность, количество опада и мощность почв, и в конечном итоге ведет к формированию микроценозов.

Чернореченские можжевеловые редколесья сильно разрежены, образуя первый ярус из можжевельника высокого со средним возрастом 60-70 лет, высотой 5,4 м, диаметром стволов 11,7 см. Сомкнутость древостоя – 0,2 при полноте насаждения – 0,3. Кустарниковый ярус формируют в основном жасмин и можжевельник колючий. В травяном ярусе выявлено 76 видов, общее проективное покрытие составляет 40-50%, структура двухъярусная, высота 15-16 см. Общая биологическая продуктивность – 21,6 ц/га. Полученные в период максимального развития травостоя результаты свидетельствуют о том, что в чернореченском можжевеловом сообществе, где особое преимущество имеют злаки (2,24 ц/га) и разнотравье (4,0 ц/га), отмечены наиболее благоприятные условия для произрастания представителей всех биогрупп. Именно здесь обнаружены мхи и лишайники, что обусловлено большей гумидностью условий.

На северо-восточных склонах горного Крыма встречаются можжевелово-грабинниковые редколесья с единичными экземплярами дуба пушистого. Средний возраст древостоя 60-70 лет, средняя высота можжевельника высокого 5,5 м, окружность его стволов 38,9 см, их средний диаметр 12,4 см. Кустарниковый ярус высотой до 1,5 м представлен шиповником собачьим, барбарисом обыкновенным, грушей лохолистной, сведеной. Видовое обилие травяного яруса – 92 вида, общее проективное покрытие 60-70 %, общая биологическая продуктивность – 16 ц/га.

На северо-восточном склоне Ай-Петри хорошо сохранились старовозрастные насаждения. Численность древостоя возрастает. Из 392 экз/га – 380 можжевельников высоких со средним возрастом 100-150 лет (до 300 лет), высотой 4,5 м, диаметром ствала 13,1 см, степенью сомкнутости крон – 0,2. Общая биологическая продуктивность древесного яруса здесь 26,4 ц/га, а травяного яруса – 23,2 ц/га при проективном покрытии 60 % и общем числе видов – 83. В кустарниковом ярусе преобладают грабинник, можжевельник колючий, кизильник.

В урочище Батилиман на южном склоне главной гряды Крымских гор на высоте 70 м над уровнем моря находится можжевелово-дубово-земляничниковое редколесье, в котором встречаются фисташка туполистная и сосна судакская. Отдельные экземпляры можжевельника высокого при среднем возрасте 100-150 лет достигают 300 и более лет, средняя высота его 6,8 м, диаметр ствала 19,5 см, полнота древостоя 0,3, сомкнутость – 0,3. В кустарниковом ярусе доминируют иглица

понтийская, ладанник крымский, жасмин. Общее проективное покрытие травостоя очень низкое (10-20 %), число видов – 18, общая биологическая продуктивность травянистого яруса 14,4 ц/га.

Формации можжевельника высокого в Восточном Крыму отличаются от редколесий западной части меньшим флористическим богатством и обилием степных растений. Здесь отсутствуют типичные для можжевеловых сообществ Южнобережья средиземноморские и дугово-степные виды, ниже общее проективное покрытие травостоя (50-60 %) и видовая насыщенность.

В целом, типологическая и таксационная характеристика пробных площадей показала, что высокоможжевеловые насаждения представляют собой невысокие редколесья с самой низкой продуктивностью. Деревья в возрасте 60-200 лет имеют, как правило, сильно искривленные сбежистые стволы высотой от 5 до 12 м, диаметром 16-40 см, сомкнутостью крон на наиболее хорошо сохранившихся участках 0,4-0,6 и относятся к Va-Vб бонитету. Чаще всего основной лесообразующей породе сопутствуют дуб, граб, фисташка или земляничник. Средний возраст деревьев 100 лет. Самые молодые сообщества отмечены на Карадаге (40-60 лет), самые старовозрастные – в районе Батилимана. Травостой можжевеловых редколесий является чутким индикатором, отражающим динамику сукцессионных процессов в фитоцензах. При изучении структуры травяного яруса в можжевеловых редколесьях установлена его изреженность, местами мозаичность, хотя общее проективное покрытие может достигать 60%. Флористическое ядро данных сообществ составляют средиземноморские ксерофиты и мезоксерофиты, значительно представлены pontические и лугово-степные виды. В целом, видовой состав травянистых растений богат (до 92 видов). Наименьшая видовая насыщенность и общая биологическая продуктивность (7,8 ц/га) отмечена на мысе Сарыч, где наблюдается высокий процент одно- и двулетников.

Влияние различных форм антропогенного воздействия на можжевеловые редколесья Крыма неоднозначно. С одной стороны, растительные сообщества сильно изменяются при выпасе скота, который воздействует на дернину и почву, уплотняя и изменяя ее водный режим. Интенсивный выпас выдерживают немногие виды растений. Большинство трав теряют способность к генеративному возобновлению, появляется много сорных однолетних растений. На пробных площадях отмечен достаточно умеренный, нерегулярный выпас скота (район Черноречья), при котором сохраняется ведущая роль разнотравья с участием в травостое бобовых, но усиливается ксерофитизация растительного покрова. С другой стороны, сильные изменения в биогруппах могут быть вызваны пирогенным фактором. Пожар не только уничтожает опад, разрушает гумус и древостой, но и сильно изменяет межвидовую конкуренцию. Так, на горельниках двухлетней давности в районе Батилимана отмечена самая низкая видовая насыщенность и общая биологическая продуктивность травяного яруса (14 ц/га). Общее проективное покрытие снижается до 10-20%. Степень поражения древостоя огнем во многом определяется высотой нагара, поэтому относительно, невысокие деревья пострадали

на 80-100 %. Поскольку изученные можжевеловые насаждения характеризуются низкорослостью и слабой способностью к самовоспроизведению (1,7-2,5 тыс/га), лесные пожары, особенно при летних засухах, могут привести к резкому усилению сукцессии, что неизбежно влечет за собой замену изучаемых сообществ на низкобонитетные шибляки из дуба пушистого и грабинника с единичными экземплярами можжевельника высокого, происходит интенсивная ксерофитизация фитоценозов (Форос).

Кроме перечисленных факторов, состояние растительных сообществ определяется и степенью рекреационной нагрузки. Так, участок можжевелового редколесья на мысе Сарыч характеризуется широко развитой тропиночно-дорожной сетью (на территории 0,28 га расположено 16 троп общей площадью 0,02 га). Здесь отмечено ослабление и усыхание древостоя, количество погибших ветвей у можжевельника высокого достигает 30-40% в структуре кроны. Менее пострадали фисташка туполистная и дуб пушистый. Самосев можжевельника высокого отсутствует, а граба и дуба ограничен. Таким образом, процесс деградации можжевелово-дубового редколесья на мысе Сарыч приобрел необратимый характер.

Следовательно, можжевеловые насаждения очень уязвимы к любым внешним воздействиям. В зависимости от эдафических условий и степени влияния антропогенного фактора не месте коренных можжевеловых лесов формируются различные природные ценозы шиблякового типа, крайне неустойчивые, находящийся на разных стадиях дегрессии, не выполняющие свои почвозащитные, водоохранные и климатрегулирующие функции. Под воздействием антропогенного фактора реликтовые можжевеловые сообщества Крыма полностью утратили свою первоначальную структуру. Для их сохранения необходимо строго регламентировать рекреационную нагрузку, а также принять срочные меры по расширению сети заповедных территорий.

Литература.

1. Дидух Я. П. Растительный покров горного Крыма. – Киев: Наукова думка, 1992: – С.72-77, 197-217.
2. "Погребняк П. С. Основы лесной типологии. – Киев: изд-во АН УССР, – 1954. – 455с.
3. Воронов Л. Г. Геоботаника. – М.: Высшая школа, – 1973. – 381 с.
4. Уткин А. И. Биологическая продуктивность лесов. (Методы изучения и результаты)// Лесоведение и лесоводство. – М.: ВИНИТИ, – 1975. – Т.1. – С.9-189.

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ АДАПТАЦИИ
К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ И ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ
В ПРОЦЕССЕ ЗАНЯТИЙ СПОРТОМ**

Кобза Т. М.

Необходимость повышения эффективности воспитания как средства укрепления здоровья и подготовки молодых специалистов к предстоящей трудовой деятельности общепризнана. Не ясно, однако, как должна быть осуществлена эта задача. Одни исследователи рекомендуют для этого увеличение количества обязательных занятий [1], другие – изменения в содержании занятий физическими упражнениями, предусматривая увеличение нагрузок аэробно-анаэробной направленности [2] или нагрузок чисто аэробного характера [3.4]. третьи считают необходимым включение элементов закаливания [5,6], элементов йоги [7] или аутотренинга [8]. Эффективность этих рекомендаций доказывается, почти исключительно, показателями развития двигательных возможностей у студентов. При этом упускается из вида тот факт, что даже значительный рост физической работоспособности может оказывать неблагоприятное влияние на общее функциональное состояние организма, его здоровье и адаптационные способности [9].

Наши исследования были направлены на изучение изменений наиболее общих показателей состояния организма студентов в процессе первых двух лет обучения в высшем учебном заведении – их адаптацию к физическим нагрузкам и здоровье.

Оценка этих показателей использовалась для суждения о том, насколько полноценен процесс физического воспитания (ФВ) студентов. Адаптация к физическим нагрузкам исследовалась при помощи тестов PWC₁₇₀ в модификации В. Л. Карпмана и др. [10] и теста Мартина с десятиминутным восстановительным периодом и регистрацией "отрицательной фазы" реакций [11]. Уровень развития основных двигательных качеств – силы, скорости и выносливости – оценивался по методике изучения двигательного потенциала З. Хроминского [12]. В целях физиологического анализа мышечной работоспособности, а также роли тканевого и сосудистого факторов ее восстановления после мышечной деятельности использовалась проба Веландера с пережатием плеча сфигмоманометрической манжетой. Здоровье оценивалось по энергетическому (в показателях максимального потребления кислорода) и интеграционному компонентам [13,14]. Кроме того, изучалась заболеваемость студентов, большая часть которых (174 человека) занималась только по обязательным программам ФВ, а меньшая (85 человек) – спортивной тренировкой.

Результаты исследований обнаружили, что при всех различиях в изменениях двигательных качеств, связанных с индивидуальными особенностями студентов и их спортивной специализацией, у каждого из них представляется возможным выделить некоторые показатели функционального

состояния организма, на основании которых можно судить об уровне и динамике изменений адаптационных возможностей организма. Используя эти показатели (своего рода "общий знаменатель" влияния двигательного режима) представляется возможным объективно судить об оздоровительном влиянии занятий физическими упражнениями.

Такими показателями являются коэффициент адаптационного потенциала, определяющийся отношением "отрицательной фазы" частоты сердечных сокращений (ЧСС) к противоположной фазе реакций ЧСС, то есть избыточному, по сравнению с уровнем покоя, числу сердечных сокращений [11], а также энергетический и интеграционный компоненты здоровья [13]. Как видно из полученных данных, эти показатели оказываются в значительной степени независимыми от развития специфических двигательных способностей (табл. 1).

Таблица 1

Изменения коэффициента адаптационного потенциала и объективных показателей здоровья у студентов, занимающихся спортом на протяжении года, $M \pm m$

Направленность тренировки	Период исследования	Развитие двигательных качеств, баллы			Коэффициент адаптационного потенциала, %	Компоненты здоровья	
		силы	скорости	выносливости		энергетический МПК, $M_1/\text{мин кг}$	интеграционный, г
Силовая	В начале года	3,36 $\pm 0,12$	3,21 $\pm 0,17$	3,50 $\pm 0,13$	9,8 $\pm 0,7$	39,4 $\pm 1,1$	0,89 $\pm 0,02$
	В конце года	4,72 $\pm 0,20$	3,42 $\pm 0,15$	3,67 $\pm 0,17$	13,5 $\pm 1,2$	43,6 $\pm 1,2$	0,95 $\pm 0,03$
Достоверность различий т и р		5,83 $<0,001$	0,93 $>0,2$	0,79 $>0,5$	2,66 $<0,02$	2,58 $<0,02$	1,66 $>0,1$
Скоростная	В начале года	3,28 $\pm 0,14$	3,54 $\pm 0,18$	3,41 $\pm 0,17$	11,7 $\pm 0,9$	40,5 $\pm 1,2$	0,87 $\pm 0,02$
	В конце года	3,76 $\pm 0,24$	4,83 $\pm 0,20$	3,62 $\pm 0,18$	16,4 $\pm 1,7$	45,2 $\pm 1,3$	0,95 $\pm 0,03$
Достоверность различий т и р		1,73 $>0,1$	4,79 $<0,001$	0,85 $>0,2$	2,44 $<0,02$	2,66 $<0,02$	2,22 $<0,05$
На выносливость	В начале года	3,30 $\pm 0,26$	3,40 $\pm 0,16$	3,51 $\pm 0,18$	13,6 $\pm 1,0$	42,3 $\pm 1,2$	0,89 $\pm 0,02$
	В конце года	3,56 $\pm 0,27$	3,98 $\pm 0,23$	4,88 $\pm 0,22$	21,7 $\pm 1,4$	47,8 $\pm 1,2$	0,98 $\pm 0,02$
Достоверность различий т и р		0,69 $>0,5$	2,07 $>0,05$	4,82 $<0,001$	4,71 $<0,001$	2,98 $<0,01$	3,18 $<0,01$

Как видно из полученных данных, наиболее благоприятное влияние на адаптационный потенциал оказывает тренировка на выносливость, обеспечивающая увеличение этого показателя на 59,6% по сравнению с исходным уровнем этого показателя. Силовая и скоростная тренировки

уступают в этом отношении тренировочным занятиям на выносливость: соответствующие показатели для этих видов тренировки составляют, соответственно, 37,8% и 40,2%. Аналогичные отношения отличаются и в обоих компонентах здоровья.

Физиологический анализ мышечной работоспособности в обычных условиях и при кратковременном включении кровообращения свидетельствует о том, что годичный цикл тренировки заметно усиливает тканевый, то есть не связанный с кровообращением, фактор восстановления дееспособности мышц после утомления (табл. 2). Наиболее выражено это усиление при тренировке на выносливость, где сохраняющаяся работоспособность превышает на 15,4% исходный уровень ее, зарегистрированный до тренировки. Соответствующие показатели для силовой тренировки составляют 12,9% и 11,2% для тренировки скоростной направленности.

Таблица 2

Степень снижения восстанавливающего действия отдыха при выключении кровообращения в начале года и после годичной тренировки разной направленности, $M \pm m$

Направленность тренировки	Период исследования		Достоверность различий t и p
	до тренировки	после тренировки	
Силовая	47,2 $\pm 2,2$	40,4 $\pm 2,1$	2,24 $>0,05$
Скоростная	52,5 $\pm 3,0$	47,2 $\pm 2,4$	1,38 $>0,1$
На выносливость	49,8 $\pm 2,7$	36,5 $\pm 2,5$	3,61 $<0,01$

Как видно из полученных результатов, показатели адаптации организма к физическим нагрузкам и здоровья позволяют объективно оценить оздоровительную эффективность спортивной тренировки. Это позволяет рекомендовать их в практику занятий физическим воспитанием и спортом молодежи.

Литература.

1. Середенко Е. В., Азаров А. В. Работоспособность студентов в условиях оптимального двигательного режима //Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції "Актуальні проблеми фізичного виховання в вузі" (частина І). Донецьк, 1995. – С.46-47.
2. Магльований А. В. Фізична активність як фактор зниження разумового стомлення студентів //І Всеукраїнська науково-практична конференція "Здоров'я і освіта". Частина II, Львів, 1993. – С.165-166.
3. Фальков О. Н. Оздоровча спрямованість засобів фізичної культури в заняттях із студентами спеціальної медичної групи //Матеріали другої Всеукраїнської науково-практичної конференції "Актуальні проблеми оздоровчої фізкультури та відеології в навчальних закладах України", Кіровоград, 1994. – С.71-71.

4. Козловський Ю. Г. Марафонський біг, як засіб виховання та валеології //Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції "Актуальні проблеми валеологічної освіти в навчальних закладах України", Кіровоград, 1995. – С.35-36.
5. Аритамановська Є. Г., Балан М. М. Оздоровча спрямованість занять фізичною культурою на свіжому повітрі зі студентами 17-19 років //Матеріали другої Всеукраїнської науково-практичної конференції "Актуальні проблеми оздоровчої фізичної культури та валеології в навчальних закладах України", Кіровоград, 1994. – С.37-38.
6. Нестеренко С. Система П. К. Іванова як ефективний метод природного оздоровлення, лікування, загартування //Матеріали другої Всеукраїнської науково-практичної конференції "Актуальні проблеми оздоровчої фізкультури та валеології в навчальних закладах України", Кіровоград, 1994. – С.55-56.
7. Колісник О. П. Йога як найуніверсальніша система саморозвитку особистості //Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції "Актуальні проблеми оздоровчої фізкультури, спорту для дітей-інвалідів та валеології ", Кіровоград, 1996. – С.90-91.
8. Сеймук А. А., Маматова Т. В. Некоторые особенности обучения и применения модифицированных вариантов аутогенной тренировки и физических упражнений работниками умственного труда //Научная конференция "Здоровье человека: технология формирования здравостроителя в системах образования и здравоохранения Украины": Сборник научных трудов. Вып. 2. Днепропетровск, 1995. – С.77-79.
9. Магльований А. В., Сафонова Г. Б., Белова Л. А., Форсюк В. Ю., Довганик М. С., Сиворонова Е. О., Масальська С. О., Герман О. Я. Порівняльна характеристика показників фізичної і разумової працездатності у студентів-медиків //І Всеукраїнська науково-практична конференція "Здоров'я і освіта". Частина II. Львів, 1993. – С.160-162.
10. Карлман В. Л., Белоцерковский З. Б., Гудков И. А. Тестирование в спортивной медицине. –М.: Физкультура и спорт. 1988. – 208с.
11. Муравов О. И., Булич Э. Г., Сацукевич Л. А., Таха А. И. Методика функциональной оценки адаптации организма к физическим нагрузкам в семейных занятиях физическими упражнениями //Семья-94: Материалы международной научно-практической конференции. Симферополь, 1995. – С.126-127.
12. Chrominecki Z. /Aktywnosc ruchowa dzieci i mlodziezy. Warszawa: IWZZ, 1987. - 158s.
13. Andersen K.-L., Shepard R. J., Denolin H. et. al. Fundamentals of exercise testing. Geneva: WHO, 1971. – 472p.
14. Булич Э. Г., Муравов И. В., Муравов О. И., Таха А. Г. Новая концепция здоровья: биологическая организация функций и их энергетическое обеспечение //І Всеукраїнська науково-практична конференція "Здоров'я і освіта", Частина II, Львів, 1993. – С.44-48.

**МАГНИТОИНДУЦИРОВАННЫЕ РЕАКЦИИ В МЕХАНИЗМАХ
РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗМА**
(Теоретический аспект проблемы, сообщение 1)

Сидякин В. Г., Сташков А. М.

В последние годы значительно возрос интерес к исследованию биологического действия искусственных магнитных полей с характеристиками, сравнимыми с естественными полями.

Литературные данные свидетельствуют, что действие указанного физического агента внешней среды носит неспецифический характер [1-3]. Интенсивность общих функциональных сдвигов в различных системах, вызываемых его применением, в основном лежит в пределах границ нормальной приспособительной активности организма.

Своеобразие физической природы этого фактора и способа его действия на организм требует в настоящее время комплексного подхода к решению ряда важных задач, вытекающих из данной проблемы. Известно, что эволюция биосферы проходила в постоянно изменяющихся условиях внешней среды, в том числе и электромагнитных полей. Это нашло отражение в свойствах магниточувствительности биологических объектов [1.2.4]. Искусственные электромагнитные поля, в частности ПeМП СНЧ, можно использовать в качестве своеобразного инструмента исследования биологических систем [1,5].

Настоящая работа предпринята с целью теоретического обобщения наиболее значимых результатов исследования, характеризующих различные стороны общей реакции, индуцированной применением слабых ПeМП СНЧ в ряде основных функциональных систем, и установления их роли в развитии неспецифической резистентности облученного организма.

Естественная резистентность организма основана на защитно-приспособительных и восстановительно-компенсаторных процессах, количественные и качественные параметры которых детерминированы фило- и онтогенетическими факторами.

Существуют два пути активации и модификации этих процессов. Один из которых определяется через системные нейрогуморальные механизмы регуляции функций, другой – осуществляется в результате прямого действия разнообразных по природе раздражителей на структуру и функции внутренней среды организма.

Слабые ПeМП СНЧ, как проникающие агенты внешней среды, одновременно влияют как на системные механизмы, так и на структурно-метаболические процессы на уровне клеток и тканей организма [1,2,3,6].

Касаясь некоторых ключевых подходов к пониманию путей, способов и средств повышения общей резистентности, в том числе и радиорезистентности, представляется возможным в какой-то

мере условно выделить основные ее состояния, которые возникают на единой реактивной базе на всех структурно-функциональных уровнях организма, но имеют особенности в зависимости от интенсивности, природы раздражителей и его исходного функционального состояния [7].

Рассматривая зависимость этих состояний от указанных факторов, можно отметить, что первое из них имеет характер стрессового повышения резистентности, которое формируется по механизму адаптационного синдрома при ведущей роли системных нейрогуморальных механизмов регуляции функций при условии действия на организм чрезвычайных и повреждающих агентов.

Общеизвестно, что для данного состояния характерно максимальное напряжение всех жизненно важных функций организма при определенном пределе физиологических возможностей противодействия развитию необратимых нарушений. Такое состояние резистентности возникает не сразу или в ближайшие часы и даже сутки, а спустя сравнительно продолжительное время от начала действия стресс-раздражителей, когда наступает стадия резистентности. Второе – это субстрессовое состояние повышенной резистентности развивается при действии биологически значимых раздражителей, интенсивность которых соответствует высокому уровню физиологической нормы. Однако при длительном влиянии на организм латентное состояние напряженности физиологических функций может достигнуть уровня стресс-реакции до стадии устойчивости к повреждению. Нужно отметить, что при указанном состоянии резистентности существует определенная вероятность появления обратимых нарушений структуры и функций организма, что зависит от фактора времени действия раздражителей в связи с возможным ослаблением функциональных резервов организма. И, наконец, существуют условия и возможности усиления резистентности организма в связи с общим повышением нормы физиологической защиты и приспособления без стрессового и субстрессового напряжения физиологических функций в условиях оптимума интенсивности, длительности действия биологически значимых раздражителей, особенностей их природы и других факторов реагирования организма. К таким глобальным агентам внешней среды относятся слабые ПeМП СНЧ [2,8].

Однократное предлучевое применение ПeМП оказывает системное и непосредственное раздражающее действие на комплекс защитно-приспособительных механизмов и таким путем изменяет состояние их реактивности при умеренной активации одних или минимизации других процессов и функций организма. Под влиянием данного агента развивается общая адаптационная реакция, исходной стороной которой является отсутствие перенапряжения функций на всех уровнях организма [2,8]. Иными словами, под влиянием этого агента при крайне низких для него порогах и градиенте раздражающего действия и суммации субпороговых местных (низколабильных, стойких) функциональных изменений модифицируется реактивная база всего организма, его возбудимость, значение которых существенно в общей реакции организма на последующее действие ионизирующей радиации.

Вызываемые электромагнитными полями состояния “настороженности” [9] или предостережения [5,10] – есть превентивная предохранительная форма общего реагирования организма.

В процессе эволюции периодичность гелиогеофизических факторов постоянно сопутствовала действию разнообразных повреждающих раздражителей внешней среды. В связи с этим адаптивные магнитоиндукционные процессы всегда были составными звеньями реактивной базы приспособительных реакций организма и его естественной резистентности. Именно в таком свете можно было бы объяснить радиозащитное [2,8] и антистрессовое [3,11] влияние искусственных слабых ПеМП СНЧ, интенсивность которых близка к естественным МП, перманентно влияющим на организм. Известные в литературе данные ставят на обсуждение ряд существенных вопросов, касающихся участия системных нейрогуморальных и структурно-метаболических процессов на уровне клеток и тканей в реализации радиозащитного действия данного агента при однократном и многократном предлучевом применении в различных вариантах опытов.

В ряде исследований приведены доказательства о высокой чувствительности нервной системы к действию электромагнитных полей [1,2,13,14]. Внимание исследователей было привлечено к выяснению причин возникновения торможения в коре больших полушарий мозга животных, которое по данным ЭЭГ первично появлялось под влиянием ПеМП. Детальный анализ этого явления показал, что при крайне низкой интенсивности и необычно пологом градиенте раздражающего действия ПеМП СНЧ на кору мозга происходит умеренное снижение возбудимости, по-видимому, аналогичное аккомодации и, как следствие, развитие неспецифического обратимого торможения с длительным последействием [2]. Такое состояние торможения можно считать охранительным [2], предупреждающим необратимое торможение функций специфических систем головного мозга. Данные о развитии сна под влиянием сравнительно продолжительного действия ПеМП со всей убедительностью подтверждают достоверность такого объяснения причины и механизма торможения функций высшего отдела ЦНС [16]. Однако в последствии искусственных ПеМП это торможение устраняется приспособительными механизмами активации специфических систем, на основе которых осуществляется текущая рефлекторная деятельность ЦНС бодрствующего животного. Именно поэтому происходит восстановление условных рефлексов [2,6], синхронизация (сонастроенность) и стабилизация ритмов ЭЭГ в коре и гипоталамусе, в целом свидетельствующих о развитии адаптации к действию ПеМП не только на однократное, но и многократное его применение [2,15]. По данным некоторых исследователей указанное состояние синхронной активности ЭЭГ-ритмов в коре и гипоталамусе отражает развитие функциональных изменений в ЦНС, имеющих приспособительное значение [17,18]. Вместе с тем доказано, что такое состояние биоэлектрической активности в коре, гипоталамусе и ретикулярной формации мозга возникает и приобретает

устойчивость при лучевой болезни в период развития восстановительных процессов, обеспечивающих выживание животных [15]. Существенным дополнением к этим данным являются результаты исследования функциональной активности надпочечников по изменению содержания в них катехоламинов и аскорбиновой кислоты при развитии реакции на неоднократное применение ПeМП частотой 8,0 Гц при индукции 5,0 мкТл, свидетельствующие о повышении их активности. Вместе с тем результаты опытов с ежедневным разовым применением слабого ПeМП СНЧ в течение нескольких дней указывают на постепенное снижение реакции надпочечников, усиление и ускорение процесса восстановления величины изучаемых показателей в интервалах между воздействиями, что можно объяснить развитием системной адаптации на повторное действие данного агента [8]. Поскольку под влиянием ПeМП происходит умеренная активация надпочечников, как одного из основных исполнительных звеньев системы гипоталамус-гипофиз-надпочечники, можно с большой долей уверенности считать, что данная система влияет на реaktivность организма и опосредованное таким путем радиозащитное действие данного раздражителя. Изложенные факты свидетельствуют об участии нейроэндокринной системы в синхронизации процессов и стабилизации внутренней среды организма при адаптации, обусловленной ПeМП СНЧ, что вносит определенный вклад в повышение неспецифической резистентности. Исходя из рассмотренных данных, есть основание полагать, что магнитоиндукционное противолучевое влияние слабого ПeМП СНЧ через несколько суток после его применения до разового рентгеновского облучения в летальной дозе является результатом умеренной активации нейроэндокринной системы и функциональных изменений во всем организме, характерных для стадии резистентности нестрессового происхождения. Однако радиозащитный эффект данного ПeМП возникал и в результате разового применения непосредственно перед общим рентгеновским облучением в летальной дозе 7-8 Гр. В то же время постлучевое действие ПeМП не обладает радиозащитными свойствами или проявляется в тенденции к повышению радиочувствительности животных [8,19].

Для полноты обсуждения этих факторов будет полезным сравнение условий противолучевого действия ПeМП с рядом известных неспецифических агентов и эффективных средств химической защиты, поскольку это касается важных вопросов изучаемой проблемы, имеющих теоретическое и практическое значение.

Установлено, что предварительное применение до облучения многих неспецифических агентов, таких как холодовые процедуры, рентгеновское облучение в малых дозах, плавание в воде и физическая работа по поднятию животными груза и других стресс-воздействий оказывает некоторое противолучевое действие не сразу, а спустя сравнительно продолжительное время после их применения до облучения в летальных дозах у представителей различных видов животных [7]. Такое повышение радиорезистентности объясняется активацией системы гипоталамус-гипофиз-

надпочечники и развитием общей адаптационной реакции до стадии резистентности стрессового происхождения. Выше отмечено, что для умеренного нестрессового влияния слабого ПeМП СНЧ аналогичен такой вариант событий, но в течение более короткого последействия, а противолучевой эффект в 1.5-2 раза выше, чем от применения стресс-раздражителей [8].

Вместе с тем факт радиозащитного влияния ПeМП СНЧ в применении непосредственно перед облучением в смертельной дозе нуждается в ином объяснении, поскольку вызываемые его действием начальные процессы общей реакции умеренного типа не могут достигнуть стадии резистентности, характерной для отмеченного последействия. Тем более, адреналэктомия не снимает, а лишь незначительно ослабляет радиозащитное влияние ПeМП, что свидетельствует о значении не только нейроэндокринных факторов в реализации противолучевого влияния данного физического агента [20].

Резюмируя результаты этой части исследований, можно указать на два способа реализации противолучевого влияния слабого ПeМП СНЧ: в результате предварительного воздействия за несколько дней и применения непосредственно перед облучением в смертельной дозе.

Исходя из классических представлений и собственных данных, в первом случае механизм противолучевого действия ПeМП может осуществляться у интактных животных путем развития во времени общей защитно-приспособительной реакции до стадии резистентности стрессового и нестрессового происхождения при участии надпочечников, как одного из основных исполнительных звеньев системного механизма регуляции физиологических процессов.

В опытах на адреналэктомированных животных реализуется другая возможность радиозащитного действия ПeМП на структурно-метаболическом уровне клеток и тканей под влиянием его прямого проникающего действия без участия адренокортикотропной функции надпочечников. В данном случае условия предварительного применения ПeМП, при которых формируется радиозащитная реакция организма, аналогичны действию средств химической защиты от радиационных повреждений [20]. Из этих фактов следует важный вывод о существовании двух основных неспецифических механизмов радиозащитного действия слабого ПeМП СНЧ. Очевидно, что на структурно-молекулярном уровне существует общая реактивная база естественной резистентности, защитно-приспособительные функции и резервы которой могут быть мобилизованы различными способами и средствами, в том числе опосредованным и прямым действием слабого ПeМП [20]. Причем радиозащитный эффект воздействий является функцией ряда составляющих, включая особенности активации перед облучением нейроэндокринной системы. Проводя аналогию между радиозащитным действием ПeМП СНЧ и многими известными средствами химической защиты, например цистеамином, меркамином, АЭТ и другими препаратами, можно убедиться, что обязательным условием эффективности последних является применение непосредственно перед облучением в летальных дозах, а для ПeМП – одно из условий

противолучевого влияния. Как и ПeМП, они не эффективны после облучения. Изучение физиологического действия ряда наиболее эффективных радиозащитных веществ (цистеамина, меркамина и антифеинов) показало, что при введении их за 30-60 минут до рентгеновского облучения в летальных дозах развивается резко выраженная общая нейроэндокринная реакция системы гипоталамус-гипофиз-надпочечники [15]. Вместе с тем адреналэктомия не снимает, а лишь несколько понижает их радиозащитное действие [20]. Изложенные выше факты свидетельствуют о том, что предварительная активация нейроэндокринного аппарата как максимальной (стрессовой), так и оптимальной (нестрессовой) интенсивности в указанных примерах сама по себе не может быть решающим фактором в механизме радиозащитного эффекта, но оказывает влияние на результаты прямого противолучевого действия химических радиопротекторов и данного физического агента на структурно-метаболическом уровне клеток и тканей.

Между радиозащитным влиянием средств химической защиты с слабого ПeМП обнаруживается аналогия в условиях, при которых они эффективны, однако, существуют принципиальные различия. Ряд средств химической защиты, которые высокоэффективны в условиях разового облучения в больших дозах, оказываются малоэффективными при хроническом или фракционном облучении в малых дозах [15,21].

В опытах на мышах и крысах радиозащитное влияние изученных химических препаратов не выявлялось при однократном применении общего рентгеновского облучения в малых сублетальных и минимально смертельных дозах, но было наиболее выраженным в диапазоне ЛД 50/30 и минимальных абсолютно смертельных доз радиации [15,22].

Результаты систематических исследований свидетельствуют о более выраженном противолучевом влиянии слабого ПeМП СНЧ частотой 8,0 Гц и напряженностью 5,0 или 20,0 мкТл в сочетании с ФРО в малых дозах, при которых суммарные летальные дозы у подопытных животных достигают более высоких значений, чем в контрольных опытах [12,19]. Конечно, эти данные не дают основания для преувеличения радиозащитных свойств данного агента по сравнению с наиболее эффективными средствами химической защиты в случае применения непосредственно перед облучением. Тем не менее они указывают на ряд существенных особенностей, касающихся условий, способа и широты диапазона возможностей их применения, что представляет определенный интерес в теоретическом и практическом отношении.

Сравнительная общая оценка указанных свойств неспецифических агентов, включая слабые ПeМП СНЧ и средства химической защиты от радиационных повреждений, дает возможность для вывода о том, что независимо от природы раздражителей, условий и способов их применения достигается в той или иной степени выраженный интегральный противолучевой эффект путем ослабления или инактивации первичных и начальных процессов, возникающих в результате

непрямого и прямого действия радиации на системном структурно-функциональном уровне клеток и тканей всего организма.

Литература.

1. Холодов Ю. А. Мозг в электромагнитных полях. – М.:Наука, 1982, 123 с.
2. Сидякин В. Г., Сташков А. М., Янова Н. П. Адаптационные реакции организма, индуцированные действием слабых магнитных полей крайне низкой частоты (КНЧ). Ученые записки Симферопольского госуниверситета. 1996, № 2 (41). – С. 158-163.
3. Темурьянц Н. А. Нервные и гуморальные механизмы адаптации к действию неионизирующих излучений. – Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. – М.: 1989.
4. Сидякин В. Г., Темурьянц Н. А., Макеев В. Б., Владимирский Б. М. Космическая экология. – Киев: Наукова думка. 1985, – 176 с.
5. Пресман А. С. Электромагнитные поля в биосфере. – М.: Советское радио, 1974.
6. Сидякин В. Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему крыс. – К.: Наукова думка, 1986, -- 160 с.
7. Арбузов С. Я., Сташков А. М. Современное состояние проблемы радиорезистентности //Военно-медицинский журнал. – Л.: 1966, № 10. – С. 26-34.
8. Копылов А. Н. Модифицирующее влияние слабых переменных магнитных полей на некоторые показатели функционального состояния и радиорезистентность животных. – Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – М.: 1984. – 150 с.
9. Анохин П. К. Внутреннее торможение как проблема физиологии. – М.: Медгиз, 1958, – 112 с.
10. Казначеев В. П., Михайлова Л. П. Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей. – Новосибирск: 1985, – 181 с.
11. Евстафьева Е. В. Изменение показателей липидного обмена в системе крови крыс при адаптации к гипокинезии. – Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Л., 1986. – 24 с.
12. Сташков А. М., Горюхов И. Е. Модификация радиочувствительности мышей сочетанием ПeМП с многодневным фракционированным рентгеновским облучением в малой суточной дозе//Радиобиология и радиэкология. Т. 38, В.1. 1998. – С. 116-120.
13. Михайловский В. Н., Войчишин К. С., Грабарь Л. И. О восприятии некоторыми людьми инфразвуковых колебаний магнитного поля и средствах защиты //Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. – М.: Наука, 1971. – С. 147.
14. Эйди У. Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям//Физиология человека, 1975, т.1. – С. 59-68.

15. Сташков А. М. Радиация и нейроэндокринные факторы фармакохимической защиты. – Симферополь, ч. 2, 1982, – 83 с.
16. Баньков В. И. Использование свойств импульсного сложномодулированного электромагнитного поля для физиологических исследований центральной нервной системы. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук, – М.: 1988.
17. Банцекин М. М. Анализ медленного ритма электрических потенциалов головного мозга кроликов. Автореф. дисс. ... канд. мед. наук, – М.: 1963.
18. Полетаева И. И. Некоторые свойства ритма “напряжения” электроэнцефалограммы кролика //Журнал высшей нервной деятельности, 1967, т. 17, в. 1, – С. 134-191.
19. Горохов И. Е. Магнитоиндукционное повышение резистентности животных при фракционированном рентгеновском облучении в малых дозах. Автореф. дисс. ...канд. биол. наук. – Симферополь: 1994, – 236 с.
20. Сташков А. М. Радиозащитное действие слабого переменного магнитного поля сверхнизкой частоты у адреналектомированных мышей //Радиобиология и радиоэкология, т. 38, в. 1, 1998. С. 110-116.
21. Жеребченко П. П. Противолучевые свойства индолилалкиламинов. М.: Медицина, 1971. – 183 с.
22. Дубинин Н. П. Молекулярная генетика и действие излучений на наследственность. – М.: Госатомиздат, 1963, – 239 с.

**Светлой памяти профессора
Семена Людвиговича Делямуре
85 лет со дня рождения**

**ВКЛАД КАФЕДРЫ ЗООЛОГИИ СИМФЕРОПОЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА В РАЗРАБОТКУ СИСТЕМАТИКИ
МИРОВОЙ ФАУНЫ ПАРАЗИТОВ**

Юрахно М. В., доктор биологических наук, профессор

В течение 50 лет (1939 – 1989 гг.) сотрудники кафедры были участниками 58 научных экспедиций. Особенно интенсивно исследовались гельминты (паразитические черви) морских млекопитающих: дельфинов, китов, тюленей и моржей [1]. При этом наибольших успехов сотрудники кафедры добились при изучении паразитов ластоногих и китообразных, обитающих в самых труднодоступных районах планеты: в Арктике и Антарктике [2-16]. Благодаря этому кафедра стала мировым центром по изучению гельминтов морских млекопитающих. Все исследования носили комплексный характер. Изучались: фауна паразитических червей разных видов, подвидов и отдельных популяций китов, тюленей и моржей; морфологические особенности каждого вида гельминтов, характер локализации, экстенсивность и интенсивность инвазии, влияние на организм хозяина; происхождение и особенности эволюции крупных таксонов гельмintoфауны ластоногих и китообразных – цестод, trematod, акантоцефалов и нематод; пути формирования гельмintoфауны этих животных на современном этапе и ее влияние на гельмintoфауну других животных, а также человека; распределение гельминтов по полушариям и зоogeографическим зонам; возможности выявления с помощью гельмintonологических данных происхождения и особенностей эволюции хозяев, а также путей расселения китов, тюленей и моржей по Мировому океану.

Одновременно исследовалась паразитологическая ситуация в Крыму. В результате в ходе изучения видового состава паразитов морских и наземных животных различных регионов планеты сотрудниками кафедры были обоснованы следующие новые для науки таксоны:

Новые виды

Myxosporidia

Myxobolus tauricus Miroshnichenko, 1979

Myxobolus impressus Miroshnichenko, 1980

Neomyxobolus olae Miroshnichenko, 1980

Monogenea

Dactylogirus tauricus Miroshnichenko, 1978

Cestoda

Anophryocephalus ochotensis Delamure et Krotov, 1955

Anophryocephalus skrjabini (Krotov et Delamure, 1955) Muravyova, 1969

Tetrabothrium egregis A. Skriabin et Muravyova, 1971

Tetrabothrium morschtini Muravyova, 1968

Priapocephalus eschrichtii Muravyova et Treshchev, 1970

Tetragonoporus calyptocephalus A. Skriabin, 1967

Polygonoporus giganticus A. Skriabin, 1967

Diphyllobothrium arctomarinum Serdjukov, 1969

Diphyllobothrium lobodoni Jurachno et Maltsev, 1994

Diphyllobothrium macroovatum Jurachno, 1973

Diphyllobothrium phocarum Delamure, Kurotschkin et A. Skriabin, 1964

Diphyllobothrium polyrugosum Delamure et A. Skriabin, 1965

Diphyllobothrium pterocephalum Delamure et A. Skriabin, 1966

Diphyllobothrium skriabini Jurachno et Maltsev, 1993

Diplogenoporus violettae Jurachno, 1986

Flexobothrium microovatum Jurachno, 1989

Baylisia supergonoporis Jurachno, 1989

Trematoda

Fasciola skrjabini Delamure, 1955

Lecithodesmus petrovi A. Skriabin, 1969

Leucasiella arctica Delamure et Kleinenberg, 1958

Leucasiella mironovi krotov et Delamure, 1952

Leucasiella subtila A. Skriabin, 1959

Orthosplanchnus albamarinus Treshchev, 1968

Orthosplanchnus oculatus Jurachno, 1969

Orthosplanchnus pygmaeus Jurachno, 1967

- Orthosplanchnus sudarikovi Treshchev.* 1966
Ciureana delamurei Jurachno. 1987
Pricetrema callorhini Jurachno. 1986
Pricetrema erignathi Jurakhno. 1969
Microphallus orientalis Jurachno. 1968
Microphallus taurica Stenko. 1977
Ogmogaster grandis A. Skriabin. 1969
Lamptritrema atlanticum Delamure et Serdjukov. 1970
Profundiella skrjabini A. Skriabin. 1958
Cercaria burulchensis Stenko. 1977

Acanthocephala

- Bolbosoma bobrovoi Krotov et Delamure.* 1952
Bolbosoma paramushiri A. Skriabin. 1959
Bolbosoma tuberculata A. Skriabin. 1970
Corynosoma septentrionatis Treshchev. 1966
Rhadinorhynchus tenax A. Skriabin. 1959

Nematoda

- Parafilaroides arcticus Delamure et Alekseev.* 1966
Parafilaroides krascheninnikovi Jurachno et A. Skriabin. 1971
Halicercus kleinenbergi Delamure. 1951
Halicercus ponticus Delamure. 1946
Halicercus taurica Delamure. 1942
Stenurus arctomarinus Delamure et Kleinenberg. 1958
Skrjabinalius cryptocephalus Delamure. 1942
Crassicauda costata A. Skriabin. 1959
Crassicauda delamureana A. Skriabin. 1966
Crassicauda tortilis A. Skriabin. 1959
Rhabditis taurica Mirecki et A. Skriabin. 1965

Новые роды

- Polygonoporus A. Skriabin, 1967
Tetragonoporus A. Skriabin, 1961
Flexobothrium Jurachno, 1989
Leucasiella Krotov et Delamure, 1952
Cetitrema A. Skriabin, 1970
Profundiella A. Skriabin, 1958
Skrjabinalius Delamure, 1942

Новые подсемейства

- Polygonoporinae Delamure et A. Skriabin, 1968
Baylisiinae Jurachno, 1989
Cetitrematinae A. Skriabin, 1970
Profundiellinae A. Skriabin, 1958
Halocercinae Delamure, 1952

Новые семейства

- Polygonoporidae Jurachno, 1992
Schistocephalidae Jurachno, 1992
Glandicephalidae Jurachno et Maltsev, 1995
Baylisiidae Jurachno, 1992
Baylisiellidae Jurachno et Maltsev, in lit.
Skrjabingilidae Delamure et Kontrimavichus, 1976

Новые надсемейства

- Baylisioidea Jurachno, 1992
Baylisielloidea Jurachno et Maltsev, in lit.
Campuloidea A. Skriabin, 1976

Новый подотряд

Polygonoporiata Jurachno, 1992

Следует добавить, что в качестве новых были описаны еще 10 видов. Однако впоследствии они были сведены в синонимы других, ранее описанных видов. Так, из цестод *Diphyllobothrium atlanticum* Delamure et Parukhin, 1968 стал синонимом вида *D. arctocephalinum* Johnston, 1937; *D. krotovi* Delamure, 1955 – синонимом *D. glaciale* (Cholodkovsky, 1915) Markowski, 1952; *D. ponticum* Delamure, 1971 – синонимом *D. stemmacephalum* Cobbold, 1858 и *D. ventropapillatum* Delamure, 1955 – синонимом *D. lashleyi* (Leiper et Atkinson, 1914) Markowski, 1952; из trematod *Orthosplanchnus odobaeni* Treshchev, Serdakov et Jurachno, 1969 – синонимом *O. rossicus* (Skrjabin, 1915) Adams et Rausch, 1989; *Ogmogaster delamurei* Treshchev, 1966 – синонимом *O. pentalineatum* Margolis et Fay, 1966; из акантоцефалов *Corynosoma mirabilis* A. Skriabin, 1966 – синонимом *C. bullosum* (Linstow, 1892); *C. singularis* A. Skriabin et Nikolsky, 1971 – синонимом *C. arctocephali* Zdzitowiecki, 1984 (частично) и *C. eviae* Zdzitowiecki, 1984 (частично); *C. ventromundum* A. Skriabin, 1959 – синонимом *C. villosum* Van Cleave, 1953 и . наконец из нематод *Anisakis pacificus* A. Skriabin, 1959 – синонимом вида *A. simplex* (Endolphi, 1809) Baylis, 1920.

Нуждаются в дополнительном исследовании trematoda *Orthosplanchnus sudarikovi* Treshchev, 1966; акантоцефал *Bolbosoma bobrovoi* Krotov et Delamure, 1952 и нематода *Parafilaroides arcticus* Delamure et Alekseev, 1966. Нам эти виды кажутся сомнительными.

Разумеется, сотрудники кафедры изучали и внутривиловую структуру отдельных паразитов [5, 7, 8, 9, 14, 15 и многие другие].

В заключение отметим, что некоторые открытые сотрудниками кафедры виды паразитов являются уникальными в общебиологическом смысле. К примеру, цестода *Polygonoporus giganticus* A. Skriabin, 1967, паразитирующая у кашалота – настоящий гигант среди ленточных червей. Она достигает в длину более 30 м и в ширину 5 см. К тому же среди полигонадных цестод она отличается максимальным умножением числа половых комплексов в каждой проглоттиде в поперечном направлении. Таких комплексов в отдельных члениках (проглоттидах) насчитывается до 14 [6]. Не менее интересной оказалась цестода *Baylisia supergonoporis* Jurachno, 1989 – паразит антарктического тюленя-крабоеда. У нее умножение половых комплексов в проглоттиде идет в продольном направлении и в отдельных члениках их число достигает 307 [10, 11]. Ранее подобного строения цестоды были известны в литературе лишь с 60–80 половыми комплексами в отдельно взятой проглоттиде [4, 16].

Трематода *Microphallus orientalis Jurachno, 1968*, паразитирующая у моржа и лахтака,— по-видимому, самая мелкая среди 4000 видов дигенетических сосальщиков. Длина ее тела всего лишь 0,2 мм. А trematoda *Orthosplanchnus oculatus Jurachno, 1969* из кишечника моржа интересна наличиемrudimentарных глазных пятен у марит (взрослых особей). За единичными исключениями такой особенностью дигенетические сосальщики не характеризуются.

Литература.

1. Делямуре С.Л. Гельминтофауна морских млекопитающих в свете их экологии и филогении. М: Изд-во АН СССР. 1955. 517 с.
2. Делямуре С.Л., Скрябин А.С. О происхождении и систематическом положении диплогонадных и полигонадных дифиллотриид // Гельминты человека, животных и растений и меры борьбы с ними. М., 1968. С. 159-166.
3. Делямуре С.Л., Скрябин А.С. Основные достижения советских ученых в изучении гельминтофагии морских млекопитающих Мирового океана // Симпозиум по паразитологии и патологии морских организмов. Л.: Наука. 1981. С. 14-21.
4. Делямуре С.Л., Скрябин А.С., Сердюков А.М. Основы цестодологии. Т. XI. Дифиллотрииды - ленточные гельминты человека, млекопитающих и птиц. М.: Наука. 1985. 200 с.
5. Попов В.Н., Фортунато М.Э. Географическая изменчивость *Cotylosoma strumosum* (Acanthocephala: Polymorphidae) - паразита морских млекопитающих // Зоол. журн. 1987. Т. 66, вып. 1. С. 12-18.
6. Скрябин А.С. Гигантская дифиллотриида *Polygonoporus giganticus* n. g., n.sp. - паразит кашалота // Паразитология. 1967. Т. 1, вып. 1. С. 131-136.
7. Скрябин А.С. О морфологических различиях скребней *Bolbosoma turbinella* (Diesing, 1851) (сем. Polymorphidae) из северного и южного полушарий // Паразитология. 1972. Т. 6, вып. 1. С. 57-64.
8. Скрябин А.С., Попов В.Н., Соловьев В.В. Фенотипическая изменчивость скребня *Bolbosoma turbinella australis* A. Skriabin, 1972 - паразита сейвала южного полушария // Фенетика природных популяций. Материалы 1У Всесоюзн. совещ. М.: Наука, 1990. С. 263-265.
9. Трецов В.В., Попов В.Н., Маричев В.С. Об изменчивости *Cotylosoma strumosum* (Acanthocephala: Polymorphidae) - паразита морских млекопитающих // 1 Всесоюзн. съезд паразитоценологов. Киев: Наукова думка, 1978. С. 121-123.
10. Юрахно М.В. Суперполигонадная цестода *Baylisia supergonoporis* sp. n. (Cestoda, Diphyllobothriidae) - паразит тюленя-крабоеда // Паразитология. 1989. Т. 23, вып. 5. С. 432-435.
11. Юрахно М. В. О систематике и филогении некоторых групп цестод отряда Pseudophyllidea // Паразитология. 1992. Т. 26, вып. 6. С. 449- 461.

12. Юрахно М. В., Мальцев В.Н. *Diphyllobothrium skriabini* sp. n. (Cestoda, Diphyllobothriidae) - паразит морского зайца *Ergignathus barbatus* Erx.) // *Паразитология*. 1993. 27, вып. 1. С. 84-89.
13. Юрахно М.В., Мальцев В.Н. Филогения цестод настоящих тюленей Антарктики // *Паразитологія в Україні*. Київ, 1996. С. 119-124.
14. Юрахно М.В., Попов В.Н. К изучению морфологической изменчивости trematodes *Orthosplanchnus oculatus* - паразита тихоокеанского моржа // IX конференция украинского паразитологического общества. Ч. 5 . Киев: Наукова думка, 1980. С. 120, 121.
15. Юрахно М.В., Попов В.Н. Биометрическое исследование trematodes *Microphallus orientalis* - паразита ластоногих // *Изучение, охрана и рациональное использование морских млекопитающих. Тезисы 8-го Всесоюзн. совещ. М.*.. 1982. С. 101-103.
16. Markowski S. The cestodes of seals from the Antarctic // *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.). Zool.* 1952. V. 1. P. 123-150.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ В ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Анашкин О. В., кандидат физ.-мат. наук, доцент

1. Многие природные и технологические процессы характеризуются зависимостью скорости изменения состояния процесса не только от текущего состояния, но и от предыстории. Для моделирования таких процессов применяются функционально-дифференциальные уравнения запаздывающего типа (ЗФДУ) [1-3]. Основным методом исследования устойчивости решений ЗФДУ является прямой метод Ляпунова, причем в теории различают два подхода в рамках этого метода. Первый нацелен на использование функций Ляпунова, определенных в конечномерном пространстве состояний процесса (см., например, [4]). Второй подход нам представляется более плодотворным, так как он учитывает бесконечномерность многообразия решений ЗФДУ. Свойства решений изучаются не непосредственно, а по их образам в банаховом пространстве $C_h = C([-h, 0], \mathbf{R}^n)$ непрерывных вектор-функций, определенных на отрезке $[-h, 0]$, $h > 0$. Для данной функции $x(t)$ через x_t обозначается элемент из C_h , определенный как $x_t(s) = x(t+s)$, $-h \leq s \leq 0$. Теоремы об устойчивости формулируются как условия существования функционала Ляпунова-Красовского [2], определенного в $\mathbf{R}_+ \times C_h$. Ставшие уже классическими теоремы Н. Н. Красовского [2] являются первыми в длинном ряду результатов, использующих этот подход [1-3]. В настоящей заметке предлагаются достаточные условия устойчивости для одного класса ЗФДУ, отличающиеся от известных результатов тем, что основные ограничения, в частности, условие знакопределенности функционала, вводятся не во всем пространстве C_h , а лишь в некотором конусе $\mathcal{A}_R^h \subset C_h$. При этом функционал не является монотонно изменяющимся вдоль траектории x_t , что существенно облегчает задачу построения такого функционала. В статьях [5-8] доказаны соответствующие теоремы и приведены примеры построения подходящих функционалов в основном для случая сосредоточенного запаздывания. В данной заметке мы рассмотрим пример построения функционала для уравнения с распределенным запаздыванием. Сначала дадим общую постановку задачи и сформулируем условия устойчивости из [8].

2. Рассмотрим систему ЗФДУ с конечным запаздыванием

$$\dot{x}(t) = F(t, x_t), \quad (1)$$

где $F : G_H^h \rightarrow \mathbf{R}^n$, $G_H^h = \mathbf{R}_+ \times \Omega_H^h$, $\mathbf{R}_+ = [0, \infty)$, $\Omega_H^h = \{\varphi \in C_h : \|\varphi\| < H\}$ – шар в пространстве C_h , снабженном supremum-нормой $\|\varphi\| = \max\{\varphi(s) : -h \leq s \leq 0\}$, $|\cdot|$ – норма в

\mathbf{R}^n . Предполагается, что функция F удовлетворяет неравенствам $F(t, \varphi) \leq M(t)\varphi^{d_0}$, где $d_0 > 1$, и $|F(t, \varphi) - F(t, \psi)| \leq M(t)|\varphi - \psi|$ для всех $t \geq 0$, $\varphi, \psi \in \Omega_H^h$, функция $M(t)$ интегрируема на любом конечном отрезке $[t_1, t_2] \in \mathbf{R}_+$.

Для данных $h > 0$ и $R > 1$ определим множество

$$\mathcal{A}_R^h = \{\varphi \in C_h : |\varphi| \leq R|\varphi(0)|\}.$$

Нетрудно видеть, что это множество обладает свойствами: $\mathcal{A}_R^h \neq \emptyset$ для $R \geq 1$; $\mathcal{A}_{R_1}^h \subset \mathcal{A}_{R_2}^h$ для $R_1 < R_2$; граница $\partial\mathcal{A}_R^h = \{\varphi \in C_h : |\varphi| = |\varphi(0)|\}$; $\mathcal{A}_1^h = \partial\mathcal{A}_R^h$; \mathcal{A}_R^h есть невыпуклый конус в C_h . Конус \mathcal{A}_R^h играет ключевую роль в нашем подходе потому, что, во-первых, норма $|\varphi|$ может возрастать лишь тогда, когда $\varphi \in \mathcal{A}_1^h$ и, во-вторых, $x(t)$ стремится к нулю пока x_t находится вне конуса \mathcal{A}_R^h для какого-либо $R > 1$.

Пусть \mathbf{K} есть множество всех строго возрастающих функций $a : \mathbf{R}_+ \rightarrow \mathbf{R}_+$, $a(0) = 0$.

ТЕОРЕМА. [8] Предположим, что для некоторых $h_0 \geq h$ и $R > 1$: 1) существуют функционалы $v, \Phi : G_{II}^{h_0} \rightarrow \mathbf{R}$ и функции $a, b \in \mathbf{K}$ такие, что: а) $v_{(1)}(t, \varphi) \leq \Phi(t, \varphi)$;

б) $v(t, \varphi) \leq b(|\varphi|)$ для $(t, \varphi) \in G_{II}^{h_0}$; в) $v(t, \varphi) \geq a(|\varphi|)$ для $t \geq 0$ и $\varphi \in \mathcal{A}_R^{h_0} \cap \Omega_H^{h_0}$;

2) существуют константа $d > 1$ такая, что $\Phi(t, \varphi) \leq M(t)\varphi^d$,

$\Phi(t, \varphi) - \Phi(t, \psi) \leq M(t)r^{d-1}|\varphi - \psi|$ для $t \geq 0$ и $\varphi, \psi \in \Omega_r^h$, $0 < r < H$; 3) существуют постоянные $T > 0$, $\beta > 0$ и $\delta > 0$ такие, что для любых $t_0 \geq 0$, x_0 , $|x_0| < \beta$, и $\Delta t \geq T$

$$\int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} \Phi(t, x_0) dt \leq -2\delta|x_0|^d \Delta t.$$

Тогда нулевое решение системы (1) равномерно асимптотически устойчиво.

3. Рассмотрим следующее уравнение с распределенным запаздыванием

$$\dot{x}(t) = a(t) \int_{-h}^0 b(s)x^2(t+s)ds, \quad (2)$$

где коэффициент $a(t)$ имеет нулевое среднее, т.е. $\{a(t)\} = 0$. В соответствии с подходом, развитым в [7, 8], построение подходящего функционала начнем с положительно определенной функции

$v_0(x) = x^2 / 2$. Вычисляя производную Φ_0 этой функции в силу уравнения (2), получим $\Phi_0 = x(t)a(t)\int_{-h}^0 b(s)x^2(t+s)ds$, очевидно, что среднее $\{\Phi_0(t, x_0)\} = 0$. Определим возмущение v_1 так, что $\partial v_1 / \partial t = -\Phi_0$, тогда $v_1(t, \phi) = -A(t)\phi(0)\int_{-h}^0 b(s)\phi^2(s)ds$, где $A(t)$ есть первообразная функции $a(t)$. Дифференцируя возмущенный функционал $v(t, \phi) = v_0(\phi(0)) + v_1(t, \phi)$ в силу уравнения (2), имеем

$$dv/dt = \Phi_1(t, x_t) = -A(t)a(t)\left[\int_{-h}^0 b(s)x^2(t+s)ds\right]^2 - A(t)x(t)\int_{-h}^0 b(s)x^2(t+s)a(t+s)\int_{-h}^0 b(l)x^2(t+s+l)dlds$$

Вычисляя среднее $\{\Phi_1(t, x_0)\}$, получим выражение для индекса устойчивости S :

$$S = \left\{ A(t)a(t)b_0 + A(t)\int_{-h}^0 b(s)a(t+s)b_0 ds \right\}.$$

Здесь $b_0 = \int_{-h}^0 b(s)ds$. Нулевое решение уравнения (2) равномерно асимптотически устойчиво при $S > 0$ и неустойчиво при $S < 0$.

Литература.

1. Хейл Дж. Теория функционально-дифференциальных уравнений. М.: Мир, 1984.
2. Красовский Н.Н. Некоторые задачи теории устойчивости движения. М.-Л.: Физматгиз, 1959.
3. Колмановский В.Б., Носов В.Р. Устойчивость и периодические режимы регулируемых систем с последействием. М.: Наука, 1981.
4. Разумихин Б.С. Устойчивость зредитарных систем. М.: Наука, 1988.
5. Анашкин О.В. Метод усреднения в теории устойчивости функционально-дифференциальных уравнений // Дифференц. уравнения. – 1997. – Т.33, №4. – С.448-457.
6. Анашкин О.В. Параметрический резонанс в линейной системе с запаздыванием // Известия РАН, серия МММИУ. – 1997. Т.1, №1. – С.3-17.
7. Анашкин О.В. Достаточные условия устойчивости и неустойчивости для одного класса функционально-дифференциальных уравнений // Дифференц. уравнения. – 1998. – Т.34, №7.
8. Anashkin O. Stability Theorems for Nonlinear Functional Differential Equations // Mathematical and Computer Modelling. – 1998 – V.28, No.2. – P. 25-35.

ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ РЕАКЦИИ-ДИФФУЗИИ

Белан Е. П., кандидат физ.-мат. наук, доцент

Рассмотрим систему уравнений химической кинетики

$$\partial_t u = v \Delta u + \lambda u + f(u) - g(x) \quad (1)$$

где $v > 0$, $\lambda \geq 0$, Δ -оператор Лапласа, $u = (u^1, \dots, u^m)$, $f = (f^1, \dots, f^m)$, $g = (g^1, \dots, g^m) \in (L_2(\Omega))^m = H(\Omega)$.

Предположим, что функция $f(u) \in C^1(R^m)$ и удовлетворяет условиям

$$(f(u), u) \geq \mu_0 |u|^{p_0}, \quad |f(u)| \leq |u|^{p_0-1} + C, \quad (2)$$

$$\sum (\partial f_k / \partial u_i) \zeta_i \zeta_k \geq 0 \quad \forall \zeta = (\zeta_1, \dots, \zeta_m) \in R^m, \quad (3)$$

где $p_0 > 2$, C - постоянная. Пусть $\Omega \subset R^n$ ($n \leq 3$) ограниченная область с липшицевой границей. Система (1) рассматривается при одном из следующих граничных условий:

$$u|_{\partial\Omega} = 0, \quad (4)$$

$$\partial u / \partial n|_{\partial\Omega} = 0, \quad (5)$$

$$u(x_1, \dots, x_i + 2\pi, \dots, x_n) = u(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n), \quad i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

В случае (6) предполагается, что $\Omega = T^n$, где T^n - мерный тор, а функция $g(x)$ является 2π -периодической. Если $\partial\Omega$ не принадлежит C^1 , требуется выполнение условия (5) почти всюду. Далее через H^s обозначается шкала пространств, порождаемая оператором $-\Delta I$ (I - единичная m -мерная матрица) при граничных условиях (4), (5) или (6). Норма в этих пространствах задается формулой $\|u\|_s^2 = \langle -\Delta^s u, u \rangle$ (при условиях (5), (6) - это полуформа, норма равна $\|\cdot\|_0 + \|\cdot\|_s$). Операторы Δ^s и пространства H^s различны в случае условий (4), (5), (6), но согласно интерполяционной теореме $H^s \subset H^s(\Omega)$ и норма $H^s(\Omega)$, суженная на H^s , эквивалентна норме в H^s . Поэтому пользуемся одним обозначением и в случае (4), и в случае (5), и в случае (6).

Тщательный анализ свойств полугрупп $\{S_t\}$, действующих в H и соответствующих задачам (1), (4); (1), (5); (1), (6) выполнен в [1]. Зафиксируем пространство H и соответствующую полугруппу $\{S_t\}$. Предположим далее, что в условии (2) при $n = 3$ параметр $p_0 \leq 6$.

В дополнении к сформулированным условиям предположим, что функция f удовлетворяет условию подчиненности линейной части, которое имеет вид

$$|\partial f^k(u) / \partial u^i| \leq C_1(1 + |u|^{p_0-2}) \quad (7)$$

В [1] показано, что полугруппа $\{S_t\}$ имеет H -поглощающее множество G , компактное в H^2 .

Техника, используемая в этой работе для построения инерциального многообразия ИМ уравнения (1), восходит к работе [2]. В связи с задачей о возмущении инвариантных многообразий полулинейных параболических уравнений метод Коппеля-Пальмера был обобщен в работе [3]. Техника

Коппеля-Пальмера использована в [4] для построения центральных многообразий квазилинейных параболических уравнений.

Проблема построения ИМ для систем уравнений типа реакции-диффузии, близкая к рассматриваемой здесь проблеме, исследовалась в ряде работ (см. [3, 5 - 10]) и указанную в них литературу).

H -поглощающее множество $\{S_t\}$, ограниченное в H^2 обозначим через G . Предположим $G \subset \{u : \|u\|_2 < \rho/2\}$. Согласно ([1], лемма I.5.1) оператор $B: u \rightarrow f(u)$ действует из H^2 в H , причем

$$\|B(u) - B(v)\| = C_2 \|u - v\|(1 + \|u\|_2 + \|v\|_2),$$

где C_2 - постоянная. Пусть $\{e_k, k = 1, \dots\}$ ортонормированный базис в H такой, что

$$Ae_k = \lambda_k e_k, \quad \lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \dots, \quad \lim \lambda_k = \infty,$$

где $A = -\Delta I$ -оператор, рассматриваемый в пространстве H .

Зафиксируем целое N . Пусть $\lambda_{N+1} - \lambda > 0$. Пусть функция f удовлетворяет условиям (2), (3), (7).

Основным результатом работы является теорема.

Теорема 1. *Существует постоянная M такая, что если*

$$v(\lambda_{N+1} - \lambda_N) \geq M, \quad (8)$$

тогда полугруппа $\{S_t\}$ имеет N -мерное инерциальное многообразие.

Рассмотрим случай $n = 2$. Пусть $\Omega = [0.2\pi]^2$. Так как множество собственных значений оператора $-\Delta I$ на H имеет вид

$$(m^2 + k^2),$$

где $(m, k) \in \mathbb{Z}^2$, то согласно [11] неравенство (8) выполняется для любого $v > 0$ при соответствующем выборе N . Таким образом, справедлива теорема.

Теорема 2. *Пусть правая часть уравнения (1) удовлетворяет сформулированным выше условиям. Тогда для каждого $v > 0$ полугруппа $\{S_t\}$ имеет инерциальное многообразие.*

Заметим, что теорема 2 справедлива и без условия (3).

Литература.

1. Бабин А. В., Вишик М. И. Аттракторы эволюционных уравнений.–М. Наука, 1989.– 294 с.
2. Coppel W. A., Palmer R. J. Averaging and Integral Manifolds //Bull. Austral Math. Soc. – 1970. – P.197-222.
3. Хенри Д. Геометрическая теория полулинейных параболических уравнений. – М. Мир, 1985. – 374 с.
4. Белан Е. П., Лыкова О. Б. Теорема о центральном многообразии нелинейного параболического уравнения. //Укр. мат. ж. , 1995. – 48, 8, – С. 1021-1036.
5. Foias C., Sell G. R. and Temam R. Inertial Manifolds for Nonlinear Evolutionary Equations. //J. Diff. Eq. – 1988. – 73, – P. 309-353
6. Mallet-Paret J. and Sell G.R. Inertial Manifolds for Reaction Diffusion Equation. //J. AMS – 1988. – 1, – P. 805-866.

7. Constantin P., Foias C., Nicolaenko B. and Temam R. Spectral Barriers and Inertial Manifolds for Dissipative Partial Differential Equations. //J. Dynamics Diff. Eq. – 1989. – 1, 1. – P. 45 – 73.
8. Чуевшов И.Д. Введение в теорию инерциальных многообразий-. Харьков: Изд-во ХГУ. 1992. – 97 с.
9. Чуевшов И.Д. Глобальные атTRACTоры в уравнениях математической физики //Успехи мат. наук- 1993. – 48, 3. – С. 135-161.
10. Романов А.В. Точные оценки размерности инерциальных многообразий нелинейных параболических уравнений //Известия РАН сер. мат. – 1993 – 57, 4. – С. 36-54.
11. Richards I. On the gaps between numbers which are the sum of the squares // Adv. Math. – 1982 – 46. – P. 1-2.

О СПЕКТРЕ ОДНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Вронский Б. М. ассистент

1. Постановка задачи. Пусть неподвижный контейнер, занимающий область $\Omega \in R^3$ заполнен двумя жидкостями: вязкой несжимаемой и идеальной сжимаемой. Обозначим через Ω_1 область, занятую вязкой жидкостью, Ω_2 – область, занятую идеальной, Γ – границу раздела (идеальная находится выше вязкой), S_1 и S_2 – соответствующие твердые стенки. Предполагается, что система находится под действием силы тяжести.

Малые движения системы описываются следующими уравнениями:

$$\frac{\partial \bar{v}_1}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_1} \nabla p_1 + \frac{1}{\rho_1} \mu \Delta \bar{v}_1, \quad \operatorname{div} \bar{v}_1 = 0 \quad (\bar{x} \in \Omega_1); \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{v}_2}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_2} \nabla p_2; \quad \frac{\partial}{\partial t} p_2 + c^2 \rho_2 \operatorname{div} \bar{v}_2 = 0 \quad (\bar{x} \in \Omega_2); \quad (2)$$

$$\bar{v}_1 = 0 \quad (\bar{x} \in S_1), \quad \bar{v}_2 \cdot \bar{n} = 0 \quad (\bar{x} \in S_2); \quad (3)$$

$$\bar{v}_1 \cdot \bar{n} = \bar{v}_2 \cdot \bar{n} \equiv \zeta, \quad \tau_{ij}(\bar{v}_1) = 0 \quad (\Gamma), \quad j = 1, 2. \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\tau_{jj}(\bar{v}_1) + p_2) + g \Delta \rho \zeta = 0 \quad (\bar{x} \in \Gamma); \quad (5)$$

$$\bar{v}_j(\bar{x}, 0) = \bar{v}_j^0(\bar{x}); \quad p_j(\bar{x}, 0) = p_j^0(\bar{x}), \quad j = 1, 2. \quad (6)$$

Здесь $\bar{v}_j(\bar{x}, t)$ – поля скоростей j -й жидкости, $p_j(\bar{x}, t)$ – отклонения полей давлений от равновесных значений, c – скорость звука в сжимаемой жидкости, μ – коэффициент динамической вязкости, $\Delta \rho$ – скачок плотности на границе раздела Γ . Условие $\Delta \rho > 0$ гарантирует устойчивость состояния покоя рассматриваемой гидросистемы.

Через τ_{ij} обозначены компоненты тензора напряжений в вязкой жидкости. Они находятся по формулам:

$$\tau_{ij}(\bar{v}_1) = -p_1 \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial \bar{v}_{1i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{v}_{1j}}{\partial x_i} \right), \quad i, j = 1, 2, 3,$$

где p_1 – давление в вязкой жидкости, δ_{ij} – символ Кронекера, $x = (x_1, x_2, x_3)$.

Из условия соленоидальности поля \bar{v}_1 следует, что

$$\int_{\Gamma} \zeta d\Gamma = 0.$$

Для достаточно гладких соленоидальных полей, удовлетворяющих условию $\bar{v} = 0$ на твердой стенке S_1 и условиям $\tau_{13}(\bar{v}) = \tau_{23}(\bar{v}) = 0$ на Γ имеет место формула Грина:

$$\int_{\Omega_1} (-\mu \Delta \bar{u} + \nabla p) \cdot \bar{v} d\Omega = \mu E(\bar{u}, \bar{v}) - \int_{\Gamma} \tau_{33}(\bar{u}) v_z d\Gamma \quad (7)$$

где $E(\bar{u}, \bar{v})$ – билинейный функционал

$$E(\bar{u}, \bar{v}) = \frac{1}{2} \int_{\Omega_1} \sum_{i,j=1}^3 \left(\frac{\partial \bar{u}_{ij}}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{u}_{ij}}{\partial x_j} \right) \left(\frac{\partial \bar{v}_{ij}}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{v}_{ij}}{\partial x_j} \right) d\Omega. \quad (8)$$

связанный со скоростью диссипации энергии в вязкой жидкости.

2. Нормальные колебания. Далее мы будем рассматривать нормальные колебания системы, то есть решения задачи (1)–(6), зависящие от времени по закону $\{\bar{v}_i(\bar{x}, t), p_i(\bar{x}, t)\} = \exp(-\lambda t) \{\bar{v}_i(\bar{x}), p_i(\bar{x})\}$, где $\lambda \in C$ – комплексный декремент затухания.

Из первого уравнения (2) следует, что функцию \bar{v}_2 можно искать в виде $\bar{v}_2 = \nabla \Phi$, где $\Phi(\bar{x})$ некоторая скалярная функция. В результате приходим к следующей спектральной задаче:

$$\lambda v_1 = \frac{1}{\rho_1} (-\mu \Delta \bar{v}_1 + \nabla p_1), \quad \bar{v}_1 = 0, \quad \operatorname{div} \bar{v}_1 = 0, \quad (\bar{x} \in \Omega_1), \quad (9)$$

$$p_2 = \lambda \rho_2 \Phi, \quad \Delta \Phi = \lambda^2 c^{-2} \Phi, \quad (\bar{x} \in \Omega_2). \quad (10)$$

$$v_1 = 0 \quad (\bar{x} \in S_1), \quad \nabla \Phi \cdot \bar{n} = 0 \quad (\bar{x} \in S_2), \quad (11)$$

$$\bar{v}_1 \cdot \bar{n} = \nabla \Phi \cdot \bar{n} = \zeta \quad (\bar{x} \in \Gamma), \quad \tau_{13}(\bar{v}_1) = \tau_{23}(\bar{v}_1) = 0 \quad (\bar{x} \in \Gamma), \quad (12)$$

$$\lambda (\tau_{33}(\bar{v}_1) + \lambda \rho_2 \Phi) = g \Delta \rho \zeta \quad (\bar{x} \in \Gamma), \quad (13)$$

$$\int_{\Omega_2} \Phi d\Omega = 0. \quad (14)$$

Пользуясь формулой (7), легко показать, что $\operatorname{Re} \lambda \geq 0$, то есть спектр исследуемой задачи лежит в правой полуплоскости.

3. Вспомогательные краевые задачи. Для приведения исследуемой спектральной задачи к операторной форме рассмотрим ряд вспомогательных краевых задач.

Задача 1. Найти функцию $\Phi_1 \in H^1(\Omega_2)$, такую, что

$$\Delta \Phi_1 = f \quad (\bar{x} \in \Omega_2), \quad \nabla \Phi_1 \cdot \bar{n} = 0 \quad (\bar{x} \in \Gamma \cup S_2), \quad \int_{\Omega_2} f d\Omega = 0.$$

Решение этой задачи может быть записано в виде $\Phi_1 = -A^{-1}f$, где оператор A , действующий в пространстве $L_2(\Omega_2)$, самосопряженный, положительно определенный с дискретным спектром, обратный к нему – положительный и вполне непрерывный $A^{-1} \in \sigma_p$ ($p \geq \frac{3}{2}$), его собственные

значения имеют асимптотику: $\lambda_k(A^{-1}) = c_A k^{-\frac{2}{3}}(1+o(1))$ при $k \rightarrow \infty$, $c_A \geq 0$.

Задача 2. Найти функцию $\Phi_2 \in H^1(\Omega_2)$, такую, что

$$\Delta \Phi_2 = 0 \quad (\bar{x} \in \Omega_2), \quad \nabla \Phi_2 \cdot \bar{n} = 0 \quad (\bar{x} \in S_2), \quad \nabla \Phi \cdot \bar{n} = -\phi \quad (\bar{x} \in \Gamma), \quad \int_{\Gamma} \phi \, d\Gamma = 0.$$

Решение записывается в виде $\Phi_2 = T\phi$, где T – линейный ограниченный оператор, действующий из $H_- = H^{-\frac{1}{2}}(\Gamma)$ в $H^1(\Omega_2)$.

Кроме того введем оператор взятия следа γ , действующий по правилу $\gamma \Phi|_{\Omega_2} = \Phi|_{\Gamma}$, $\gamma : H^1(\Omega_2) \rightarrow H^{-\frac{1}{2}}(\Gamma)$ и оператор $C = \gamma T$, рассматриваемый как оператор, действующий в пространстве $H_0 = L_2(\Gamma)\Theta\{1\}$, он оказывается положительным вполне непрерывным из класса σ_p ($p > 2$).

Задача 3. По заданной найти функцию $\bar{u}_1 \in \bar{W}_2^1(\Omega_1)$, такую, что $\rho_1^{-1}(-\mu \Delta \bar{u}_1 + \nabla p'_1) = \bar{f}$ ($\bar{x} \in \Omega_1$); $\operatorname{div} \bar{u}_1 = 0$ ($\bar{x} \in \Omega_1$), $\bar{u}_1 = 0$ ($\bar{x} \in S_1$), $\tau_{j,j}(\bar{u}_1) = 0$ ($\bar{x} \in \Gamma$), $j = 1, 2, 3$.

Обобщенное решение этой задачи может быть записано в виде $\mu \bar{u}_1 = P^{-1} \bar{f}$, где оператор P , действующий в пространстве $\bar{J}(\Omega_1)$ самосопряжен и положительно определен, при этом $P^{-1} \in \sigma_p$ ($p > \frac{3}{2}$), $P^{-1} > 0$ и его собственные значения имеют асимптотику

$$\lambda_k(P^{-1}) = c_p k^{-\frac{2}{3}}(1+o(1)), \quad k \rightarrow \infty.$$

Для функций из $\bar{W}_2^1(\Omega_1)$ введем оператор G , действующий по правилу $G \bar{u} = u_z|_{\Gamma}$.

Задача 4. По заданной $\psi(\bar{x}) \in H_0$ найти функцию $\bar{w}_1 \in \bar{W}_2^1(\Omega_1)$, такую, что $-\mu \Delta \bar{w}_1 + \nabla p''_1 = 0$, $\operatorname{div} \bar{w}_1 = 0$ ($\bar{x} \in \Omega_1$); $w_1 = 0$ ($\bar{x} \in S_1$), $\tau_{j,j}(\bar{w}_1) = 0$ ($\bar{x} \in \Gamma$), $j = 1, 2$; $\tau_{3,3}(\bar{w}_1) = \mu \psi$ ($\bar{x} \in \Gamma$).

Обобщенное решение этой задачи может быть записано в виде $\bar{w}_1 = Q\psi$, где Q – линейный ограниченный оператор, действующий из H_- в $\bar{W}_2^1(\Omega_1)$.

4. Переход к системе операторных уравнений. С помощью введенных операторов можно перейти от задачи (9) – (14) к системе операторных уравнений следующего вида:

$$\mu \psi = \lambda \rho_1 P^{-1} \psi + \frac{1}{\lambda} g \Delta \rho P^2 Q G P^{-2} \psi - \lambda \rho_2 P^2 Q Y A^{-2} \phi, \quad (15)$$

$$c^2 \phi = -\lambda^2 A^{-1} \phi - \lambda^2 A^2 T G P^{-2} \psi. \quad (16)$$

$$\text{где } \bar{\nu}_1 = P^{-2} \psi, \Phi_1 - TG \bar{\nu}_1 = A^{-2} \phi.$$

В дальнейшем используем следующие обозначения для входящих в систему (15) – (16)

$$\text{операторов: } H = P^2 Q, H^* = G P^{-2}, Y = -Y A^{-2}, Y^* = A^2 T.$$

Относительно них справедливо следующее утверждение:

- 1) Операторы H и H^* взаимно сопряженные вполне непрерывные операторы конечного порядка, при этом $H: H_0 \rightarrow \bar{J}(\Omega_1), H^*: \bar{J}(\Omega_1) \rightarrow H_0$.
- 2) Операторы Y и Y^* взаимно сопряженные вполне непрерывные операторы конечного порядка, при этом $Y: L_2(\Omega_2) \rightarrow H_0, Y^*: H_0 \rightarrow L_2(\Omega_2)$.

Таким образом, исследуемую спектральную задачу можно записать в виде

$$L(\lambda) \hat{z} = 0, \quad \hat{z} = (\psi, \phi)^T \in J(\Omega_1) \oplus L_2(\Omega_2),$$

где оператор-функция $L(\lambda)$ задается формулой

$$\begin{aligned} L(\lambda) = & \begin{pmatrix} \mu I & 0 \\ 0 & \rho_2 c^2 I \end{pmatrix} - \lambda \begin{pmatrix} \rho_1 P^{-1} & \rho_2 H Y \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \\ & + \lambda^2 \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \rho_2 A^{-1} \end{pmatrix} - \frac{1}{\lambda} \begin{pmatrix} g \Delta \rho H H^* & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ Y^* H^* & 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (17)$$

ТЕОРЕМА 1. Спектр исследуемой задачи состоит из не более чем счетного множества конечнократных собственных значений с возможными предельными точками $\lambda = 0$ и $\lambda = \infty$, расположенных в правой полуплоскости симметрично вещественной оси.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО следует из того, что все операторы, входящие в $L(\lambda)$, за исключением $\text{diag}(\mu I, \rho_2 c^2 I)$ компактны и теоремы М.В.Келдыша.

5. Локализация спектра и асимптотика собственных значений. Введем в рассмотрение две области комплексного переменного:

$$\Theta_1(\varepsilon, R) = \{\lambda : |\lambda| > R; \frac{\pi}{2} - \varepsilon < |\arg \lambda| < \frac{\pi}{2} + \varepsilon\},$$

$$\Theta_2(\varepsilon, R) = \{\lambda : |\lambda| > R; \pi - \varepsilon < |\arg \lambda| < \varepsilon\}$$

Пусть сначала $\lambda \in \Theta_2(\varepsilon, R)$. В этом случае задача (14)–(15) может быть приведена к следующему виду:

$$I_1(\lambda)\psi = 0,$$

где $I_1(\lambda) = \mu I - \lambda \rho_1 P^{-1} + G_1(\lambda)$, а оператор-функция $G_1(\lambda)$

определена равенством:

$$G_1(\lambda) = -\frac{1}{\lambda} g \Delta \rho B + \lambda \rho_2 H Y (c^2 I + \lambda^2 A^{-1})^{-1} H^* Y^*. \text{ Можно показать, что } G_1(\lambda) = o(1) \text{ при } \lambda \rightarrow \infty$$

и $\lambda \in \Theta_2$. Применяя теперь известные результаты А.С.Маркуса и М.Б.Оразова получим, что собственные значения оператор-функции $I_1(\lambda)$ имеют следующее асимптотическое поведение:

$$\lambda_k^\pm = \mu \rho_1^{-1} \lambda_k(P^{-1})(1 + o(1)), k \rightarrow \infty. \quad (18)$$

Аналогично при $\lambda \in \Theta_1(\varepsilon, R)$ задача (14)–(15) может быть приведена к задаче на собственные значения для оператор-функции

$$I_2(\lambda)\phi = 0,$$

где $I_2(\lambda) = c^2 I + \lambda^2 A^{-1} + G_2(\lambda)$, а оператор-функция $G_2(\lambda)$ определяется равенством

$$G_2(\lambda) = \lambda Y^* H^* (\mu I - \lambda \rho_1 P^{-1} - \frac{1}{\lambda} g \Delta \rho B) H Y. \text{ Можно показать, что } G_2(\lambda) = o(\lambda) \text{ при } \lambda \rightarrow \infty \text{ и } \lambda \in \Theta_1.$$

На основании тех же результатов получим, что собственные значения оператор-функции $I_2(\lambda)$ имеют следующее асимптотическое поведение:

$$\lambda_k^\pm = \pm i c(\lambda_k(A))^{-1} (1 + o(1)) \text{ при } k \rightarrow \infty. \quad (19)$$

Рассмотрим, наконец, задачу (14)–(15) при $\lambda \in (-c\sqrt{\lambda_1(A)}, c\sqrt{\lambda_1(A)})$, где $\lambda_1(A)$ первое (наименьшее) собственное значение оператора A . В этом случае задача может быть приведена к задаче:

$$I_3(\lambda)\psi = (\mu \lambda I - g \Delta \rho B + \lambda^2 F(\lambda))\psi = 0,$$

где а оператор-функция $F(\lambda)$ определена равенством:

$$F(\lambda) = \rho_1 P^{-1} + \rho_2 c^2 H Y (c^2 I + \lambda^2 A^{-1})^{-1} H^* Y^*,$$

при этом $F(\lambda)$ принимает значения на множестве самосопряженных компактных операторов и аналитична в окрестности нуля. Можно показать, что $0 \leq B \in \sigma_p (p > 2)$, а его собственные

значения имеют асимптотику: $\lambda_k(B) = c_B k^{-\frac{1}{2}} (1 + o(1))$ ($k \rightarrow \infty$). Снова воспользовавшись результатами А.С.Маркуса, приходим к выводу о том, что собственные значения оператор-функции $I_3(\lambda)$ имеют асимптотическое поведение:

$$\lambda_k^0 = \mu(g\Delta\rho)^{-1} \lambda(B)(1 + o(1)) \quad (k \rightarrow \infty). \quad (20)$$

ТЕОРЕМА 2. Спектр исследуемой задачи состоит из четырех последовательностей собственных значений, асимптотическое поведение которых описывается формулами (18)-(20).

О ТРЕХ ПРЯМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ЧЕТЫРЕХ ЛИНЕЙНЫХ
ОБОЛОЧЕК ОРБИТ НАПРАВЛЕНИЙ СИММЕТРИИ ДИКИХ
ГРУПП СИММЕТРИЙ

Игнатенко В. Ф., доктор физико-математических наук, профессор,
Рудницкий О. И., кандидат физико-математических наук, доцент
Плышевская С. П.

Рассмотрим в вещественном пространстве E^m бесконечную группу G косых симметрий, имеющую четыре $G(\bar{u})$ -орбиты направлений симметрии \bar{u} . Взаимное расположение указанных орбит определяют γ_j -плоскости Π^{γ_j} ($j = 0, 3$), причем размерность пересечения любых двух таких γ_j -плоскостей не превосходит единицы [1]. Пусть F_n – нецилиндрическая алгебраическая $(m-1)$ -поверхность порядка $n > 2$ с группой симметрий G . $\gamma_0 = \lambda$, $\gamma_1 = \mu$, $\gamma_2 = \nu$, $\gamma_3 = \sigma$ ($\lambda \geq \mu \geq \nu \geq \sigma$), $\Pi^\lambda = \Pi^\lambda + \Pi^\mu$, $\Pi^\nu = \Pi^\lambda + \Pi^\nu$, $\Pi^\sigma = \Pi^\nu \cap \Pi^\lambda$, $\Pi^\omega = \Pi^\sigma \cap \Pi^\nu$ ($\omega = \sigma$), $\Pi^{\nu\sigma} = \Pi^\sigma \cap \Pi^\nu$; число $\varepsilon = \dim(\Pi^\lambda \cap \Pi^\mu) = 0$ или 1 [2]. Выделим из работы [2] следующий результат:

Теорема 1. Пусть γ_j -плоскости Π^{γ_j} ($j = 0, 3$) пересекаются по двум различным прямым. Тогда при любом расположении Π^{γ_j} существует алгебраическая поверхность F_n с группой симметрий G , если $g + \nu \leq \mu + 2(1 - \varepsilon)$.

В настоящей работе изучаются группы G со следующей конструкцией M γ_j -плоскостей Π^{γ_j} : произвольные три γ_{j_l} -плоскости $\Pi^{\gamma_{j_l}}$ ($j_l = 1, 3$) из Π^{γ_j} пересекаются по трем различным прямым p_l ($l = \overline{1, 3}$), образуя трехгранный угол с вершиной O , ребрами p_l и гранями $\Pi^{\gamma_{j_l}}$, а оставшаяся γ_j -плоскость Π^{γ_j} , имея нулевое пересечение с каждой из выбранных $\Pi^{\gamma_{j_l}}$, пересекается, в общем случае, с их суммой. Выделим два вида конструкции M : M_1 , если $\Pi^\nu \cap \Pi^\omega = 0$ или прямая их пересечения не принадлежит Π^ν , и M_2 , если плоскости Π^ν и Π^ω пересекаются по прямой, принадлежащей Π^ν . Имеет место следующая

Теорема 2. Результаты теоремы 1 справедливы для конструкции M_1 . Группа G , соответствующая конструкции M_2 , в классе ФОТ не существует.

Доказательство. В декартовой системе координат $Oy_1 \dots y_4 z_1 \dots z_t x_1 \dots x_s$ ($m = 4 + m + t$) поверхность F_n зададим уравнением

$$R(y_1^2 + \sum_{i=1}^{\lambda} \xi_i z_i) + S(y_2^2 + \sum_{i=1}^{\mu-\varepsilon} \zeta_i z_{i+\varepsilon}) + T(y_3^2 + \sum_{k=1}^{\rho} \chi_{i+k} z_{i+k}) + P y_4^2 = c. \quad (1)$$

где многочлены R , S , T , P (не имеющие общего множителя) и линейные функции ξ_i , ζ_j , χ_{i+k} зависят только от x_ω ($\omega = \bar{l}, \bar{t} \geq 2$), $\rho = v - g$ [2]. Рассмотрим все возможные способы построения конструкции M .

1. Пусть $p_1 = \Pi^\lambda \cap \Pi^\mu = Oz_\lambda$, $p_2 = \Pi^\lambda \cap \Pi^\nu = Oz_{\lambda-1}$, $p_3 = \Pi^\mu \cap \Pi^\nu = Oz_{\lambda-1}$ (конструкция вида M_1). Тогда $\frac{R_0}{T_0} = \frac{\chi_{\lambda-1}}{\zeta_\lambda}$, $\frac{S_0}{R_0} = -\frac{\xi_1}{\chi_{\lambda+1}}$, $\frac{T_0}{S_0} = \frac{\zeta_1}{\xi_{\lambda-1}}$ ($\zeta_\lambda \neq c\xi_\lambda$, $\xi_{\lambda-1} \neq c\chi_{\lambda-1}$, $\zeta_\lambda \neq c\chi_{\lambda+1}$) [2].

Перемножив полученные соотношения, получим равенство $\chi_{\lambda-1} \xi_1 \zeta_1 = \zeta_\lambda \chi_{\lambda+1} \xi_{\lambda-1}$. Оно возможно лишь в случае

$$\zeta_1 = c_1 \chi_{\lambda-1}, \quad \zeta_1 = c_2 \xi_{\lambda-1}, \quad \zeta_1 = c_1 c_2 \chi_{\lambda-1}, \quad (2)$$

где c_1 , c_2 – вещественные числа.

При выполнении (2) многочлены R , S , T имеют вид

$$R = \zeta_1, \quad S = \xi_1, \quad T = c_1 \zeta_1. \quad (3)$$

а многочлен P – произвольный

Пусть $v_1 = 0$, т. е. Π' образует прямую сумму с $\Pi' = \Pi^\nu$. Поскольку $g \geq 2$, многочлен

$$T = \lambda_1 R + \lambda_2 S, \quad (4)$$

при вещественных λ_1 , λ_2 . Тогда, учитывая (3),

$$\zeta_1 = c_1^{-1} (\lambda_1 \zeta_1 + \lambda_2 \xi_1). \quad (5)$$

Если $v \geq v_1 \geq 1$, а $g+v \leq \mu$ (см. [2]), то

$$P = h_0 R + h_1 S. \quad (6)$$

h_0, h_1 – вещественные числа. С учетом (3),

$$P = h_0 \zeta_1 + h_1 \xi_1. \quad (7)$$

Таким образом, если $g+v \leq \mu$, существует поверхность F_n с уравнением (1) и группой симметрий G . При этом многочлены R , S , T имеют вид (3) при выполнении соотношений (2) и (5), многочлен P – произвольный ($v_1 = 0$) или имеет вид (7), если $v_1 > 1$.

2. Пусть $p_1 = \Pi^\lambda \cap \Pi^\mu = Oz_\lambda$, $p_2 = \Pi^\lambda \cap \Pi^\nu = Oz_{\lambda-1}$, $p_3 = \Pi^\mu \cap \Pi^\nu = Oz_{\lambda-1}$ (конструкция вида M_1). Этот случай рассмотрен в [3] (см. также табл. 3, п. 1.2.5 работы [4]). Приведем основной результат.

Если $g + v \leq \mu$, то в уравнении (1) поверхности F_n для групп симметрий G $R = \vartheta_{\lambda+1}$, $S = c_2 \xi_{\lambda}$, $P = \xi_{\lambda-1}$ при выполнении соотношений $\xi_{\lambda} = c_1 \vartheta_{\lambda+1}$, $\vartheta_{\lambda-1} = c_2 \xi_{\lambda}$, $\xi_{\lambda-1} = c_1 c_2 \zeta_{\lambda}$ и $\xi_{\lambda-1} = h_0 \vartheta_{\lambda-1} + c_2 h_1 \xi_{\lambda}$; многочлен T – произвольный ($g = 0$) или $T = c_2 (\lambda_0 \zeta_{\lambda} + \lambda_1 \xi_{\lambda})$ при $g > 1$.

3. Если $p_1 = \Pi^{\lambda} \cap \Pi^{\kappa} = Oz_{\lambda}$, $p_2 = \Pi^{\lambda} \cap \Pi^v = Oz_{\lambda-1}$, $p_3 = \Pi^v \cap \Pi^{\kappa} = Oz_{\lambda+1} \notin \Pi^{\lambda}$ (конструкция вида M_1), то, как и в п.1, имеет место равенство $\vartheta_{\lambda-1} \xi_{\lambda+1} = \chi_{\lambda} \vartheta_{\lambda+1} \xi_{\lambda-1}$. Оно справедливо только при

$$\vartheta_{\lambda+1} = c_1^{-1} \xi_{\lambda}, \quad \chi_{\lambda-1} = c_2 \xi_{\lambda-1}, \quad \chi_{\lambda} = c_1 c_2 \vartheta_{\lambda-1}. \quad (8)$$

При этом многочлены R , T , P имеют вид

$$R = \chi_{\lambda}, \quad T = \xi_{\lambda}, \quad P = c_1 c_2 \xi_{\lambda-1}, \quad (9)$$

S – произвольный.

Если $g > 1$ ($v > v_1 = 1$), то, согласно (4), многочлен

$$S = \lambda_1^{-1} (\xi_{\lambda} - \lambda_0 \chi_{\lambda}). \quad (10)$$

Если теперь $v_1 > 1$, а $g + v < \mu + 2$ [2], то, согласно (6), имеем

$$S = c_1 c_2 h_1^{-1} (\xi_{\lambda-1} - h_0 \vartheta_{\lambda-1}).$$

и к соотношениям (8) добавляется условие

$$\Delta \chi_{\lambda} = h_1 \xi_{\lambda} - c_1 c_2 \lambda_1 \xi_{\lambda-1}, \quad (11)$$

где $\Delta = \lambda_0 h_1 - \lambda_1 h_0 \neq 0$.

Таким образом, в уравнении (1) многочлены R , T , P имеют вид (9) при выполнении равенств (8), причем, если $g > 1$, $v > v_1 > 1$ и $g + v < \mu + 2$, S имеет вид (10) при выполнении условий (11).

4. Пусть $p_1 = \Pi^{\mu} \cap \Pi^{\kappa} = Oz_{\lambda+1}$, $p_2 = \Pi^{\mu} \cap \Pi^v = Oz_{\lambda+2}$, $p_3 = \Pi^v \cap \Pi^{\kappa} = Oz_{\lambda+1} \notin \Pi^{\mu}$ (конструкция вида M_1). Тогда, как и ранее, приходим к выполнению соотношений

$$\zeta_1 = c_1 \vartheta_{\lambda+1}, \quad \chi_{\lambda+1} = c_2 \zeta_2, \quad \chi_{\lambda+1} = c_1 c_2 \vartheta_{\lambda+2}, \quad (12)$$

и многочлены S, T, P имеют вид:

$$S = \chi_{\lambda+1}, \quad T = \zeta_1, \quad P = c_1 c_2 \zeta_2 \quad (13)$$

(R – произвольный).

Если $g > 1$ ($v_1 = 1$), то, согласно (4),

$$R = \lambda_0^{-1} (\zeta_1 - \lambda_1 \chi_{\lambda+1}). \quad (14)$$

Если теперь $v_1 > 1$, $g + v < \mu + 2$ [2], то

$$R = h_0^{-1} (c_1 c_2 \zeta_2 - h_1 \chi_{\lambda+1}),$$

и к соотношениям (12) добавляется условие

$$\Delta\chi_{\lambda+1} = c_1 c_2 \lambda_0 \zeta_2 - h_0 \zeta_1. \quad (15)$$

Следовательно, в уравнении (1) многочлены S, T, P имеют вид (13) при выполнении условий (12). В случае $g > 1$, $v_1 > 1$ и $g + v < \mu + 2$, R определяется формулой (14), а к (12) добавляется соотношение (15).

5. Рассмотрим случаи, описанные в п.п. 3,4, с условием, что прямая $p_3 = \Pi^v \cap \Pi^u \in \Pi^n$ (конструкции вида M_2). Тогда $v = v_1 = 2$ и $g \leq \mu$ [2]. Кроме того, так как $g \geq 2$, поместим в плоскости Π^{g-1} новые координатные оси $Oz'_p (p = \overline{1, g-1})$ так, что p_3 параллельна Oz'_1 , и положим

$$\chi_p = \lambda_0^{-1} (\xi_p + \sum_{i=1}^{\lambda} A_{ip} \xi_{g-i+1}) = \lambda_1^{-1} \sum_{i=1}^{\mu} B_{ip} \zeta_i. \quad (16)$$

$p = \overline{1, g-1}$ (см. [2]), т. е. $\chi_p \in \Phi OT$.

Тогда, как и ранее, в каждом из рассматриваемых случаев приходим к соотношениям, которые вместе с (16) требуют цилиндричности F_n , что исключается.

Следовательно, при данных расположениях $\Pi^j (j = \overline{0, 3})$ не существует поверхность F_n с группой симметрий G .

Теорема доказана.

Отметим, что здесь исследованы случаи 1.2.6–1.2.10 таблицы 3, работы [4]; случаи $q \geq 4$ прямых пересечения Π^j рассмотрены в [5].

Литература.

- Игнатенко В. Ф. О геометрической теории инвариантов групп, порожденных отражениями // Итоги науки и техн. Пробл. геометрии – М.: ВИНИТИ АН СССР. – 1989. – Т.21. – С.155-208.
- Ignatenko V. F. Invariants of Finite and Infinite Groups generated by Reflections // J. Math. Sc. - 1996. - 76, N 3. - P. 334-361.
- Штуро С. В. О бесконечных группах косых симметрий, имеющих четыре орбиты направлений симметрии // Тезисы докладов Пятой Международной научной конференции им. акад. М. Кравчука. - Киев, 1996. - С. 501.
- Игнатенко В. Ф., Рудницкий О. И. О диких группах косых симметрий, имеющих четыре орбиты направлений симметрии / Симфероп. гос. ун-т: Симферополь, 1998. - 26 с. - Деп. в ГНТБ Украины 23.03.98, № 159 - Ук98.
- Рудницкий О. И. Три класса алгебраических поверхностей с бесконечными группами косых симметрий // Труды матем. ф-та. Изд-во Симф. университета, Симферополь, 1997. - С. 95-99.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О МЯГКОЙ ПОСАДКЕ В ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ПОСТАНОВКЕ

Козлов А.И., кандидат технических наук

Рассмотрим игровую задачу преследования одного управляемого объекта, движущегося в горизонтальной плоскости, другим управляемым объектом, движущимся в пространстве. Цель преследователя - достичь равенства координат и скоростей с убегающим, то есть совершить мягкую посадку. При этом убегающий может противодействовать догоняющему, выбирая тот или иной алгоритм убегания. Кроме того, в задаче присутствуют фазовые ограничения - преследователь не может пересечь плоскость, в которой движется убегающий. В работе предлагается метод численного решения этой задачи, позволяющий найти управление преследователя, обеспечивающее мягкую посадку при любом, заранее неизвестном управлении убегающего.

Как показано в работе [1], особенностью задачи о мягкой посадке в теоретико-игровой постановке является нарушение условий Понтрягина и их модификаций [2,3], что делает затруднительным использование для решения этой задачи методов, развитых в теории дифференциальных игр. В данной работе предлагается метод решения, основанный на сведении задачи о мягкой посадке к задаче оптимального быстродействия, которая затем решается численно с помощью принципа максимума Понтрягина. Для решения краевой задачи принципа максимума используется модификация метода Нелдера-Мида [4,5].

Пусть движение преследователя задается уравнением

$$\ddot{x} + \alpha \dot{x} = \rho u, \quad x, u \in R^3, \quad \|u\| \leq 1, \quad x = (x_1, x_2, x_3), \quad x_3 \geq 0, \quad (1)$$

где x_1, x_2 — координаты на плоскости, x_3 — высота, α — коэффициент сопротивления среды, $\rho > 0$ — параметр управления, $u(t)$ — управление. Движение убегающего задается уравнением

$$\ddot{y} + \beta \dot{y} = \sigma v, \quad y, v \in R^3, \quad \|v\| \leq 1, \quad y = (y_1, y_2, 0), \quad v = (v_1, v_2, 0), \quad (2)$$

где y_1, y_2 — координаты на плоскости, β — коэффициент сопротивления среды, $\sigma > 0$ — параметр управления, $v(t)$ — управление. Таким образом, убегающий все время движется в плоскости $x_3 = 0$. Преследователь должен совершить точную мягкую посадку, то есть за конечное время добиться выполнения равенств

$$x = y, \quad \dot{x} = \dot{y}. \quad (3)$$

Сведем сформулированную выше игровую задачу к задаче оптимального быстродействия [6]. Введем новую переменную

$$\Delta = x - y. \quad (4)$$

Вычитая уравнение (2) из уравнения (1) с учетом (4), получим

$$\ddot{\Delta} = -\alpha \dot{\Delta} + (\beta - \alpha) \dot{v} + \rho u - \sigma v. \quad (5)$$

Будем считать, что начальные координаты и скорости убегающего и преследователя заданы, тогда заданы начальные значения для переменной Δ . Рассмотрим следующую задачу оптимального быстродействия.

Объект описывается системой дифференциальных уравнений

$$\ddot{\Delta} = -\alpha \dot{\Delta} + w, \quad \Delta, w \in R^3, \|w\| \leq r, \quad (6)$$

при наличии фазовых ограничений $\Delta_3 \geq 0$. Начальное и конечное положение объекта задано

$$\Delta(0) = \Delta_0, \quad \dot{\Delta}(0) = V_{\Delta_0}, \quad (7)$$

$$\Delta(T) = 0, \quad \dot{\Delta}(T) = 0. \quad (8)$$

Необходимо найти управление $w(t)$, переводящее объект из заданного начального положения (7) в конечное положение (8) за минимально возможное время T .

Выполнение условий (8) будет означать для преследователя точную мягкую посадку. Зная значение управления $w(t)$ и значение скорости убегающего \dot{v} в каждый момент времени, нетрудно получить значение управления $u(t)$ преследователя, обеспечивающее мягкую посадку при любом допустимом управлении убегающего:

$$u = [(\alpha - \beta) \dot{v} + \sigma v + w] / \rho. \quad (9)$$

Из уравнения (5) следует, что для успешного решения задачи преследования ресурс преследователя по управлению должен быть достаточно велик, а именно

$$\|(\beta - \alpha) \dot{v} - \sigma v\| \leq \|(\beta - \alpha) \dot{v}\| + \|\sigma v\| \leq \beta - \alpha \cdot \frac{\sigma}{\beta} + \sigma < \rho. \quad (10)$$

С другой стороны, из выражения (9) при условии ограниченности управления u следует, что управление w также должно быть ограничено

$$w \in \rho D_3 - \sigma \left(1 + \left|1 - \frac{\alpha}{\beta}\right|\right) D_2. \quad (11)$$

Таким образом, при решении задачи оптимального быстродействия (6)-(8), будем выбирать управление из шара радиусом

$$r = \rho - \sigma \left(1 + \left|1 - \frac{\alpha}{\beta}\right|\right). \quad (12)$$

лежащего внутри множества (11).

Для решения задачи оптимального быстродействия (6)-(8) воспользуемся принципом максимума Понtryгина. Сведем систему (6) из трех уравнений второго порядка к системе из шести уравнений

первого порядка относительно переменных $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_6$. Функция Гамильтона-Понтрягина для системы (6) с учетом фазовых ограничений будет иметь вид

$$H = \psi_1 \Delta_2 + \psi_2 (-\alpha \Delta_2 + w_x) + \psi_3 \Delta_4 + \psi_4 (-\alpha \Delta_4 + w_y) + \psi_5 \Delta_6 + \psi_6 (-\alpha \Delta_6 + w_z) + \psi_7 \Delta_3, \quad (13)$$

где $\psi = (\psi_1, \dots, \psi_6)$ — вектор сопряженных переменных. Нетрудно видеть, что эта функция является линейной по независимым переменным w_x, w_y, w_z :

$$H(w_x, w_y, w_z) = C + \psi_2 w_x + \psi_4 w_y + \psi_6 w_z, \quad (14)$$

где C — величина, зависящая от оставшихся ψ, Δ, α .

Согласно принципу максимума Понтрягина оптимальное управление доставляет максимум функции $H(w_x, w_y, w_z)$ и при ограничениях $\|w\| \leq r$ имеет вид

$$w_x = \frac{r\psi_2}{\sqrt{\psi_2^2 + \psi_4^2 + \psi_6^2}}, \quad w_y = \frac{r\psi_4}{\sqrt{\psi_2^2 + \psi_4^2 + \psi_6^2}}, \quad w_z = \frac{r\psi_6}{\sqrt{\psi_2^2 + \psi_4^2 + \psi_6^2}}. \quad (15)$$

Объединяя сопряженную систему $\dot{\psi} = -\partial H / \partial \Delta$, систему (6), в которую подставим выражения для компонент управления (15), краевые условия (7) и (8), получаем краевую задачу принципа максимума, которую будем решать методом пристрелки.

Задав некоторые начальные условия для сопряженных координат $\psi(0) = \psi_0$, получим задачу Коши, которую можно проинтегрировать на промежутке от 0 до Т, используя один из известных численных методов, и найти значения фазовых координат $\Delta_1, \dots, \Delta_6$ в конечный момент времени Т. Для решения задачи оптимального управления необходимо найти минимум функции

$$\Phi(\psi_1(0), \psi_2(0), \dots, \psi_6(0), T) \cong \sum_{i=1}^6 \Delta_i(T)^2, \quad (16)$$

то есть такой набор начальных значений $\psi^*(0), \psi^{*2}(0), \dots, \psi^{*6}(0)$ и время Т, при которых сумма в правой части выражения (16) обращается в 0. Рассчитанное для таких $\psi^*(0)$ в соответствии с выражениями (15) управление $w(t)$ будет использоваться затем в выражении (9) для вычисления управления преследователя $u(t)$ давать решение задачи о мягкой посадке.

Для минимизации функции $\Phi(\psi_1(0), \psi_2(0), \dots, \psi_6(0), T)$ применим модифицированный метод Нелдера-Мида, который состоит в следующем.

Будем рассматривать задачу поиска минимума некоторой функции $F(x)$, заданной на параллелепипеде $\Pi_x = \{x \in E^n \mid a_i \leq x_i \leq b_i, i = 1, \dots, n\}$ при наличии ограничений типа неравенств $g_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, l$. Необходимо найти точку x^* , принадлежащую параллелепипеду, удовлетворяющую ограничениям и доставляющую минимум функции $F(x)$.

ШАГ 1. Переход в пространство нормированных независимых переменных x . Зададим начальную точку x_H , и перейдем от параллелепипеда Π_x к кубу $K_x = \{x' \in E^n | 0 \leq x'_i \leq 1, i = 1, \dots, n\}$, выполнив нормировку независимых переменных. В дальнейшем для удобства будем опускать штрих.

ШАГ 2. Выбор начального симплекса. Построим внутри куба K_x регулярный симплекс (правильный многогранник с $n+1$ вершиной), одна из вершин которого совпадает с точкой x_H . Координаты векторов, соответствующих вершинам симплекса, будем хранить в таблице X размером $n+1$ на n . I-ая строка таблицы будет соответствовать i-ой вершине симплекса, а j-ый столбец - j-ой компоненте i-ой вершины. Таким образом, первая строка этой таблицы будет содержать компоненты вектора x_H . Элементы этой таблицы определяются выражениями:

$$X_{ii} = X_{1i} + s \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{-1 + \sqrt{n+1}}{nk}, \quad X_{i+1j} = X_{1i} + s \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{n-1 + \sqrt{n+1}}{nk}. \quad (17)$$

Здесь k - величина, определяющая размер начального симплекса, а s определяет направленность симплекса внутри куба K_x . При построении таблицы X проверяется, чтобы каждая вершина начального симплекса удовлетворяла ограничениям. Если какая-либо вершина не удовлетворяет ограничениям, размер начального симплекса уменьшается вдвое и строится новый начальный симплекс. После того, как таблица X создана, построим вектор F_V , компонентами которого являются значения функции $F(x)$ для соответствующих строк таблицы X , т.е. значения функции, соответствующие вершинам симплекса.

ШАГ 3. Построение следующего симплекса. Выбираем в таблице X строку, которой соответствует максимальная компонента вектора F_V . Пусть эта строка имеет номер M . Следующим шагом является отбрасывание этой вершины как наихудшей и построение нового симплекса, который содержит все оставшиеся вершины и еще одну новую вершину, которая получается отображением отбрасываемой вершины относительно центра тяжести противоположной грани симплекса. При этом построение нового симплекса может осуществляться либо в один, либо в несколько шагов в зависимости от значения функции в новой вершине и от того, удовлетворяет ли новая вершина ограничениям. При этом симплекс на определенной итерации теряет регулярность и уменьшается. Координаты новых вершин могут задаваться выражениями

$$x_i^H = 2 \cdot \frac{s}{n} - x_{Mj}, \quad x_i^H = 0.5 \cdot \frac{s}{n} + 0.5x_{Mj}, \quad x_j^H = 1.5 \cdot \frac{s}{n} + 0.5x_{Mj}. \quad (18)$$

Кроме того, если новая вершина не удовлетворяет ограничениям, используется метод деления пополам отрезка, соединяющего новую и старую вершины.

Шаг 3 представляет собой основной цикл метода, который выполняется до тех пор, пока максимальное среди всех расстояний от вершин симплекса до вершины, которая считается наилучшей, не

станет меньше некоторой наперед заданной величины. Это происходит, когда симплекс сжимается достаточно сильно, т.е. на каждой итерации координаты вершин симплекса мало отличаются друг от друга. К этому критерию останова можно также добавить критерий малого отличия значений функции $F(x)$, соответствующих различным вершинам симплекса.

Как видно, метод чрезвычайно прост в реализации. Практическое использование метода для решения различных задач оптимизации показало его высокую надежность, особенно для задач, в которых неизвестны аналитические зависимости минимизируемых функций от независимых переменных.

Сформулированная выше задача оптимального быстродействия имеет при численном решении ряд особенностей.

1. В задаче имеются фазовые ограничения. Предложенный метод позволяет легко учесть эти ограничения при численном интегрировании задачи Коши введением штрафа за их нарушение, который добавляется к значению минимизируемой функции, в результате чего минимизируемая функция не обращается в ноль на решениях, нарушающих фазовые ограничения.

2. При решении сформулированной выше задачи оптимального быстродействия минимизируемая функция $\Phi(\psi_1(0), \psi_2(0), \dots, \psi_6(0), T)$, как показали расчеты, не всегда является выпуклой, что делает невозможным применение некоторых градиентных методов. Поэтому в ШЛГ¹ З метода были внесены изменения, позволяющие учесть случаи попадания симплекса на вогнутую поверхность. Как показали расчеты, внесенные изменения значительно повысили эффективность метода при численном решении задач оптимального быстродействия.

На рис. 1 показаны управление преследователя, найденные путем численного решения описанной выше задачи при следующих начальных данных:

$$\alpha = 0.1, \rho = 1, x_1 = 1, x_2 = 2, x_3 = 3, Vx_1 = 0.6, Vx_2 = -0.3, Vx_3 = 0.2, \quad (19)$$

$$\beta = 0.2, \sigma = 0.5, y_1 = 0, y_2 = 0, Vy_1 = -0.2, Vy_2 = 0.5. \quad (20)$$

Убегающий формировал свое управление в соответствии с законом

$$v = \frac{y - x + \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha} \dot{y} - \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha} \dot{x}}{\left\| y - x + \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha} \dot{y} - \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha} \dot{x} \right\|}. \quad (21)$$

На рис. 2 показаны траектории движения преследователя и убегающего. Преследователь движется в пространстве, убегающий — в плоскости xOy. Мягкая посадка была осуществлена через 10.7245 сек.

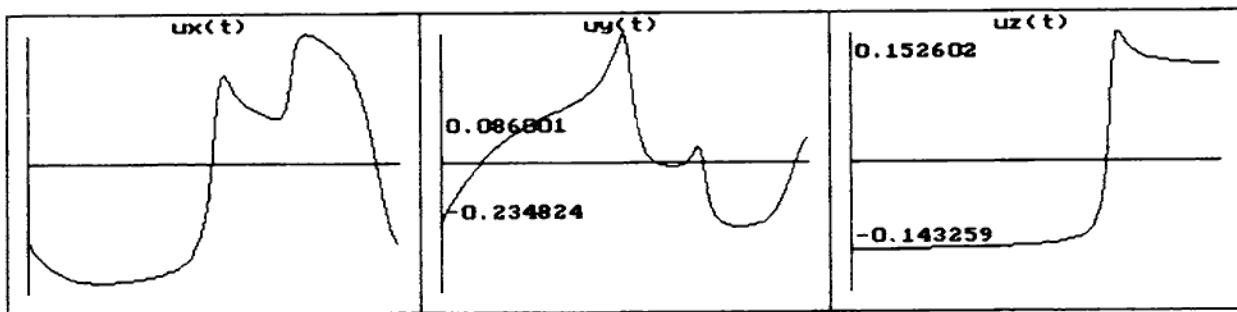


Рис. 1. Компоненты управления преследователя

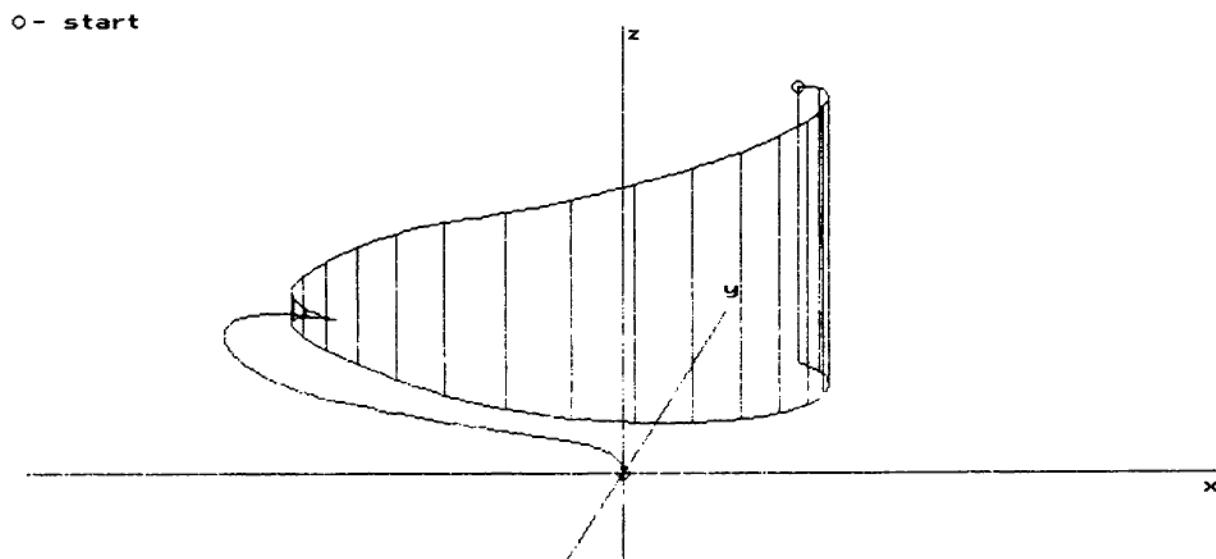


Рис 2. Траектории движения преследователя и убегающего

Литература.

1. Albus J., Meystel A., The Eagle Snatch. Intelligent Systems: A Semiotic Perspective, Proceedings of the 1996 International Multidisciplinary Conference, NIST, Gaithersburg, 1996, USA.
2. Chikrii A.A., Conflict Controlled Processes. – Kluwer Academic Publishers. Boston-London-Dordrecht, 1997. – 427 р.
3. Чикрий А.А., Конфликтно управляемые процессы. – Киев: Наукова думка, 1992. – 384 с.
4. Банди Б. Методы оптимизации. – Москва: Радио и связь, 1998. – 128 с.
5. Козлов А.И., Исследование и алгоритмическая реализация нелинейной схемы компромиссов: Автореферат дис. канд. тех. наук. – Киев: ИК НАНУ, 1995. – 17 с.
6. Никольский М.С., Первый прямой метод Понтрягина в дифференциальных играх. – Москва: Издательство МГУ, 1984. – 65 с.

ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Козлова М. Г., ассистент

В статье рассмотрена модель и разработан алгоритм принятия оптимального решения на основе имеющейся начальной информации в виде знаний. В основе подхода лежит каноническое представление задач псевдобулевой оптимизации в форме с дизъюнктивным ограничением.

Развитие информатики, важность проблемы интеллектуализации программного обеспечения, растущий спрос на новые информационные технологии – определяют актуальность разработки моделей принятия решений, практически пригодных для использования в сферах производства и управления. Важнейшим направлением современной теоретической и прикладной информатики является разработка и исследование моделей принятия решений на основе знаний как специальной формы представления информации. Знаниеориентированные (knowledge-based) модели привлекают математиков-прикладников как объект теоретических исследований, направленных на изучение полноты представления, адекватности, точности, и имеют практическое значение как основа принятия решений в экспертных системах и системах поддержки принятия решений. Они востребованы разработчиками экспертных систем и в значительной степени определяют прогресс в области искусственного интеллекта [1].

Теоретическое значение моделей принятия решений при неполной информации состоит в расширении методов прикладной математики, в частности, развитии методов оптимизации, применимых для широкого класса информационных систем с повышенным уровнем интеллектуализации.

Под принятием решений обычно понимается выбор наиболее предпочтительного варианта достижения поставленной цели из некоторого множества допустимых альтернатив. Такой выбор традиционно рассматривается как одна из составляющих кибернетического подхода и практически воплощается в большинстве современных интеллектуализированных информационных систем [2].

В существующих интеллектуальных системах для формализации задачи представления знаний используются фреймовые, реляционные, вычислительные, графовые, продукционные, логические модели и семантические сети. Тем не менее проблема представления знаний и их использования для решения практических задач далека от полного разрешения.

При рассмотрении этой проблемы выделим два аспекта: собственно содержание знаний и форму их представления. Обладая свойством универсальности по отношению к содержанию знаний, указанные модели не являются таковыми относительно формы представления знаний. Это обстоятельство усложняет процесс внесения знаний, поскольку требуется преобразование представления знаний из естественного для той или иной предметной области в допускаемое конкретной моделью.

В своей тьюринговской лекции [3] профессор Е.Фейгенбаум отметил особенную важность представления знаний в форме правил и широкое распространение и полезность знаниеориентированных технологий для использования при проектировании интеллектуализированных информационных систем. Практическое использование продукционных систем, баз знаний (БЗ), определило важность разработки знаниеориентированных оптимизационных моделей выбора решений, существенно более сложных по сравнению с моделями вычисления свойств (вывода предикатов).

Сложность нахождения элементов знаний, практического заполнения БЗ выдвинула проблему извлечения знаний. Наиболее приемлемым оказался подход к извлечению знаний из эмпирики – путем анализа и обобщения прецедентов [4]. Последний подход, реализующий принцип эмпирической индукции, дополняет и обогащает дедуктивный подход на основе правил.

Целью настоящей работы является разработка модели и алгоритма принятия оптимального решения на основе имеющейся начальной информации в виде знаний (и, возможно, дополнительной информации в виде прецедентов). В основе подхода лежит каноническое представление задач псевдобулевой оптимизации в форме с дизъюнктивным ограничением (ПБО с ДНФО) [5]. При использовании начальной информации в виде продукционных знаний используется строгая формализация понятий «логическая продукция» и «логическая продукционная система», введенных в работе [6]. Все необходимые для понимания излагаемого подхода определения можно найти в работах [5-7]. Дополнительный материал можно найти в обзора [1, 8]. Излагаемые далее результаты частично анонсированы в работах автора [1,2,11].

Определим множество $B^n = \{0,1\}^n$ – единичный n -мерный куб. Функции вида $F: B^n \rightarrow \mathbf{R}$ называются псевдобулевыми. Класс таких функций обозначают $PS_2(n)$.

В общем случае однокритериальные псевдобулевые модели имеют вид:

$$\text{extr } F(\tilde{x}), \quad \tilde{x} \in \Omega \subseteq B^n, \quad F(\tilde{x}) \in PS_2(n), \quad (1)$$

где Ω – область допустимых решений. Если ввести характеристическую функцию

$$f_\Omega(\tilde{x}) = \begin{cases} 1, & \tilde{x} \in \Omega \\ 0, & \tilde{x} \in B^n \setminus \Omega \end{cases}$$

то задачу (1) можно представить в виде:

$$\text{extr } F(\tilde{x}), \quad f_\Omega(\tilde{x}) = 1, \quad f_\Omega(\tilde{x}) \in P_2(n), \quad \tilde{x} \in B^n, \quad F(\tilde{x}) \in PS_2(n). \quad (2)$$

Рассмотрим произвольную дизъюнктивную нормальную форму (ДНФ) для функции $f_\Omega(\tilde{x})$:

$$D_{f_\Omega}(\tilde{x}) = \bigvee_{j=1}^m K_j, \quad \text{где } K_j = x_{j_1}^{\sigma_{j_1}} \& \dots \& x_{j_r}^{\sigma_{j_r}}, \quad x_{j_k}, \sigma_{j_k} \in \{0,1\}, k = \overline{1, r_j}, j = \overline{1, m}.$$

Тогда задача, эквивалентная задачам (1) и (2), имеет вид:

$$\text{extr } F(\tilde{x}), \quad D_{f_\Omega}(\tilde{x}) = 1, \quad \tilde{x} \in B^n, \quad F(\tilde{x}) \in PS_2(n). \quad (3)$$

Задача (3) называется задачей псевдобулевой оптимизации с дизъюнктивным ограничением. Задачи псевдобулевой оптимизации с дизъюнктивным ограничением возникли при использовании кибернетических методов решения задач синтеза дискретных решающих алгоритмов.

Синтез ДНФ $D_{f_\alpha}(\tilde{x})$ более сложен, чем решение задачи (3), так как этот вопрос тесно связан с проблемой минимизации дизъюнктивных нормальных форм.

Будем опираться на следующий фундаментальный факт.

Любая задача скалярной псевдобулевой условной оптимизации может быть представлена в канонической форме с дизъюнктивным ограничением [5]:

$$\text{extr } F(\tilde{x}), \quad \bigvee_{j=1}^m x_{j_1}^{\sigma_{j_1}} \& \dots \& x_{j_r}^{\sigma_{j_r}} = 1. \quad (4)$$

Заметим, что если существует дополнительная информация о значении экстремума целевой функции, то задача (4) сводится к исследованию множества, заданного дизъюнктивным ограничением, которое содержит дизъюнкцию, соответствующую целевой функции.

Для определения модели (4) функция F и ДНФ-ограничение должны быть заданы полностью. В реальных моделях, как правило, дана только часть информации на множестве вариантов или правил, и, следовательно, возникает задача с неполной начальной информацией.

Класс задач псевдобулевой оптимизации, представимых в форме с ДНФ-ограничением, включает такие задачи, как задача о ранце, задача коммивояжера и другие известные NP -полные задачи.

Каноническая модель является исчерпывающей в своем классе в силу полноты, устанавливаемой моделью (4). Левая часть единственного ограничения в (4) является дизъюнктивной нормальной формой характеристической функции множества Ω . Существование логической системы продукции (ЛСП), позволяющей выводить целевой факт $g_o = " \tilde{x} - \text{допустимое решение}"$, становится очевидным при рассмотрении рис. 1.

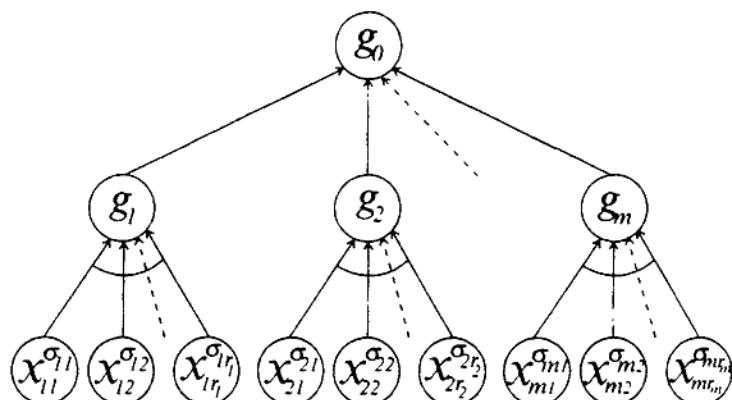


Рис.1. И/ИЛИ граф ДНФ-ограничения канонической модели.

Соответствующая графу на рис. 1 ЛСП имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{j_1}^{\sigma_{j_1}}, \dots, x_{j_{r_j}}^{\sigma_{j_{r_j}}} \rightarrow g_j; \\ g_j \rightarrow g_o; j = \overline{1, m}. \end{array} \right.$$

И/ИЛИ граф ограничения канонической модели является трехъярусным. Легко показать, что любой граф ЛСП, не имеющий циклов, может быть сведен к трехъярусному и представлен в виде ДНФ.

Теперь можно сформулировать требование, предъявляемое к БЗ системы принятия решений. Если решения должны удовлетворять некоторым ограничениям, то ЛСП должна обеспечивать возможность вывода целевых предикатов, соответствующих этим ограничениям. Группе ограничений, которые должны выполняться одновременно, соответствует вершина типа «И». Вопрос полноты знаний об ограничениях в БЗ является важным, но он изучается отдельно в теории знаниеориентированных систем. Отметим, что ДНФ ограничение может быть получено путем обучения по эмпирической (прецедентной) информации [8], а также при помощи дуального [7] и других гибридных подходов.

Для синтеза ДНФ по заданным ЛСП были разработаны *D*- и *DS*-алгоритмы [6], реализующие, соответственно, стратегии «сверху вниз» и «снизу вверх». Если знаниеориентированный подход к построению ограничений в моделях принятия решений достаточно легко объясняется в терминах производств, то при формировании знаний о целевой функции и их извлечении при синтезе модели ситуации сложнее.

Поскольку любую задачу псевдобулевой оптимизации можно представить в эквивалентной форме с ДНФ-ограничением, то это справедливо для задач с линейной целевой функцией. Следовательно, решение любой линейной задачи теоретически можно осуществлять по такой схеме:

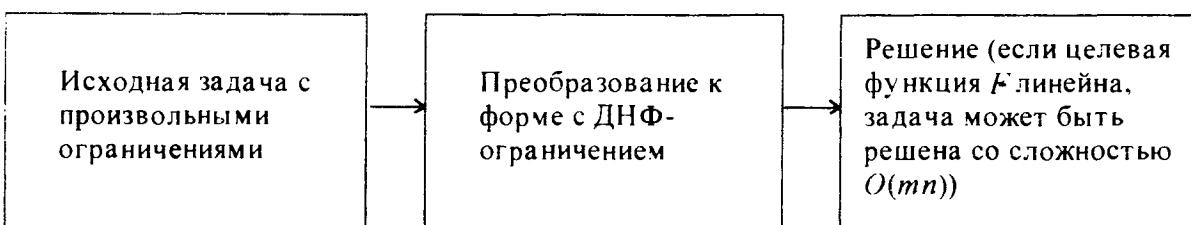


Рис.2. Решение задачи псевдобулевой оптимизации, приведенной к форме с ДНФ-ограничением.

Как правило, задачи псевдобулевой оптимизации не приведены к форме с дизъюнктивным ограничением. Они представляются в такой форме, когда используются кибернетические методы синтеза дискретных моделей принятия решений, основанные на И/ИЛИ правилах.

Схему решения знаниеориентированных задач с неполной начальной информацией можно представить в виде

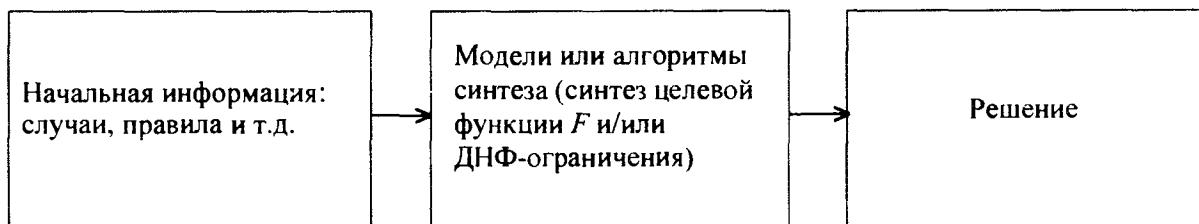


Рис.3. Решение задачи с неполной начальной информацией.

Две схемы, приведенные на рис. 2, 3, имеют следующее общее свойство: второй этап в каждой из трехэтапных схем имеет, как правило, неполиномиальную сложность.

Полученное в работе [5] утверждение: каждая псевдобулева функция $F(\tilde{x})$ может быть представлена в виде полинома над полем вещественных чисел:

$$F(\tilde{x}) = \sum_{j=1}^{k_j} c_j x_{j_1} \dots x_{j_{r_j}} + c_0, \quad c_j \in R, \quad j = 0, \overline{k},$$

показывает, что любая целевая функция в канонической модели имеет не более чем полиномиальную сложность, и это сразу же подсказывает, какие знания об этой функции можно использовать. Например, полезна такая информация:

- 1) линейность (нелинейность);
- 2) знаки коэффициентов целевой функции (положительность, отрицательность или равенство нулю, указывающее на невхождение переменной в целевую функцию);
- 3) значения функции в некоторых точках (предикаты).

В случае наличия такой информации ее можно считать знаниями, имеющими вид фактов – изначально истинных предикатов: « F – линейна» или « $F(\tilde{x}) = c_1 x_1 + \dots + c_n x_n$ », « $c_j < 0$ », « $c_k = 0$ » и т.д. Знания о знаках, с точки зрения экспертов, вполне естественны и часто известны: эксперт может оценить ситуацию, если предикат x_j выполнится.

Наиболее продуктивным является использование знаний для канонической модели, то есть модели в виде задачи оптимизации линейной функции в форме с дизъюнктивным ограничением. Такой подход не сужает проблему в силу следующего факта: для любой нелинейной задачи оптимизации функции $F \in PS_2(n)$ найдется эквивалентная ей задача оптимизации линейной функции $G \in PS_2(\mu)$ в форме с дизъюнктивным ограничением, где μ – число слагаемых приведенного полинома для функции F без учета свободного члена [5].

При таком подходе даже небольшое количество знаний о целевой функции канонической модели в некоторых случаях позволяет получить точное решение. В [8] описан подход к синтезу решений

при наличии значений линейной целевой функции в некоторых точках, основанный на построении выпуклого многогранного конуса, заведомо содержащего неизвестный вектор коэффициентов. Ниже представлен метод, использующий минимальное число начальных данных.

Рассмотрим алгоритм принятия решения на основе начальной информации в виде знаний.

Будем считать, что информация о целевой функции F в канонической модели (4) представлена следующими достоверными знаниями: F – линейная функция, то есть имеет вид $F(\tilde{x}) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n + c_0$ и для каждого $i = \overline{1, n}$ является истинным только один из трех предикатов: « $c_i > 0$ », « $c_i < 0$ », « $c_i = 0$ ». Не теряя общности, будем считать, что отыскивается максимум функции F .

$$\max \sum_{i=1}^n c_i x_i, \quad \prod_{j=1}^m x_j^{\alpha_{j,i}} \dots x_{j,n}^{\alpha_{j,n}} = 1, \quad \tilde{x} \in B^n. \quad (5)$$

Обозначим $N_j = \{\tilde{x} : x_{j,1} = \sigma_{j,1}, \dots, x_{j,n} = \sigma_{j,n}\}$ – интервал, состоящий из всех булевых наборов, на которых j -я конъюнкция ДНФ-ограничения канонической модели обращается в единицу. Область допустимых решений $\Omega = \bigcup_{j=1}^m N_j$. Тогда задача (5) может быть представлена в эквивалентной форме

$$\max \sum_{i=1}^n c_i x_i, \quad \tilde{x} \in \bigcup_{j=1}^m N_j.$$

Экстремальное решение задачи в каждом интервале ($\tilde{x} \in N_j \subset \Omega$) достигается в любой точке $\tilde{\alpha}_j = (\alpha_{j,1}, \dots, \alpha_{j,n}) \in N_j$, удовлетворяющей следующему условию для каждого $i = \overline{1, n}$:

$$\alpha_i^* = \begin{cases} \sigma_i, & i \in I_+; \\ 1, & (i \notin I_+) \wedge (c_i > 0); \\ 0, & (i \notin I_+) \wedge (c_i < 0); \\ \delta, & (i \notin I_+) \wedge (c_i = 0). \end{cases} \quad (6)$$

где $\delta \in \{0, 1\}$ – произвольное значение, $I_+ = \{j_1, \dots, j_{r_+}\}$.

Определение 1. Точка $\tilde{\beta}$ мажорирует точку $\tilde{\alpha}$ по критерию F (обозначение – $\tilde{\beta} \succ^F \tilde{\alpha}$) относительно начальной информации о знаках коэффициентов линейной функции F , если для любого $i = \overline{1, n}$ выполняется условие

$$[(\beta_i \geq \alpha_i) \& (c_i > 0)] \vee [(\beta_i \leq \alpha_i) \& (c_i < 0)] \vee (c_i = 0)$$

и одновременно найдется такое i , что $[(\beta_i > \alpha_i) \& (c_i > 0)] \vee [(\beta_i < \alpha_i) \& (c_i < 0)]$.

Предположим, что найдены множества экстремальных точек в каждом интервале. Обозначим их $A_1^*, \dots, A_j^*, \dots, A_m^*$. Любая точка $\tilde{\alpha}_j^* \in A_j^*$ удовлетворяет условию (6). В каждом из множеств A_j^* все точки по критерию F равноценны (значения $F(\tilde{\alpha}_j^*)$ одинаковы для всех $\tilde{\alpha}_j^* \in A_j^*$).

Определение 2. Подмножество допустимых решений называется \tilde{A} -паретовским, если оно получено из множества $\tilde{A} = \{A_1^* \cup \dots \cup A_m^*\}$ путем удаления из него всех точек, которые мажорируются хотя бы одной другой точкой из \tilde{A} .

\tilde{A} -паретовское множество легко вычисляется путем попарных сравнений точек из \tilde{A} с учетом очевидной транзитивности отношения " \succ^F ". Будем обозначать \tilde{A} -паретовское множество $\Pi(\tilde{A})$.

Утверждение 1. Если \tilde{A} -паретовское множество полностью содержится в некотором интервале N_j , соответствующем j -ой конъюнкции достоверного ДНФ-ограничения, то входящие в него точки исчерпывают все экстремальные решения задачи (4), даже при неполноту заданной начальной информации.

Действительно, пусть $\Pi(\tilde{A}) \subseteq N_j$. Тогда из условия (6) следует, что значения целевой функции F в каждой паре точек из $\Pi(\tilde{A})$ одинаковы, так как одинаковы значения функции F в каждой паре точек из N_j . Согласно включению $\Pi(\tilde{A}) \subseteq N_j$, точки из множества A_j^* в совокупности мажорируют все остальные точки экстремальных решений в интервалах множества

$$\Omega = \bigcup_{j=1}^m N_j.$$

Каждая мажорируемая точка, согласно определению 1, доставляет меньшее значение целевой функции по сравнению с мажорирующей ее точкой, что и доказывает утверждение .

Пример 1. Данна задача:

$$\max(c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3); \quad c_1 > 0; \quad c_2 < 0; \quad c_3 > 0; \quad x_1\bar{x}_2 \vee x_1\bar{x}_3 = 1.$$

Нулевых коэффициентов c_i нет, поэтому множества A_1^*, A_2^* содержат по одной точке: $\tilde{\alpha}_1^* = (1,0,1)$; $\tilde{\alpha}_2^* = (1,0,0)$; $\tilde{\alpha}_1^* \succ^F \tilde{\alpha}_2^*$. Экстремальное решение достигается в точке $\tilde{\alpha}_1^*$, $\Pi(A) = \{\tilde{\alpha}_1^*\} \subset N_{x_1x_2}$.

Условие утверждения 1 является достаточным для точного нахождения решения задачи (4) с указанной выше начальной информацией (знаниями) о целевой функции. Но оно, вообще говоря, может не выполняться.

Пример 2. Данна задача:

$$\max(c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3); \quad c_1 > 0; \quad c_2 < 0; \quad c_3 > 0; \quad x_2 \vee \bar{x}_1x_3 = 1, \quad \tilde{\alpha}_1^* = (1,1,1); \quad \tilde{\alpha}_2^* = (0,0,1);$$

$$\Pi(A) = \{\tilde{\alpha}_1^* \cup \tilde{\alpha}_2^*\} \quad \tilde{\alpha}_1^* \in N_{x_2}; \quad \tilde{\alpha}_2^* \in N_{x_1x_3}.$$

На основе начальной информации предпочтеть одну из двух точек из А-паретовского множества невозможно, потому что они не удовлетворяют отношению " \succ^F ". Необходимо привлечение дополнительной информации, то есть дополнительных знаний. В рассматриваемом случае, имея дополнительную информацию об истинности предиката " $|c_1| > |c_2|$ ", получаем:

$$F(1,1,1) = |c_1| - |c_2| + |c_3| > |c_3| = F(0,0,1).$$

при наличии такой достоверной дополнительной информации находится экстремальное решение $\tilde{\alpha}_1^*$.

Алгоритм решения в общем случае состоит в следующем:

1^o. Отыскивается множество $\Pi(\tilde{A})$.

2^o. Проверяется достаточное условие разрешимости (утверждение 1).

3^o. Если выполняется условие $\Pi(\tilde{A}) \subseteq N_j$, при некотором j , то экстремальные решения исчерпываются множеством точек $\Pi(A)$, и решение заканчивается.

4^o. Если условие $\Pi(\tilde{A}) \subseteq N_j$ не выполняется при любом $j = \overline{1, N}$, то у экспертов запрашиваются дополнительные знания: запросы формулируются в виде некоторых неравенств (так, в примере 2 запрос имеет вид " $|c_1| > |c_2|$ "?)

5^o. Если дополнительных знаний достаточно для выбора экстремальных решений, то выдается точный ответ, иначе выдается \tilde{A} -паретовское множество как набор альтернатив для окончательного выбора ЛПР.

Литература.

- Козлова М.Г. Системы поддержки принятия решений в современной информатике // Программы. системы, модели. – Симферополь, 1996. – № 2. – С.40-45.
- Козлова М.Г. Синтез дискретных моделей выбора решений на основе знаний // Международной науч. конф. «Интеллектуализация обработки информации». Алушта, 3-7 июня 1996 г.: Тез. докл. /КрАН. – Симферополь, 1996. – С.13-14.
- Feigenbaum E.A. How the «What» becomes the «How» // Communications of the ACM, 1996, 39, 5, p.97-104.

4. Chadha S.R., Mazlack L.J., Rick R.A. Using existing knowledge sources (cases) to build an expert system // Expert Systems, 1991, 8, 1, p.3-12.
5. Донской В.И. Задачи псевдобулевой оптимизации с дизъюнктивным ограничением // Журн.выч.матем. и матем.физики. – 1994. – 34, 3. С.461-472.
6. Донской В.И. Логические продукционные системы: анализ и синтез // Кибернетика и системный анализ. – 1994. – № 4. С.11-22.
7. Донской В.И. Дуальные экспертные системы // Изв.РАН Техническая кибернетика. – 1993. № 5. – С.111-119.
8. Donskoy V.I. Psevdo-Boolean Scalar Optimization Models with Incomplete Information // GMÖOR Newsletter , 1996, 1/2, p.20-26.
9. Донской В.И. Математические модели принятия решений при неполной информации: принципы разработки и синтетический подход // Программы, системы, модели. Симферополь, 1996. – №2. – С.6-17.
10. Донской В.И., Козлова М.Г. Модели принятия оптимальных решений на основе знаний // VI Международная конференция «Знания-диалог-решение». Ялта, 15-20 сентября 1997 г./ К.:АСПИС. 1997. - С.336-343.
11. Лукьяненко В.А., Руденко Л.И., Козлова М.Г. Принятие решений при неполных данных // VI Международная конференция «Знания-диалог-решение». Ялта, 15-20 сентября 1997 г./ К.:АСПИС. 1997. – С.373-380.

ПРОСТРАНСТВА ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕГУЛЯРНОГО КВАЗИДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

Кужель А.В., доктор физико-математических наук, профессор

1. Квазипроизводные

Напомним необходимые для дальнейшего основные понятия и обозначения (см., например, [1, 2]).

В гильбертовом пространстве $L_2(a,b)$, где (a,b) – конечный интервал, рассмотрим вещественные функции p_k ($k = \overline{0,n}$), удовлетворяющие условиям:

$$1) \int_a^b \frac{dx}{|P_0(x)|} < \infty, \quad 2) \int_a^b |P_k(x)| dx < \infty \quad (k = \overline{1,n}). \quad (1)$$

Для некоторых функций f из $L_2(a,b)$ имеют смысл выражения $f^{(k)}$ (квазипроизводные выражения, или: квазипроизводные функции), которые определяются следующим образом:

$$\begin{cases} f^{(0)} = f, \quad f^{(k)} = Df^{(k-1)} \quad (k = \overline{1,n-1}) \\ f^{(n)} = p_n \cdot Df^{(n-1)}, \\ f^{(r+k)} = p_r \cdot f^{(r-n)} - Df^{(r-n+k-1)} \quad (k = \overline{1,n}). \end{cases} \quad (2)$$

где $(Df)(x) = \frac{df(x)}{dx}$.

Таким образом, на основании (2),

$$f^{[k]} = f^{(k)} \quad (k = \overline{0,n-1}),$$

$$f^{[n]} = p_0 f^{(n)},$$

$$f^{[n+1]} = p_1 f^{(n-1)} - D[p_0 f^{(n)}],$$

$$f^{[n+2]} = p_2 f^{(n-2)} - D[p_1 f^{(n-1)} - D[p_0 f^{(n)}]]$$

.....

В частности,

$$f^{[2n]} = p_n f - D[p_{n-1} f^{(1)} - D[p_{n-2} f^{(2)} - K - D[p_1 f^{(n-1)} - D[p_0 f^{(n)}] K]].$$

Если при этом функция p_k ($k = \overline{0,n}$) дифференцируема $n-k$ раз, то для $2n$ раз дифференцируемой функции f квазипроизводная $f^{[2n]}$ может быть записана в форме Якоби – Бертрана:

$$f^{[2n]} = \sum_{k=0}^n (-1)^k (p_{n-k} f^{(k)})^{(k)}. \quad (3)$$

Рассмотрим линеал D_* функций из $L_2(a,b)$, для которых квазипроизводные $f^{[k]}$ ($k = \overline{0, 2n-1}$) существуют и абсолютно непрерывны, а $f^{[2n]} \in L_2(a,b)$.

После соответствующих преобразований убеждаемся, что для любых функций f и g из D_* имеет место равенство

$$f^{[2n]} g - \frac{1}{p_0} f^{[n]} g^{[n]} = \sum_{k=0}^{n-1} p_{n-k} f^{[k]} g^{[k]} - D \sum_{k=1}^n f^{[2n-k]} g^{[k-1]} \quad (4)$$

При обосновании этого равенства удобно воспользоваться соотношением

$$D f^{[2n-k]} = p_{n-k+1} f^{[k-1]} - f^{[2n-1-k]},$$

которое следует непосредственно из последнего равенства в (2) после замены k на $n-k+1$.

С помощью (4) получаем известное тождество Лагранжа:

$$f^{[2n]} \bar{g} - f \bar{g}^{[2n]} = \frac{d}{dx} [f, g]_x, \quad (5)$$

где

$$[f, g]_x = \sum_{k=1}^n \left(f^{[k-1]}(x) g^{[2n-k]}(x) - f^{[2n-k]}(x) g^{[k-1]}(x) \right). \quad (6)$$

Интегрируя почленно (6) в пределах от a до x ($a < x < b$), устанавливаем важное тождество Лагранжа в интегральной форме:

$$\int_a^x (f^{[2n]} \bar{g} - f \bar{g}^{[2n]}) dx = [f, g]_x - [f, g]_a. \quad (7)$$

И, в частности, при $x = b$

$$(f^{[2n]}, g) - (f, g^{[2n]}) = [f, g]_b - [f, g]_a. \quad (8)$$

2. Квазидифференциальные системы

Пусть c_k ($k = \overline{0, 2n-1}$) – некоторые комплексные числа, а x_0 – фиксированная точка из $[a, b]$. Тогда, как известно (см., например, [1]), справедлива следующая

Теорема 1. Для произвольной функции h из $L_2(a,b)$ квазидифференциальная система

$$\begin{cases} f^{[2n]} = h, \\ f^{[k]}(x_0) = c_k \quad (k = \overline{0, 2n-1}) \end{cases}$$

имеет одно и только одно решение $f \in D_*$.

Рассмотрим линеал

$$N_0 = \{g \in D_* | g^{(2n)} = 0\}. \quad (9)$$

С учетом теоремы 1 нетрудно убедиться, что $\dim N_0 = 2n$. Базисом линеала N_0 являются, в частности, вещественные решения g_m ($m = \overline{1, 2n}$) уравнения $g^{(2n)} = 0$, удовлетворяющие начальным условиям

$$g^{(k-1)}(a) = \delta_{mk} \quad (k = \overline{1, 2n}), \quad (10)$$

где δ_{mk} – символ Кронекера.

3. Квазидифференциальный оператор Т

Рассмотрим оператор T , определяемый на линеале

$$D(T) = \{f \in D_* | f^{(k)}(a) = f^{(k)}(b) = 0 \quad (k = \overline{0, 2n-1})\} \quad (11)$$

равенством

$$Tf = f^{(2n)} \quad (f \in D(T)). \quad (12)$$

На основании (6) и (11)

$$[f, g]_v = [f, g]_s = 0$$

и, следовательно, с учетом равенств (8) и (12).

$$(Tf, g) = (f, g^{(2n)}) \quad (f \in D(T), \quad g \in D_*). \quad (13)$$

В частности, если $g \in D(T)$, то из равенств (12) и (13) следует, что оператор T эрмитов. Более того, как известно, оператор T плотно определен и, следовательно, является симметрическим. При этом оператор T^* определяется равенством

$$T^*f = f^{(2n)} \quad (D(T^*) = D_*). \quad (14)$$

4. Регулярные расширения оператора Т

Введем обозначение:

$$f[x] = (f^{(0)}(x), f^{(1)}(x), f^{(2)}(x), \dots, f^{(2n-1)}(x)). \quad (15)$$

Тогда выражение $[f, g]_v$, определяемое равенством (6), можно переписать в виде

$$[f, g]_v = f[x]Ug^*[x], \quad (16)$$

где

$$U = \begin{pmatrix} 0 & U_1 \\ U_1 & 0 \end{pmatrix}, \quad U_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & K & 0 & 1 \\ 0 & 0 & K & 1 & 0 \\ K & K & K & K & K \\ 0 & 1 & K & 0 & 0 \\ 1 & 0 & K & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (17)$$

причем U_1 – унитарная матрица порядка n .

Рассмотрим $4n$ -мерное пространство \mathbb{C}^{4n} и отображение W :

$$W: D_* \rightarrow \mathbb{C}^{4n}, \quad W(f) = x, \quad (18)$$

где $f \in D_*$, а компоненты вектора

$$x = (x_1, x_2, K, x_{2n}, x_{2n+1}, K, x_{4n}) \quad (19)$$

определяются равенствами

$$x_k = f^{[k-1]}(a), \quad x_{2n+k} = f^{[k-1]}(b), \quad (k = \overline{1, 2n}).$$

Если при этом

$$\hat{X} = \{W(f) | f \in X, X \subset D_*\}, \quad (20)$$

то

$$D(T) = \{0\}, \quad D(T^*) = \mathbb{C}^{4n}.$$

Пусть B – регулярное расширение [3] оператора T , то есть $T \subset B$ и

$$(Tf, g) = (f, Bg) \quad (f \in D(T), g \in D(B)).$$

Так как оператор T симметрический, то $B \subset T^*$ и, таким образом,

$$Bg = g^{[2n]} \quad (g \in D(B)).$$

При этом, с учетом равенств (8) и (13),

$$[f, g]_h - [f, g]_a = 0.$$

Последнее равенство, на основании соотношений (15), (16) и (19) можно переписать в виде

$$0 = [f, g]_a - [f, g]_h = x \tilde{J} y^* = (x \tilde{J} y)_0, \quad (21)$$

где $(\cdot, \cdot)_0$ – скалярное произведение в \mathbb{C}^{4n} ,

$$y = (g^{[0]}(a), g^{[1]}(a), K, g^{[2n-1]}(a), g^{[0]}(b), g^{[1]}(b), K, g^{[2n-1]}(b)),$$

а $4n$ -матрица

$$\tilde{J} = \begin{pmatrix} 0 & U \\ -U & 0 \end{pmatrix},$$

где матрица U определяется равенствами (17), удовлетворяет условиям

где матрица U определяется равенствами (17), удовлетворяет условиям

$$\tilde{J}^* = -\tilde{J}, \quad \tilde{J}^2 = -E,$$

где E – единичная матрица порядка $4n$.

Рассматривая в \mathbb{C}^{4n} оператор J , определяемый равенством

$$Jx = x \cdot \tilde{J} \quad (x \in \mathbb{C}^{4n}),$$

можем переписать (21) в виде

$$[f, g]_a - [f, g]_b = (Jx, y)_0. \quad (22)$$

Если $B \in P(T)$, то, используя соотношения (8)) и (22), получим:

$$0 = (Bf, g) - (f, B^*g) = (Jx, y)_0. \quad (23)$$

А так как $x \in \hat{D}(B)$, $y \in \hat{D}(B^*)$, то приходим к заключению, что линеалы $J\hat{D}(B)$ и $\hat{D}(B^*)$ ортогональны, причем

$$J\hat{D}(B) \oplus \hat{D}(B^*) = \mathbb{C}^{4n}. \quad (24)$$

В частности, если B – самосопряженное расширение оператора T , то

$$J\hat{D}(B) = \hat{D}(B), \quad J\hat{D}(B) \oplus \hat{D}(B) = \mathbb{C}^{4n}. \quad (25)$$

Имеет место, как легко видеть, и обратное утверждение: если выполняются соотношения (25), то B – самосопряженный оператор.

Простейшим (и важным во многих вопросах) примером самосопряженного расширения оператора T есть оператор \tilde{T} , который определяется граничными условиями

$$f^{(k)}(a) = f^{(k)}(b) = 0 \quad (k = \overline{0, n-1}). \quad (26)$$

Тот факт, что оператор \tilde{T} является самосопряженным, легко проверяется. Действительно, при условии (26) линеал $\hat{D}(\tilde{T})$ состоит из векторов x вида

$$x = (\underbrace{0, \dots, 0}_n, x_{n+1}, \dots, x_{2n}, \underbrace{0, \dots, 0}_n, x_{3n+1}, \dots, x_{4n})$$

и, следовательно, $\dim \hat{D}(\tilde{T}) = 2n$. Кроме того, для любых x и y из $\hat{D}(\tilde{T})$ $Jx \perp y$, где, как и прежде, оператор J определяется равенством $Jx = x \cdot \tilde{J}$. А это означает, что имеют место соотношения (25) и, таким образом, \tilde{T} – самосопряженный оператор.

Важность оператора \tilde{T} состоит, в частности, в том, что, как показано в работе М.Г.Крейна [2], в случае полуограниченности оператора T , оператор \tilde{T} является фридрихсовым расширением оператора T .

5. Пространства граничных значений оператора Т

На основании равенств (14) и (8), при любых f и g из линеала $D(T^*)$

$$(T^*f, g) - (f, T^*g) = [f, g]_b - [f, g]_a. \quad (27)$$

Или, с учетом равенства (16),

$$(T^*f, g) - (f, T^*g) = f[b]Ug^*[b] - f[a]Ug^*[a], \quad (28)$$

где вектор $f[x]$ определяется равенством (15), вектор $g[x]$ – аналогичным равенством, а матрица U – равенством (17).

Таким образом, с учетом выражения для матрицы U ,

$$U^2 = -E, \quad U^* = -U. \quad (29)$$

Пусть (X, Γ_1, Γ_2) – пространство граничных значений (ПГЗ) оператора T , который определяется условиями (11) и (12). Тогда, в соответствии с определением ПГЗ,

$$(T^*f, g) - (f, T^*g) = (\Gamma_1 f, \Gamma_2 g)_X - (\Gamma_2 f, \Gamma_1 g)_X. \quad (30)$$

В качестве X выберем 2n-мерное пространство $X = \mathbb{C}^{2n}$, а операторы Γ_1 и Γ_2 будем искать в виде

$$\Gamma_1 f = f[b]P + f[a]Q, \quad \Gamma_2 f = f[b]R + f[a]S, \quad (31)$$

где P, Q, R, S – некоторые фиксированные матрицы порядка $2n$.

С учетом (30) и (31) находим, что

$$\begin{aligned} (\Gamma_1 f, \Gamma_2 g)_X - (\Gamma_2 f, \Gamma_1 g)_X &= (\Gamma_1 f)(\Gamma_2 g)^* - (\Gamma_2 f)(\Gamma_1 g)^* = \\ &= f[b](PR^* - RP^*)g^*[b] + f[b](PS^* - RQ^*)g^*[a] + \\ &\quad + f[a](QR^* - SP^*)g^*[b] + f[a](QS^* - SQ^*)g^*[a] \end{aligned}$$

и, таким образом, равенство (28) будет иметь место при условии, что

$$\begin{cases} PR^* - RP^* = U, \\ PS^* - RQ^* = 0, \\ QS^* - SQ^* = -U. \end{cases} \quad (32)$$

Система (32) может быть записана в матричном виде

$$\begin{pmatrix} P & R \\ Q & S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & E \\ -E & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P^* & Q^* \\ R^* & S^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U & 0 \\ 0 & -U \end{pmatrix}, \quad (33)$$

где E – единичная $2n$ -матрица.

Отметим, что решения системы (32) существуют. Например, одним из ее решений является следующее:

$$P = \frac{1}{2}UR^{-*}, \quad Q = -P, \quad S = R,$$

где R – произвольная обратимая $2n$ -матрица. При таком условии равенства (31) перепишутся в виде:

$$\Gamma_1 f = (f[b] - f[a])P, \quad \Gamma_2 f = (f[b] + f[a])R.$$

Таким образом, если операторы Γ_1 и Γ_2 , отображающие $D(T^*)$ в X , определяются равенствами (31), где матрицы P, Q, R и S связаны соотношениями (32), то имеет место равенство (30).

Чтобы убедиться в том, что тройка (X, Γ_1, Γ_2) является пространством граничных значений оператора T , остается показать, что для произвольных векторов x и y из X в $D(T^*)$ найдется такой вектор f , что $\Gamma_1 f = x$, $\Gamma_2 f = y$. С этой целью вначале предположим, что система

$$\begin{cases} f[a]Q + f[b]P = x, \\ f[a]S + f[b]R = y, \end{cases} \quad (34)$$

разрешима относительно $f[a]$ и $f[b]$. Тогда, используя равенство (32), получим:

$$\begin{aligned} xS^* &= f[a]QS^* + f[b]PS^* = f[a](SQ^* - U) + f[b]RQ^* = \\ &= (f[a]S + f[b]R)Q^* - f[a]U = yQ^* - f[a]U. \end{aligned}$$

откуда следует (с учетом равенства $U^2 = -E$), что

$$f[a] = (xS^* - yQ^*)U. \quad (35)$$

Аналогично, рассматривая вектор yP^* , после соответствующих преобразований убеждаемся, что

$$f[b] = (yP^* - xR^*)U. \quad (36)$$

Покажем теперь, что и наоборот – если x и y – произвольные векторы из X , то векторы $f[a]$ и $f[b]$, определяемые равенствами (35) и (36), являются решениями системы (34).

Действительно, рассмотрим вектор $(f[b], f[a])$. В соответствии с (35) и (36),

$$(f[b], f[a]) = (x, y) \begin{pmatrix} -R^*U & S^*U \\ P^*U & -Q^*U \end{pmatrix}. \quad (37)$$

С другой стороны, умножая равенство (33) справа на матрицу $\begin{pmatrix} -U & 0 \\ 0 & U \end{pmatrix}$, после соответствующих преобразований получим равенство

$$\begin{pmatrix} P & R \\ Q & S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -R^*U & S^*U \\ P^*U & -Q^*U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & E \end{pmatrix}. \quad (38)$$

Из равенств (38) следует, что матрицы в левой части этого равенства обратимы и, таким образом,

$$\begin{pmatrix} -R^*U & S^*U \\ P^*U & -Q^*U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P & R \\ Q & S \end{pmatrix}^{-1}.$$

Умножая это равенство слева на вектор (x, y) и учитывая равенство (37), получим следующее равенство:

$$(f[b], f[a]) = (x, y) \begin{pmatrix} P & R \\ Q & S \end{pmatrix}^{-1},$$

откуда

$$(f[b], f[a]) \begin{pmatrix} P & R \\ Q & S \end{pmatrix} = (x, y)$$

и, следовательно,

$$f[b]P + f[a]Q = x,$$

$$f[b]R + f[a]S = y,$$

то есть векторы $f[a]$ и $f[b]$, определяемые равенствами (35) и (36), являются решениями системы (34).

Таким образом, тройка (X, Γ_1, Γ_2) , где $X = \mathbb{C}^{2n}$, а операторы Γ_1 и Γ_2 , определяются равенствами (31), есть пространство граничных значений симметрического оператора T .

Это дает возможность при исследовании различных классов регулярных (в частности – самосопряженных) расширений оператора T пользоваться общей теорией пространств граничных значений эрмитовых операторов.

Литература.

1. Наймарк М.А. Линейные дифференциальные операторы. – М.: Наука, 1969. – 526 с.
2. Крейн М.Г. Теория самосопряженных расширений полуограниченных эрмитовых операторов и ее приложения. II. // Математич. сб-к. – Т. 21, вып. 3. – 1947. – С. 365 – 404.
3. Kuzhel A.V. Characteristic Function and Nonself-Adjoint Operator Models. – Kluwer Academic Publishers, 1996. – 273 p.
4. Горбачук В.И., Горбачук М.Л. Граничные задачи для дифференциально-операторных уравнений. – К.: Наукова думка, 1984. – 283 с.

**КИСЛОРОДНЫЙ МОНИТОРИНГ, ПОРОГ АНАЭРОБНОГО ОБМЕНА (ПАНО),
КРОВООБРАЩЕНИЕ И ДЫХАНИЕ В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ
ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНА ПРИ ВОЗРАСТАЮЩИХ НАГРУЗКАХ.**

Ефименко А. М., доктор медицинских наук, профессор

Гончаров В. Ю.

Кислород (O_2) является акцептором электронов в системе окислительного фосфорилирования, необходим для ресинтеза АТФ, участвует в образовании CO_2 в цикле Кребса, а также, взаимодействуя с водородом (H^+), образует воду (H_2O) и предотвращает подкисление внутренней части клеток. При недостатке кислорода (гипоксия) замедляется образование АТФ, падает энергетический и функциональный потенциал клеток, а при прекращении поступления O_2 в ткани (аноксия) наступает гибель клеток (особенно коры головного мозга) в течение нескольких минут. Гипоксия тканей приводит к рефлекторному запуску срочных адаптивных реакций дыхательной и сердечно-сосудистой систем, которые начинают компенсировать недостаток O_2 увеличением лёгочной вентиляции и активацией кровообращения. Таким образом аэробная физическая работоспособность зависит от функционирования кислородтранспортной системы (дыхательной, сердечно-сосудистой и крови) по обеспечению и поддержанию pO_2 около митохондрий клеток на необходимом уровне (1-5 мм.рт.ст.). Парциальное давление кислорода (pO_2), начиная от вдыхаемого воздуха (159 мм.рт.ст.) и заканчивая митохондриями, снижается в виде каскада (Колчинская Л. З.). Ступенями кислородного каскада являются различные звенья сердечно-сосудистой, дыхательной систем, крови и тканей. В связи с этим поступление кислорода в клетки определяется и лимитируется работой и производительностью кислородтранспортной системы, а каждое звено может влиять на эффективность доставки O_2 в ткани. К числу факторов, определяющих максимальную аэробную работоспособность относятся лёгочная вентиляция (и её составляющие), центральные и периферические параметры гемодинамики (СО, СВ, ВВ, скорость капиллярного кровотока, число функционирующих капилляров и др.).

Центральные механизмы гемодинамики имеют решающее значение для транспорта O_2 , а периферические влияют на поступление O_2 из крови к митохондриям и в большей степени определяют эффективность использования O_2 тканями. Центральная гемодинамика поддаётся изучению достаточно хорошо; что же касается микроциркуляции, то, несмотря на большой интерес к этому вопросу, наши знания по физиологии капилляров и особенно по их функционированию при физических нагрузках остаются весьма ограниченными. Связано это, в первую очередь, с трудностью изучения гемодинамики и транспорта O_2 на капиллярном и тканевом уровнях. Однако, в последнее время с помощью полярографической техники удается прижизненно изучать процессы газообмена

между кровью и тканями, состояние капиллярного кровотока и кислородного режима клеток.

Учитывая многоступенчатость и многокомпонентность кислородного каскада организма, взаимосвязь всех его звеньев, изучение функциональных возможностей кислородтранспортной системы необходимо проводить комплексно и лучше в динамике при возрастающих мощностях физических нагрузок. Этим достигается включение всех звеньев и механизмов транспорта O_2 , выявление их недостатков и резервов.

В данной работе проводилась оценка функциональных резервов аэробной выносливости по показателям сердечно-сосудистой, дыхательной систем, кислородного режима тканей и ПАНО у спортсменов со значительным уровнем аэробной мощности ($\dot{V}O_{2\max}$) более $50 \text{ мл}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{мин}^{-1}$).

Исследовали две группы спортсменов разной квалификации, тренирующихся на выносливость, подобранных с практически одинаковыми величинами $\dot{V}O_{2\max}$. Первая группа ($n=13$) была представлена второ- и перворазрядниками, а вторая – к.м.с. и м.с. ($n=9$).

Аэробная производительность определялась по величине максимального потребления кислорода ($\dot{V}O_{2\max}$), аэробная экономичность – по порогу анаэробного обмена (ПАНО). $\dot{V}O_{2\max}$ и ПАНО устанавливали неинвазивным методом по динамике показателей газообмена и лёгочной вентиляции. Испытуемые выполняли велоэргометрическую нагрузку до отказа со ступенчато возрастающей мощностью. Мощность первой ступени – $1\text{Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$, прирост на каждой последующей ступени составлял $0.3\text{Вт}\cdot\text{кг}^{-1}$. Продолжительность каждой ступени – 3 мин. На последних 30 сек. каждой ступени осуществляли забор выдыхаемого воздуха для определения минутного объёма лёгочной вентиляции и газового анализа. Одновременно на электронном полиграфе П6Ч-01 регистрировали ЭКГ по Нэбу (отведение D), частоту дыхания с помощью манжеты и преобразователя ППВ-02, трансторакальную тетраполярную реограмму с помощью реографического блока с частотой зондирующего тока 40 kHz и точечных электродов ЭПСК-01, фиксируемых на теле двусторонними адгезивными кольцами; тетраполярную реоэнцефалограмму с помощью реографического блока с частотой зондирующего тока 70 kHz и подпружиненных электродов (в качестве защитных электродов использовали металлические кольца по краям фланцев измерительных электродов); дифференциальные реограммы при помощи блоков дифференцирования. Для снижения переходного сопротивления кожу обезжиривали спиртом, а электроды покрывали тонким слоем электродной пасты. Артериальное давление определяли измерителем ИАД-1. Регистрировали ряд показателей: минутный объём лёгочной вентиляции (\dot{V}_E), фракцию кислорода и двуокиси углерода в выдыхаемом воздухе, частоту сердечных сокращений (f_b) дыхания (f_d), ударный объём крови, индекс церебрального кровотока, систолическое и диастолическое артериальное давление. Одновременно

определяли расчётные параметры: минутное потребление кислорода, минутное выделение двуокиси углерода, долю используемого кислорода в выдыхаемом воздухе (ΔFO_2), дыхательный коэффициент, вентиляционный эквивалент кислорода и двуокиси углерода, кислородный пульс (LPI), ватт-пульс ($W \cdot f_b$), среднюю глубину дыхания, сердечный выброс, объёмную скорость церебрального кровотока, среднее динамическое давление. Напряжение кислорода ($p\text{O}_2$) в тканях бедра и надключичной области, а также капиллярный кровоток регистрировали непрерывно, в динамике полярографическим методом с помощью транскutanных оксимониторов – TCM2 (производство фирмы "Radiometer"). Датчики оксимониторов фиксировали с помощью специальных адгезивных колец на коже. Показания $p\text{O}_2$ в мм рт.ст. и величины локальной перфузии в относительных единицах (mW) постоянно высвечивались на экране дисплея и регистрировались на ленте самописца. Синхронно проводилась запись оксигемограммы и пневмограммы на фотооксигемографе 036.

Определение уровня функционального состояния кислородтранспортной системы при достижении МПК характеризовалось определёнными значениями. У первой группы спортсменов $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ составляло 53.2 ± 2.5 мл·кг $^{-1}$ ·мин $^{-1}$, критическая мощность нагрузки (\dot{W} кр.) – 1286 ± 46 кгм·мин $^{-1}$, \dot{V}_E кр. = 140 ± 8 л·мин $^{-1}$, ΔFO_2 кр. = $3.5 \pm 0.2\%$, f_b кр. = 193 ± 7 мин $^{-1}$, LPI кр. = 20.1 ± 0.6 мл. У второй группы $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}} = 53.1 \pm 1.8$ мл·кг $^{-1}$ ·мин $^{-1}$, \dot{W} кр. = 1359 ± 64 кгм·мин $^{-1}$, \dot{V}_E кр. = 128 ± 6 л·мин $^{-1}$, ΔFO_2 кр. = $3.7 \pm 0.2\%$, f_b кр. = 180 ± 5 мин $^{-1}$, LPI кр. = 20.6 ± 0.7 мл. При сопоставлении физической работоспособности и основных параметров кислородтранспортной системы у спортсменов двух групп достоверных различий на уровне критической мощности нагрузки не выявлено ($P > 0.05$). Это говорит об ограниченной информативности аэробной выносливости и функциональных резервов по уровню максимальной аэробной производительности.

Однако при исследовании фракционного использования максимальной аэробной производительности на уровне ПАНО установлено, что у более квалифицированных спортсменов физическая работоспособность оказалась значительно выше (на 26%, $p < 0.05$), чем у менее квалифицированных и составила 1093 ± 55 кгм·мин $^{-1}$ против 865 ± 39 кгм·мин $^{-1}$. Этот повышенный уровень аэробной выносливости обеспечивался более высокой степенью напряжения адаптивных реакций кардиореспираторной системы в зоне аэробно-анаэробного перехода. Об этом свидетельствуют более высокие уровни \dot{V}_E ПАНО и f_b ПАНО (85 ± 3 л·мин $^{-1}$, 163 ± 4 мин $^{-1}$) у спортсменов второй группы по сравнению с менее квалифицированными спортсменами первой группы (74 ± 4 л·мин $^{-1}$, 142 ± 6 мин $^{-1}$). Таким образом, более высокий уровень функционального состояния кислородтранспортной системы в зоне аэробно-анаэробного перехода позволяет высококвалифицированным спортсменам в течение длительного времени использовать большую долю аэробной производительности при мышечной деятельности. ПАНО составил у них

83±1% $\dot{V}O_{2\max}$ и 81±2% Wkr., что значительно выше (на 21-26%, p<0,05), чем у спортсменов первой группы, у которых ПАНО был на уровне 66±3% $\dot{V}O_{2\max}$ и 67±2% Wkr.

Степень напряжения кислородтранспортной системы при ПАНО отражает аэробный функциональный резерв организма, который можно оценить по относительным значениям её основных параметров (в % от значений при критической мощности нагрузки). Например, у спортсменов второй группы $\dot{V}_{E\text{ ПАНО}}=68\pm3\%$ от $\dot{V}_{E\text{ кр.}}$, $f_{h\text{ ПАНО}}=90\pm1\%$ от $f_{h\text{ кр.}}$, у спортсменов первой группы $\dot{V}_{E\text{ ПАНО}}=54\pm4\%$ от $\dot{V}_{E\text{ кр.}}$, $f_{h\text{ ПАНО}}=74\pm3\%$ от $f_{h\text{ кр.}}$. Таким образом, с повышением тренированности функциональный резерв дыхательной и сердечно-сосудистой систем возрастает. Нетрудно заметить, что функциональный резерв сердечно-сосудистой системы у высококвалифицированных спортсменов достигает своих предельных значений (до 90%), в то время, как у дыхательной, он существенно ниже (до 74%) и может ещё значительно возрастать при физической нагрузке. Поэтому сердечно-сосудистая система является наиболее важным лимитирующим звеном в системе доставки кислорода к тканям.

Проецируя изменения параметров кардиореспираторной системы на динамику pO_2 в тканях, можно отметить наличие нескольких типов взаимосвязи тканевого pO_2 с дыханием, центральным крово обращением и капиллярным кровотоком, а также со степенью насыщения крови кислородом и уровнем ПАНО. У менее квалифицированных спортсменов изменения pO_2 определялись преимущественно реакциями дыхательной системы и степенью насыщения крови кислородом, а у более квалифицированных – системных крово обращением и капиллярным кровотоком. Уровень адаптации организма к физическим нагрузкам различной мощности хорошо отражает капиллярный кровоток. У спортсменов второй группы он резко возрастал на первых ступенях нагрузки, затем плавно повышался до ПАНО, после чего стабилизировался и удерживался на высоком уровне до отказа от работы. У спортсменов первой группы капиллярный кровоток возрастал, как правило, до ПАНО, затем уменьшался до уровня критической мощности нагрузки, после чего резко снижался. Таким образом, у менее квалифицированных спортсменов ухудшение кровоснабжения тканей наступает на уровне ПАНО, а срывы адаптации – при достижении критической мощности нагрузки.

Отсюда можно заключить, что для полной оценки аэробной выносливости необходимо определять не только аэробную мощность по величине $\dot{V}O_{2\max}$, но и аэробную экономичность по уровню ПАНО, так как спортсмены с одинаковой и относительно высокой максимальной аэробной производительностью имеют значительную вариабельность эргометрических и физиологических показателей ПАНО, которые тесно коррелируют с их спортивной квалификацией.. Мобилизация функциональных резервов кардиореспираторной системы в области аэробно-анаэробного перехода определяет рост аэробной выносливости и, соответственно, ПАНО. У менее квалифицированных спортсменов активизация функциональных резервов аэробной выносливости идёт в первую очередь

за счёт системы дыхания, а у более квалифицированных преимущественно за счёт системы кровообращения с увеличением роли регионального и капиллярного кровотока.

Литература.

1. Колчинская А. З. Кислород. Физическое состояние. Работоспособность – Киев.: Наук. думка, 1991, – 206 стр.
2. Ефименко А. М. Исследование действия холинэргических веществ на гемодинамику, дыхание, кровь и кислородные режимы тканей. Автораферт докт. диссертации. Харьков, 1971.

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГЕМОДИНАМИКИ И СЕНСОМОТОРИКИ
ЗАНИМАЮЩИХСЯ РИТМИЧЕСКОЙ ГИМНАСТИКОЙ (РГ)**

(в контексте профессионально - прикладной физической подготовки (ППФП))

Лейкин М. Г., доктор педагогических наук, профессор,

Садовская Ю. Я., аспирантка

Качественной оценке условий и характера труда в связи с задачами профессионально-прикладной физической подготовки (ППФП) посвящено ряд работ (Е.П. Гук, С.А. Поляевский, 1981; Е.П. Гук, 1983; М.Г. Лейкин, 1991-1994; А.М. Ефименко, В.Ю. Гончаров, 1991-1994 и др.). Количественной эргономобиомеханической оценке режимов работы посвящены считанные работы, среди которых наиболее обстоятельны работы [1-3], посвященный исследованию режимов работы хирургов в контексте их ППФП.

Задачей настоящей работы явилась КОЛИЧЕСТВЕННАЯ биомеханическая и физиологическая оценка характера труда рабочих сборочного конвейера спортивно-оздоровительных тренажеров М.Г. Лейкина [4,5], установленного в производственном цехе Центра НГГМ "Наука. Спорт. Производство" и оценку РГ в качестве ППФП.

Для разрешения поставленной задачи следовало выполнить:

выбор адекватных методов и средств исследований; количественный биомеханический анализ "рабочей позы" конвейерных рабочих и работы их опорно-двигательного аппарата (ОДА);

исследование характеристик центральной и регионарной гемодинамики и лабильности нервных процессов (психофизиологических параметров) как объективного следствия динамики физиологических показателей;

обоснование и оценку оздоровительной эффективности комплекса (РГ) в качестве средства и метода ППФП.

1. МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Биомеханика "рабочей позы" и работы опорно-двигательного аппарата (ОДА)

Биомеханический анализ "рабочей позы" и работы ОДА осуществлен с учетом реальной неравномерности распределения масс в биокинематической цепи и в звеньях тела человека, определяемых спецификой "рабочей позы" и соотношениями Н.А. Бернштейна радиусов центров масс звеньев ОДА (В.Б. Коренберг, 1979; А.Ф. Бочаров, 1980; Д.Д. Донской, 1984). Определение координат опознавательных точек П, З, Л и общего центра тяжести (ОЦТ) С выполнено по промеру (рис.2) на основе теоремы Вариньона (В.В. Добронравов, 1984).

Расчеты передних (α_1) и задних (α_3) углов и моментов устойчивости "рабочей позы". силовых воздействий (моментов силы тяжести M_t и M_p) на работающие группы мышц-синергистов осуществлялись решениями построенных по промеру уравнений статики (М.Г. Лейкин, 1991).

1.2. Гемодинамика и сенсомоторика

Кровообращение исследовалось методом тетраполярной импедансной реоплетизмографии (М.И. Гуревич, А.И. Соловьев, Л.П. Литовченко, Л.Б. Доломан. 1982). Бitemporальную реоэнцефалограмму регистрировали при помощи защитных электродов (Н.Р. Палеев, И.М. Каевицер, В.В. Агафонов. 1980), трансторакальную реограмму – в модифицированной системе отведений (Ю.Г. Пушкарь и соавт.. 1977), реограммы плеча, предплечья и голени – с использованием (рис.1) ленточных электродов (Л.Н. Сазонова и соавт.. 1979; Н.М. Мухариямов, А.Ю. Ратманский. 1982). Исследовался ряд показателей центральной (ЦГД) и региональной (РГД) гемодинамики: ударный объем крови (УОК), минутный объем крови (МОК), объемная скорость церебрального кровотока (K_m), индекс мозгового кровотока (I_m).

ЭКГ записывалась во втором стандартном отведении. Для записи кривых использовали реоплетизмограф РПГ-02 и электрокардиограф "Элкар-6". Кроме этого, определяли время простой (ВДР_{пр}) и сложной (ВДР_{сл}) двигательной реакции с помощью хронорефлексометра.

Наблюдения проводили на 10 здоровых мужчинах в возрасте 20-30 лет, имитирующих в течение 4-х часов оперативный режим в рабочей позе конвейерного рабочего с ежечасной регистрацией исследуемых параметров.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

2.1. Эргономическая биомеханика процесса работы

2.1.1. Построение промера рабочей позы уравнений статики и расчеты координат ОЦГ, опознавательных точек, параметров устойчивости и силовых воздействий

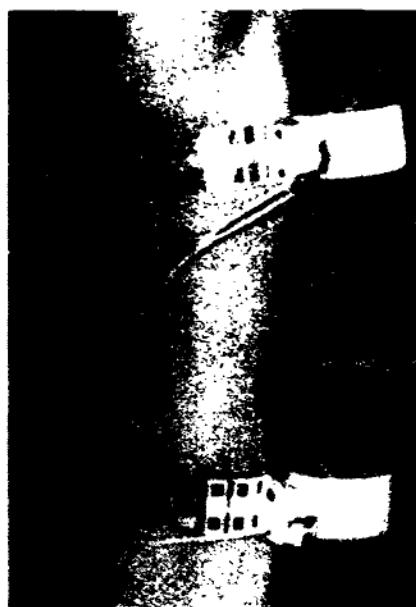


Рис. 1

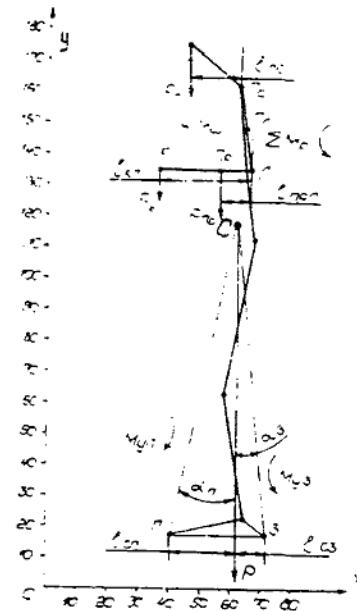


Рис. 2

Промер рабочей позы конвейерного рабочего с учетом специфики его функционирования в рабочем режиме и условий сохранения позного равновесия представлен на рис.2 (промер выполнен в масштабе 1:10 усредненного роста рабочего). По промеру построены уравнения статики.

$$X_c = \frac{\sum P_x}{\sum P}; a_x = \arctg \frac{I_{cn}}{I_{co}} = \arctg \frac{X_c - X_n}{Y_c - Y_n}$$

$$Y_c = \frac{\sum P_y}{\sum P}; a_y = \arctg \frac{l_{cn}}{l_{co}} = \arctg \frac{X_j - X_c}{Y_c - Y_j}$$

$$M_{uu} = \frac{PI_{cn}}{M} = \frac{P(x_c - x_n)}{M}$$

$$M_{yy} = \frac{PI_{nj}}{M} = \frac{P(x_j - x_c)}{M}$$

$$M_{ur} = \frac{PI_{rc}}{M} = 0,07 \frac{(x_c - x_r)}{M}$$

$$M_p = \sum_k M_p = \frac{P_x I_{x2}}{M} + \frac{P_{nr} I_{nr}}{M} = 0,01 P \frac{(x_r - x_k) + 0,01 (x_n - x_{nr})}{M}$$

Результаты биомеханического анализа и расчетов по приведенным выше формулам представлены в табл. 1-3.

2.1.2. Анализ работы ОДА и гипотетическая физиологическая модель

Очевидно, что вид равновесия (рис.2) в "рабочей позе" – ограниченно-устойчивый, колебательного типа при неудерживающей связи на опоре (Д.Д. Донской, 1975; В.В. Коренберг, 1979; М.Г. Лейкин, 1980; В.В. Добронравов, 1984) с вариативным сочетанием компенсаторных, амортизирующих и восстанавливющих движений.

Мышцы-разгибатели шеи – осуществляют удерживающую работу против момента силы тяжести головы со значительным моментом силы тяги – 0,011 Р, кГм.

Мышцы-разгибатели рук – осуществляют работу против суммы моментов силы тяжести кисти и предплечья также со значительным моментом силы тяги – 0,005, кГм.

Мышцы ног и туловища осуществляют укрепляющую и фиксирующую работу против силы тяги мышц-антагонистов (фиксируют суставы). Сгибатели и разгибатели голеностопного сустава

постоянно удерживают тело в зоне сохранения равновесия (в сагитальном направлении), развивая при этом большие моменты тяги мышц до 0,2Р, кГм.

По субъективной оценке – работа очень утомительна, особенно во второй половине четырехчасовой смены.

Таблица 1

Параметры расчета координат ОЦТ (С)

Звено и обозначение	Отн. вес, Р, %	Радиус ЦТ	Координаты		РХ	РУ
			X	У		
Голова (Г)	7	0.50	45	175	315	1225
Туловище (Т)	43	0.44	65	140	2795	6000
Плечо (Пл)	6	0.47	64	148	384	885
Предплечье (Пр)	4	0.42	56	135	224	540
Бедро (Б)	24	0.44	63	95	1512	2280
Голень (Гн)	10	0.42	61	51	610	510
Стопа (С)	4	0.44	58	17	232	68
Кисть (К)	2	0.50	36	135	72	270

Таблица 2

Координаты опознаваемых точек

Опознавательные точки	Обозначения	Координаты	
		X	У
Линия опрокидывания передняя	П	41,44	17,78
Линия опрокидывания задняя	З	71,44	17,78
Локтевой сустав	Л	66,00	135,00

Таблица 3

Параметры устойчивости и силовые воздействия

Параметры	Xс	Yс	α_u	α_s	M _{up}	M _{ys}	M _{is}	M _p
Размерность	–	–	град., мин	град., мин	кГм	кГм	кГм	кГм
Значения	61,44	117,78	11°20'	5°40'	0,2Р	0,01Р	0,11Р	0,005Р

Гипотетическая физиологическая модель здесь такова: поддержание напряжения мышц в длительных условиях отсутствия сменной активности обусловливает адекватное возбуждение в нервных центрах, которое приводит к их утомлению, снижает мышечный кровоток как следствие изоляции эффективных экстракардиальных механизмов кровообращения.

Для определения и количественной оценки сдвигов физиологических параметров работающих на конвейере выполнен целевой эксперимент, результаты и анализ которого приведены ниже.

2.2. Динамика физиологических параметров конвейерных рабочих в режиме смены

2.2.1. Гемодинамика и сенсомоторика конвейерных рабочих в режиме смены

При исходных показателях центральной и регионарной гемодинамики испытуемых в пределах физиологических норм (табл. 4), в режиме «рабочей позы» выявлены количественные закономерности, графически интерпретированные на рис.3.

Итак, очевидно, что за первый час нахождения в "рабочей позе" наблюдается достоверное снижение (рис. 3. УОК, график 1) ударного объема крови с $75,8 \pm 4,3$ до $68,9 \pm 4,2$ мл (на 10 %), за второй – до $58,1 \pm 3,8$ мл (на 18,6 %). Т.о. за первые 2 рабочих часа по отношению к исходному уровню такой информативный показатель гемодинамики (УОК) снизился на 30 % и практически стабилизировался на сниженном уровне (после третьего часа – $59,3 \pm 4,0$ мл, после четвертого – $57,2 \pm 3,7$ мл, т.е. наблюдаются незначительные колебания в пределах достигнутых значений).

Соответственно минутный объем крови (рис. 3. МОК, график 1) снижается за первый час с $5,05 \pm 0,28$ до $4,49 \pm 0,18$ л (на 12,5 %), за второй – до $4,22 \pm 0,21$ л (на 10,6 %, при общем снижении за 2 часа на 28,6 %). После третьего и четвертого часа значения МОК ($4,26 \pm 0,19$ л. и $4,3 \pm 0,22$ л.) стабилизировались на сниженном уровне (при недостоверных колебаниях в окрестностях достигнутого значения).

Динамика индекса мозгового кровотока (рис.3. И_M, график 1): исходный уровень – $0,283 \pm 0,02$, после первого часа – $0,252 \pm 0,20$ (снижение на 12,3 %), после второго часа – $0,220 \pm 0,02$ (снижение на 14,5 % при общем снижении на 28,6 %), после третьего и четвертого часа – $0,225 \pm 0,01$ и $0,218 \pm 0,01$ соответственно, что также свидетельствует о стабилизации значения индексов на достигнутом уровне.

Динамика объемной скорости церебрального кровотока (рис. 3, К_M, график 1): исходный уровень $753,4 \pm 29,9$ мл/мин, после первого часа – $640 \pm 27,6$ мл/мин (снижение на 17,7 %), после второго часа – $589 \pm 26,9$ мл/мин (снижение на 8,6 %, при общем снижении на 27,9 %), после третьего и четвертого часа – $610 \pm 28,0$ мл/мин и $575 \pm 26,0$ мл/мин соответственно, что также свидетельствует о стабилизации К_M на сниженном уровне второго часа.

Динамика психофизиологических показателей ВДР_{пр} и ВДР_{сл} в течение эксперимента (рис. 3, графики $t_{пр}$ и $t_{сл}$) характеризуется вскрытыми выше для показателей гемодинамики закономерностями: существенным ухудшением в первые два часа: с $0,135 \pm 0,01$ сек до $0,445 \pm 0,02$ сек (на 229 %) и с $0,150 \pm 0,01$ сек до $0,486 \pm 0,03$ сек (на 224 %) соответственно при стабилизации на достигнутом уровне со слабопросматриваемой тенденцией к уменьшению в третьем и четвертом часах эксперимента.

Очевидно, что закономерность снижения УОК и МОК отражает состояние системы кровообращения при переходе организма от умеренной физической активности к относительной гиподинамии с преобладанием статических усилий.

Наряду с этим, уже на первом часу проявляется закономерность снижения показателей мозгового кровотока I_M и K_M , которая на втором часу становится особенно выраженной. Более умеренное (в течение часа) понижение показателей церебрального кровотока является следствием постепенного перераспределения крови в организме вследствие ослабления компенсаторных механизмов, противодействующих избыточному оттоку крови от головы в результате развития состояния гипокинезии при вертикальном положении тела. Отключение "мышечного насоса" и венозный застой в нижней части тела приводят к уменьшению венозного возврата и, как следствие этого, к снижению УОК, МОК, K_M . Кроме относительной гиподинамии и вертикального положения тела, рабочая поза характеризуется наклоном головы и большой статической нагрузкой на мышцы шеи, что также способствует ухудшению мозгового кровообращения.

В целом, наиболее существенные изменения параметров центральной гемодинамики наблюдались в течение первого часа, а церебральной в течение двух часов, при этом отрицательные гемодинамические сдвиги мозгового кровотока нарастали медленнее, но были более длительны и носили более выраженный характер, что объясняется относительной автономией церебрального кровообращения.

Таким образом, очевидно, что динамика показателей кровообращения различных областей сердечно-сосудистой системы и моторных реакций имеет гетерохромный и разовый характер и свидетельству об ухудшении мозговой и центральной гемодинамики, вызванных необходимостью длительного поддержания биомеханических параметров рабочей позы. Испытуемые к концу эксперимента отмечали выраженное утомление, повышенное нервное напряжение, усталость мышц спины, ног и шеи, тяжесть в ногах.

2.2.2. Выбор РГ в качестве средства ППФП.

Вскрытие закономерности, а также обстоятельные целевые исследования оздоровительной [6] и экономической [7] эффективности РГ в системе физического самосовершенствования определили выбор РГ в качестве действенного и общедоступного средства ППФП работников конвейеров. Был составлен комплекс локально направленного воздействия на определенные в эксперименте гипокинезийные регионы (ноги, шея, спина). Комплекс составлен щадящей (но достаточной для осуществленной активизации ССС в аэробной зоне) интенсивности, и технически несложный. Основное содержание комплекса – беговые, прыжковые и танцевальные серии.

Полугодовой эксперимент по оценке оздоровительной эффективности РГ выполнен по методике Ю.Я. Садовской [6], после чего исходный эксперимент по исследованию гемодинамики и лабильности нервных процессов был повторен.

2.2.3. Гемодинамика и сенсоомоторика после полугодовых занятий ритмической гимнастикой

Полученные опытные результаты приведены в табл. 4 (нижняя строка результата) и на графиках рисунка 3.

На новом уровне, обусловленном полугодовыми воздействиями РГ, получены следующие значения сдвигов параметров. УОК снижается с $80,3 \pm 4,5$ мл до $75,1 \pm 3,8$ (на 6,9 %), за второй час - с $75,1 \pm 3,8$ до $67,2 \pm 4,0$ (на 11,7 % при общем снижении на 19,5 %), за третий и четвертый часы наблюдаются недостоверные колебания значений ($67,1 \pm 3,6$ мл - $65,4 \pm 3,8$ мл) в окрестностях достигнутого уровня стабилизации (67,2 мл);

МОК снижается с $5,4 \pm 0,30$ л до $4,95 \pm 0,20$ л (на 10,9 %), за второй час - с $4,95 \pm 0,2$ л до $4,63 \pm 0,24$ л (на 6,9 % при общем снижении на 11,6).

I_M снижается с $0,286 \pm 0,02$ до $0,260 \pm 0,21$ (на 10 %), за второй час - с $0,260 \pm 0,2$ до $0,220 \pm 0,02$ (на 10 %) при общем снижении на 21 %).

K_M снижается с $795,5 \pm 25$ до $748 \pm 25,9$ (на 6,3 %), за второй час с $748 \pm 25,9$ до $690 \pm 30,6$ (на 8,4 % при общем снижении на 15,2 %). За третий и четвертый часы значения K_M практически стабилизируются.

Время простой двигательной реакции изменяется с $0,135 \pm 0,01$ сек до $0,346 \pm 0,02$ сек (на 156%) за первый час, за второй час – с $0,346 \pm 0,02$ сек до $0,445 \pm 0,02$ сек (на 28,6 % при общем увеличении на 230 %) и также стабилизируется на достигнутом уровне. Динамика времени сложной двигательной реакции адекватна до тренировочным показателям и качественно, и количественно.

2.2.4. Анализ оздоровительной эффективности занятий ритмической гимнастикой

Опытные данные свидетельствуют об улучшении значений исследованных показателей гемодинамики и нервных процессов после полугодового срока использования РГ в качестве ППФП рабочих конвейера.

Исходный уровень УОК увеличился с $75,8 \pm 4,3$ мл до $80,3 \pm 4,6$ мл (на 6 %), за первый час – с $68,9 \pm 4,2$ мл до $75,1 \pm 3,8$ мл (на 9 %), за второй час – с $58,1 \pm 3,8$ мл до $67,1 \pm 4,0$ мл (на 15 %), за третий – с $59,3 \pm 4,0$ до $67,1 \pm 3,6$ мл (на 13 %) и за четвертый – с $57,2 \pm 3,7$ мл до $65,4 \pm 3,8$ мл (на 8%). Среднее увеличение значений УОК составляет

$$\Delta YOK_{cp} = \frac{\sum \Delta YOK_{1-4}}{n} = 11\%,$$

где $n = 4$ – количество часов в эксперименте.

Оконтуренная область (рис.3) между графиками УОК₁₋₂ и ординатами t_1 и t_2 (заштрихованная площадь) и качественно, и количественно характеризует возросшие функциональные возможности ССС по параметру УОК.

Исходный уровень МОК увеличился соответственно с $5,05 \pm 0,28$ л/мин до $5,4 \pm 0,30$ л/мин (на 6.9 %), после первого часа с $4,49 \pm 0,18$ л/мин до $4,95 \pm 0,20$ л/мин (на 10.2 %), после второго часа – с $4,63 \pm 0,24$ л/мин до $4,22 \pm 0,21$ (на 10.2 %), после третьего – с $4,26 \pm 0,19$ л/мин до $4,47 \pm 0,20$ л/мин (на 4,9 %), после четвертого – с $4,3 \pm 0,22$ до $4,45 \pm 0,34$ (на 3,4 %) при общем усредненном увеличении УОК на 7,12 %.

Исходные уровни индекса мозгового кровотока Им возросли (в масштабе времени опыта) с $0,283 \pm 0,02$ до $0,286 \pm 0,02$ (на 1 %), после часа работы – с $0,252 \pm 0,02$ до $0,260 \pm 0,02$ (на 3 %), после второго часа – с $0,220 \pm 0,02$ до $0,236 \pm 0,02$ (на 7 %), после третьего часа – с $0,225 \pm 0,01$ до $0,230 \pm 0,01$ (на 2 %), после четвертого часа – с $0,218 \pm 0,01$ до $0,222 \pm 0,01$ (на 2 %) при общем усредненном возрастании на 3 %.

Динамика объемной скорости мозгового кровотока K_M (рис. 3, график 2) соответствует закономерности дотренировочного уровня (график 1), но количественно в контрольные моменты эксперимента значения K_M увеличены соответственно на 6 %, 17 %, 17 %, 11 %, 12 % при среднем увеличении на 13 %.

Следует отметить, что количественная и качественная динамика простой двигательной реакции (графики 1, 2) характеризуется вскрытыми закономерностями.

Сложная двигательная реакция проявляет себя качественно адекватно (т.е. показатели ВДР_{пр} ухудшаются в процессе рабочей смены), а количественно характеризуется стабильностью в контрольные моменты экспериментов как до, так и после полугодового периода занятий РГ.

Таблица 4

Показатели гемодинамики и ВДР в процессе рабочей смены до (нижняя строка) и после (верхняя строка) полугодовых занятий РГ

№	Пара-метры	Порядковые номера часов эксперимента и достоверность сдвигов							
		0	P _{0,1}	1	P _{1,2}	2	P _{2,3}	3	P _{3,4}
1	УОК	75,8 ± 4,3	< 0,05	68,9 ± 4,2	< 0,05	58,1 ± 3,8	> 0,05	59,3 ± 4,0	> 0,05
		80,3 ± 4,5	< 0,05	75,1 ± 3,8	< 0,05	67,1 ± 4,0	> 0,05	67,1 ± 3,6	> 0,05
2	МОК	5,05 ± 0,28	≤ 0,05	4,49 ± 0,18	< 0,05	4,22 ± 0,21	> 0,05	4,26 ± 0,19	> 0,05
		5,4 ± 0,30	< 0,05	4,95 ± 0,20	< 0,05	4,63 ± 0,24	> 0,05	4,47 ± 0,20	> 0,05
3	И _М	0,283 ± 0,02	< 0,05	0,252 ± 0,2	< 0,05	0,220 ± 0,02	> 0,05	0,225 ± 0,01	> 0,05
		0,286 ± 0,02	< 0,05	0,260 ± 0,21	< 0,05	0,236 ± 0,02	> 0,05	0,230 ± 0,01	> 0,05
4	K _М	753,4 ± 29,9	< 0,05	640 ± 27,6	< 0,05	589 ± 26,9	> 0,05	610 ± 28,0	> 0,05
		795,5 ± 25,9	< 0,05	748 ± 25,9	< 0,05	690 ± 30,6	> 0,05	680 ± 30,2	> 0,05
5	t _{np}	0,135 ± 0,01	< 0,05	0,346 ± 0,02	< 0,05	0,445 ± 0,02	> 0,05	0,421 ± 0,03	> 0,05
		0,113 ± 0,01	< 0,05	0,298 ± 0,01	< 0,05	0,320 ± 0,01	> 0,05	0,328 ± 0,03	> 0,05
6	t _{c,l}	0,150 ± 0,01	< 0,05	0,382 ± 0,02	< 0,05	0,486 ± 0,03	> 0,05	0,466 ± 0,025	≥ 0,05
		0,152 ± 0,01	< 0,05	0,390 ± 0,02	< 0,05	0,470 ± 0,03	> 0,05	0,454 ± 0,021	> 0,05

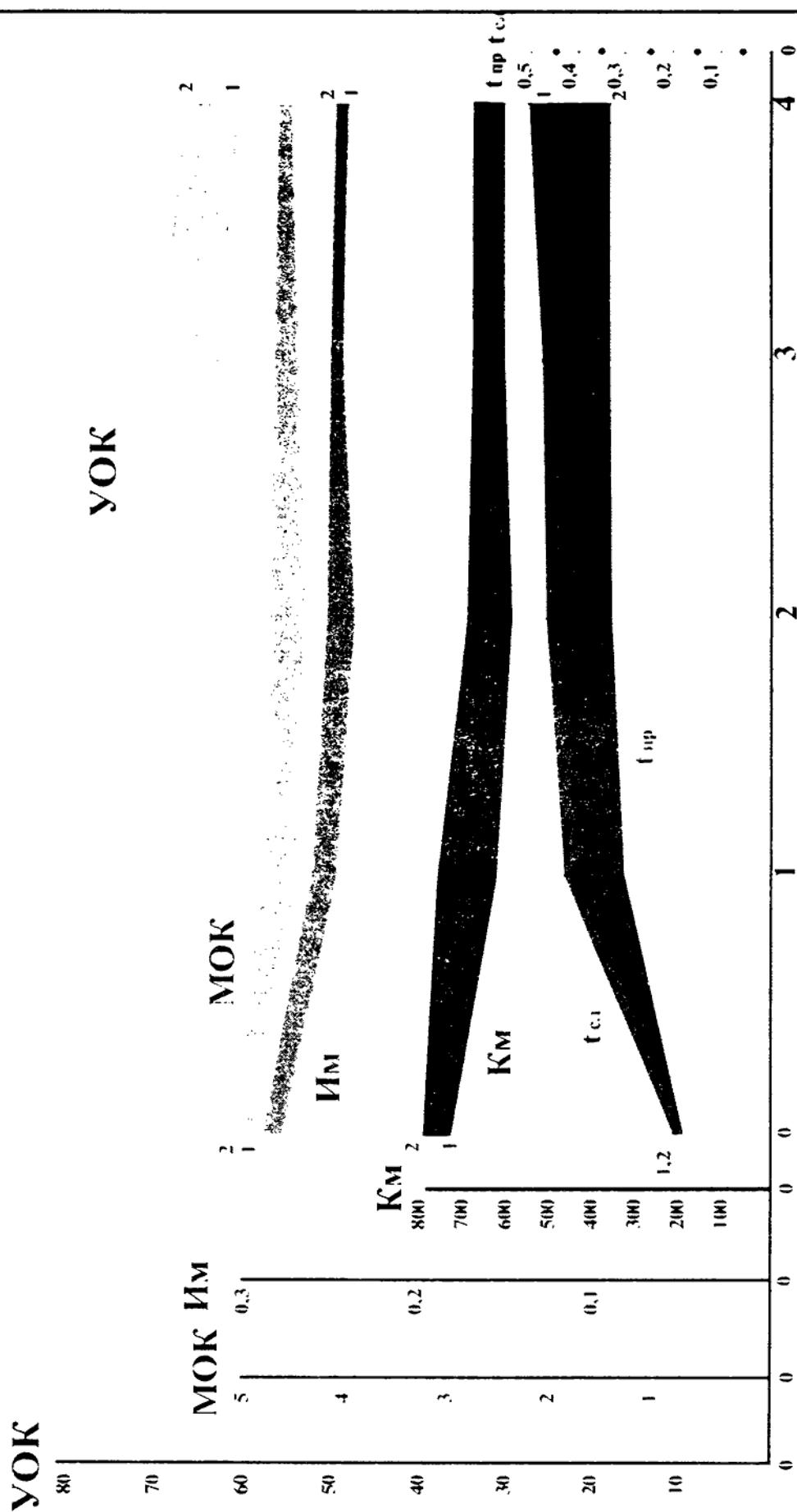


рис. 3. Гемодинамика и язвильность ВДР в эксперименте: 1 и 2 - показатели до и после полуподничных занятий РГ.

Очевидно, что все заштрихованные площади рис.3 количественно и качественно иллюстрируют достоверное возрастание функциональных возможностей ССС по системообразующим параметрам гемодинамики (YOK , MOK , I_M , K_M) и улучшение лабильности психофизиологического параметра (VDR_{pr}), что говорит об эффективности использования РГ в качестве средства ППФП конвейерных рабочих.

ВЫВОДЫ

1. "Рабочая поза" конвейерного рабочего характеризуется ограничено – устойчивым видом равновесия колебательного типа при неудерживающей связи на опоре, что обуславливает вариативное сочетание малоамплитудных компенсаторных, амортизирующих и восстановительных движений. Мышцы (разгибатели шеи, сгибатели рук) осуществляют удерживающую работу против момента силы тяжести головы и суммы моментов силы тяжести кистей и предплечий соответственно со значительными моментами силы тяги.

Мышцы ног и туловища осуществляют укрепляющую и фиксирующую работу против силы тяги мышц антагонистов также со значительными значениями моментов.

Очевидно, что поддержание указанного напряжения мышц в длительных условиях отсутствия сменной активности обуславливает существенные физиологические сдвиги.

2. Четырехчасовой оперативный режим достоверно ухудшает центральную и мозговую гемодинамику, снижает индекс общего кровотока, ударный и минутный объемы крови, индекс церебрального кровотока и объемную скорость мозгового кровотока, а также увеличивает время простой и сложной двигательной реакции. При этом динамика показателей кровообращения различных областей сердечно-сосудистой системы и моторных реакций имеет гетерохронный и фазовый характер, а гемодинамические сдвиги церебрального кровотока нарастают медленней, чем центрального, однако, они продолжительней и более выражены.

3 В течение первых двух часов происходит компенсаторное перераспределение минутного объема крови в сторону относительного снижения мозгового кровотока, после чего функциональные параметры сердечно-сосудистой и моторной систем стабилизируются на сниженном уровне.

4. Учет вскрытых физиологических закономерностей при создании (апробированных в полугодовом эксперименте) средств ППФП свидетельствует о высокой оздоровительной эффективности РГ как средства ППФП.

Литература.

1. Лейкин М.Г. Эргономическая биомеханика работы хирурга в оперативном режиме. В кн.: Труды Всесоюзной школы-семинара "Перспективы развития эргономической биомеханики". М.:НС АН СССР по проблемам биомеханики, 1990
2. Лейкин М.Г., Ефименко А.М., Гончаров В.Ю. Физиологические аспекты работы хирурга в многочасовых операциях. В кн.: Труды 15-го съезда Всесоюзного Физиологического общества им. И. П. Павлова. Кишенев, 1987.
3. Лейкин М.Г. Эргономическая биомеханика спорта и медицины. -Киев - Симферополь: РИС СГУ, 1991 (монография)
4. А.с. 1671324 СССР. Устройство для тренировки рук / М.Г.Лейкин.-Опубл.1991: Бюл. № 31
5. А.с. 1546088 СССР. Устройство для тренировки гимнастов / М.Г. Лейкин. -Опубл. 1986: Бюл. № 35
6. Садовская Ю.Я. Оздоровительная эффективность ритмической гимнастики в системе физического самосовершенствования. Ученые записки СГУ (труды молодых ученых), 1998
7. Кляшторная В.В. Экономические аспекты организации предпринимательской деятельности по РГ в системе физического самосовершенствования. Ученые записки СГУ (труды молодых ученых). 1998

СПЛАВНОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ МНОГОМОДОВЫЙ РАЗВЕТВИТЕЛЬ КОНФИГУРАЦИИ 1xN

Басиладзе Г. Д., Долгов А. И., Николаев Е. Я.

Известен и широко применяется для изготовления многомодовых многополюсных волоконных разветвителей (ВР) конфигурации NxN метод, основанный на сплавлении и растяжении пучка оптических волокон, предварительно скрученных для достижения надежного физического контакта между волокнами [1]. Разветвитель 1xN -- частный случай конфигурации NxN. Пропускание и равномерность распределения оптического излучения по полюсам ВР зависят от размера светоотражающей оболочки сплавляемого световода и существенно улучшаются при уменьшении ее толщины [2]. Утончение оболочки обычно достигается химическим травлением световода. Однако с ростом числа сплавляемых волокон увеличивается вероятность их разрушения при скрутке, усложняется технология изготовления ВР.

В [3] для получения разветвителей NxN с небольшим количеством выходных полюсов (до 8) был использован метод сплавления средней зоны группы планарно-расположенных оптических волокон. Мы применили такую геометрию укладки для сплавления планарно-расположенных окончаний травленых волокон.

Опыт показывает, что при сплавлении таким методом травленых волокон разрушение волокон практически не происходит. Это существенное технологическое преимущество метода. Мы применили его для изготовления разветвителей с числом выходных полюсов до 9.

Рассмотрим процесс распространения света в разветвителе. Пусть излучение с числовой апертурой NA требуется без потерь передать из одиночного оптического волокна с сечением сердцевины s_0 в несколько таких же волокон. Для этого, как минимум, необходимо согласовать передающую и приемную площадки. Согласующим элементом является область сплавления планарно уложенных волокон. От геометрических параметров этого элемента зависят оптические характеристики разветвителя.

Для сплавления ВР волокна укладываются в одной плоскости таким образом, чтобы их торцы выстраивались в одну линию, ориентированную перпендикулярно к оси волокон. Волокна сплавляют и образуют зауженную область, переходящую в конус (внешний вид области сплавления волокон разветвителя показан на рис. 1). Конус в месте наибольшего утончения (разрез В-В) рассекается для сплавления с одиночным световодом. В сечении конус представляет собой чередующиеся слои сердцевин и оболочек. Причем расстояние между прослойками из сердцевин зависит от толщины оболочки исходных волокон (рис. 2).

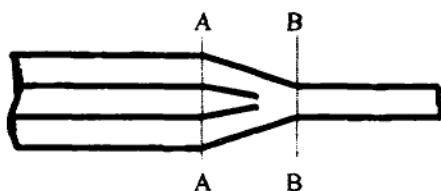


Рис. 1. Схема области сплавления ВР

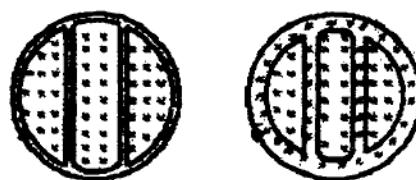


Рис. 2. Виды сечений конических сужений

Излучение из одиночного волокна попадает в расширяющийся конический участок с несколькими приёмными сердцевинами. Здесь апертура излучения уменьшается и свет попадает в i-ое волокно с преобразованной числовой апертурой. Мощность же распределяется между световодами в зависимости от ее распределения в сечении возбуждающего световода. При попадании мод высшего порядка в сечения между сердцевинами волокон некоторая доля их мощности за счет уменьшения апертуры излучения в расширяющейся структуре может захватываться сердцевинами. Остальное излучение, попавшее в оболочку, поглощается эпоксиакрилатным защитным покрытием волокна за пределами области сплавления. С увеличением толщины оболочки увеличивается и доля излучения, попавшего в оболочку.

Рассмотрим зависимость оптических потерь от числа волокон и толщины оболочки. Пусть из N оптических волокон с радиусом оболочки r_1 и радиусом сердцевины r_0 сплавляется разветвитель конфигурации $1 \times N$. Суживающаяся структура образует в сечении при переходе в конус окружность с радиусом $R_1 = r_1 \cdot \sqrt{N}$ (рис. 2). При этом сердцевины волокон группируются внутри некоторой окружности с радиусом R_0 . Сердцевины крайних волокон принимают форму сегментов, а внутренние сердцевины - форму усеченных сегментов. Сердцевины ОВ разделены прослойками оболочечного материала, толщина которых меньше, чем до сплавления их вместе на величину, пропорциональную квадратному корню из числа волокон. Для упрощения расчета примем, что толщина внешней оболочки суживающейся структуры у основания конуса так же, как и площади сечения сердцевин не изменяется. Учитывая это, определим общую площадь сечения сплавленных волокон как $S_1 = \pi \cdot (R_1)^2$, где $R_1 = r_1 \cdot \sqrt{N}$. Обозначим толщину внешней оболочки сечения через δ , тогда $\delta = R_1 - R_0 = r_1 - r_0$, где $R_0 = r_1 \cdot \sqrt{N} - \delta$, $S_0 = \pi(R_0)^2$. Площадь слоистой сердцевины сплавленных волокон равна: $S_0 = \pi \cdot (r_1 \cdot \sqrt{N} - \delta)^2$. Общая площадь N сердцевин у основания конического перехода равна $Ns_0 = N\pi(r_0)^2$. Для согласования слоистой сердцевины сплавленных волокон с сердцевиной одиночного волокна структура перетягивается, образуя конус с площадью малого сечения слоистой сердцевины $S'_0 = kS_0$, где $k = r_0/R_0 \approx 1/\sqrt{N}$ - коэффициент перетяжки.

При полном совпадении S_0' и s_0 суммарные потери световой энергии, в основном, определяются толщиной прослойки между сердцевинами световодов. При условии однородности распределения мощности излучения по сечению сердцевины возбуждающего волокна потери, вносимые прослойками в сечении конического участка, определяются как

$$\alpha = -10 \cdot \log(Ns_0 / S_0) = -10 \cdot \log[(r_0)^2 \cdot \sqrt{N} \cdot (r_1 \cdot \sqrt{N} - \delta)^{-2}] \text{ (дБ).}$$

Следует отметить, что это соотношение определяет потери оптической мощности, попадающей в прослойки без учета преобразования части оболочечных мод в моды сердцевины.

В настоящей работе были проведены эксперименты по изготовлению многомодовых многополюсных ВР конфигурации 1xN, где N = 3, 4 и 9 методом планарной укладки окончаний ОВ с уменьшенной толщиной кварцевой оболочки. Рассчитанные по формуле потери для разветвителей 1x3, 1x4 и 1x9 при $r_0 = 25$ мкм, $r_1 = r_0 + \delta = 27,5$ мкм, где $\delta = 2,5$ мкм, соответственно, составляют: $\alpha_3 = -0,36$ дБ, $\alpha_4 = -0,42$ дБ, $\alpha_9 = -0,56$ дБ.

Для изготовления ВР использовались многомодовые градиентные оптические волокна ККГ 125/50. Толщина кварцевой оболочки уменьшалась до $2,5 \pm 0,5$ мкм путем травления окончаний волокон в плавиковой кислоте. ВР изготавливались на установке, обеспечивающей нагрев и сплавление оптических волокон посредством высокочастотного электродугового разряда и растяжение сплавленного участка.

Диапазон значений дополнительных потерь изготовленных партий образцов разветвителей 1x3, 1x4 и 1x9 находился в пределах (0,15 - 0,45) дБ, (0,2 - 0,48) дБ и (0,37 - 0,76) дБ, соответственно, а значения неравномерности коэффициента передачи -- (0,30 - 0,42) дБ, (0,35 - 0,49) дБ и (0,43 - 0,98) дБ.

Полученные результаты измерений потерь с некоторыми отклонениями в меньшую сторону согласуются с приведенными выше расчетными данными. Эти отклонения, очевидно, являются результатом частичного преобразования мод оболочки в сердцевинные моды при прохождении через расширяющуюся многослойную композитную структуру.

Литература

1. Goodman S.E. The effect of multimode star coupler uniformity in fiber optic subsystems // Fiber Optic Couplers. Connectors and Splice Technology. - 1984. - Vol. 479. - P. 66-70.
2. Fiorina L., Mezzetti S., Svelto F. Low-loss Y-coupler for multimode single fibres // Electronics Letters. - 1978. - Vol. 14, № 25. - P. 808- 809.
3. Пат. 4392712 США, МКИ G02B 5/172. Light distributor / Takeshi Ozeki (Japan); Tokio Shibaura Electric Co. Ltd. - Заяв. 29.10.80; Опубл. 12.07.83.

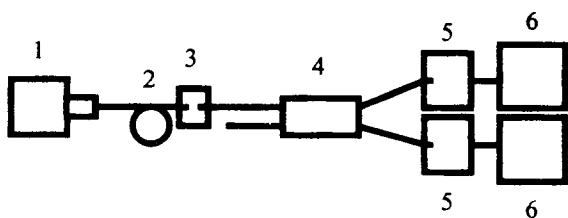
**РАЗВЕТВИТЕЛЬ С АСИММЕТРИЧНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ
ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ**

Басиладзе Г. Д., Семов А.Е.

Проблема реализации множественного доступа к одноволоконной шине локальной сети не решается с необходимой эффективностью при помощи разветвителей конфигурации 2x2 с симметричной оптической связью между образующими его идентичными световодами. Коэффициенты связи между световодами такого разветвителя равны, т.е. $C_{ij} = C_{ji}$, где i и j - номера противоположных, накрестлежащих портов разветвителя. Ситуация существенно изменяется к лучшему, если в разветвителях, примыкающих к шине, связь между волокнами асимметрична, т.е. $C_{ij} \neq C_{ji}$ и коэффициенты различаются в десятки раз. Благодаря этому излучаемая передатчиком станции световая мощность может почти полностью передаваться в шину, а от распространяющегося по шине сигнала ответвляется небольшая часть мощности для приема. Таким свойством обладают разветвители конфигурации 2x2, сформированные из различных по модовой емкости световодов [1].

Ранее уже сообщалось [1] о технической реализации асимметричного разветвителя на основе одномодового и градиентного многомодового волокон с соотношением диаметров сердцевина/оболочка 9/125 и 50/125. соответственно. В настоящей работе, как и в случае [1], разветвители изготавливались методом сплавления и растяжения пары соприкасающихся боковыми поверхностями волокон до образования биконического сужения области сплавления. Отметим, что в [1] приведены лишь данные, характеризующие процесс энергообмена между световодами при изменении длины волны света, проходящего через изготовленный разветвитель. Мы же в технологических целях исследовали зависимости колебаний мощности на выходе многомодового и одномодового портов разветвителя от растяжения биконической структуры в процессе изготовления при возбуждениях по отдельности многомодового и одномодового волокон. Одномодовый канал возбуждался с помощью лазерного передающего оптического модуля ПОМ-14 ($\lambda = 1,3$ мкм). Многомодовый -- таким же источником, но через 500-метровый отрезок многомодового волокна. Схема установки приведена на рис. 1. Кроме того, измерялись оптические характеристики изготовленных разветвителей, которые приводятся ниже.

Известно, что при растяжении области сплавления симметричных одномодовых разветвителей происходит циклический с учащением по мере растяжения обмен энергией между выходными портами разветвителя [2]. В [3] показано, что этот обмен является результатом интерференции мод низшего порядка в зоне сужения сплавного биконического перехода.



На рис. 2а показана кривая, снятая нами на выходе симметричного разветвителя. Обычно, во время изготовления разветвителя по ходу этой кривой контролируется состояние оптической связи между волокнами и задается необходимый режим сплавления и растяжения. Отметим, что приведенная кривая по характеру совпадает с кривыми, полученными в более ранних работах, например [2]. Аналогичные кривые (рис. 2б) мы

получили и для асимметричного разветвителя при возбуждении одномодового волокна и регистрации мощности на выходах одномодового и многомодового волокон (кривая биений на выходе многомодового волокна не показана, она повторяет кривую на рис. 1б, но в противофазе).

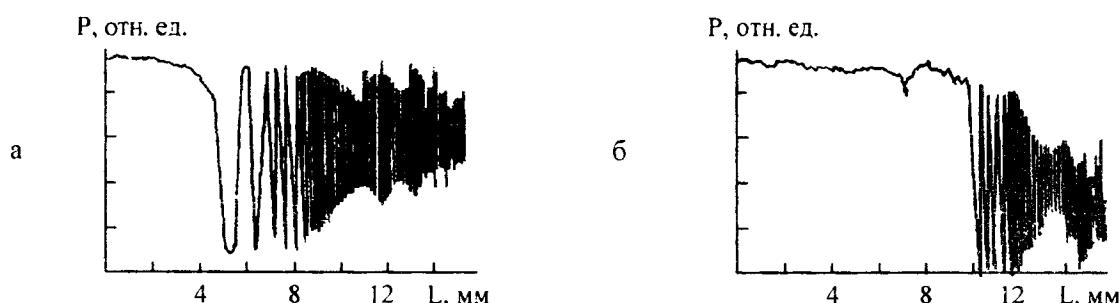


Рис. 2. Изменение мощности Р на выходе возбуждаемого одномодового световода симметричного (а) и асимметричного (б) разветвителей в процессе растяжения области сплавления

Сравнивая кривые а и б на рис. 2, мы видим, что растяжение области сплавления разнородных световодов сопровождается более частым перетеканием мощности между волокнами. Поэтому для выбора момента прекращения растяжения при достижении необходимого коэффициента связи требуется более прецизионные аппаратура управления и исполнительные механизмы, чем в случае изготовления симметричного разветвителя.

На рис. 3 показаны экспериментальные кривые колебания мощности на выходе многомодового (а) и одномодового (б) волокон при возбуждении многомодового волокна. По ним однозначно прослеживается такое же, как и в предыдущем эксперименте перетекание мощности из волокна в волокно по мере растяжения области сплавления. На наш взгляд это является подтверждением справедливости предложенного в работе [1] механизма взаимосвязи между модой (или несколькими модами) низшего порядка многомодового волокна с модовым полем одномодового волокна вуженной области сплавления световодов. Судя по "правильности" очертаний кривой (в) природа этого взаимодействия аналогична упомянутому выше [3] принципу взаимодействия мод в

симметричных разветвителях. Некоторую "неправильность" формы кривой колебаний мощности на выходе многомодового волокна мы объясняем высокой чувствительностью распределения энергии между модами сердцевины к внешним воздействиям, присущей многомодовым световодам. В результате в суживающейся части биконического перехода происходит хаотически высыпка мод высокого порядка, вызывающая соответствующие колебания уровня средней мощности на выходе многомодового световода. Эти колебания не позволяют с достаточной точностью осуществлять контроль за процессом формирования разветвителя во время сплавления. В то же время вид кривой (б) свидетельствует о возможности осуществления такого контроля при возбуждении излучателем многомодового световода. Это позволяет существенно упростить одну из трудоемких операций в процессе изготовления разветвителя, связанную с необходимостью возбуждать одномодовый световод.

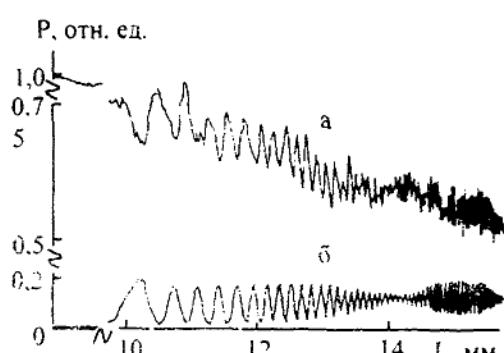


Рис. 3. Изменение мощности Р на выходах многомодового (а) и одномодового (б) световодов

Потери мощности при прохождении света через многомодовый канал в разветвителях не превышали 0,7 дБ. Коэффициенты ответвления из многомодового канала в одномодовый лежали в пределах от 11 до 13 дБ. Коэффициенты ответвления из одномодового в многомодовый - в пределах от 0,7 до 1 дБ. Несложные вычисления показывают, что с помощью таких разветвителей возможно построение сети на базе многомодовой одноволоконной шины с количеством станций до 30 при обеспечении энергетического потенциала сети на уровне 45 дБ.

Литература.

1. Mortel W. G., Moore D. R., Tehippe V. I. Characteristics of singlemode-to-multimode asymmetric coupler // SPIE. - 1988. - Vol. 988. - P. 40-50.
2. Bures J., Lacroix S., Lapierre J. Analyse d'un coupleur bidirectionnel à fibres optiques monomodes fusionées // Appl. Opt. - 1998. - Vol. 22, N 12. - P. 1918-1922.
3. Payne F. P., Hussey C. D., Yataki M. S. Modeling fused single-mode-fibre couplers // Electron. Lett. - 1985. - Vol. 21, N 11. - P. 461-462.

КИНЕТИЧЕСКИЕ И РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА $Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$

Бержанский В. Н., доктор физ.-мат. наук, профессор,

Власова Т. А., Горбованов А. И., аспирант,

Евстафьев И. И., канд. физ.-мат. наук, доцент, Лагунов И. М., ассистент,

Полулях С. Н., канд. физ.-мат. наук, доцент

В связи с открытием гигантских гальваномагнитных эффектов в оксидных магнитных полупроводниках (МП) вблизи фазового перехода [1] внимание исследователей обращено к анализу физических условий, при которых в магнитных полупроводниках при их легировании реализуется переход в "металлическое" состояние. Концентрация и тип носителей заряда в МП определяются валентностью и степенью легирования иновалентными диамагнитными примесями. При этом "a priori" нельзя сказать какой примесный ион сможет обеспечить указанный переход и может ли быть он реализован в конкретном соединении в принципе.

В данной работе исследованы магнитные, кинетические и резонансные свойства семейства железо-иттриевых гранатов (ЖИГ) $Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$, технология синтеза которых в настоящее время хорошо отработана. Известно, что при малой концентрации ($x \leq 0,05$) ионов Si^{4+} , которые замещают ионы Fe^{3+} в d -позициях, увеличивается проводимость (σ) кристаллов ЖИГ на 7 порядков [2]. С целью изучения возможности перехода ЖИГ в "металлическую" фазу были синтезированы пленки $Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$ в широком диапазоне концентраций до $x = 0,19$.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Материалы и методы. Пленки выращены методом ЖФЭ на подложках ГГГ в плоскости (111). Толщина пленок определялась интерферометрически и находилась в пределах 2,59 – 6,65 мкм. Для изучения ЯМР пленки дополнительно обогащались изотопом ^{57}Fe до 50 %. Температура Кюри T_C определялась по спаду начальной восприимчивости. Проводимость измерялась двухзондовым методом на автоматизированной гальваномагнитной установке в диапазоне температур 300 – 600 K, включающем значение T_C . Показано, что все пленки имели n -тип проводимости. ЯМР исследовался на некогерентном ЯМР-спектрометре при $T = 77 K$.

На рис.1, 2 представлены концентрационные зависимости $\sigma(T)$ и энергии активации проводимости ΔE . Видно, что существенные изменения ΔE происходят в диапазоне $0 < x < 0,044$, затем зависимость выходит на плато. Значения ΔE определялись в области $T > T_C$,

так как при $T < T_C$ наблюдалось уменьшение ΔE . T_C снижается при легировании от 550 до 390 K при $x = 0,19$, причем наиболее заметные изменения происходят при $x \geq 0,073$.

В соответствие с требованиями электронейтральности при введении иона Si^{4+} , ближайшие к нему ионы Fe^{3+} снижают свою валентность, образуя примесные донорные ионы Fe^{2+} . Область делокализации примесного электрона, включающая соседние ионы, может быть определена как примесный центр или примесная макромолекула. В соответствие с современными представлениями о кинетике носителей в легированных полупроводниках, с увеличением концентрации примесей возможны следующие типы процессов переноса носителей в $Y_3Fe_5O_{12}:Si$ [3]. При низких концентрациях примесные центры не взаимодействуют между собой и энергия активации носителя при высоких температурах определяется либо величиной $\Delta E = m^* e^4 / (2h^2 \varepsilon^2)$ (водородная модель), либо $\Delta E = e^2 / (\varepsilon a)$ (полярная модель). С ростом x примесные центры перекрываются, образуется примесная зона. При снижении температуры возможен перенос по зонам, образованным либо частично ионизированными (компенсированный полупроводник), либо неионизированными донорами. Проводимость по примесной зоне в гранатах реализуется при азотных температурах.

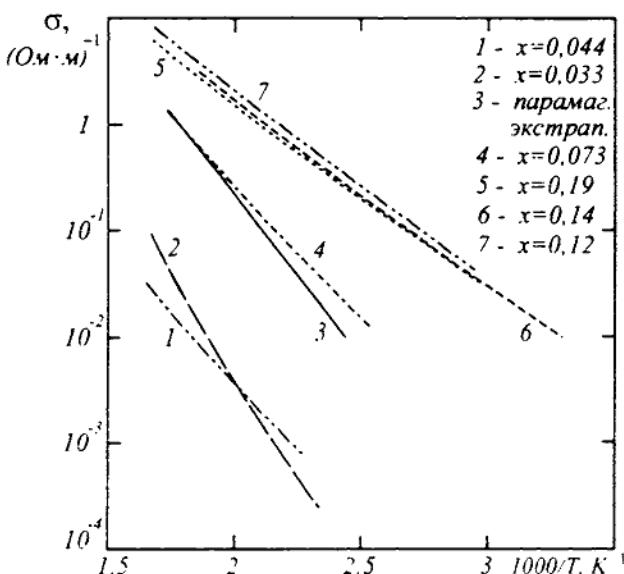


Рис. 1. Температурные зависимости проводимости $YFe_{5-x}Si_xO_{12}$

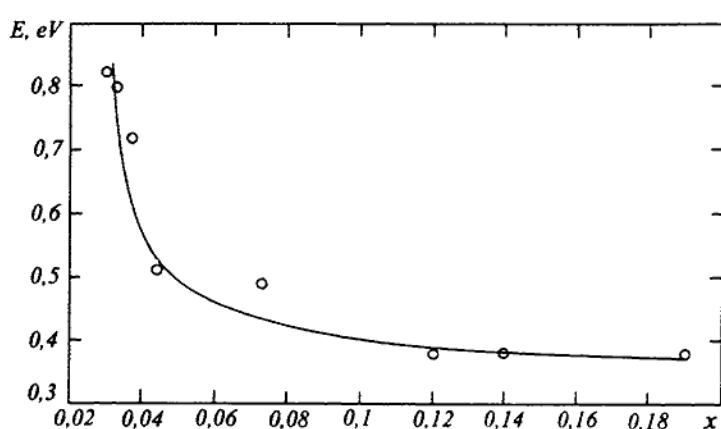


Рис. 2. Зависимость энергии активации проводимости от концентрации Si^{4+}

Уменьшение высокотемпературной энергии активации ΔE с ростом x (рис.2) связано либо с расширением примесной зоны, либо с увеличением диэлектрической проницаемости ε при легировании. Выход концентрационной зависимости $\Delta E(x)$ на плато при $x > 0,073$ обусловлен возможной экранировкой примесных центров свободными носителями при образовании примесной зоны. Изменение ΔE от T

при $T < T_c$ (отклонение кривой 4 от парамагнитной экстраполяции - кривая 3 на рис.1) связано со снятием вырождения энергетических зон по спину, которое обусловлено $s-d$ -обменным взаимодействием. Магнитный вклад в ΔE при этом пропорционален интегралу $s-d$ -обмена I_{sd} и приведенной намагниченности $m(T)$. В ЖИГ отсутствует аномалия $\sigma(T)$ вблизи T_c , характерная для магнитных полупроводников n -типа, что свидетельствует о том, что интеграл I_{sd} в гранатах ниже, чем в ферритах-шпинелях и халькошинелях хрома [4]. Разбавление d позиций ионами Si^{4+} приводит к ослаблению косвенного межподрешеточного $a-d$ -обменного взаимодействия, что отражается в снижении T_c при больших x .

Примесные ионы Fe^{2+} обладают сильной спин-орбитальной связью и представляют собой эффективный канал электронно-ядерной релаксации. Поэтому дополнительная информация о формировании примесной зоны может быть получена по исследованию таких динамических параметров как времена продольной T_1 и поперечной T_2 ядерной релаксации.

Измерения показали: 1). T_1 и T_2 для ядер Fe^{3+} , участвующих в электронном обмене с ионами Fe^{2+} в рамках примесного центра существенно короче, чем ядер ионов Fe^{3+} матрицы; 2). переход от изолированных центров к примесной зоне осуществляется при пороговых концентрациях $0,037 \leq x_c \leq 0,044$, что совпадает с наиболее крутым участком падения энергии активации (рис.2); 3). на основе теории перколяции [3] произведена оценка радиуса примесных центров, который незначительно превышает размер элементарной ячейки $\sim 14 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

Таким образом, исследования показали, что введение примесных центров на основе $Si^{4+} - Fe^{2+}$ не способно привести к "металлическому" типу проводимости ЖИГ, что обусловлено достаточно большой глубиной их залегания $0,3 \text{ eV}$, а также малым значениям интеграла $s-d$ -обменного взаимодействия. Представляет интерес исследовать центры, созданные введением ионов валентных диамагнитных ионов в c - и a -позиции.

Литература.

1. Нагаев Э.Л. Успехи физических наук, Т.166, №8, 1996, С.833-858.
2. Antonini B., Paoletti A. et all. //JMMM 31-34, 1983, Р. 149-150.
3. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. – М.: Наука, 1979, 416 с.
4. Мотт Н.Ф. Переходы металл-изолятор. – М.: Наука, 1979, 340 с.
5. Berzhansky V.N., Evstafjev I.I. Phys. Stat. Sol.(b) V.158, 1990, Р. 643.

СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДИФФУЗИОННО ЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ КОРУНДА

Бурцев А. В., аспирант; Грознов М. В., аспирант; Панкратов А. К., к.ф.-м.н., доцент;
Рудницкий А. Г., аспирант; Стругацкий М. Б., к.ф.-м.н., доцент

При отжиге в среде оксида кобальта бесцветные монокристаллы корунда приобретают синюю окраску. Полученные нами оптические спектры поглощения таких диффузионно легированных кристаллов отличаются от спектра $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с изоморфной примесью ионов Co^{3+} (рис.1).

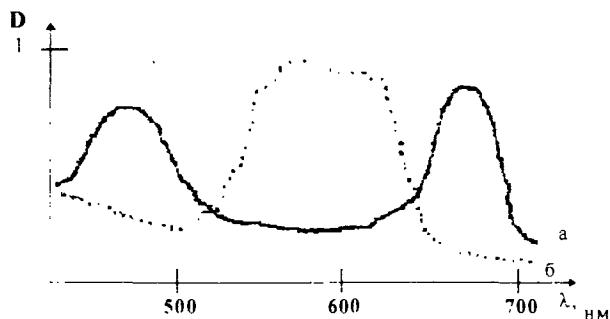


Рис.1. Спектры поглощения корунда :
 а) с изоморфной примесью Со; б) диффузионно легированного кобальтом.

Этого можно было ожидать, поскольку температура отжига слишком мала для изоморфного замещения ионов алюминия в решетке корунда. Таким образом в приповерхностной области возникает окрашенный слой, структура которого отличается от структуры корунда. Толщина этого слоя по нашим опеночным измерениям составляет несколько микрон. Настоящая работа посвящена изучению особенностей приповерхностной области диффузионно легированного корунда.

Спектр поглощения диффузионно легированного корунда по форме и положению линии хорошо согласуется со спектрами шпинели $\text{MgAl}_2\text{O}_4\text{-Co}$ [1], в которой Co^{2+} находится в тетраэдрической координации. В этом случае в видимой области имеется широкая интенсивная полоса с тройным максимумом, которая интерпретируется как переход ${}^4\text{A}_2 \rightarrow {}^4\text{T}_1$ (${}^4\text{P}$) между термами иона Co^{2+} в поле симметрии T_d [1]. Тонкая структура полосы обусловлена влиянием некубических составляющих кристаллического поля.

Дальнейшее изучение структуры диффузионно легированного слоя проводилось порошковым методом рентгеновской дифракции. С целью увеличения относительного объема приповерхностной окрашенной области бесцветный монокристаллический образец измельчался до порошка (зерно от 25 до 100 мкм), а затем подвергался диффузионному легированию. В этом случае на рентгенограмме удалось выявить дополнительные рефлексы, не соответствующие дифракционным максимумам

чистого корунда (рис.2). Анализ показал, что эти рефлексы соответствуют кубической гранецентрированной решетке шпинели (симметрия $Fd\bar{3}m$, параметр решетки $a=8,1\text{ \AA}$).

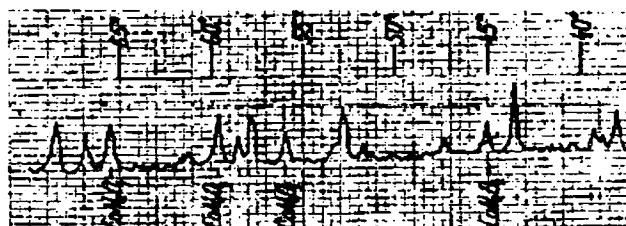


Рис.2. Фрагмент дифрактограммы корунда, диффузионно легированного кобальтом.

Для легирования корунда использовался оксид Co_2O_3 . При нагревании степень окисления кобальта уменьшается $\text{Co}_2\text{O}_3 \xrightarrow{900^\circ\text{C}} \text{CoO}$. Образующаяся у поверхности монокристалла паровая фаза оксида алюминия [2], по-видимому, и приводит к образованию шпинели на корундовой подложке в соответствии с реакцией $\text{CoO} + \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{CoAl}_2\text{O}_4$. Исходя из этого можно понять, почему диффузионно легированный слой в атмосфере кислорода образуется не так интенсивно как на воздухе – избыточное количество кислорода в среде отжига затрудняет восстановление Co_2O_3 , что и препятствует образованию шпинели. Понятно, также, существование температурного порога реакции – он определяется температурой восстановления оксида. Казалось бы, синтез шпинели наиболее интенсивно должен проходить в вакууме. Наши эксперименты показали, что это не так – в вакууме окрашивания удается достичь только при более высоких, чем на воздухе температурах (на 150°C). Объяснить это можно тем обстоятельством, что при отжиге в вакууме одновременно идут два процесса – интенсивное испарение с рассеянием вещества с поверхности образца и образование шпинели на поверхности. Очевидно, второй процесс начинает доминировать с ростом температуры.

Как известно, структура корунда представляет собой плотнейшую гексагональную упаковку ионов кислорода, в октаэдрических пустотах которой находятся ионы алюминия. Кристаллическая структура шпинели – кубическая гранецентрированная упаковка ионов кислорода с атомами металлов, заполняющих часть тетра- и октаэдрических пустот. Очевидно, эквивалентными могут быть только кислородные слои (0001) гексагональной и (111) кубической структур. Поэтому, образование шпинели может осуществляться только на базисе (0001) корунда. Наш же опыт говорит о том, что рост шпинели наблюдается на любых поверхностях корунда. Это можно объяснить образованием ямок травления с фрагментами базисной плоскости и ростом шпинели на этих фрагментах. Ямки травления образуются в результате термического воздействия [3,4,5].

Для обоснования такой модели проводились эксперименты по микроскопическому изучению структуры поверхности диффузионно легированных кристаллов. Для этой цели методом профилированного роста были синтезированы пластины $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с плоскостями (1120) и (1012).

В первой серии экспериментов образцы подвергались травлению в отсутствии оксида кобальта. В результате изначально "чистая" поверхность покрывалась сетью ямок травления, форма которых определялась симметрией грани. Для грани (1012) это были треугольники, для (1120)- квадраты. Последующий отжиг в среде Co_2O_4 приводил к тому, что в ямках травления образовывались микрокристаллы шпинели (рис.3а).

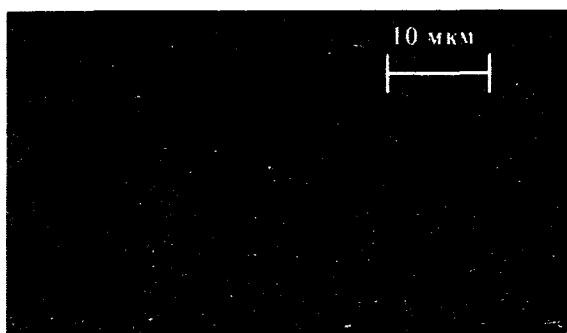


Рис. 3а. Поверхность (1012) предварительно протравленного корундового образца после диффузионного легирования (время отжига - 1 час).

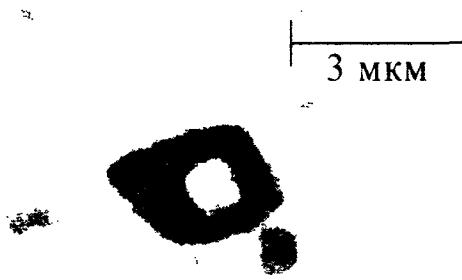


Рис. 3б. Ямка травления на поверхности (1120), заполненная шпинельной фазой (Время отжига - 12 часов).

Во второй серии экспериментов легировались другие, предварительно не подвергавшиеся травлению образцы. В этом случае термическое травление кристаллов и рост шпинельной фазы происходили одновременно. Исследования показали, что и здесь шпинель локализуется именно в ямках травления. На рис.3б представлено увеличенное изображение микрокристалла шпинели, заполняющего ямку травления. Хорошо заметна его огранка. Микрокристалл шпинели возвышается на 0,5 мкм над поверхностью корунда. Послеодующая обработка образцов в кипящей серной кислоте приводила к растворению шпинели и выявлению этих ямок.

Литература.

1. Бокина О.Н., Грум-Гржимайло С.В. Исследование оптических спектров кристаллов с новыми группами железа при комнатной и низких температурах. - М.: Наука, 1972.
2. Добровинская Е.Р., Литвинов Е.А., Ницник В.В. Монокристаллы корунда. - К.: Наукова думка, 1994.
3. Хейман Р.Б. Растворение кристаллов. - Л.: Недра, 1979.
4. Neher A.H., Roberts I.P. Trans. Brit. Ceram. Soc. - 1966. - 65, №5, p.219.
5. Palmour H., Duplessis J., Kriegel J., Wurth W. J. Amer. Ceram. Soc. - 1961. - 44, №8, p.400.

СТРУКТУРА НАМАГНИЧЕННОСТИ ЛЕГКОПЛОСКОСТНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ В НЕОДНОРОДНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

*Бутрим В. И., кандидат физико-математических наук, Михерский Р. М., аспирант,
Вишневский В. Г., кандидат технических наук, доцент,
Дубинко С. В., кандидат физико-математических наук, доцент*

Задачи о магнитостатических взаимодействиях в двухслойных системах приобрели актуальность в связи с совершенствованием магнитооптических (МО) устройств для ввода информации с гибких подвижных магнитных носителей (МН) в оптические процессоры и для визуализации магнитных полей сложной топологии. Как правило, в таких устройствах применялись МО среды с бинарной доменной структурой - эпитаксиальные пленки феррит-гранатов (ЭПФГ) с перпендикулярной анизотропией. Теория вынужденной доменной структуры, возникающей под воздействием неоднородного поля МН, отражена, например, в [1]. Однако невозможность прямого аналогового отображения информации и ограничения динамического диапазона МО преобразования при использовании указанных ЭПФГ стимулировали поиск материалов, модуляция намагниченности в которых осуществлялась бы не смещением доменных границ, а вращением вектора магнитного момента. Об опыте использования аналоговых МО сред сообщалось в [2]. Целью теоретического анализа настоящей работы является оценка соответствия локальной структуры намагниченности в монодоменном слое ЭПФГ форме неоднородного внешнего поля при условии варьирования его амплитудно-частотных характеристик.

Изучается модель ферромагнетика (ФМ) с анизотропной плоскостью легкого намагничивания, которая достаточно адекватно описывает ЭПФГ, выращенные на подложках с ориентацией, близкой к [111]. Такие пленки обладают анизотропией «легкая плоскость» со слабо выраженной кубической кристаллографической анизотропией. Однако даже незначительная разориентация подложки от плоскости [111] приводит к появлению значительной (в сравнении с кубической) компоненты орторомбической кристаллографической анизотропии.

Рассмотрим ФМ в форме плоскопараллельной пластины, развитая поверхность ХОY которой совпадает с анизотропной плоскостью легкого намагничивания. ФМ, основное состояние которого монодоменное, помещен в пространственно периодическое магнитное поле вида

$$H_x = H_0 \cos \frac{2\pi x}{d}, \quad H_z = H_0 \sin \frac{2\pi x}{d}, \quad H_y = 0, \quad (1)$$

так, что ось легкого намагничивания (ОЛН) в легкой плоскости перпендикулярна направлению модуляции поля x (d - период поля). Далее считаем, что амплитуда внешнего поля H_0 мала в сравнении с полем нормализации образца, но сравнима с полем одноосной анизотропии в «легкой плоскости» H_A . Это означает, что вектор плотности магнитного момента \vec{M} не «выходит» из плоскости ХОY и z-компоненты намагниченности равна нулю. Предполагая также, что

намагниченность, равно как и внешнее поле, модулирована вдоль x , воспользуемся винтеровским приближением для размагничивающего поля: $H_x'' = -4\pi M_x$.

Варьируемая часть плотности энергии изучаемой системы, записанная через угол φ полярной системы координат с полярной осью направленной вдоль x , имеет вид

$$w = \frac{\alpha}{2}(\nabla\varphi)^2 + \frac{1}{2}(\rho + 4\pi)\sin^2\varphi - \frac{H_0}{M_s}\cos\varphi\cos\frac{2\pi x}{d}, \quad (2)$$

где α - константа неоднородного обмена, $\rho > 0$ - константа одноосной анизотропии в плоскости легкого намагничивания, M_s - намагниченность насыщения.

Равновесное состояние системы с энергией (3) определяется уравнением Эйлера

$$\frac{\delta w}{\delta\varphi} = 0. \quad (3)$$

В результате варьирования получим следующее уравнение для угла φ

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial\xi^2} + \sin\varphi \left[\cos\varphi - B\cos\frac{2\pi\xi}{N} \right] = 0, \quad (4)$$

где введены следующие обозначения

$$\xi = \frac{x}{x_0}, \quad x_0 = \frac{\alpha}{\rho + 4\pi}, \quad B = \frac{H_0}{M_s(\rho + 4\pi)}, \quad N = \frac{d}{x_0}. \quad (5)$$

Величина B представляет собой безразмерную амплитуду поля, N - приведенный период.

Границные условия выбирались таким образом, чтобы в точках нулевого поля намагниченность была направлена вдоль ОЛН

$$\cos\varphi(\xi_0) = 0 \quad \text{при} \quad \xi_0 = \frac{N}{4}n, \quad n = \pm 1, 3, \dots \quad (6)$$

Решение поставленной задачи осуществлялось численными методами. На первом этапе краевая задача сводилась к задаче Коши, которая затем интегрировалась методом Рунге-Кутта.

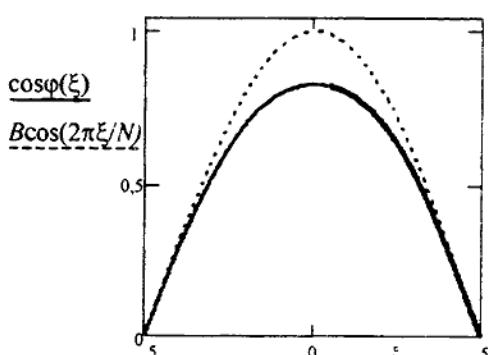


Рис. 1. Координатная зависимость внешнего поля и x -компоненты намагниченности при $B=2$ и $N=20$

Вид полученных решений существенно зависит от параметров поля N и B . Так, при $B < 1$, уравнение (4) имеет решения, описывающие пространственные колебания \bar{M} около направления ОЛН, так что x -компоненты намагниченности $M_x(\xi)/M_s = \cos\varphi(\xi)$ практически повторяет форму внешнего поля (рис.1), т.е. имеет вид

$$\cos\varphi(\xi) \approx A \cos\frac{2\pi\xi}{N}, \quad (7)$$

причем амплитуда решения $A = \cos \varphi(0)$ зависит от амплитуды внешнего поля B и его периода N . При конечных N амплитуда колебаний \bar{M} не превосходит B . С ростом периода $A \rightarrow B$. Так, при $B=1$ амплитуды A и B сравниваются уже при $N \geq 80$ (рис. 2). Зависимость амплитуды колебаний A от амплитуды внешнего поля B при фиксированном N представлена на рис.3.

При $B > 1$ форма решений меняется. На зависимости $\cos \varphi(\xi)$ появляется «полочка», соответствующая области насыщения, в пределах которой величина внешнего поля больше некоторого поля насыщения $H_S(B, N) > H_A$ и меньше амплитудного (рис. 4). При конечных N величина поля H_S , при которой вектор \bar{M} коллинеарен полю, всегда больше H_A . Так, при $B=2$ и $N=20$ (рис. 4) $H_S \approx 1,9 H_A$. В пределе больших периодов H_S снижается и стремится к H_A .

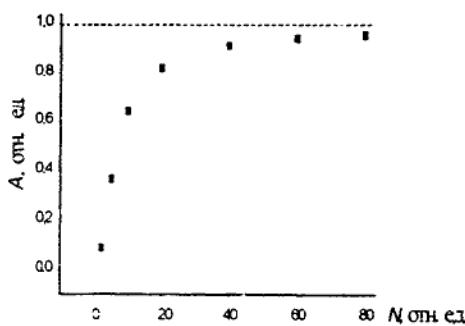


Рис. 2. Амплитуда колебаний \bar{M} как функция N при $B = 1$

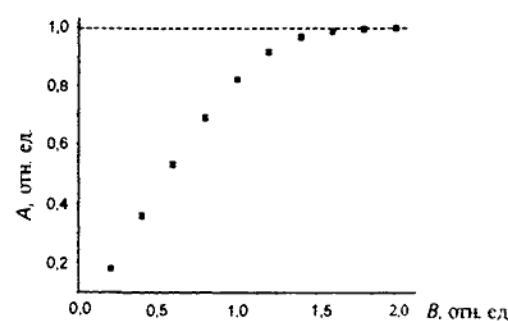


Рис. 3. Амплитуда колебаний \bar{M} как функция B при $N=20$

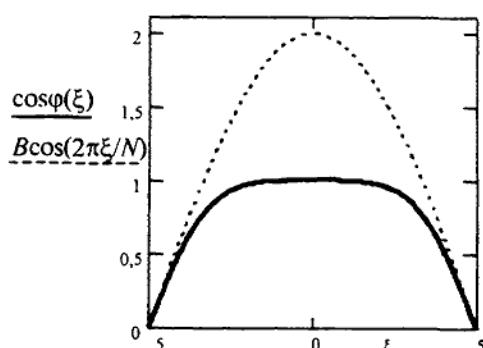


Рис. 4. Координатная зависимость внешнего поля и x-компоненты намагниченности при $B = 2$ и $N=20$

Степень соответствия распределения индуцированной намагниченности форме поля может быть оценена путем разложения в ряд функции $M_x(\xi)/M_S$. Но даже не прибегая к методам Фурье-анализа, можно констатировать, что для решений, аппроксимирующих косинусоидальной зависимостью (7), степень искажений снижается с ростом N и с уменьшением амплитуды поля B .

Литература

1. Huijer E., Lehureau J.-C., Castera J.-P. Analysis of medium-garnet interaction in a parallel high-density magneto-optic read head // IEEE Trans. Magn. - 1987. - Vol. MAG-23, N 3. - P. 1919-1922.
2. Garnet films for optical processing / Vishnevski V., Dubinko S., Nedviga A. et al. // Int. Conf. on Ferrites ICF7, Bordeaux'96, France: Abstr. - Bordeaux, 1996. P. 439.

ИНТЕНСИВНОЕ АННИГИЛЯЦИОННОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОННО-ПОЗИТРОННОГО ПОТОКА

Быков А. М., кандидат физико-математических наук, доцент,

Дзедолик И. В., кандидат физико-математических наук, доцент

Создание источников коротковолнового интенсивного когерентного излучения в рентгеновском и гамма-диапазоне для исследовательских и технологических целей является в последние годы весьма актуальной задачей релятивистской электроники [1,2].

Альтернативным способом генерации коротковолнового излучения гамма-диапазона являются аннигиляционные процессы при взаимодействии позитронного пучка с электронами, связанными в атомах неподвижной мишени [3], а также при взаимодействии сопротивленных релятивистских электронного и позитронного пучков, распространяющихся в фокусирующем магнитном поле [4]. В первом случае имеет место когерентное гамма-излучение низкой интенсивности. Во втором случае возникающие при аннигиляции электронно-позитронных пар гамма-кванты в силу выполнения закона сохранения импульса для такой системы $\mathbf{p}_- + \mathbf{p}_+ = \hbar\mathbf{k} + \hbar\mathbf{k}$ (где \mathbf{p}_- – импульс электрона, \mathbf{p}_+ – импульс позитрона, $\hbar\mathbf{k}$, $\hbar\mathbf{k}$ – импульсы гамма-квантов, $\hbar = h / 2\pi$) будут направлены в узкий конус с углом раствора $1/\gamma$ (где $\gamma = E / m_0 c^2$ – безразмерная энергия частицы), т.е. будет генерироваться узконаправленное гамма-излучение относительно высокой интенсивности, зависящей от плотности электронного и позитронного пучков.

Интенсивность аннигиляционного гамма-излучения немодулированных по плотности электронного и позитронного пучков пропорциональна числу N пар прореагировавших электронов e^- и позитронов e^+ . Однако, как известно, интенсивность излучения можно существенно повысить, если сгруппировать излучатели так, что их сгустки будут находиться в пространстве в одной и той же фазе волны излучения. В последнем случае интенсивность аннигиляционного излучения будет пропорциональна квадрату числа излучателей N^2 – пар прореагировавших электронов и позитронов.

Учитывая симметричность функции распределения относительно перестановок любой пары электронов и позитронов в силу их тождественности и отсутствия корреляции между частицами для средней спектральной интенсивности получаем выражение [5]:

$$I(\omega) = \left\langle |E(\omega)|^2 \right\rangle = N\Psi(\omega) + N(N-1)\Phi(\omega) \quad (1)$$

где $\Psi(\omega) = \int d^3r \int d^3p |\mathbf{E}(\omega, \mathbf{r}, \mathbf{p})|^2 f_1(\mathbf{r}, \mathbf{p})$
 $\Phi(\omega) = \int d^3r_1 \int d^3r_2 \int d^3p_1 \int d^3p_2 \mathbf{E}(\omega, \mathbf{r}_1, \mathbf{p}_1) \mathbf{E}^*(\omega, \mathbf{r}_2, \mathbf{p}_2) f_2(\mathbf{r}_1, \mathbf{p}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{p}_2)$

Введем фактор когерентности излучения $S(\omega) = \Phi(\omega)/\Psi(\omega)$, (2)

тогда (1) представляем в виде $I(\omega) = \Psi(\omega) [N(1 - S(\omega)) + N^2 S(\omega)]$ (3)

В предельных случаях при $S(\omega)=1$ изучение полностью когерентное в том смысле, что его мощность пропорциональна квадрату числа излучателей, а при $S(\omega)=0$ излучение не когерентное.

Во взаимодействующих в вакууме параллельных релятивистских электронном и позитронном пучках имеют место следующие процессы: электрон-электронное, позитрон-позитронное и электрон-позитронное рассеяние, комптоновское рассеяние фотонов на частицах, аннигиляция и рождение электронно-позитронных пар. Все эти процессы являются процессами второго порядка и протекают во взаимодействующих электронном и позитронном пучках одновременно. Однако эффективное сечение процесса аннигиляции $\sigma = \pi r_0^2 c / v$, пропорциональное $1/v$ (где v – относительная скорость аннигилирующих частиц в движущейся системе отсчета, $r_0 = e^2 / m_0 c^2$), будет преобладать при малых относительных скоростях электронов и позитронов, что имеет место в сонаправленных электронном и позитронном пучках.

При аннигиляции пары электрон-позитрон в свободном пространстве излучается два фотона, различающиеся энергией и импульсами. В движущейся системе импульсы аннигилирующих частиц распределены по сфере, т.е. в силу закона сохранения импульса для такой системы импульсы фотонов также будут распределены по сфере – излучение изотропно. При $1-\beta \ll 1$ в лабораторной системе функции распределения излучения вдоль скорости движения частиц ($\theta=0$) и в противоположном направлении ($\theta=\pi$) относятся как [6] $f(\theta)/f(0) = (1+\beta)/(1-\beta) \approx 4\gamma^2 \gg 1$, т.е. релятивистский источник излучает вперед по направлению своего движения в узкий конус с углом раствора $\theta \approx \gamma^{-1} \ll 1$.

Если непрореагировавшие в области взаимодействия электроны и позитроны развести с помощью поперечного стационарного магнитного поля, развернуть электронный и позитронный пучки против хода основного пучка и направить электронный пучок на металлический анод, то при его торможении возникнет рентгеновское излучение с частотой $\omega_R = m_e c^2 (\hbar)^{-1} \gamma$. Позитронный пучок можно направить вновь в область взаимодействия на повторный цикл.

Фотоны рентгеновского излучения, генерируемого при торможении непрореагировавших электронов на аноде, распространяются против движения гамма-квантов. Скорости распространения

гамма-квантов и релятивистских частиц близки. При выполнении условий фазового синхронизма [7]:

$$\omega_\gamma(1-\beta) = \omega_R(1+\beta), \quad (4)$$

(где ω_γ - частота гамма-квантов, ω_R -частота рентгеновских фотонов), электроны и позитроны будут группироваться в единые сгустки под воздействием пондеромоторной силы - комбинационной силы попутного гамма-излучения и встречного рентгеновского излучения. При этом «время жизни» $t=L/c\beta$ - время пролета частиц через область взаимодействия значительно превышает время спонтанных квантовых переходов. следовательно, при выполнении условий синхронизма (4) электронно-позитронный поток будет модулироваться по плотности, а мощность его излучения будет расти пропорционально N^2 .

Таким образом, для генерации интенсивного направленного гамма-излучения возможно использование релятивистских электронного и позитронного пучков с малыми значениями эмиттанса, т.е. с параметрами, реализуемыми в настоящее время в современных малогабаритных ускорителях. Процессы аннигиляции электронно-позитронных пар в таких пучках позволяют с максимально возможным КПД трансформировать энергию частиц в энергию поля излучения. При этом возможна плавная перестройка частоты гамма-излучения в результате изменения кинетической энергии частиц электронного и позитронного пучков.

Литература.

1. Barletta W.A., Bonifacio R., Pierini P. High brilliance, femtosecond X-ray sources//SSRI. 92/02 Workshop on Fourth Generation Light Sources.Feb. 24-27.– 1992.
2. Курилко В.И., Гкач Ю.В. Физические механизмы формирования когерентного излучения в ультрарелятивистском ЛСЭ//Успехи физических наук. – 1995. – Т.165, вып.3. – С.241-261.
3. Перина Я Квантовая статистика линейных и нелинейных оптических явлений. – Москва: Мир.- 1987. – 368 с., ил.
4. McMaster W.H. Matrix Representation of Polarization//Review of Modern Physics. – 1961. – V.33, N1. – Р.8-28.
5. Корхмазян Н.А., Геворкян Л.А., Петросян М.Л. Влияние плотности распределения электронов на когерентность излучения сгустков//Журнал технической физики. – 1977.-Т.47, Вып.8. – С.1583-1597.
6. Бредов М.М., Румянцев В.В., Тонтыгин И.Н Классическая электродинамика. – Москва: Наука. – 1985. – 400 с.,ил.
7. Дзедолик И.В. Индуцированное излучение релятивистского электронного потока в поле полихроматической электромагнитной волны//Радиотехника и электроника. – 1990. – Т.35, вып.9. – С.1954-1963.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

Глумова М. В., ст.преподаватель, Воробьев М. Д., доктор технических наук

Старостенко В. В., кандидат физико-математических наук

Низкочастотные флуктуации, характерные для любой полупроводниковой структуры, в значительной степени проявляются при работе полупроводника в качестве термоэлектронного катода. Для большинства современных электровакуумных приборов (ЭВП) основным типом термоэлектронного катода является оксидный, представляющий электронный полупроводник с адсорбированной на поверхности моноатомной пленкой атомов Ва. Как и другие виды катодов, оксидный катод в структуре ЭВП наиболее подвержен деградации, в связи с чем прогнозирование его надежности является в настоящее время актуальной задачей. Использование для решения такой задачи известных методов электрофлуктуационной диагностики приводит к необходимости учитывать специфические особенности полупроводникового катода – существование на эмитирующй поверхности участков с пониженным током эмиссии (эмиссионных дефектов), как показателей некачественности катода и его потенциальной ненадежности. Кроме того, типичным режимом работы для оксидного катода является режим ограничения тока пространственным зарядом, при котором шумы, измеряемые в цепи прохождения тока катода, оказываются демпфированными электронным пространственным зарядом. Последнее вносит значительное затруднение при установлении связи контролируемых шумовых параметров с состоянием эмитирующей поверхности, но одновременно может быть использовано при оценке запаса катода по эмиссии. С учетом указанных факторов очевидно, что разработка шумовых методов оценки качества катодов выдвигает на первый план решение вопроса о роли электронного потока как связующего звена между источником флуктуаций и действием этих флуктуаций. Такую роль могла бы выполнить модель токопрохождения в электронно-оптической системе, позволяющей в максимальной степени учесть, в отличии от существующих, распределение эмитированных электронов по начальным скоростям, наличие пространственного заряда и обладать возможностью быть примененной к сложным конфигурациям систем электродов.

В качестве такой модели может служить разработанная численная динамическая осесимметричная модель электронного прожектора с использованием метода крупных частиц.

Физическая постановка проблемы при создании модели предполагала решение самосогласованной задачи решения системы уравнений движения макрочастиц, находящихся под действием создаваемых ими полей пространственного заряда и внешних электростатических полей, которые определялись уравнением Лапласа и Пуассона.

Процесс моделирования представлял численную реализацию во времени следующих блоков:

1. Решение статической задачи, определение электростатических полей в объеме исследуемого прибора с учетом точной геометрии расположения конструктивных деталей;
2. решение системы уравнений движения частиц электронного пучка, исследование процессов распространения электронного пучка с учетом токооседания;
3. определение полей пространственного заряда, создаваемого частицами электронного пучка при распространении, на каждом временном шаге.

Базовая система уравнений представляла совокупность уравнения Пуассона и уравнения Ньютона. Структура модели и численные методы ее реализации описаны в [1].

Результатом моделирования явилось получение интегральных и дифференциальных характеристик пучка в исследуемой области.

Использование численной динамической модели позволяло рассчитывать и анализировать следующие зависимости, несущие информацию о шумовых эффектах в электронных пучках: распределение статических электрических полей; распределение полей пространственного заряда на каждом временном шаге этапов моделирования; распространение частиц в исследуемой области.

Как следствие реализации указанных возможностей осуществлялось решение следующих задач: нахождение токовых характеристик в системе с учетом реального распределения электронов по начальным скоростям; определение местонахождения прикатодного минимума потенциала и кроссовера в различные моменты времени; наблюдение переходных процессов вблизи катода.

Отмеченные особенности модели позволяют рассматривать ее как уникальный инструмент исследования НЧ флюктуаций, связанных с колебаниями работы выхода термоэлектронного катода в ЭВП. Так, в частности появилась возможность выполнения численных экспериментов по изучению связи параметров эмиссионных дефектов (плотность тока эмиссии, размеры, механизмы) с величинами шумовых параметров во внешних цепях по проверке и уточнению известных аналитических соотношений описывающих демпфирование НЧ-шумов пространственным зарядом. Существенным достоинством модели является возможность проведения численного эксперимента вблизи режима насыщения, что недоступно в известных аналитических моделях и представляет практический интерес в связи с разработкой шумовых методов оценки запаса эмиссии катодов. Модель обладает большой наглядностью, так как позволяет визуализировать процесс прохождения электронов в межэлектродном пространстве.

В качестве примера на рис. 1 показана система электродов электронного прожектора кинескопа с заданным модулятором и фокусирующим электродом (такая схема задания электродов использовалась при изучении шумовых характеристик катода). Макрочастицы изображены точками, отображена огибающая пучка, отмечено положение минимума потенциала.

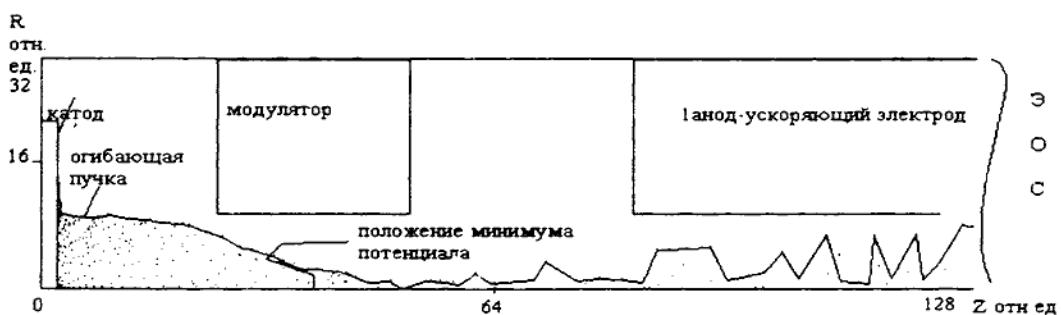


Рис. 1

Мгновенный вид динамической визуализации распространения пучка в электронном прожекторе

Переходные процессы, связанные с флуктуациями прикатодного минимума потенциала показаны на рис.2. На нем приводится зависимость величины минимума потенциала от времени, колебания местоположения кроссовера в течении времени.

Проведено исследование адекватности разработанной модели, подтвердивших согласование полученных результатов с результатом расчета по известным аналитическим соотношениям (расчет вольт-амперных характеристик, включая режимы насыщения, положение минимума потенциала)



Рис.2

Зависимости колебания минимума потенциала и местоположения кроссовера от времени.

Литература.

1. М.В.Глумова, А.А.Шадрин Динамическое моделирование электронно-лучевых приборов методом крупных частиц. Сб. Динамические системы, Вып.13, 1994 г., с.73-78
2. Р. Хокни, Дж. Иствуд Численное моделирование методом частиц.-М.:Мир,1987 г.-640с

**ОСОБЕННОСТИ ТРАНСЛЯЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ДОМЕНОВ
В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ
С РАЗОРИЕНТИРОВАННЫМИ ПОВЕХНОСТЯМИ**

Дубинко С. В., кандидат физико-математических наук, доцент

Эпитаксиальные пленки феррит-гранатов (ЭПФГ) обладают наведенной одноосной магнитной анизотропией, возникающей в процессе выращивания пленок. Изменение характера анизотропии можно достигнуть при выращивании ЭПФГ на разориентированных поверхностях, которые не совпадают с естественными кристаллографическими плоскостями. При этом возникает наклон оси легкого намагничивания (ОЛН). Магнитная анизотропия играет существенную роль в процессах перемагничивания ЭПФГ. Частным типом перемагничивания является трансляционное движение цилиндрических магнитных доменов (ЦМД), которое практически не исследовано в ЭПФГ с наклоном ОЛН.

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные исследования трансляционного движения ЦМД в пленках с составом $(\text{BiLu})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, выращенных на подложках гадолиний-галлиевого граната, поверхности которых лежат между кристаллографическими плоскостями (111) и (112) (рис. 1). Трансляционное движение доменов исследовалось магнитооптическим методом на установке, собранной на базе поляризационного микроскопа. Продвижение ЦМД осуществлялось с помощью градиентной петли на площади 40x300 мкм, меньшая сторона прямоугольника располагалась вдоль \mathbf{n} , где \mathbf{n} - направление градиента импульсного продвигающего магнитного поля, а большая - вдоль проводника.

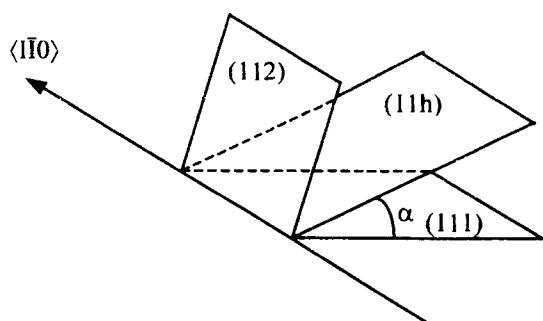


Рис. 1. Ориентация кристаллографических поверхностей в ЭПФГ

Для исследований были выбраны шесть образцов ЭПФГ. Для первого образца угол α равнялся нулю градусов, что соответствовало плоскости (111), для последнего образца $\alpha = 19,4^\circ$ -- плоскость (112). Угол α между плоскостями (112) и (11h) составлял $4^\circ \pm 0,5^\circ$. Исследование характера движения доменов проводилось следующим образом. Проекция ОЛН на плоскость образца располагалась,

соответственно, параллельно и перпендикулярно \mathbf{n} . Для ряда образцов исследовался характер движения доменов также и для других углов между проекцией ОЛН на плоскость пленки и \mathbf{n} . Геометрия эксперимента по исследованию трансляционного движения ЦМД представлена на рис. 2. Точность измерения угла между направлениями \mathbf{m} и \mathbf{n} составляла $\sim 0,5^\circ$.

Методом ферромагнитного резонанса были измерены константы магнитной анизотропии: K_u - константа одноосной анизотропии и $K_{\text{от}}$ - константа ромбической анизотропии, K_1 - константа кубической анизотропии. На рис. 3 представлена зависимость отношения констант ромбической и одноосной анизотропии от угла α , а следовательно и наклона ОЛН. Показано, что вклад ромбической анизотропии растет по мере увеличения наклона ОЛН, при значении $\alpha = 15,3^\circ$ наблюдается резкое увеличение $K_{\text{от}}/K_u$. Зависимость $K_{\text{от}}/K_u$ от α определяет характер трансляционного движения ЦМД.

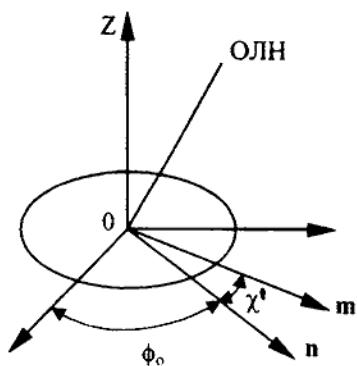


Рис. 2. Геометрия эксперимента, n - направление градиента продвигающего поля, m - направление движения ЦМД

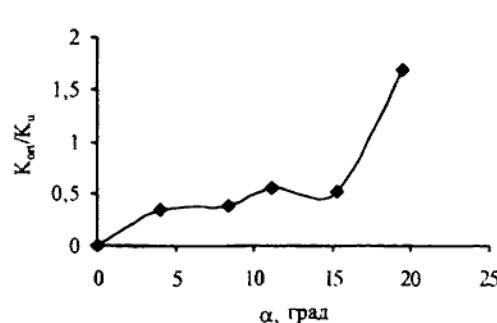


Рис. 3. Зависимость констант анизотропии ЭПФГ от α

Анализ трансляционного движения ЦМД в пленках с $\alpha = 0^\circ$ показал, что магнитная анизотропия в плоскости образца, обусловленная наклоном ОЛН, не оказывает существенного влияния на движение ЦМД. В пленках с $\alpha = 8,3^\circ$ и $11,3^\circ$ магнитная анизотропия в плоскости пленки повышает вероятность образования ЦМД, движущихся вдоль n .

В пленках с $\alpha = 15,3^\circ$ и $19,4^\circ$ магнитная анизотропия в плоскости пленки полностью определяет характер трансляционного движения ЦМД, которые имеют явно выраженную эллиптическую форму. Рассмотрим поведение ЦМД на примере ЭПФГ с $\alpha = 19,4^\circ$. При изменении угла ϕ_0 в плоскости образца на 360° была обнаружена асимметрия трансляционного движения ЦМД (рис. 4), которая связана с наличием анизотропии в плоскости пленки.

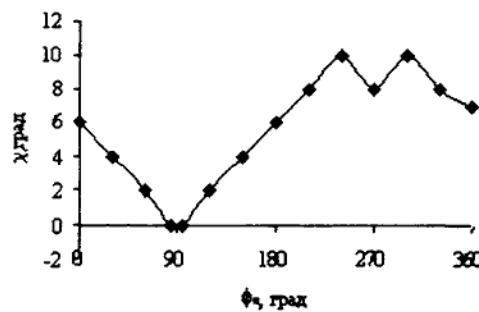


Рис. 4. Зависимость угла χ от ϕ_0

Энергия магнитной анизотропии для ЭПФГ с ориентацией (112) имеет следующий вид:

$$E = (K_u + 2\pi M_o^2) \cos^2 \theta + K_{an} (\sin^2 \theta \sin^2 \phi + 2^{1/2} \sin 2\theta \sin \phi) + K_1 [(\sin^4 \theta \cos^4 \phi + \cos^4 \theta)/4 + (\sin^4 \theta \sin^4 \phi)/3 + \sin^2 2\theta \cos^2 \phi - 2^{1/2} (\sin \theta \cos^3 \theta \sin \phi)/3 + 2^{1/2} \sin^3 \theta \cos^2 \phi \sin \phi \cos \theta], \quad (1)$$

где θ и ϕ - углы, описывающие ориентацию вектора намагниченности M относительно ЭПФГ, равновесное положение которого в исследуемом образце реализуется при $\theta = 48^\circ$.

Для объяснения асимметричного трансляционного движения ЦМД была построена зависимость энергии анизотропии ЭПФГ от угла ϕ при фиксированном значении угла θ , соответствующему равновесному положению вектора M (рис. 5).

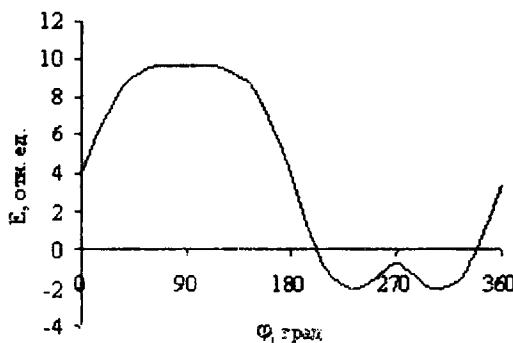


Рис. 5. Зависимость энергии анизотропии ЭПФГ от ϕ при $\theta = 48^\circ$

Из представленной на рис. 5 зависимости видно, что она коррелирует с зависимостью, показанной на рис. 4. Изменение величины энергии анизотропии определяет величину угла χ , то есть возникает "притягивающий" эффект, когда ЦМД стремится двигаться вдоль π в направлениях, которым соответствует большее значение энергии анизотропии, и наоборот. Данное поведение ЦМД определяется действием внешней гиротропной силы, создаваемой градиентом продвигающего поля, и силой, которая препятствует движению ЦМД и обусловлена процессами рассеяния энергии на доменной границе [1]. Приведенные в [1] результаты исследования трансляционного движения ЦМД обусловлены присутствием в плоскости пленки магнитного поля. В нашем случае составной частью препятствующей силы, определяющей эллиптичность ЦМД и характер их трансляционного движения, являлась магнитная анизотропия.

Литература.

1. Beaulieu T. J., Calhoun B.A. Dependence of bubble deflection angle on the orientation of an in-plane magnetic field // Appl. Phys. Letters.- 1976.- V. 28, N 5.- P. 290-292.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛА s-d-ОБМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Евстафьев И.И., канд. физ.-мат. наук, доцент,

Лагунов И.И., ассистент

Принципиальной особенностью магнитных полупроводников (МПП), является взаимодействие коллективизированных электронов с локализованными d - или f - электронами [1]. Указанное взаимодействие представляет фундаментальный интерес, поскольку приводит к аномалиям ряда физических свойств. С другой стороны делаются попытки его использования в прикладных целях, например, для компенсации потерь в линиях задержки. Рассчитать величину $s - d$ - взаимодействия из первых принципов не удается, поэтому важно найти способы оценки его основного параметра - интеграла $s - d$ - взаимодействия I_{sd} .

Данная работа посвящена описанию методов оценки величины I_{sd} по результатам экспериментальных исследований проводимости $\sigma(T)$, магнитопроводимости $\sigma(H)$ и термоЭДС Q в широком интервале температур и магнитных полей.

Исследования проводились на кристаллах оксидных и халькогенидных МПП $Mn_{1-x}Zn_xFe_2O_4$, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ и $Cd_{1-x}Me_xCr_2Se_4$, где Me - In^{3+} , Ag^+ , на автоматизированной гальваномагнитной установке в диапазоне температур $77 - 600 K$ и магнитных полей до $10 k\mathcal{E}$.

1. В приближении широких зон, когда $I_{sd} < W$ $\sigma(T)$ при $T < T_C$ определяется в основном изменением концентрации носителей заряда, которая меняется по экспоненте с энергией активации $\Delta E = \Delta E_{a,d}^o - \Delta E_m$, где $\Delta E_{a,d}^o$ - энергия активации акцепторов (доноров) в парамагнитной области температур. ΔE_m - магнитный вклад в энергию активации при $T \leq T_C$. Если примесные центры лежат глубоко в запрещенной зоне, то ΔE_m определяется в основном значениями I_{sd}^n , обуславливающими расщепление зон проводимости I_{sd}^n или валентной зоны I_{sd}^v , при этом $\Delta E_m = 1/2 \cdot S I_{sd}^{v,n} m(T)$. Здесь S - спин d -иона, а $m(T)$ - приведенная намагниченность. В случае мелких примесей, а также при движении по примесной зоне следует учитывать также $s - d$ -расщепление примесных энергетических зон. Считая, что влияние магнитного порядка слабо влияет на подвижность носителей, ΔE_m можно определить по экспериментальным данным $\sigma(T)$ следующим образом:

$$\Delta E_m(T) = kT \ln [\sigma_{ferro}(T)/\sigma_{para}(T)]$$

Для ферромагнитных МПП типа $CdCr_2Se_4$ в широком диапазоне температур $M(T)$ меняется по закону Блоха $m(T) = 1 - CT^{3/2}$. Поэтому величина I_{sd} может быть определена построением зависимости $\Delta E_m(T) = f(T^{3/2})$ либо, если известно значение $m(T)$, по зависимости $2/S \cdot \Delta E_m / m(T)$. На рис. 1 представлена определенная таким образом $\Delta E_m(T)$ в $p - CdCr_2Se_4$. Оценка показывает, что в $CdCr_2Se_4$ $I_{sd} \approx 0,34 \text{ eV}$. Используя данные о локальных намагниченностях подрешеток в разбавленных ферритах-шпинелях

[2] по данным $\sigma(T)$ были оценены интегралы $s-d$ -взаимодействия для ферритов $NiFe_2O_4 : Zn$ и $MnFe_2O_4 : Zn$. Значения I_{sd} в зависимости от подрешетки колеблются для $Ni-Zn$ феррита $0,19 - 0,12 \text{ eV}$, для $Mn-Zn$ феррита $0,16 - 0,10 \text{ eV}$.

2. В кристаллах n -типа в зависимости $\sigma(T)$ наблюдается аномалия (рис. 2). Видно, что существуют температуры T_1 и T_2 , при которых $\partial\sigma/\partial T = 0$, а $T_2 < T_C < T_1$.

Можно показать, что в точке T_2

$$E_d'' = \frac{1}{2} I_{sd} S \left[m(T) - \frac{dm(T)}{dT} T_2 \right] \quad \text{и}$$

по данным $m(T)$ и $\sigma(T)$ определить I_{sd} . Значение I_{sd} для $MnFe_2O_4 : Zn$

определенные первым и вторым методом оказались практически равными $I_{sd} \approx 0,11$ и $I_{sd} = 0,10 \text{ eV}$.

3. Обнаружено, что в кристаллах n -типа проводимость меняется линейно от магнитного поля. Мы полагаем, что это связано с полевой зависимостью $\Delta E_m(H)$. Можно показать, что величина $\sigma(H)$ в пренебрежении спин-орбитальными эффектами может быть записана в виде

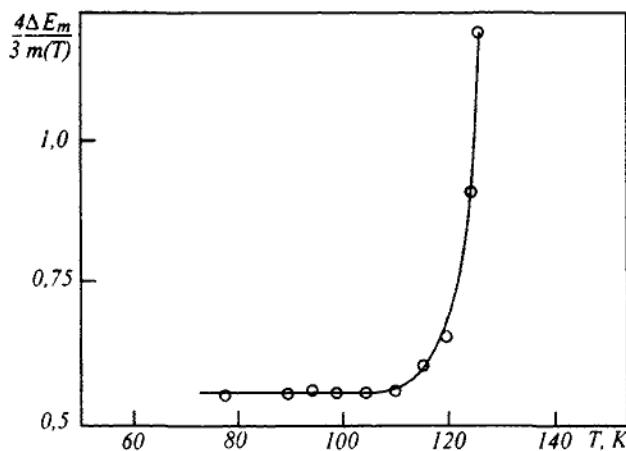


Рис. 1. Зависимость магнитного вклада в энергию активации от температуры в $p - CdCr_2Se_4$

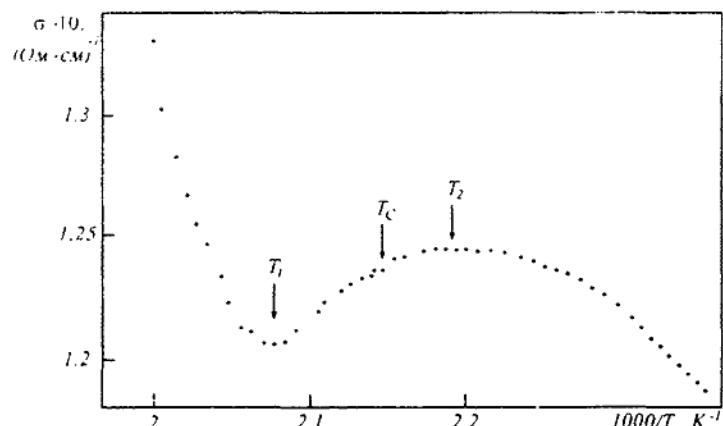


Рис. 2. Зависимость проводимости от температуры в $MnFe_2O_4 : Zn$

$$\frac{\sigma(H)}{\sigma(0)} = \exp \left[\frac{1}{2} I_{sd} \frac{\chi_0 H}{M(0)} S \right] \frac{1}{kT},$$

где χ_0 - восприимчивость связанная с подавлением термодинамических флюктуаций. Значения интеграла I_{sd} , определенные по данным $\sigma(H)$ для $MnFe_2O_4 : Zn$ хорошо согласуются с результатами полученными первым и вторым способами.

4. $s-d$ обменное взаимодействие модифицирует не только $\sigma(T)$ и $\sigma(H)$, но и температурные зависимости термоэлектрических эффектов. В [3] получено теоретическое выражение для термоЭДС

$$Q = -\frac{k}{e} \left[\frac{T}{\rho} \frac{d\rho}{dT} + \frac{I_{sd}}{2k} \frac{dm}{dT} \right],$$

где $\rho = 1/\sigma$, $m = m_{sd} + m_{dd}$, m_{sd} и m_{dd} намагниченности матрицы и примесных центров. Так как $I_{sd} \gg I_{dd}$, то при $T < T_c$ m_{sd} слабо меняется с T . Это позволило произвести оценку I_{sd} для $n-CdCr_2Se_4$ используя данные $Q(T)$, $m(T)$ и $\sigma(T)$. Наилучшее совпадение экспериментальной зависимости $Q(T)$ с теоретической получены при $I_{sd} \approx 0,33 \text{ eV}$, что коррелирует со значением I_{sd} полученным из анализа $\sigma(T)$.

Результаты работы подтверждают применимость широкозонного подхода при рассмотрении кинетических эффектов в МПП. Полученные значения I_{sd} позволяют оценить степень взаимодействия электрической и магнитной подсистем в рассматриваемых соединениях и выделить вклады других эффектов (например, спин-орбитального) в процессы переноса носителей.

Литература.

1. Nagaev E.L. Physics of Magnetic Semiconductors. -M.: Mir, 1983.
2. Berzhansky V.N., Evstafjev I.I. // Phys.Stat.Sol.(b) V.158, 1990, P.643.
3. Зайцев А.Н. //ФТТ, т.26, в.5, С. 1474-1478.

**СПЕКТРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН ДВУОСНОГО
СИЛЬНО АНИЗОТРОПНОГО ФЕРРОМАГНЕТИКА С УЧЕТОМ
БИКВАДРАТИЧНОГО ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ**

**Мицай Ю. Н., доктор физ.-мат. наук, профессор,
Фридман Ю. А., канд. физ.-мат. наук, доцент, Кожемяко О. В., аспирант**

1. Спектральные и термодинамические свойства магнетиков с негейзенберговским обменом активно изучаются в последнее время, поскольку недавно синтезирован ряд веществ с подобными свойствами TmGd, TmZn и другие [1,2]. Задача настоящей работы – изучить магнитоупругие волны в таких системах, не исследованные ранее. Точный учет одноионной анизотропии проведем, используя технику операторов Хаббарда. Гамильтониан подобной системы следующий:

$$\begin{aligned} H = & -\frac{1}{2} \sum_{n,n'} \left\{ (n-n') \vec{S}_n \vec{S}_{n'} + K(n-n') (\vec{S}_n \vec{S}_{n'})^2 \right\} - B_2^0 \sum_n \left\{ (\vec{S}_n)^2 - S(S+1) \right\} \quad (1) \\ & - B_2^2 \sum_n \frac{1}{2} \left\{ (S_z^+)^2 + (S_z^-)^2 \right\} + v \sum_n S_n^z S_{n'}^z u_{ii}(n) + \int d\mathbf{r} \left\{ \frac{\lambda+\eta}{2} (u_{xx}^2 + u_{yy}^2 + u_{zz}^2) + \eta (u_{xy}^2 + u_{xz}^2 + \right. \\ & \left. + u_{yz}^2) + \lambda (u_{xx} u_{yy} + u_{yy} u_{zz} + u_{xz} u_{yz}) \right\} \end{aligned}$$

где S_n^α – спиновые операторы в узле n ($\alpha = +, -, z$), $I(n-n') > 0$ – константа гейзенберговского обмена, $K(n-n') > 0$ – константа биквадратичного обмена, B_2^0, B_2^2 – константы ОА. v – константа МУ связи, $u_{ij}(n)$ -компоненты тензора деформаций. λ, η – упругие модули.

2. Фазовая диаграмма возможных состояний этой системы на плоскости B_2^0, B_2^2 была получена в [3]. На этой плоскости возможна реализация следующих фаз: ΦM_z , ΦM_x – фазы с векторным параметром порядка, направленным соответственно вдоль осей OZ и OX и две фазы KU_1 и KU_2 – с тензорным параметром порядка – квадрупольные.

Дисперсионное уравнение в KU_1 -фазе распадается на два. Решения первого уравнения определяют спектр квазимагнонов вблизи линии $\Phi\Pi KU_1$ - ΦM_z -фаза:

$$\omega_1(k) = \sqrt{(2B_2^2 + a_0 + \gamma k^2)(B_2^2 - I_0 + K_0 + a_0)} \quad (2)$$

а спектр τ -поляризованных квазифононов в длинноволновом пределе имеет вид:

$$\omega_2^2(k) = \omega_t^2 (I - a_0 / (I_0 - K_0)) \quad (3)$$

Второе уравнение описывает высокочастотную магнонную ветвь, которая с упругой подсистемой не взаимодействует. Однако это уравнение становится определяющим в поведении системы в окрестности $\Phi\Pi KU_1$ - ΦM_x -фаза. Его решения определяет спектр магнонов:

$$\omega_1(k) = \sqrt{(3B_2^0 + B_2^2 + a_0 + \gamma k^2)(3B_0^2 + B_0^2 - 2(I_0 - K_0) + a_0)} \quad (4)$$

а спектр t-поляризованных фононов аналогичен выражению (3).

Из выражений (2)-(4) следует, что упругая и магнитная подсистемы слабо взаимодействуют. Это взаимодействие приводит к небольшому уменьшению скорости т- и t-поляризованного звука и сдвигке линий ФП КУ₁-ФМ₂-фаза и КУ₁-ФМ₁-фаза на величину a_0 (по сравнению со случаем отсутствия МУ связи [3]): $B_2^2 = I_0 - K_0 - a_0$, $B_0^2 = -3B_2^0 + 2(I_0 - K_0) - a_0$. Магнонная ветвь при этом оказывается мягкой модой, и по этой ветви возбуждений идет ФП. Анализ формул (2), (3) на линии $B_2^2 = I_0 - K_0$, т.е. линии ФП без учета МУ взаимодействия [3], показывает, что спектр квазифононов при $2B_2^2 < \gamma k^2 < 2B_2^2 + a_0$ равен: $\omega_1^2(k) = \omega_1^2(k) \gamma k^2 / (2B_2^2 + a_0)$. На линии $B_2^2 = -3B_2^0 + 2(I_0 - K_0)$ спектр квазифононов при $3B_2^0 + B_2^2 < \gamma k^2 < 3B_2^0 + B_2^2 + a_0$ можно представить в виде: $\omega_1^2(k) = \omega_1^2(k) \gamma k^2 / (3B_2^0 + B_2^2 + a_0)$.

В спектре квазимагнонов на определенных выше линиях ФП образуются щели, равные соответственно $\omega(0) = \sqrt{a_0(I_0 - K_0 + a_0)}$ и $\omega(0) = \sqrt{a_0(2(I_0 - K_0) + a_0)}$.

Такое поведение спектров элементарных возбуждений свидетельствует о том, что ФП КУ₁-ФМ₁-фаза и КУ₁-ФМ₂-фаза при наличии дополнительного внешнего воздействия (например, внешнего магнитного поля, перпендикулярного легкой оси) реализовывался бы как переориентационный, т.е. мягкой модой являлась бы квазифоновая ветвь, а в спектре квазимагнонов появлялась бы МУ щель, как обычно и происходит при ориентационных ФП.

Аналогичный анализ дисперсионного уравнения в КУ₂-фазе показывает, что магнитная и упругая подсистемы взаимодействуют слабо, что приводит к небольшой перенормировке скорости t-поляризованного звука $\omega_2^2(k) = \omega_t^2(1 - a_0/2(I_0 - K_0))$ и сдвигке линии ФП КУ₂-ФМ₁-фаза на величину a_0 : $B_2^2 = -3B_2^0 - 2(I_0 - K_0) + a_0$.

Литература.

1. Aleonard R., Morin P. Phys. Rev. B19, 8, 1979, p.3869
2. Morin P., Rouchy L., Schitt D. Phys. Rev. B17, 9, 1978, p.3684
3. Вальков В.В., Мацуков Г.Н., Овчинников С.Г. ФТТ 31, 6, 1989, с.60

ВЛИЯНИЕ МАГНИТОУПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА МАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ В ДВУМЕРНЫХ ЛЕГКОПЛОСКОСТНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Мицай Ю. Н., профессор, д. ф.-м. н., Фридман Ю. А., доцент, к. ф.-м. н.

Спирин Д. В., студент, Алексеев К. Н., старший преподаватель

1. Хорошо известно [1], что невозможно существование дальнего магнитного порядка (ДМП) в двумерном (2D) ферромагнетике. Формально это означает, что в гейзенберговском ферромагнетике интеграл $\langle \Delta M \rangle$, определяющий флуктуацию магнитного момента, расходится на нижнем пределе.

Однако в работе [2] было показано, что учет магнитодипольного взаимодействия в 2D ферромагнетиках приводит к корневому закону дисперсии магнонов $\omega \propto \sqrt{k}$. Это приводит к сходимости интеграла $\langle \Delta M \rangle$ и свидетельствует о стабилизации ДМП. Исходя из этого, можно предположить, что и другие релятивистские типы взаимодействий могут стабилизировать ДМП. Так, в работе [3], показано, что в легкоплоскостном 2D антиферромагнетике ДМП стабилизируется магнитоупругим (МУ) взаимодействием. Однако в этой работе использовано представление Холстейна-Примакова для спиновых операторов, т.е. квазиклассическое представление, которое явно неадекватно микроскопичности исследуемой системы. Поэтому представляет интерес исследовать вопрос о стабилизации ДМП в 2D легкоплоскостном ферромагнетике при учете МУ взаимодействия, учитывая при этом одностороннюю анизотропию (ОА) и МУ связь точно. Такой точный учет можно провести, используя технику операторов Хаббарда [4].

2. В качестве исследуемой системы, рассмотрим легкоплоскостной 2D ферромагнетик (ХОZ-базисная плоскость), гамильтониан которого можно записать в виде:

$$H = -1/2 \sum_{n,n'} I(n-n') \vec{S}_n \vec{S}_{n'} + \beta/2 \sum_n (S_n^y)^2 + \lambda \sum_n \{(S_n^x)^2 u_{xx} + (S_n^z)^2 u_{zz} + (S_n^x S_n^z + S_n^z S_n^x) u_{xz}\} + E/(2-2\sigma^2) \int dv \{u_{xx}^2 + u_{zz}^2 + 2\sigma u_{xx} u_{zz} + 2(1-\sigma) u_{xz}^2\}, \quad (1)$$

где S_n^i – спиновый оператор в узле n , $\beta > 0$ – константа ОА. λ – константа МУ связи, u_{ij} – симметричная часть компонент тензора деформаций, E – модуль Юнга, σ – коэффициент Пуассона. Для простоты вычислений предположим, что спин магнитного иона $S=1$. В гамильтониане (1) первые два слагаемых описывают магнитную подсистему, третье – 2D МУ взаимодействие, а четвертое – упругую подсистему.

Поскольку нас интересует возможность стабилизации ДМП за счет наличия МУ связи, предположим, что МУ взаимодействие создает ненулевой магнитный момент, который, для определенности, будем считать параллельным оси OZ.

Дисперсионное уравнение можно получить, используя процедуру гармонического квантования [4], при этом решение дисперсионного уравнения позволяет определить спектры квазимагнонов, которые мы исследуем в двух предельных случаях: малой и большой ОА.

a). В случае малой ОА, т.е. при $\beta \ll I_0$, низкочастотная магнитная ветвь имеет вид:

$$\varepsilon_\alpha^2(k) = (b_0 + \alpha k^2) \cdot (b_0 + \beta/4 + \alpha k^2) \quad (2)$$

где $b_0 = 3\lambda^2/4E$ – параметр МУ связи, $\alpha = I_0 R_0^2$, R_0 – радиус взаимодействия. В случае отсутствия МУ связи мы получаем стандартный спектр легкоплоскостного ферромагнетика.

b). Если ОА велика, т.е. $\beta/4 \geq I_0$, то спектр квазимагнонов имеет вид:

$$\varepsilon_\alpha^2(k) = (\beta/2 + a_0) \cdot (\beta/2 + a_0 - 2I_0 + 2\alpha k^2) \quad a_0 = \lambda^2(1+\sigma)/2E \quad (3)$$

Спектры квазифононов также определяются дисперсионным уравнением. но, поскольку они не влияют на величину флюктуации магнитного момента, то они нас не интересуют.

3. Исследуем теперь флюктуации магнитного момента, например, величину $\langle (S_n^x)^2 \rangle$. Следуя [5] сопоставим операторам Хаббарда X_n^a псевдохаббардовские операторы \tilde{X}_n^a , которые связаны с бозевскими операторами рождения и уничтожения квазичастиц. Переписывая гамильтониан H в терминах бозевских операторов, учтем только двухчастичное взаимодействие. Диагонализуя полученный гамильтониан и-у преобразованием, получаем выражения для энергий бозонов, которые совпадают с выражениями (2) и (3). Имеем:

$$\langle (S_n^x)^2 \rangle = (1 - \sin 2\delta)/2 \cdot \langle a_n^+ a_n \rangle + (1 + \sin 2\delta)/2. \quad (4)$$

где a – операторы бозонов с энергией, определяемой из (2). Суммируя (4) получаем искомое среднее. Как и ранее, исследуем два предельных случая: малой ОА и большой ОА.

a). В случае малой ОА легко видеть, что в этом случае интеграл $\langle (S_n^x)^2 \rangle$ сходится на нижнем пределе, следовательно, ДМП в 2D ферромагнетике существует. Если же МУ связь не учитывать, то интеграл расходится на нижнем пределе, что свидетельствует об отсутствии ДМП. Кроме того, из условия $1/N \sum_n \langle (S_n^x)^2 \rangle = 1$ можно определить температуру фазового перехода:

$$T_c \approx 4\pi\alpha \cdot \left(\ln(4\pi\alpha) - \ln \sqrt{b_0 \cdot (b_0 + \beta/2)} \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Как видно из (5), температура фазового перехода определяется как МУ взаимодействием, так и ОА. Но при этом МУ взаимодействие является определяющим, и при $b_0 = 0$ $T_c \rightarrow 0$.

b). В случае большой ОА даже в отсутствие МУ связи интеграл не расходится на нижнем пределе (в спектре квазимагнонов имеется конечная щель при $a_0=0$). Видимо, такое поведение флюктуаций

связано с тем, что в случае большой ОА возможна реализация фазы с тензорным параметром порядка (КУ-фазы). В рассматриваемом случае имеем ($\beta/4 >> I_0$):

$$T_c \approx \sqrt{\Delta} \cdot (\ln \Delta - \ln(\pi\alpha\beta))^1, \quad \Delta \approx \beta/2 \cdot (\beta/2 - 2I_0). \quad (6)$$

4. Проведенные исследования показывают, что учет МУ взаимодействия приводит к стабилизации ДМП в 2D ФМ. Из формулы (5) следует, что в слабоанизотропном ФМ величина T_c определяется МУ щелью квазимагнитного спектра. В случае большой ОА в системе может существовать так называемая квадрупольная фаза, и температура перехода, как следует из (6) определяется в основном константой ОА, в то время, как МУ взаимодействие лишь немногого перенормирует ее.

Один из авторов (С.Д.) благодарит Международную Соросовскую Программу поддержки образования в области точных наук (ISSEP), грант № GSU072163.

Литература.

1. Bloch F., Z.Phys., т. 61, 206, 1930.
2. Малеев С.В., ЖЭТФ, т. 70, 2374, 1976.
3. Иванов Б.А., Тартаковская Е.В., Письма в ЖЭТФ, т. 63, 10, 792, 1996.
4. Мицай Ю.Н., Фридман Ю.А., ТМФ, т. 89, 2, 207, 1989.
5. Вальков В.В., Валькова Т.А., Препринт № 667Ф, Красноярск, 1990. 40 с.

ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬ ТОНКОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПРОВОДНИКА В КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Пономаренко В. И., доктор физико-математических наук, профессор

Развитие техники сверхвысоких частот требует создания новых радиотехнических материалов, в частности, поглощающих электромагнитные волны [1]. Наиболее эффективные радиопоглощающие материалы – искусственные диэлектрики – представляют собой радиопоглощающие частицы типа ферритового порошка, углеродных и металлических волокон и т.п., распределенные в некотором связующем. Для моделирования радиофизических характеристик искусственных материалов необходимо знание поляризуемости частиц – включений, что требует решения соответствующей электродинамической задачи. Такое решение известно для эллипсоидальных частиц, но не получено для цилиндрических проводящих элементов, часто используемых на практике в качестве наполнителя.

Установление связи между поляризуемостью цилиндрической частицы и такими ее характеристиками, как проводимость и магнитная проницаемость актуально также в плане измерения этих величин резонаторными методами для таких, например, материалов, как аморфные микропровода [2].

Целью настоящей работы является расчет поляризуемости отрезка тонкого провода радиуса a и длиной $2h$, обладающего проводимостью σ и магнитной проницаемостью μ , помещенного в продольное квазистатическое электрическое поле, зависящее от времени по закону $\exp(-i\omega t)$ и имеющее амплитуду E_0 .

Комплексное погонное сопротивление провода имеет вид:

$$Z = \frac{k}{2\pi a\sigma} \frac{J_0(ka)}{J_1(ka)}, \quad k = \sqrt{i\omega\sigma\mu}, \quad (1)$$

где $J_{0,1}$ – функции Бесселя, i – мнимая единица. Ввиду условия тонкости можно использовать принятное при расчете излучения и рассеяния волн тонкими вибраторами соотношение:

$$I(x) = \frac{1}{Z} E_\tau(x), \quad (2)$$

где x – координата вдоль отрезка проводника, отсчитываемая от его середины, I – текущий по нему ток, E_τ – значение составляющей электрического поля вдоль оси X на поверхности проводника.

Примечание. Соотношение (2) выполняется точно для бесконечно длинного проводника. В случае конечной длины оно имеет приближенный характер ввиду влияния концов, причем его точность тем выше, чем меньше отношение a/h , поскольку краевой эффект существенен лишь в прилежащих к концам проводника участкам протяженностью порядка диаметра.

Поле E_τ складывается из внешнего поля E_0 и поля $\tilde{E}(x)$, создаваемого зарядами на проводнике.

$$E_\tau(x) = E_0 + \tilde{E}(x). \quad (3)$$

Ввиду тонкости проводника объемное распределение токов и зарядов можно аппроксимировать линейным и вычислить \tilde{E} по формуле

$$\tilde{E}(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_{-h}^h \frac{(x-y)\rho(y)dy}{[(x-y)^2 + a^2]^{3/2}}, \quad (4)$$

где ϵ – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, окружающей проводник, ρ – линейная плотность зарядов на нем. Подстановка (3), (4) в (2) приводит к уравнению, которое можно преобразовать в интегральное уравнение относительно функции тока $I(x)$, если учсть связь [3]:

$$I(x) = -i\omega \int_x^h \rho(x)dx, \quad \rho(x) = \frac{1}{i\omega} \frac{dI}{dx}. \quad (5)$$

Из (4), (5) после интегрирования по частям с учетом условия $I(\pm h) = 0$ и замены переменных

$$\theta = x/h, \quad S = y/h, \quad J(\theta) = I(h\theta)Z/E_0 \quad (6)$$

получим интегральное уравнение Фредгольма второго рода:

$$J(\theta) = 1 + \lambda \int_{-1}^1 K(S, \theta) J(S) dS, \quad (7)$$

$$K(S, \theta) = [\kappa^2 - 2(S-\theta)^2]/[(S-\theta)^2 + \kappa^2]^{1/2}, \quad (8)$$

$$\kappa = a/h, \quad \lambda^{-1} = 4\pi i\omega \epsilon h^2 Z. \quad (9)$$

Для поляризуемости α , равной отношению амплитуды дипольного момента цилиндра к амплитуде внешнего поля, имеем

$$\alpha = \frac{2}{E_0} \int_0^h x \rho(x) dx = \gamma \int_0^1 J(x) dx, \quad \gamma = \frac{2ih}{\omega Z}. \quad (10)$$

Численное решение интегрального уравнения (7) проводилось методом квадратурных формул. Достаточное для достижения графической точности число точек разбиения отрезка интегрирования

составило 40–60 при значениях $h \sim 1 \text{ мм}$, $a \sim 10 \text{ мкм}$. Численные расчеты показали сильную зависимость поляризуемости от длины проводника, $\alpha \sim h^3$. Зависимость поляризуемости от импеданса при его изменении в широких пределах оказалась весьма слабой.

Анализ распределения тока вдоль проводника, полученного из решения уравнения (7), показал, что зависимость $J(S)$ можно приближенно аппроксимировать следующим образом:

$$J(S) = A(1 - S^2), \quad (11)$$

где A – постоянная. Подставляя (11) в (7) и полагая $\theta = 0$, получим после выполнения интегрирования и простых преобразований:

$$A = \left[1 - 4\lambda \left(\ln \frac{2}{\kappa} - 1 \right) \right]^{-1}. \quad (12)$$

Для поляризуемости с учетом (11), (12) находим из (10):

$$\alpha = \frac{2}{3}\gamma / \left[1 - 4\lambda \left(\ln \frac{2}{\kappa} - 1 \right) \right]. \quad (13)$$

С целью проверки приближенной формулы (13) результаты расчетов по ней сравнивались с результатами, полученными путем решения уравнения (7) и использования формулы (10). Сравнение показало, что расхождение не превышает $\approx 10\%$ как для действительной, так и для мнимой части поляризуемости α . Например, при $\mu = (3 + 6i)\mu_0$, $a = 4 \text{ мкм}$, $2h = 1,5 \text{ мм}$, $\sigma = 0,474 \cdot 10^6$ единиц СИ и при частоте $f = 8,8 \text{ ГГц}$ получено из (7), (10) $\alpha = 0,357 \cdot 10^{-20} + 0,310 \cdot 10^{-22}i$. тогда как из (13) следует $\alpha = 0,317 \cdot 10^{-20} + 0,318 \cdot 10^{-22}i$. Через μ_0 обозначена магнитная проницаемость вакуума.

Литература.

- Пономаренко В.И., Бержанский В.Н., Хлыстов А.С., Тимошенко А.М. Актуальные проблемы исследований и создания поглотителей электромагнитных волн.// Ученые записки Симферопольского государственного университета, № 2, 1995, г. Симферополь.
- Пономаренко В.И., Бержанский В.Н., Дзедолик И.В., Кокоз В.Л., Васильев Ю.М., Торкунов А.В. Волноводный метод измерения магнитной проницаемости металлов на СВЧ... Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1989. – №3, – С. 38-40.
- Пономаренко В.И. Проводящая ленточная решетка в квазистатическом поле. // Изв. вузов. Электромеханика. – 1982. – № 5. – С. 518-523.

ФОРМИРОВАНИЕ МАГИЧЕСКОГО ЭХА ЯМР В ТВЁРДЫХ ТЕЛАХ

Рябушкин Д. С., кандидат физико-математических наук, доцент

Сергеев Н.А., доктор физико-математических наук, профессор

За последние 15-20 лет наибольшее развитие в спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) получили импульсные методы. По сравнению с традиционным методом ЯМР широких линий импульсные методики значительно расширили прикладные возможности магнитного резонанса в отношении исследований различных физических свойств твёрдого тела. Кроме этого, с развитием импульсной спектроскопии появилась возможность решать многие общефизические задачи, связанные с "встряхиванием" квантовых систем, установлением в них термодинамического равновесия, возможностью обращения времени в макроскопических системах и т.п.

Значительная часть работ, выполняемых в области импульсной спектроскопии, так или иначе связана с исследованием формирования и затухания сигналов эха, т.е. откликов исследуемого образца на действие специально подобранных импульсных серий. При этом наиболее основательно изучены двухимпульсные последовательности – эхо Хана, солид-эхо, псевдоэхо и др. Все эти отклики удаётся наблюдать лишь на временах, меньших времени спин-спиновой релаксации T_2 . Если же указанное условие не выполняется, то фиксация сигнала невозможна из-за потери фазовой коherентности состояний ядерной спиновой системы.

В 1969 году впервые было показано, что используя особо "сконструированную" импульсную серию, можно получить эхо и на временах, существенно превышающих T_2 [1]. В последующем было предложено несколько других последовательностей, обладающих тем же свойством, а наблюдаемый сигнал получил название магического эха [1, 2].

Анализ магического эха позволил с новой точки зрения взглянуть на такие фундаментальные понятия статистической физики, как "необратимость", "равновесие", "симметрия времени". Все предыдущие рассмотрения магического эха ограничивались случаем жёсткой кристаллической решётки. В настоящей работе анализ магического эха проводится для тел с внутренней молекулярной подвижностью.

Исследование влияния медленных молекулярных движений на импульсные отклики относится к числу наиболее важных задач импульсной спектроскопии ЯМР. В настоящее время существуют несколько различных подходов к решению данной проблемы, среди которых наибольшее распространение получили точный расчёт отклика (для модельных систем), представление сигнала в виде разложения по степеням времени, метод случайного локального поля (СЛП).

Метод СЛП является, пожалуй, простейшим способом получения аналитического выражения для отклика многочастичной системы. В этом методе предполагается, что ядерные спины находятся в локальных магнитных полях, случайным образом зависящих от времени. Априорно задавая статистические свойства СЛП, можно получить удобное выражение, позволяющее анализировать

поведение ядерной спиновой системы не только на малых, но и на больших временах её эволюции. Именно этот метод использовался авторами для решения задачи о влиянии медленных молекулярных движений на формирование магического эха.

Рассмотрим магическую серию $(-\tau - 90^\circ_x - \tau -) - 90^\circ_y - 6\pi\tau$, предложенную Фенцке с сотрудниками [2].

В соответствии со стандартной процедурой расчёта импульсных откликов методом СЛП, амплитуда сигнала определяется выражением

$$V(6\pi\tau) = \exp(-6\pi\tau/T_{2e}), \quad (1)$$

$$\text{где } T_{2e}^{-1} = 2\Delta M_2 \tau_c (1 - \theta\alpha/4\alpha)/3,$$

$$\alpha = \tau/\tau_c,$$

τ_c – время корреляции (среднее время жизни молекулы в равновесном положении),

n – количество магических циклов,

ΔM_2 – разность вторых моментов линий поглощения жёсткой и быстроподвижной систем.

При выводе формулы (1) считалось, что $n\tau \gg \tau_c$, корреляционная функция выбиралась в виде:

$$\langle \omega(t)\omega(t') \rangle = \Delta M_2 \exp(-(t-t')/\tau_c)$$

Из (1) следует, что при $\tau \gg \tau_c$:

$$T_{2e}^{-1} = 2\Delta M_2 \tau_c/3.$$

При $\tau \ll \tau_c$:

$$T_{2e}^{-1} = \Delta M_2 \tau_c/2.$$

На рис.1 представлены теоретические (сплошная линия) и экспериментальные результаты наблюдения магического эха Фенцке в десмине (порошок) и циклогексане (обе фазы).

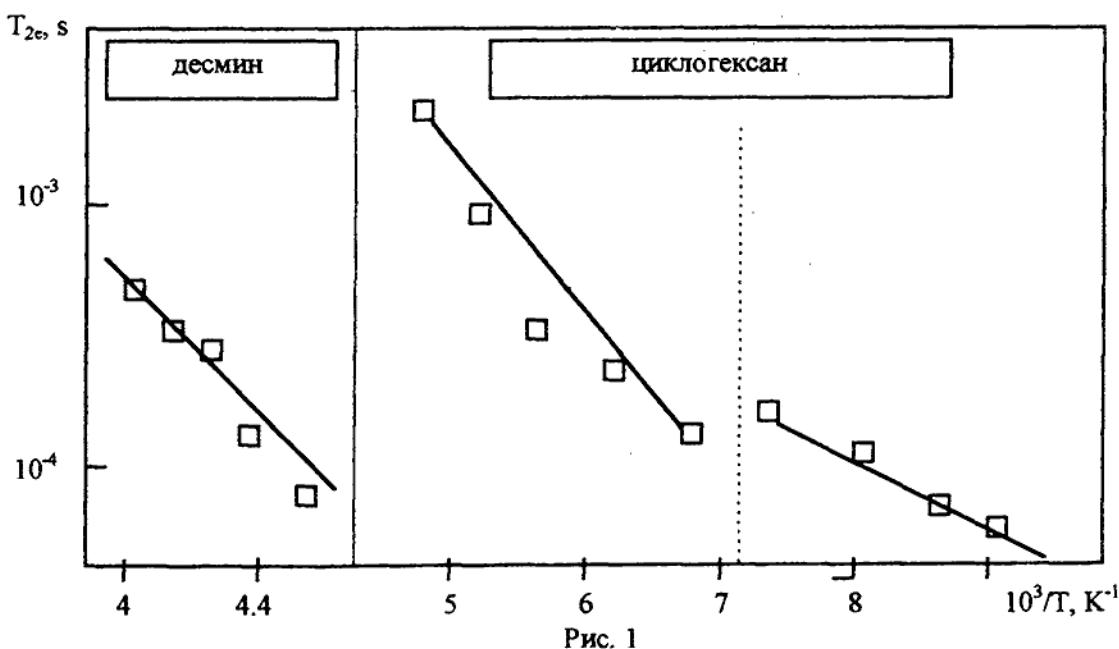


Рис. 1

Считая, что время корреляции зависит от температуры по закону Аррениуса, легко определить основные характеристики подвижности – предэкспоненциальный множитель и энергию активации.

Для диффузионного движения молекул воды в десмине найдено:

$$U = (7,3 \pm 0,3) \text{ ккал/моль},$$

$$\tau_0 = (2,0 \pm 0,5) 10^{-13} \text{ с.}$$

Для низкотемпературной области циклогексана:

$$U = (5,1 \pm 0,3) \text{ ккал/моль},$$

$$\tau_0 = (4,0 \pm 0,5) 10^{-13} \text{ с.}$$

Аналогично для магической серии Yo [5]

$$[-(\tau-\delta) - 90^\circ_{-x} + (\tau+\delta) - 90^\circ_y - 2(\tau-\delta) - 90^\circ_{-y} - (\tau+\delta) - 90^\circ_x - (\tau-\delta) -]^N - 6N\tau$$

$$\text{получаем: } T_{2e}^{-1} = 1/2 \Delta M_2 \tau_c \{ -4/9 (\delta/\tau)^2 + 4/3 - (5/3\alpha) \operatorname{cth} 3\alpha + (4/3\alpha) \operatorname{cosech} 3\alpha \times$$

$$[\operatorname{ch}((\pi - 2\omega(\tau+\delta))/\omega\tau_c) + \operatorname{ch}((\pi - \omega(\tau-\delta))/\omega\tau_c) - \operatorname{ch}((\pi - \omega(3\tau+\delta))/\omega\tau_c) \\ + (1/4) \operatorname{ch}((\pi - 4\omega\tau)/\omega\tau_c)] \},$$

где $\alpha = \tau/\tau_c$, $\omega = \pi/3\tau$.

При $\delta=0$ импульсная серия соответствует последовательности WHH-4. Из полученных результатов следует, что магическое эхо покрывает тот же диапазон времён корреляции, что и метод спин-локинга.

Литература

1. Yo Дж., Новые методы ЯМР в твёрдых телах. - Москва: Мир, 1978 - 178 с.
2. Fenzke D., Rinck W., and Schneider H. Measurement of the second moment in NMR using instationary methods // Colloque AMPERE, 1973 - p.156-158.

СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПО С-КОНЦЕВОЙ АМИНОКИСЛОТЕ МУРАМОИЛДИПЕПТИДОВ

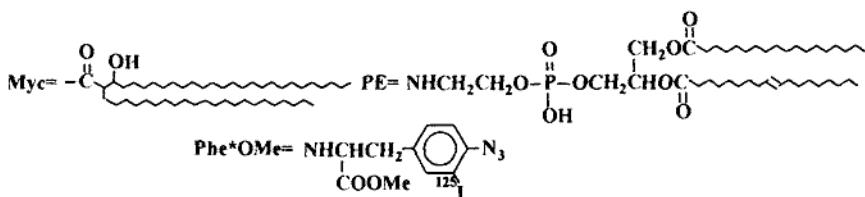
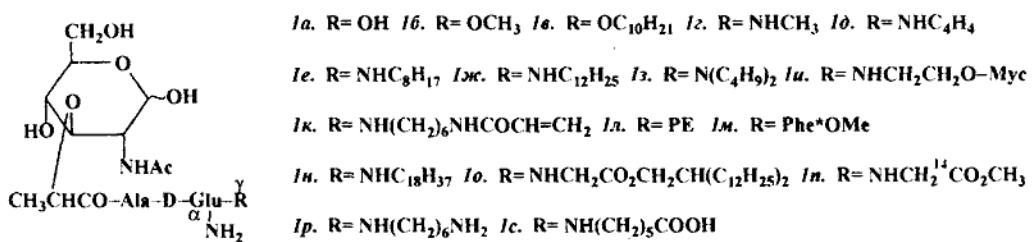
Землякое А. Е., кандидат химических наук, доцент

Молекула N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина (мурамоилдипептид, МДП, *Ia*), являющаяся минимальным адьювантноактивным фрагментом пептидогликана клеточных стенок микобактерий [1], удобна для получения производных как по углеводному фрагменту, так и по аминокислотным остаткам. Модификация молекулы МДП позволяет в деталях изучить взаимосвязь структуры мурамоилдипептида с биологической активностью, а также получить гликопептиды более активные по сравнению с самим МДП.

Исследования пептидных аналогов МДП показали, что если N-концевая аминокислота (аланин) может быть заменена без потери активности на ряд других аминокислот [2-7], в том числе, L-валин [5,6], L-серин [2,3,8,9] или L- α -аминоизомасляную кислоту (Aib) [5,6], то C-концевая аминокислота может быть представлена только D-глутаминовой кислотой (*2a*) [2,4,8,10,11] или ееmonoамида: D-глутамином (γ -амид, *3a*) [11,12] или D-изоглутамином (α -амид, МДП, *Ia*). Наличие свободных карбоксильных групп в этих аминокислотах открыло широкие возможности для дополнительной модификации мурамоилдипептида. В наших исследованиях по синтезу и изучению биологической активности гликопептидов – аналогов МДП также значительное место занимают производные мурамоилдипептида по глутаминовому остатку. Рассмотрим три группы подобных аналогов МДП, отличающиеся структурой второй аминокислоты.

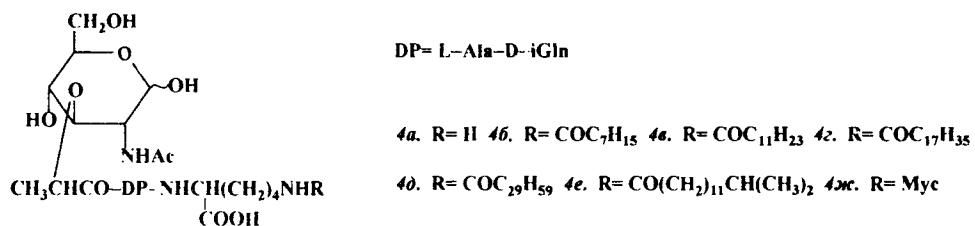
Производные МДП по остатку изоглутамина.

γ -Карбоксильная группа N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина легко превращается в сложный эфир или амид как на стадии получения дипептида, так и в готовом гликопептиде.

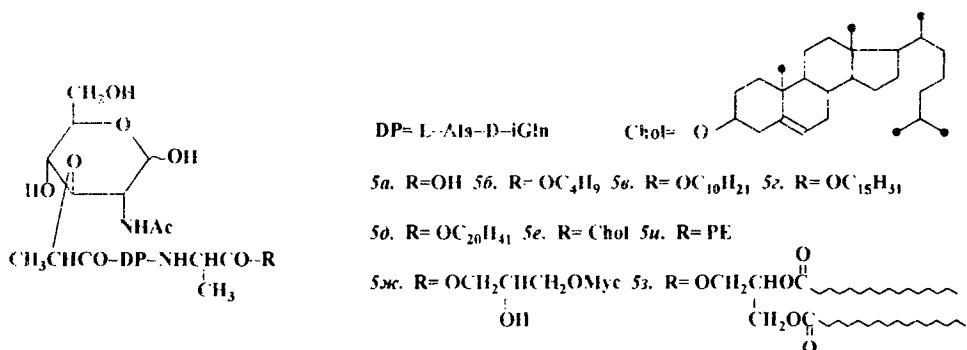


По первому варианту были получены γ -метиловый (*Ib*) [2,8] и γ -дециловый (*Ic*) [13] эфир МДП, а также γ -метил- (*Id*) [8], γ -бутил- (*Id*) [14,15], γ -октил (*Ie*), γ -додецил (*Ik*) и γ -дибутил (*Ik*) амиды

[15] МДП, миколевый эфир этаноламида МДП (*1u*) [16]. По второй схеме синтезированы 6-N-акрилоиламиногексаметиленамид (*1k*) [17] и фосфатидилэтаноламид (*1l*) [18] мурамоилдипептида.

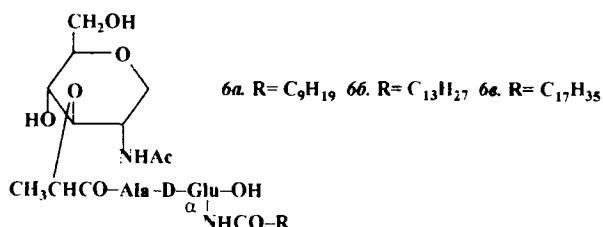


Так как биологические испытания показали, что третья аминокислота (глицин, L-аланин, L-лизин и т.п.) не влияет на активность гликопептидов [4,14], то была синтезирована большая группа мурамилтрипептидов модифицированных по третьей аминокислоте. В частности, описан синтез МДП-L-лизина (*4a*) [19], ацилированного по ω -аминогруппе линейными (*4b-д*) [20], ω -разветвленной (*4e*) [20] и природной миколевой (*4ж*) [16] кислотами, и МДП-L-аланина (*5a*) [19], этирифицированного линейными спиртами (*5б-д*) [13], холестерином (*5e*) [21], миколевым эфиром глицерина (*5ж*) [13], дипальмитиновым эфиром глицерина (*5з*) [22], или конденсированного с фосфатидилэтаноламином (*5u*) [22], а также ¹²⁵I-меченого метилового эфира МДП-(*и*-иод-*п*-азидо)-L-фенилаланина (*1m*) [23].



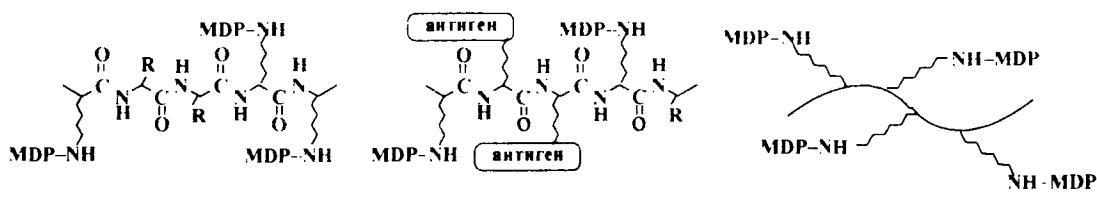
Комбинация гликопептида с высоколипофильным компонентом часто обеспечивает высокую биологическую активность. Например, МТП-глицерилмиколат (*5ж*) – мощный стимулятор неспецифической резистентности к бактериальным инфекциям [22,24], МТП-миколат (*4ж*) и МДП-амидоэтанолмиколат (*1u*) являются сильными адьювантами [16,22], МТП-холестерин (*5e*) проявляет высокое противоопухолевое действие [22,25,26]. Препарат «ромуртид» (химические названия «муроктазин», МДП-L-лизин-L18 или МТП-стеароил (*4г*)) – первый синтетический гликопептид, разрешенный к медицинскому применению в качестве лекарства, восстанавливающего количество лейкоцитов и тромбоцитов при химио- и радиотерапии ряда опухолевых заболеваний [27]. Высокоэффективен он и для повышения резистентности против широкой группы бактериальных и вирусных инфекций [27]. Самым активным липофильным производным мурамоилдипептида считают МТП-фосфатидилэтаноламид (*5u*), особенно при включение его в липосомы [22,28].

Японские исследователи предложили новый тип модификации мурамоилдипептида. Амидную группу изоглутамина в метиловом эфире 4,6-*O*-изопропилен-1-дезокси-МДП ацилировали хлорангидридами карбоновых кислот в присутствии 4-диметиламинопиридина. Последующее деблокирование дало гликопептиды (**6a-в**) [29].



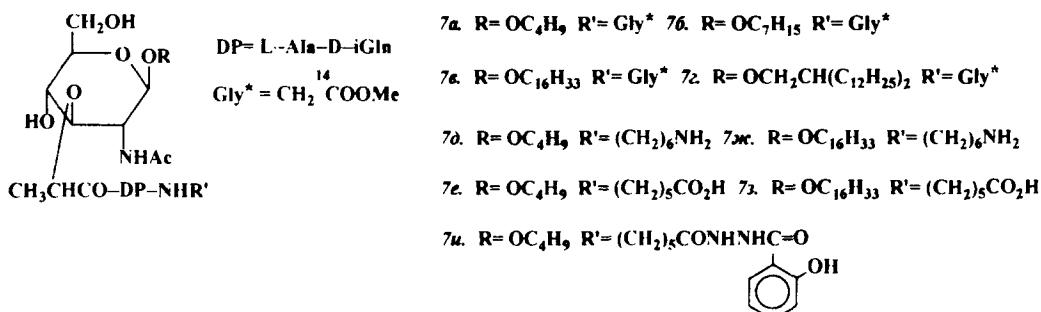
Карбоксильная группа изоглутамина была использована для конденсации с синтетическими олиго- и полипептидами такими как лизил-лизил-лизин [30] или мульти поли(DL-аланин)-поли(L-лизин). Такой «макромолекулярный» гликопептид по антиинфекционному действию в 100 раз превосходит мономер [31]. Причем конъюгация адьюванта с антигеном более эффективна по сравнению с действием смеси [32]. Совместная иммобилизация с пептидными антигенами позволила получить полностью синтетические вакцины, в частности против дифтерии, холеры и гепатита [22,33-35]. Наличие свободной аминогруппы в МДП-Л-лизине (**4a**) позволяет проводить конъюгацию с пептидами, белками, ферментами и гормонами [36].

6-Н-Акрилоиламиногексаметиленамид МДП (**1к**) был применен для получения конъюгатов с полиакриламидом. Сополимеризация спейсерированного соединения (**1к**) с акриламидом дает возможность получить полимерные гликопептиды [17]. При введении в реакционную смесь углеводных или пептидных антигенов, содержащих спейсер с двойной связью, образуются синтетические неогликоконъюгаты [37].



В наших исследованиях мы использовали γ -карбоксильную группу молекулы МДП как для введения липофильного компонента (были синтезированы γ -октадециламид МДП (**1н**) [38] и 2-додецилтетрадециловый эфир МДП-глицина (**1o**) [39]), так и для получения изотопномеченных гликопептидов (**1п**, **7a-2**), необходимых для изучения механизма действия производных МДП [40,41]. В последнем случае метиловый эфир [$1-^{14}\text{C}$]-глицина конденсировали или с частично защищенным мурамоилдипептидом, или вначале получали меченный трипептид, который затем вводили в молекулы гликозидных аналогов МДП. С помощью меченых соединений (**7б,в**), в частности, был изучен транспорт гликопептидов через искусственные мембранны и оценена сорбция мурамоилдипептидов

опухолевыми клетками [42]. Высоколипофильное соединение (*1o*) наряду с высокой адьювантной активностью по отношению к белку gp160 ВИЧ-1 не увеличивает репликацию вируса, что делает его перспективным для исследований в качестве компонента анти-ВИЧ вакцины [43].



Октадециламид МДП (МДП-NC18) (*1h*) проявил высокую активность в тестах стимуляции продукции цитокинов (фактора некроза опухолей макрофагами и цитотоксических факторов спленоцитами, Рис.1) - веществ регулирующих иммунный ответ и способных к цитоцидному действию на опухолевые клетки [44].

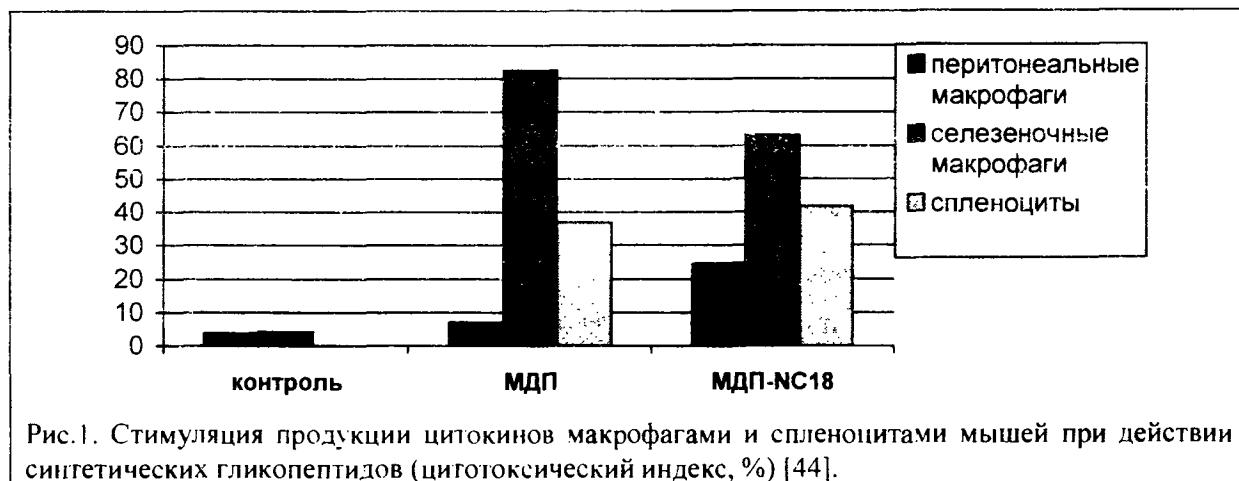
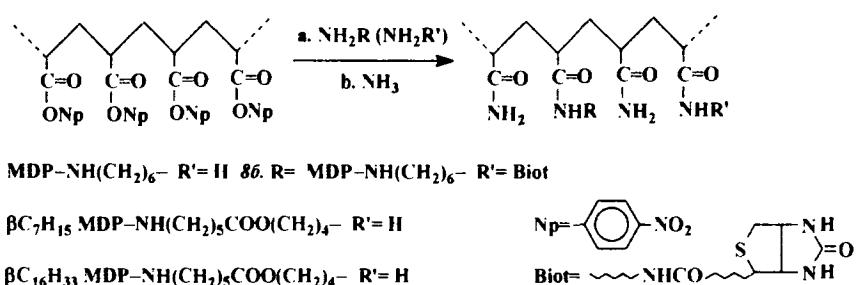
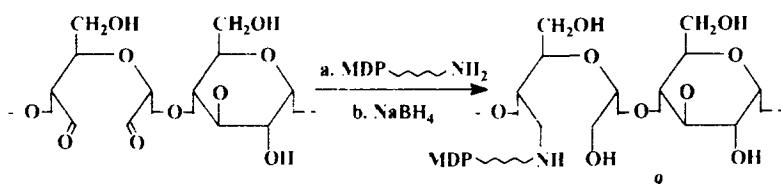


Рис.1. Стимуляция продукции цитокинов макрофагами и спленоцитами мышей при действии синтетических гликопептидов (цитотоксический индекс, %) [44].

С целью получения конъюгатов, содержащих мурамоилдипептид, нами, в частности, были синтезированы гликопептиды, имеющие по γ -карбоксильной группе изоглутамина спейсер с концевой амино- (*1p*) или карбоксильной (*1c*) функцией [45]. Спейсированный мурамоилдипептид (*1p*) был конденсирован с поли(4-нитрофенилакрилатом) по методу Бовина [46], что привело к конъюгату полиакриламида (ПАА) с МДП (*8a*).



Совместным действием на активированный полимер гликопептида (*1p*) и 6-аминогексиламида биотина получили биотинилированный полимерный зонд с МДП специфичностью (*8b*), необходимый для изучения механизмов рецепции мурамоилдипептидов с иммунными клетками. Альтернативно конденсацией соединения (*1p*) с диальдегид декстраном синтезировали «высокомолекулярный» гликопептид (**9**), обладающий способностью к биодеградации [41].



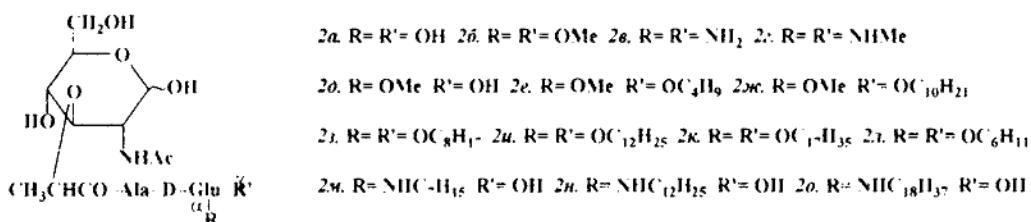
На основе β-бутил- и β-гексадецилмурамовых кислот были синтезированы спейсерированные по остатку изоглутамина гликопептилы с ω-амино- (*7d,je*) и ω-карбоксильными (*7e,z*) группами [47]. Такие структуры с одной стороны обеспечивают высокое биологическое действие (β-алкилгликозиды МДП сравнимы по активности или даже превосходят сам мурамоилдипептид), с другой стороны исключается необходимость введения и удаления временной защиты аномерного гидроксила, становятся невозможными побочные реакции карбонильной группы углевода с аминофункцией, а также представляется возможным изменять за счет агликона липофильность конъюгатов. Так взаимодействием спейсерированных гликопептидов (*7d,je*) с поли(4-нитрофенилацрилатом) были получены отличающиеся по липофильности конъюгаты ПАА с β-бутил- и β-гексадецилгликозидами МДП (*8b,z*) [47].

Наличие карбоксильной группы в спейсерированном гликопептиде (*7e*) позволило получить конъюгат МДП с биологически активной кислотой с использованием бифункционального соединения гидразина в качестве мостика. Конденсация кислоты (*7e*) с гидразидом салициловой кислоты под действием водорастворимого карбодиимида дала соединение (*7u*) [48].

Производные МДП по остатку глутаминовой кислоты.

Наличие двух карбоксильных функций в N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-глутаминовой кислоте (МДПК) позволило исследователям легко получить диметиловый эфир (*2b*) [2,7,8], диамид (*2e*) [7,8] и ди(метиламид) (*2g*) [8]. Французские ученые также синтезировали α-метиловый МДПК (*2d*) [19] и

несимметричные диэфиры МДПК: α -метиловый, γ -бутиловый (*2e*) и α -метиловый, γ -дециловый (*2ж*) [13].



Нами была предложена схема синтеза симметричных диэфиров МДПК, по которой были получены α,γ -диалкиловые эфиры МДПК (*2з-к*) [49], отличающиеся длиной алифатической цепи, а также дициклотексиловый эфир МДПК (*2т*). При изучении влияния гликопептидов на пролиферативную активность спленоцитов мышей диэфир (*2к*, МДПК(*C17*)₂) в малых дозах проявлял активность сравнимую с МДП [50] (Рис.2).

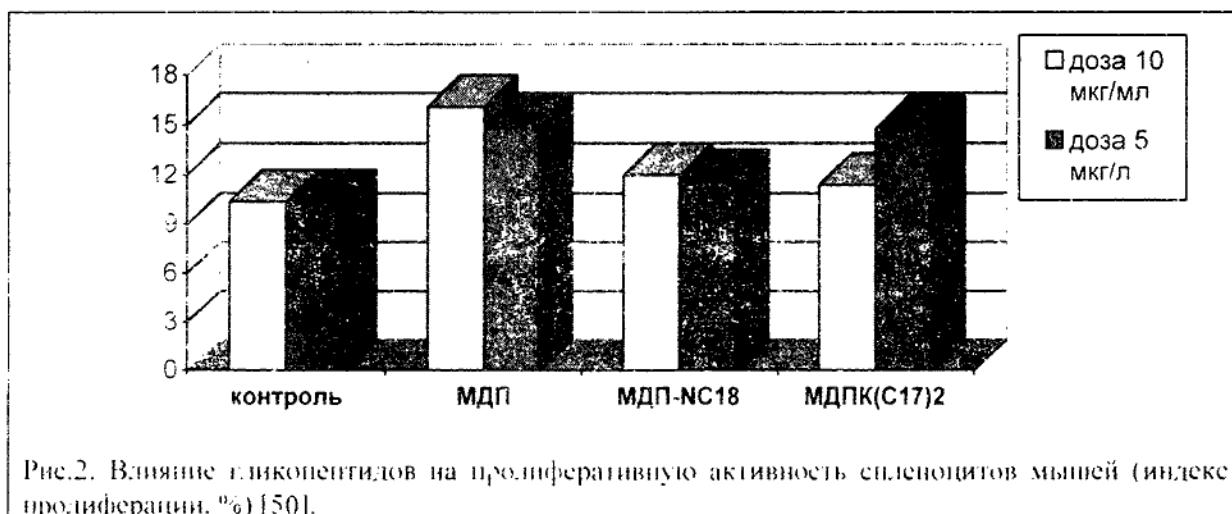
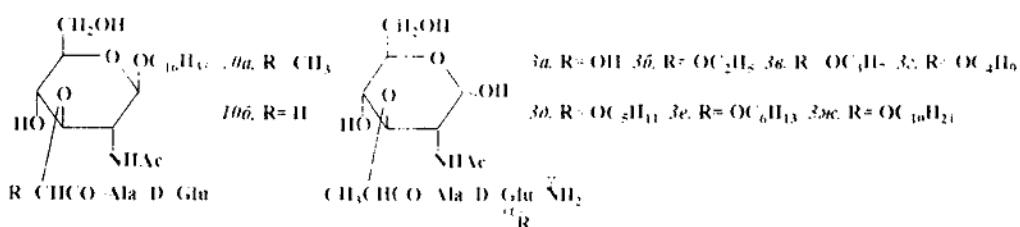


Рис.2. Влияние гликопептидов на пролиферативную активность спленоцитов мышей (индекс пролиферации, %) [50].

С целью упрощения схемы получения липофильных гликопептидов нами были синтезированы β -гексадецилгликозиды МДПК (*10а*) и пор-МДПК (*10б*) [51]. Используемый в этих синтезах дигензиловый эфир Вос-*L*-аланил-*D*-глутаминовой кислоты был получен из *D,L*-глутаминовой кислоты по разработанному нами методу, заключающийся в конденсации рацемического дигензилового эфира глутаминовой кислоты с *n*-нитрофениловым эфиром Вос-*L*-аланина и разделения смеси диастереомеров кристаллизацией [52].



Нами также было предложено использовать α -карбоксильную группу остатка глутаминовой кислоты для введения липофильного компонента в виде алкиламида. Было синтезировано три α -алкиламида МДПК (**2и-о**), отличающиеся длиной алифатической цепи амида. Первоначально модификацию проводили действием алкиламинов на α -*n*-нитрофениловый, γ -бензиловый эфир Вос-*D*-глутаминовой кислоты, с последующим образованием дипептида и гликопептида [53]. По второму варианту γ -бензиловый эфир *D*-глутаминовой кислоты конденсировали с N-гидроксисукцинимидным эфиrom Вос-*L*-аланина, используя солевую защиту, а в полученном дипептиде свободную α -карбоксильную группу переводили в алкиламидную.

Производные МДП по остатку глутамина.

Наибольший интерес к производным МДП с глутамином в качестве С-концевой аминокислоты связан с наличием высокой адьювантной активности у соответствующих α -алкиловых эфиров (**3б-ж**) [12] и отсутствием у них пирогенности. Препарат этой группы «мурабутид» (**3г**) прошел 1 и 2 стадии клинических испытаний и нашел применение в качестве адьюванта в вакцинах против стрептококковых инфекций и столбняка [22].

Таким образом среди производных МДП по С-концевой аминокислоте к настоящему времени найдены эффективные препараты по всему спектру биологического действия мурамоилдипептидов: адьюванты для вакцин (МТП-РЕ, «мурабутид»), стимуляторы неспецифической антибактериальной резистентности (МТП-L18 – «ромуртид», МТП-глицерилмиколат), стимуляторы противоопухолевого иммунитета («ромуртид», МТП-Chol). По прежнему перспективным остается создание синтетических вакцин и содержащих МДП конъюгатов. Относительная простота модификации пептидной части молекулы гликопептида делает подобные структуры экономичными в синтезе и следовательно подходящими для препартивного получения.

Литература.

1. Ellouz F., Adam A., Ciorbaru R., et al. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* -1974.-V.59.-№4.-P.1317-1325
2. Adam A., Devys M., Souvannavong V., et al. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* -1976.-V.72.-№1.-P.339-346
3. Kotani S., Watanabe Y., Kinoshita F., et al. *Biken J.* -1977.-V.20.-№2.-P.39-45
4. Nagai Y., Akiyama K., Kotani S., et al. *Cell. Immun.* -1978.-V.35.-P.168-172
5. Azuma I., Kamisango K., Saiki I., et al. *Infect. Immun.* -1980.-V.29.-№3.-P.1193-1196
6. Kobayashi S., Fukuda T., Yukimasa H., et al *Bull. Chem. Soc. Jap.* -1980.-V.53.-№9.-P.2570-2577
7. Kamisango K., Saiki I., Tanio Y., et al. *Chem. Pharm. Bull.* -1981.-V.29.-№6.-P.1644-1654

8. Lefrancier P., Choay J., Derrien M., Lederman I. *Int. J. Peptide Protein Res.*-1977.-V.9.-P.249-257
9. Schwartzman S.M., Ribi E. *Prep. Biochem.*-1980.-V.10.-№3.-P.255-267
10. Chaturvedi N.C., Khosla M.C., Anand N. *J. Med. Chem.*-1966.-V.9.-№11.-P.971-973
11. Kusumoto S., Tarumi Y., Ikenaka K., Shiba T. *Bull. Chem. Soc. Jap.*-1976.-V.49.-№2.-P.533-539
12. Lefrancier P., Derrien M., Jamet X., et al. *J. Med. Chem.*-1982.-V.25.-№1.-P.87-90
13. Lefrancier P., Petitou M., Level M., et al. *Int. J. Peptide Protein Res.*-1979.-V.14.-№5.-P.437-444
14. Kotani S., Kinoshita F., Watanabe Y., et al. *Biken J.*-1977.-V.20.-№3-4.-P.125-130
15. Haq W., Rizvi S.Y., Kapil A., et al. *Ind. J. Chem. B.*-1990.-V.29.-№3.-P.-263-267
16. Uemiya M., Saiki I., Kusama T., et al. *Microbiol. Immunol.*-1979.-V.23.-№8.-P.821-823
17. Хорлин А.Я., Абашев Ю.П. *Биоорган. химия.*-1984.-Т.10.-№8.-С.1119-1126
18. Богослов О.В., Головкина И.В., Швец В.И., Бовин Н.В. *Биоорган. химия.*-1993.-Т.19.-№2.-С.190-196
19. Lefrancier P., Derrien M., Lederman I., et al. *Int. J. Peptide Protein Res.*-1978.-V.11.-P.289-296
20. Shida T., Kotani S., Yamamura Y., et al. Нат. 4317771 США. РЖ Химия.-1983.-7О19П
21. Tenu J.P., Bernard I.M., Petit J.F., Philips N. Пат. 2557758 Франция. *Chem. Abstr.*-1986.-V.104.-19825k
22. Baschang G. *Tetrahedron.*-1989.-V.45.-№20.-P.6331-6360
23. Tenu J.P., Clemance M., Level M., et al. *C. R. Acad. Sci. Paris.*-1989.-T.308.-№11.-P.991-995
24. Parant M.A., Audibert F.M., Chedid L.A., et al. *Infect. Immun.*-1980.-V.27.-№3.-P.826-831
25. Barratt G.M., Yu W.P., Fessi H., et al. *Cancer J.*-1989.-V.2.-№12.-P.439-443
26. Yu W.P., Barratt G.M., Devissaguet J.-Ph., Puisieux F. *Int. J. Immunopharmac.*-1991.-V.13.-№2-3.-P.167-173
27. Sosnowska D., Dzierzbicka K., Myiliwski A., Koodziejczyk A.M. *Postepy Hig. Med. Dosw.*-1992.-V.42.-№5.-P.521-530
28. Sone S., Matsuura S., Ogawara M., Tsubura E. *J. Immunol.*-1984.-V.132.-№4.-P.2105-2110
29. Hasegawa A., Seki E., Kiso M., Azuma I. *Agr. Biol. Chem.*-1986.-V.50.-№8.-P.2137-2139
30. Audibert F., Parant M., Damais C., et al. *Biochem. Biophys. Res. Comm.*-1980.-V.96.-P.915-923
31. Chedid L., Parant M., Parant F., et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*-1979.-V.76.-№12.-P.6557-6561
32. Mozes E., Sela M., Chedid L. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*-1980.-V.77.-№8.-P.4933-4937
33. Audibert F., Jolivet M., Chedid L.A., et al. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*-1982.-V.79.-№8.-P.5042-5046
34. Jacob C.O., Arnon R., Sela M. *Immunol. Lett.*-1986.-V.14.-P.43-48
35. Maćkiewicz Z., Świderska H., Kalmanowa M., et al. *Collect. Czech. Chem. Commun.*-1992.-V.57.-P.204-211

- 36.Audibert F., Carelli C., Chedid L.A., et al. Заявка 2522967 Франция. РЖ Химия.-1985.-12O22П
- 37.Юровский В.В., Бовин Н.В., Сафонова Н.Г. и др. Биоорган. химия.-1986.-Т.12.-№1.-С.100-105
- 38.Земляков А.Е., Чирва В.Я. Химия природн. соедин.-1988.-№6.-С.892-893
- 39.Курьянов В.О., Земляков А.Е., Чирва В.Я. Биоорган. химия.-1994.-Т.20.-№4.-С.439-447
- 40.Земляков А.Е., Андрякова И.М., Чирва В.Я. Химия природн. соедин.-1990.-№2.-С.245-248
- 41.Кур'янов В.О. Синтез похідних мурамоїлдіпептиду: ліпоглікопептиди та кон'югаты. Автореф. диссерт... канд. хим. наук. Одесса, 1995.-24с
- 42.Kalyuzhin O.V., Zemlyakov A.E., Fuchs B.B. Int. J. Immunopharmacac.-1996.-V.18.-№11.-P.651-659
- 43.Krivorutchenko Yu.L., Andronovskaja I.B., Hinkula J., et al. Vaccine.-1997.-V.15.-№12/13.-P.1479-1486
- 44.Рахмилевич А.Л., Мигдал Т.Л., Рахимова М.С. и др. Антибиотики и химиотерапия.-1989.-Т.-34.-№ 11.-С.836-839
- 45.Курьянов В.О., Желобецкая Т.Ф., Земляков А.Е., Чирва В.Я. Химия природн. соедин.-1993.-№1.-С.122-125
- 46.Bovin N.V., Korchagina E.Yu., Zemlyanukhina T.V., et al. Glycoconjugate J.-1993.-V.10.-P.142-151
- 47.Курьянов В.О., Цикалов В.В., Земляков А.Е.. Чирва В.Я. Химия природн. соедин.-1994.-№3.-С.424-429
- 48.Земляков А.Е., Курьянов В.О., Цикарова В.Н.. Чирва В.Я. Химия природн. соедин.-1997.-№5.-С.731-734
- 49.Терехов В.В., Земляков А.Е., Чирва В.Я. Химия природн. соедин.-1991.-№1.-С.101-105
- 50.Медведев А.Э., Фукс Б.Б., Бовин Н.В., Земляков А.Е. Бюлл. экспер. биол.-1992.-№12.-С.626-628
- 51.Курьянов В.О., Земляков А.Е., Чирва В.Я. Химия природн. соедин.-1991.-№4.-С.553-557
- 52.Земляков А.Е., Потеев Д.А., Чирва В.Я. Химия природн. соедин.-1991.-№6.-С.865-866
- 53.Земляков А.Е., Терехов В.В., Чирва В.Я. Химия природн. соедин.-1990.-№ 2.-С.249-252

АППРОКСИМАЦИЯ КРИВЫХ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ТИТРОВАНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКИМИ ЗАВИСИМОСТЯМИ: ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДА

Кропотов В. А., кандидат химических наук, доцент

В последнее время для обработки потенциометрических титрований на ЭВМ применяют в основном две группы методов. Методы первой из них основываются на аппроксимации кривой титрования многочленами и нахождении ее точки перегиба [1-3]. Так как многочленная аппроксимация не имеет физического смысла, она может быть использована для прецизионной оценки точки эквивалентности только тогда, когда точка перегиба теоретически совпадает с точкой эквивалентности. С другой стороны, простота и универсальность аппроксимационного подхода в сочетании с минимумом вычислений делает его привлекательным средством исследования кривых титрования различной природы.

Другую группу составляют методы (см., например, [4-9]), базирующиеся на уравнениях материального баланса и законе действия масс. Решая главную задачу титриметрии - определение с высокой точностью конечной точки титрования, эти и другие подобные им методы все же имеют некоторые недостатки. Наиболее существенными из них, на наш взгляд, могут быть:

1. Ориентация метода на определенный тип реакции титрования.
2. Использование для определения конечной точки титрования только части данных (области до точки эквивалентности или после нее).
3. Расчет константы равновесия даже в том случае, когда он ухудшает сходимость вычислений.

Использование для аппроксимации кривой титрования зависимостей, параметры которых имеют определенный физический смысл, позволяет сохранить достоинства и свести к минимуму недостатки методов обеих групп. Такими зависимостями при аппроксимации большинства кривых титрования с одной точкой эквивалентности независимо от типа химической реакции могут быть логарифмические зависимости вида:

$$L_1 = a_1 + b_1 \lg \left[\frac{c_1(V_e - V)}{V_0 + V} + x_1 \right] + w_1 b_1 \lg \left[\frac{c_1 V}{V_0 + V} - x_1 \right], \quad (1)$$

$$L_2 = a_2 + b_2 \lg \left[\frac{c_1(V - V_e)}{V_0 + V} + x_2 \right] + w_2 b_2 \lg \left[\frac{c_1 V_e}{V_0 + V} - x_2 \right], \quad (2)$$

где V_0 - начальный объем титруемого раствора; V - добавленный объем титранта; V_e - объем титранта, соответствующий точке эквивалентности; c_1 - концентрация титранта. Величины x_i представляют собой поправки, учитывающие обратимость реакции титрования. Коэффициенты (параметры) a_i , b_i , w_i включают в себя все постоянные в условиях титрования величины и зависят от стехиометрии и природы реакции титрования, а также от того, к какому из реагентов обратим электрод.

Зависимости (1) и (2) являются математическим обобщением эмпирических уравнений Нернста с учетом условий материального баланса и закона действия масс для различных типов титрования. Зависимость (1) предназначена для приближения данных до точки эквивалентности, зависимость (2) - за точкой эквивалентности; точкой сопряжения зависимостей является точка эквивалентности.

Физический смысл параметров. Физический смысл параметров a_i , b_i и w_i можно установить, если рассмотреть конкретные реакции титрования.

В случае титрования по реакции присоединения

$$pA + qT \leftrightarrow A_p T_q, \quad K = \frac{[A_p T_q]}{[A]^p [T]^q},$$

где A - определяемое вещество; T - титрант; K - константа равновесия; p , q - стехиометрические коэффициенты, выражения для равновесных концентраций компонентов до точки эквивалентности имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} [A] &= \frac{p}{q} \left[\frac{c_i(V_e - V)}{V_0 + V} + x_1 \right], \\ [T] = x_1 &= \sqrt{\frac{1 \left(\frac{c_i V}{V_0 + V} - x_1 \right)}{p \left[\frac{c_i(V_e - V)}{V_0 + V} + x_1 \right]}}^q K, \\ [A_p T_q] &= \frac{1}{q} \left(\frac{c_i V}{V_0 + V} - x_1 \right). \end{aligned}$$

За точкой эквивалентности справедливы соотношения

$$\begin{aligned} [A] &= \frac{p}{q} x_2 = \sqrt{\frac{1 \left(\frac{c_i V_e}{V_0 + V} - x_2 \right)}{\left[\frac{c_i(V - V_e)}{V_0 + V} + x_2 \right]^q}} K, \\ [T] &= \frac{c_i(V - V_e)}{V_0 + V} + x_2, \\ [A_p T_q] &= \frac{1}{q} \left(\frac{c_i V_e}{V_0 + V} - x_2 \right). \end{aligned}$$

Если индикаторный электрод реагирует на определяемое вещество согласно эмпирическому уравнению Нернста

$$E = E^\circ + S \lg[A],$$

где E^o - реальный потенциал электрода; S - крутизна электродной функции, то для его потенциала соответственно до и после точки эквивалентности из приведенных выше соотношений, получим:

$$E = E^o + S \lg\left(\frac{p}{q}\right) - S \lg\left[\frac{c_1(V_e - V)}{V_0 + V} + x_1\right],$$

$$E = E^o + \frac{S}{p} \lg\left(\frac{1}{q}\right) - \frac{S}{p} \lg K + \frac{S}{p} \lg\left[\frac{c_1 V_e}{V_0 + V} - x_2\right] - S \frac{q}{p} \lg\left[\frac{c_1 (V - V_e)}{V_0 + V} + x_2\right].$$

Из этих выражений и уравнений (1) и (2) следует, что

$$a_1 = E^o + S \lg\left(\frac{p}{q}\right), \quad b_1 = S, \quad w_1 = 0,$$

$$a_2 = E^o + \frac{S}{p} \lg\left(\frac{1}{q}\right) - \frac{S}{p} \lg K, \quad b_2 = -S \frac{q}{p}, \quad w_2 = -\frac{1}{q}.$$

В том случае, когда индикаторный электрод обратим к титранту, из тех же условий материального баланса и уравнения

$$E = E^o + S \lg[T],$$

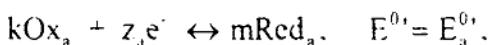
для параметров a_i , b_i и w_i имеем:

$$a_1 = E^o + \frac{S}{q} \lg\left(\frac{1}{q}\right) - S \frac{p}{q} \lg\left(\frac{p}{q}\right) - S \frac{p}{q} \lg K, \quad b_1 = -S \frac{p}{q}, \quad w_1 = -\frac{1}{p}.$$

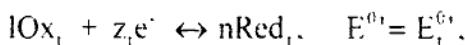
$$a_2 = E^o, \quad b_2 = S, \quad w_2 = 0.$$

В частном случае титрования по реакции присоединения - осадительном титровании оба множителя w_i равны нулю.

В окислительно-восстановительном титровании потенциал электрода до точки эквивалентности определяется отношением равновесных концентраций окисленной и восстановленной форм титруемой пары



а за ней - отношением концентраций окисленной и восстановленной форм титранта



При титровании Red_a окислителем Ox_t , если предположить, что количества Ox_a и Red_t , образующиеся благодаря взаимодействию реагентов с растворенным кислородом, молекулами воды и примесями, присутствующими в растворах, пренебрежимо малы и использовать принципы, изложенные в работе [10], для равновесных концентраций реагентов до точки эквивалентности получим:

$$[\text{Red}_a] = \frac{mz_1}{lZ_a} \left[\frac{c_t(V_c - V)}{V_0 + V} + x_1 \right],$$

$$[\text{Ox}_a] = \frac{kz_1}{lZ_a} \left(\frac{c_t V}{V_0 + V} - x_1 \right),$$

$$[\text{Red}_t] = \frac{n}{l} \left(\frac{c_t V}{V_0 + V} - x_1 \right),$$

$$[\text{Ox}_t] = x_1.$$

За точкой эквивалентности равновесные концентрации компонентов окислительно-восстановительного равновесия будут равны:

$$[\text{Red}_a] = \frac{mz_1}{lZ_a} x_2,$$

$$[\text{Ox}_a] = \frac{kz_1}{lZ_a} \left(\frac{c_t V}{V_0 + V} - x_2 \right),$$

$$[\text{Red}_t] = \frac{n}{l} \left(\frac{c_t V}{V_0 + V} - x_2 \right),$$

$$[\text{Ox}_t] = \frac{c_t (V - V_c)}{V_0 + V} + x_2.$$

В соответствии с этим из уравнений Нернста для потенциала окислительно-восстановительного электрода до и после точки эквивалентности соответственно, имеем

$$a_1 = E_a^{0+} + \frac{S}{Z_a} \lg \left(\frac{kz_1}{lZ_a} \right) - m \frac{S}{Z_a} \lg \left(\frac{mz_1}{lZ_a} \right), \quad b_1 = -m \frac{S}{Z_a}, \quad w_1 = -\frac{k}{m},$$

$$a_2 = E_t^{0+} - m \frac{S}{Z_t} \lg \left(\frac{n}{l} \right), \quad b_2 = l \frac{S}{Z_t}, \quad w_2 = -\frac{n}{l},$$

где $S = 2,303RT/F$.

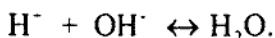
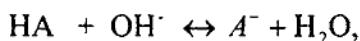
При титровании Ox_a восстановителем Red_t для величин a_i , b_i и w_i аналогичным способом получим

$$a_1 = E_a^{0+} + k \frac{S}{Z_a} \lg \left(\frac{kz_1}{nz_a} \right) - m \frac{S}{Z_a} \lg \left(\frac{mz_1}{nz_a} \right), \quad b_1 = k \frac{S}{Z_a}, \quad w_1 = -\frac{m}{k},$$

$$a_2 = E_t^{0+} + l \frac{S}{Z_t} \lg \left(\frac{l}{n} \right), \quad b_2 = -n \frac{S}{Z_t}, \quad w_2 = -\frac{l}{n}.$$

Таким образом, в окислительно-восстановительном титровании в отличие от титрования по реакции присоединения оба множителя w_i всегда отличны от нуля.

В кислотно-основном титровании изменение потенциала электрода в общем случае определяется не одной, а двумя главными реакциями, например,



Отсюда для слабой кислоты изменение концентраций компонентов до точки эквивалентности будет описываться уравнениями

$$[\text{HA}] = \frac{c_i(V_e - V)}{V_0 + V} + x_1,$$

$$[\text{A}^-] = \frac{c_i V}{V_0 + V} - x_1,$$

$$[\text{OH}^-] = x_1 + [\text{H}^+] = \frac{\frac{c_i V}{V_0 + V} - x_1}{\left[\frac{c_i(V_e - V)}{V_0 + V} + x_1 \right] K}.$$

За точкой эквивалентности условия материального баланса будут выглядеть так:

$$[\text{HA}] = x_2, \quad [\text{H}^+] = \frac{\frac{c_i V_e}{V_0 + V} - x_2 + [\text{H}^+]}{\left[\frac{c_i(V - V_e)}{V_0 + V} + x_2 \right] K},$$

$$[\text{A}^-] = \frac{c_i V_e}{V_0 + V} - x_2 + [\text{H}^+],$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{c_i(V - V_e)}{V_0 + V} + x_2.$$

где $K = K_a / K_w$; K_a - константа диссоциации кислоты; K_w - ионное произведение воды.

Если теперь учесть, что индикаторный электрод в кислотно-основном титровании чувствителен к иону водорода, то из выражения для его потенциала и уравнений материального баланса до и после точки эквивалентности для титрования слабой кислоты получаем

$$a_1 = E^{0+} + \text{Slg}K_w + \text{Slg}K, \quad b_1 = S, \quad w_1 = -1,$$

$$a_2 = E^{0+} + \text{Slg}K_w, \quad b_2 = -S, \quad w_2 = 0.$$

В случае титрования слабого основания a_1 , b_1 и w_1 будут равны

$$a_1 = E^{0+} - \text{Slg}K, \quad b_1 = -S, \quad w_1 = -1,$$

$$a_2 = E^{0+}, \quad b_2 = S, \quad w_2 = 0,$$

где $K = K_b/K_w$; K_b - константа диссоциации основания.

При титровании сильных кислот и оснований множитель w_1 , как и множитель w_2 , равен нулю. Из этого следует, что множитель w_1 можно рассматривать в кислотно-основном титровании в качестве критерия силы титруемого электролита.

Таким образом, в любом из рассмотренных выше титрований параметры логарифмических зависимостей (1) и (2) имеют конкретный теоретический смысл: параметры a_i включают в себя константы равновесия и/или реальные потенциалы индикаторных электродов, множители b_i - крутизну электродной функции, зарядовые числа (в окислительно-восстановительном титровании) и стехиометрические коэффициенты. Множители w_i зависят только от стехиометрических коэффициентов.

Расчет поправок. Выражения для расчета поправок x_i можно получить из тех же условий материального баланса. Для этого необходимо в титровании по реакции присоединения и кислотно-основном титровании выразить константу равновесия через параметры a_i , b_i и w_i и подставить в соответствующие выражения материального баланса, а в окислительно-восстановительном титровании в равенство

$$E_a^{0+} + \frac{S}{z_a} \lg \frac{[Ox_a]^k}{[Red_a]^m} = E_t^{0+} + \frac{S}{z_t} \lg \frac{[Ox_t]^l}{[Red_t]^n}$$

подставить значения равновесных концентраций соответствующих компонентов. После небольших математических преобразований полученных выражений, для поправок x_i будем иметь:

$$\lg(x_1 - h[H^+]) = \frac{a_1 - a_2}{b_2} + \frac{b_1}{b_2} \lg \left[\frac{c_t(V_e - V)}{V_0 + V} + x_1 \right] + (w_1 \frac{b_1}{b_2} - w_2) \lg \left[\frac{c_t V}{V_0 + V} - x_1 \right], \quad (3)$$

$$\lg(x_2 + h[H^+]) = \frac{a_2 - a_1}{b_1} + \frac{b_2}{b_1} \lg \left[\frac{c_t(V - V_e)}{V_0 + V} + x_2 \right] + (w_2 \frac{b_2}{b_1} - w_1) \lg \left[\frac{c_t V}{V_0 + V} - x_2 - h[H^+] \right], \quad (4)$$

где $h = w_1$ при титровании слабых кислот и оснований; в остальных случаях h равно нулю. При титровании оснований уравнениях (3) и (4) величины $[H^+]$ следует заменить на $[OH^-]$.

Схема обработки данных титрования. Простота и независимость структуры основных расчетных соотношений (1) - (4) от природы реакции титрования позволяет разработать достаточно универсальный и эффективный алгоритм прецизионного определения точки эквивалентности без обязательного вычисления константы равновесия. При этом предполагается, что ионная сила титруемого раствора и другие факторы, изменяющие в процессе титрования форму кривой, остаются постоянными.

При обработке экспериментальных данных обычно бывает известна не только стехиометрия реакции титрования, но и крутизна электродной (градуировочной) функции, что позволяет заранее рассчитать значения множителей b_i и w_i . Вследствие этого данным титрования необходимо определять только V_e и a_i .

Грубая оценка V_e может быть получена либо как точка максимального наклона кривой титрования, либо по методу Грана [11]. Далее с помощью этой оценки по двум точкам (одна из них должна быть расположена в области до точки эквивалентности, а другая - за точкой эквивалентности) и уравнениям (1), (2), предполагая поправки x_i пренебрежимо малыми, можно найти начальные приближения параметров a_1 и a_2 . Дальнейшее уточнение искомых величин, учитывая погрешности измерения, следует проводить минимизацией суммы квадратов отклонений

$$Q = \sum_{j=1}^M (E_j - L_{1,j})^2 + \sum_{j=M+1}^N (E_j - L_{2,j})^2,$$

где M и N - число точек до точки эквивалентности и общее число точек на кривой титрования соответственно.

При обработке кислотно-основного титрования необходимо иметь в виду, что кислоты и основания средней силы даже не в очень разбавленных растворах могут вести себя как сильные. Это означает, что значение множителя w_1 , являющегося критерием силы титруемого электролита, общем случае следует устанавливать по кривой титрования вместе с a_1 , a_2 и V_e . Однако знание крутизны электродной функции позволяет установить значение коэффициента w_1 более простым способом. Достаточно сравнить наблюдаемое изменение потенциала (pH) при добавлении объема титранта ($V < V_e$) с ожидаемым, рассчитанным для того же объема титранта в предположении, что кислота (основание) является сильной. Если обе величины в пределах ошибки измерения совпадают, то титруемый электролит следует считать сильным и принять $w_1 = 0$; в противном случае он является слабым и $w_1 = -1$.

Экспериментальная проверка. Возможность использования логарифмической аппроксимации для прецизионной оценки точки эквивалентности в потенциометрическом титровании проверяли обработкой кривых титрования модельных растворов различных веществ стандартными растворами титрантов. Минимизацию функционала Q проводили методом Паузлла [12].

Было установлено, что независимо от природы реакции титрования, число итераций, необходимое для получения конечных результатов, обычно не превышало 5. Относительные стандартные отклонения средних значений конечных точек титрования S_r , вычисленные по трем титрованиям, как правило, были меньше 0,1 %. Значения V_e уже после уточнения при начальных приближениях a_1 , a_2 имели высокую правильность и неплохую воспроизводимость ($S_r = 0,3\%$). Все последующие вычисления были в основном связаны с уточнением величин a_1 и a_2 . Поэтому если титрование проводится в аналитических целях, критерий окончания вычислений в итерационном цикле можно применять только для объема V_e . Благодаря этому, есть возможность существенно (примерно в 10 раз) сократить время обработки экспериментальных данных без сильного снижения точности определения конечной точки титрования. В том случае, когда титрование используют для определения константы равновесия или реального потенциала электрода (обе эти ха-

рактеристики могут быть вычислены из параметров a_1 и a_2) критерий окончания вычислений должен быть применен ко всем искомым величинам.

В случае обработки потенциометрических данных с включением в оптимизацию множителя b_1 (величина b_2 связана с b_1 через стехиометрические коэффициенты), что отвечает титрованию с неградуированным электродом, рассчитанные значения V_e и b_1 согласуются с величинами, соответственно вычисленными из условий для точек эквивалентности и градуировочных прямых. Однако при этом сильно возрастает время, затрачиваемое на вычисления. Из-за этого в общем случае обработку данных с оптимизацией b_1 нельзя признать рациональной.

Литература.

- 1 Kucharowski R., Kluge W. // Z. anal. Chem. 1986. B. 323. S. 123.
2. Hazi J., Daruhazi I., Pinter O., Szakaly Zs. // Mikrochim. acta. 1986. V. 2. N 1-6. P. 379.
3. Glatter O., Greschonig H. // Mikrochim. acta. 1986. V. 2. N 1-6. P. 389.
4. Мигдли Д., Торренс К. Потенциометрический анализ воды. -М.: 1980, 578 с.
5. Briggs T.N., Stuehr J.E.// Anal. Chem. 1974. V.46. N.11. P.1517.
6. Марьянов Б.М. В кн: Математические проблемы химической термодинамики. -Новосибирск.: Наука, 1980. с.91.
7. Кропотов В.А.// Журн. аналит. химии. 1989. Т.44. В.9 С.1573.
8. Jagner D., Aren K.// Anal. Chim. Acta. 1971. V.57. P.185.
9. Isbell A.F., Pescok Jr.R.L., Davies R.H., Purnell J.H.// Anal. Chem. 1973. V.45. P.2363.
10. Кропотов В.А.// Журн. аналит. химии. 1993. Т. 48. N. 2. С. 233.
11. Gran G.// Analyst. 1952. V. 77. P.661.
12. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975. 534 с.

СТАЛАГМОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ ЯБЛОЧНОГО ПЕКТИНА СОЛЯМИ ПОЛИВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Панова Э. П., кандидат химических наук, доцент

Кацева Г. Н., старший преподаватель

Пектин – гидрофильные электролиты, давно используются как желирующие вещества. В ряде работ показано применение пектиновых веществ (ПВ) в медицине для лечения дизентерии, гипертонической болезни, приготовления антисептиков [1]. Способность ПВ к специфической сорбции делает перспективным их широкое применение в качестве эффективных ионообменников. Доказана ценность ПВ как профилактического средства при отравлении тяжелыми металлами [2]. Работы Кона с сотрудниками [3] посвящены изучению возможности использования кальций-пектата в качестве терапевтического средства для выведения радиоактивного стронция из желудочно-кишечной среды и для уменьшения его содержания в костях организма. Дальнейшее расширение сферы использования ПВ сдерживается недостаточным знанием их физико-химических свойств.

Ранее к изучению взаимодействия ПВ с поливалентными металлами нами был применён амперометрический метод титрования, позволивший установить характер взаимодействия в области высоких концентраций пектинов (за точкой критической концентрации ассоциатообразования – К.К.А./[4]. Согласно [5], водные растворы ПВ обладают поверхностной активностью на границе раздела ртуть-раствор.

Настоящая работа посвящена исследованию взаимодействия яблочного пектина с солями меди и свинца сталагмометрическим методом титрования, в котором конечную точку находят измерением поверхностного натяжения на границе между титруемым раствором и ртутью, вытекающей из капилляра, опущенного в раствор. Натяжение оценивается по периоду капания ртути при заданных давлении и температуре [6]. Данный метод позволяет изучать поведение ПВ в области малых концентраций (до точки К.К.А.).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для приготовления растворов яблочного пектина, очищенного по методике [7], навеску помещали в коническую колбу, добавляли необходимый объём дистиллированной воды и перемешивали на магнитной мешалке до полного растворения (1,5-2,0 часа). Содержание свободных карбоксильных групп определи потенциометрически. Для приготовления растворов солей меди и свинца использовали реактивы квалификации “х.ч.”. Концентрация солей меди уточнялась иодометрически, свинца – хроматным методом [8]. Титрование проводили с использованием ртутного капельного электрода высотой 60,0 см с внешним диаметром 3-7 мм и внутренним 0,05-0,10

мм. Ртуть вытекала в воде с интервалом 3 с. Период истечения 5 капель ртути измеряли в серии растворов, содержащих одинаковую концентрацию яблочного пектина и разную – соли металла. Время фиксировалось с помощью электронного секундомера с точностью ± 0.05 с. Область К.К.А. пектина также устанавливали сталагметрическим методом, который даёт результаты, идентичные измерению вязкости и электропроводности [5]. Отношения прореагировавших количеств карбоксильных групп пектина и катионов металла определяли графическим и расчётным методами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание свободных (Кс), метоксилированных (Кэ) карбоксильных групп и степень этерификации составляли для яблочного пектина: 5,36%, 9,52%, 63,99%, соответственно.

Предварительно было изучено поведение пектина, солей меди и свинца на ртутном капельном электроде (рис. 1). Кривая 1, характеризующая поведение пектина, состоит из двух прямолинейных участков, первый из которых идёт более круто и соответствует разбавленным растворам, второй – для более концентрированных растворов-плавный. При концентрации пектина $8 \cdot 10^{-3}$ г/100мл раствора наблюдается перегиб, который свидетельствует о конформационных изменениях в растворе и соответствует критической концентрации ассоциатообразования.

В отличие от водных растворов ПВ, увеличение концентрации ацетата меди и свинца от $1 \cdot 10^{-1}$ до $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л не приводят к значительному изменению периода капания ртути. Кривые идут плавно, почти прямолинейно, что свидетельствует о том, что межфазное напряжение уменьшается незначительно. Поэтому свободные катионы металлов не оказывают существенного влияния на адсорбцию пектина на ртутном капельном электроде.

На рис. 2 представлены кривые титрования раствора яблочного пектина ацетатами меди (кривая 1) и свинца (кривая 2). На кривых титрования наблюдаются перегибы, соответствующие образованию пектинатов металлов. Кривая 1 имеет два перегиба, в случае ацетата свинца, наблюдается только один перегиб. Объём катиона металла в конечных точках титрования устанавливался экстраполяцией точек перегиба на ось абсцисс.

Для изучения влияния pH проводилось титрование ацетатом меди растворов ПВ при pH 4,0; 5,0; 6,0. Подкисление и подщелачивание растворов приводит к исчезновению скачков титрования.

Большое влияние на характер взаимодействия оказывает анион соли металла. При сравнении взаимодействия пектина с ацетатами, нитратами меди и свинца, сульфатом меди, можно констатировать, что чёткие перегибы на кривых титрования наблюдаются только для ацетатов. Это, вероятно, связано с частичным растворением пектинатов в образующейся сильной кислоте, что приводит к обратимости реакции.

Для определения состава образующихся соединений был проведён расчёт отношений прореагировавших количеств карбоксильных групп ПВ и катионов меди и свинца ($\text{COOH} : \text{Me}^{2+}$) по формуле:

$$\text{COOH}_{\text{ПВ}} : \text{Me}^{2+} = \frac{\text{C}_{\text{Me}}^{2+} \cdot \text{V}_{\text{Me}}^{2+}}{\text{C}_{\text{ПВ}} \cdot \text{V}_{\text{ПВ}}},$$

где $\text{C}_{\text{ПВ}}$ и $\text{C}_{\text{Me}}^{2+}$ – концентрации ПВ по карбоксильным группам и соответствующего катиона, М;

$\text{V}_{\text{ПВ}}$ – объём раствора ПВ, взятый для титрования, мл;

V_{Me} – объём ацетата металла, пошедший на титрование, мл.

Таблица

Отношения $\text{COOH} : \text{Me}^{2+}$ по результатам сталагмометрического титрования

$\text{Me}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	$\text{C}_{\text{COOH}}, \text{M}$ пектина	$\text{C}_{\text{Me}}^{2+}, \text{M}$	$\text{V}_{\text{ПВ}}, \text{мл}$	$\text{V}_{\text{Me}}, \text{мл}$	$\text{COOH} : \text{Me}^{2+}$
$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	$2,38 \cdot 10^{-5}$	$2,02 \cdot 10^{-4}$	20	1,25	1,89
			20	2,50	0,94
$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	$2,30 \cdot 10^{-5}$	$2,00 \cdot 10^{-4}$	20	1,25	1,89

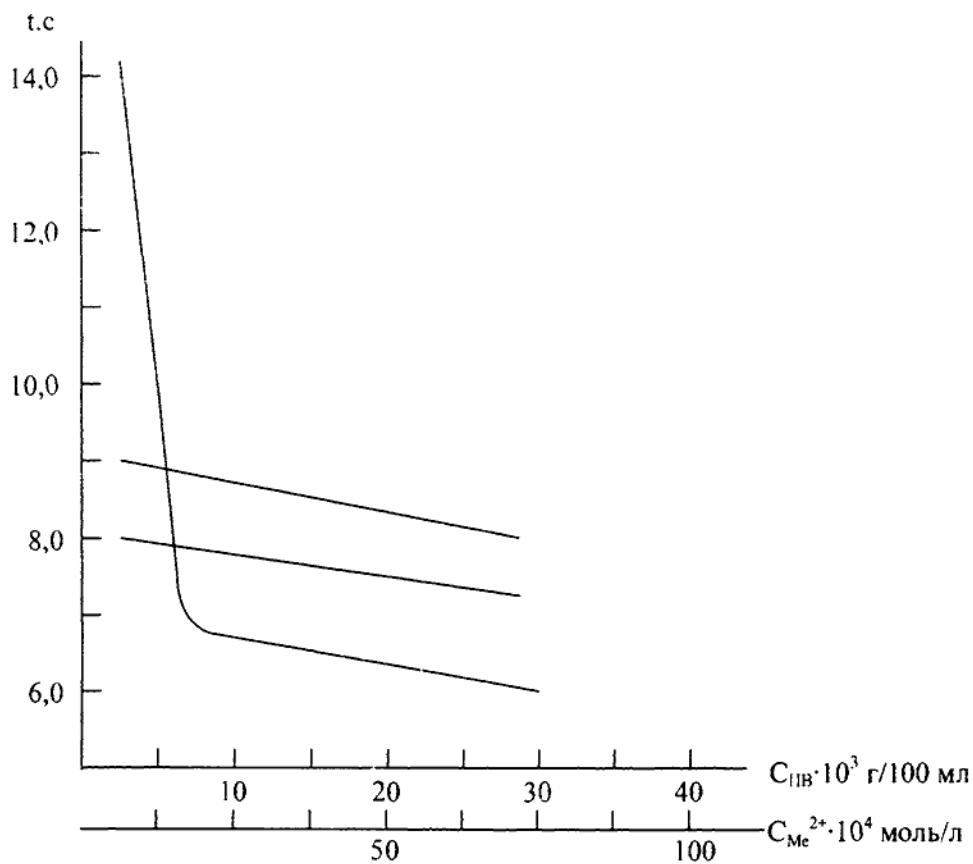


Рис. 1. Зависимость периода капания ртути в водных растворах яблочного пектина (1), ацетата меди (2), ацетата свинца (3) от концентрации

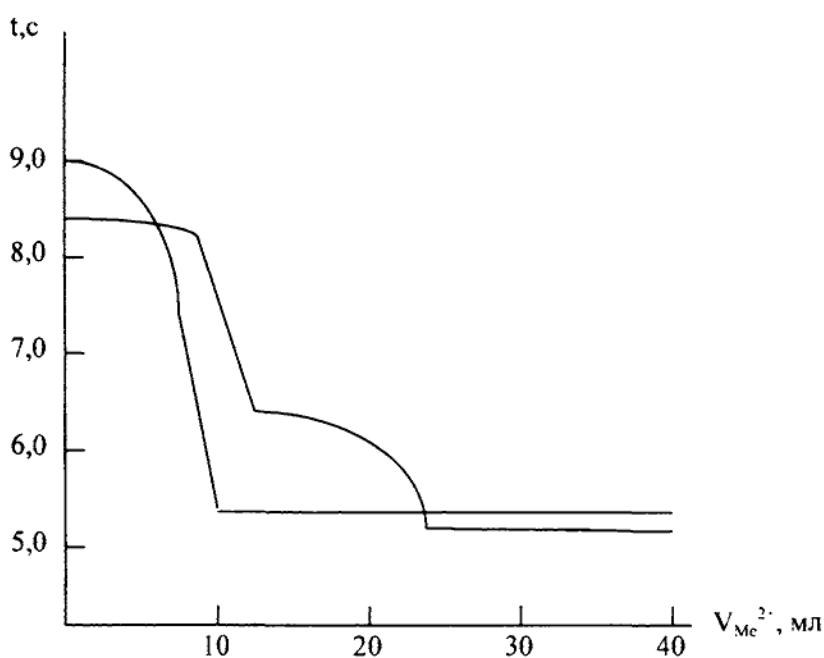


Рис. 2. Кривые сталагмометрического титрования раствора яблочного пектина
1 - ацетатом меди, 2 - ацетатом свинца

Полученные результаты приведены в таблице, из которой видно, что в случае ацетата меди в области избытка пектина происходит взаимодействие в соотношении, близким 2:1 с образованием соединения типа $(\text{RCOO})_2\text{Cu}$. При дальнейшем добавлении ацетата металла идёт преобразование его в соединение другого вида с $\text{COOH}:\text{Cu}^{2+} = 1:1$ за счёт взаимодействия с оксигруппой макромолекул или образование солей типа $(\text{RCOO})\text{Cu}(\text{OOCCH}_3)$. Образование аналогичных соединений наблюдали А. Маловикова и Р. Кон [9] при изучении влияния степени этерификации на связывание пектина катионами кадмия.

Взаимодействие ацетата свинца с яблочным пектином происходит только в соотношении, близком к 2:1.

ВЫВОДЫ

С помощью сталагмометрического метода титрования изучено взаимодействие яблочного пектина с солями меди и свинца в области низких концентраций (до К.К.А.). Установлен состав образующихся пектинатов металлов.

Использованный метод титрования на ртутном капельном электроде может быть рекомендован для исследования взаимодействий, если одно или оба взаимодействующих веществ являются поверхностно-активными на границе раздела ртуть-раствор.

Литература.

1. Haas-Shub E.. / Macromol. Chem. 1951 - 140 p.
2. Липински С.С./Гигиена труда, 1961, №4 - 47 с.
3. Kohn R., Tibensky V./ Coll. of Czechosl. Chem. Comm., 1971, vol. 36 - p. 1.
4. Кацева Г.Н., Кухта Е.П., Панова Э.П., Чирва В.Я./ Химия природ. соедин., 1988, 2 - 171 с.
5. Панова Э.П., Кацева Г.Н., Чирва В.Я./ УкрНИИНТИ депон. 15.06.89.
6. Коренман И.М., Новые титриметрические методы, М.: Химия, 1983 - 137 с.
7. Афанасьев С.П., Панова Э.П., Кацева Г.Н., Кухта Е.П., Чирва В.Я./Химия природ.соедин.,1984, №4 - 428 с.
8. Гиллебранд В. Ф., Мендель Г. Э., Брайт Т. А., Практическое руководство по неорганическому анализу, М.: Химия, 1966 - 1111 с.
9. Malovikova A. and Kohn R./ Coll. of Czechosl. Chem. Comm., 1982, vol. 47 - p. 2.

РАЗЛОЖЕНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В ВОДНЫХ ЗОЛЯХ MnO₂ В ПРИСУТСТВИИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

*Першина Е.Д., кандидат химических наук, доцент, Костык С.В.,
Грошенко Н.А., кандидат химических наук, профессор*

1. Введение.

Закономерности гетерогенно-катализитического распада H₂O₂ на коллоидных оксиднометаллических катализаторах в свободном виде [1] и с органическими веществами [2] в водных растворах изучаются относительно недавно. Случаи жидкофазного разложения H₂O₂, катализированного ионами переходных металлов, и распада H₂O₂ на твердых катализаторах достаточно изучены [3, 4], однако незаслуженно мало внимания уделяется промежуточным формам катализатора – коллоидным, хотя часто процессы самоочищения природных водоемов определяются наличием дисперсной фазы, выступающей адсорбентом и катализатором [5]. Водные золи MnO₂ представляют интерес как модельные объекты, открывается возможность контролировать размер их частиц и состав поверхностного слоя [6, 7].

В данной работе изучается воздействие H₂O₂ на водные золи MnO₂, как свободные, так и содержащие ПВС, адсорбированный на их частицах. ПВС широко используется в технологиях полиграфии и достаточно устойчив в сточных водах.

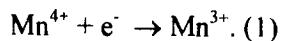
2. Экспериментальная часть.

Дисперсная система MnO₂ (получение и свойства адсорбционных слоев ПВС описано в [7, 8]) – вода изучалась в термостатируемой (ультратермостат UTU-3) установки точной волюметрии с рабочим объемом 300 мл, способной измерять изменения объемов газов от 200 до 0,02±0,005 мл и обеспечивающей независимый дозирующий ввод трех реагентов. С помощью системы газовых бюреток измерялась скорость выделения кислорода в реакции разложения H₂O₂ в среде золя.

Исследование (регистрация изменения V(O₂), [OH⁻], [H₂O₂], динамика восстановления Mn⁴⁺) проводили в стандартной ячейке ЯСЭ-4, совмещенной с иономером ЭВ-74.

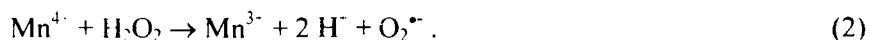
3. Результаты и обсуждение.

Если подвергнуть полученные при эквивалентном взаимодействии реагентов [7] золи MnO₂ воздействию избытков H₂O₂, поверхностный слой частиц восстанавливается [2], что будет фиксироваться на спектрах поглощения (рис.1):

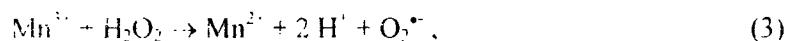


Динамика перехода Mn(IV) → Mn(III) зависит от исходных значений pH среды (рис.2). В области средних pH подщелачивание раствора ведет к возрастанию доли Mn(IV) в равновесном дисперсном продукте и более быстрому достижению уровня насыщения, когда дальнейшее

добавление H_2O_2 перестает менять поверхностное соотношение $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$. Наблюдается корреляция между этим соотношением и повышением рН точки нулевого заряда золя (рис.3). В отличие от массивных образцов MnO_2 [9], гетерогенно-катализитический распад H_2O_2 в его золях сопровождается сменой механизма массообмена между жидкой и газовой фазой, вследствие чего в эксперименте отмечено снижение начальной активности катализатора в 5-6 раз [10]. Вместе с тем, наблюдается зависимость (рис.4) от рН каталитической активности золей, максимум которой приходится на рН 10,5-11,5. Интенсификация процесса при перемешивании свидетельствует о протекании его во внешнедиффузационной области. Из анализа рис.4 следует, что максимум кривых связан с конкуренцией восстановления Mn^{4+} - и окисления Mn^{3+} -центров поверхности. Эффект проявляется сильнее для более щелочных растворов и определяется диссоциацией промежуточных OH^\bullet -радикалов при разложении H_2O_2 до супероксидного радикала (максимум концентрации наблюдается при рН 12-12,5 [11]):



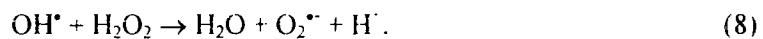
Реакция (2), по данным [6], медленная ($k = 7 \cdot 10^2 \text{ M}^{-1} \cdot \text{c}^{-1}$). По мере роста $[\text{Mn}^{3+}]$ она начинает ускоряться, так как уже может протекать через более быстрые стадии:



Основной вклад в автокатализ разложения H_2O_2 будут давать реакции (5-6):



и цикл Haber-Weiss'a (9-10): $\text{O}_2^\bullet + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + \text{OH}^\bullet + \text{OH}^-$, $\text{OH}^\bullet + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2^\bullet + \text{H}^+$.



Адсорбция H_2O_2 на поверхности катализатора MnO_2 осуществляется в виде нейтральных молекул [9], затем происходит поверхностная радикальная диссоциация их на активном центре $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$. Адсорбция продукта объемной диссоциации H_2O_2 на данном центре маловероятна из-за одноименности их зарядов и низкой $[\text{HO}_2^\bullet]$ [7]. Увеличение рН, определяющее рост степени диссоциации H_2O_2 , снижает равновесную концентрацию его нейтральных молекул, однако при рН 7-9 реакция, согласно [11], начинает идти по другому механизму, сменяя ион-радикальный на чисто радикальный, что в целом выражается в некотором увеличении эффективности распада. При дальнейшем повышении рН эффективность разложения H_2O_2 проходит через максимум, затем резко падает, что, по нашему мнению, вновь отражает совокупность двух факторов: кинетического, обусловленного переходом к третьему, стабилизирующему механизму, и диффузионного, связанного с насыщением поверхности катализатора OH^- ионами, препятствующими проникновению к активным центрам как заряженных, так и нейтральных форм пероксида.

В табл.1 даны константы скорости распада H_2O_2 в золях MnO_2 в зависимости от pH среды и наличия в системе ПВС. Данные по снижению константы, полученные после достижения адсорбционного равновесия в системе ПВС- MnO_2 , коррелируют с ростом концентрации ПВС. Константы скорости найдены дифференциальным методом Вант-Гоффа по данным волюметрии, поэтому достаточно показательны, так как отражают хотя не начальный, а уже катализический этап реакций, однако еще не осложненный продуктами окисления полимера.

Таблица 1

Константы скорости (s^{-1}) реакций распада H_2O_2 на частицах MnO_2 (30 ± 6 нм) в зависимости от pH и содержания ПВС-1-3 в растворе ($[MnO_2] = 5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, $20^\circ C$)

pH	Чистый золь	Золь MnO_2 с малыми добавками ПВС			
		$C_{ПВС} = 0,01$ г/л	$C_{ПВС} = 0,1$ г/л	$C_{ПВС} = 0,5$ г/л	$C_{ПВС} = 2,0$ г/л
6,1	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
8,9	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$
10,2	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
12,0	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$

Несмотря на стремление на начальном этапе реакции разложения H_2O_2 в чистых золях [11] к нулевому порядку по пероксиду, он близок к единице: в это время восстанавливается часть поверхностного слоя частиц MnO_2 , и по этому компоненту порядок реакции отличен от нуля, то есть полный порядок реакции находится в пределах от 1 до 2. Когда реакция выходит на стационарный уровень, концентрация H_2O_2 перестает существенно влиять на скорость реакции, порядок по MnO_2 стремится к единице. При этом, из-за гидродинамических особенностей формирования пузырьков константа скорости реакции снижается. Именно эту константу скорости следует рассматривать (ср. рис.4 и табл.1) как критерий эффективности распада H_2O_2 (также потому, что ее проще получить из волюметрических измерений).

Влияние полимерных слоев на частицах золя MnO_2 можно охарактеризовать как диффузионно препятствующее проникновению H_2O_2 к центрам распада, вследствие чего лимитирует адсорбционная стадия. Это подтверждает низкая чувствительность скорости реакции к изменению температуры и повышенная – к перемешиванию. Эффективность выделения кислорода при распаде H_2O_2 в чистых золях при $pH > 9$ и, по-видимому, окисление ПВС в этих условиях резко снижаются, что позволяет говорить о стремлении ПВС и H_2O_2 адсорбироваться на одних и тех же центрах [8]. Динамика падения эффективности распада в этих случаях должна зависеть от заполнения поверхности катализатора адсорбированными звеньями полимера. В соответствии с

Оптическая плотность

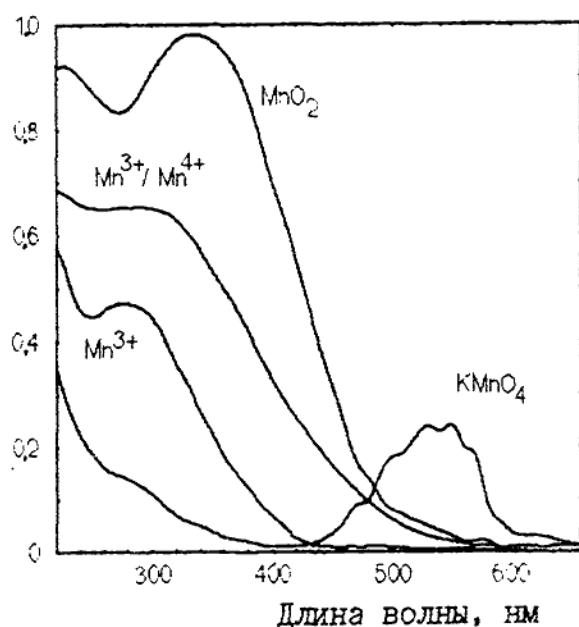


Рис.1. Характерные спектры поглощения компонентов изучаемой системы (рН 8,0).

pH

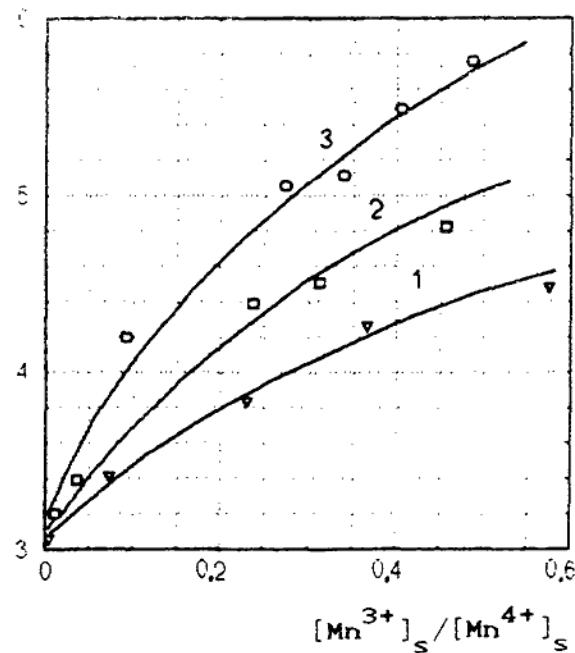


Рис.3. Зависимость рН ТИЭ золей MnO_2 от поверхностного соотношения $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$ для фракций частиц 1) 25 нм; 2) 40 нм; 3) 60 нм.

$[\text{MnO}_2] \times 10^4$, моль/л

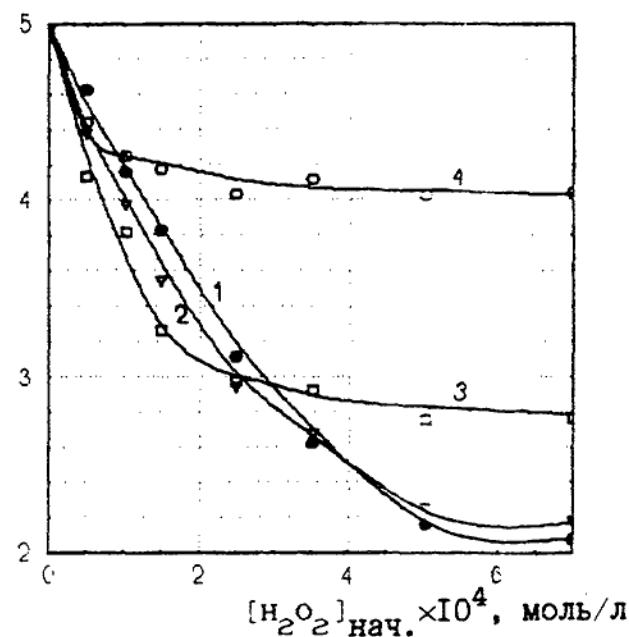


Рис.2. Снижение $[\text{MnO}_2]$ в реакции с H_2O_2 для различных рН среды:
1) 6,1; 2) 7,4; 3) 8,9; 4) 10,2.

$-\frac{d[\text{H}_2\text{O}_2]}{dt} \times 10^6$, моль/л

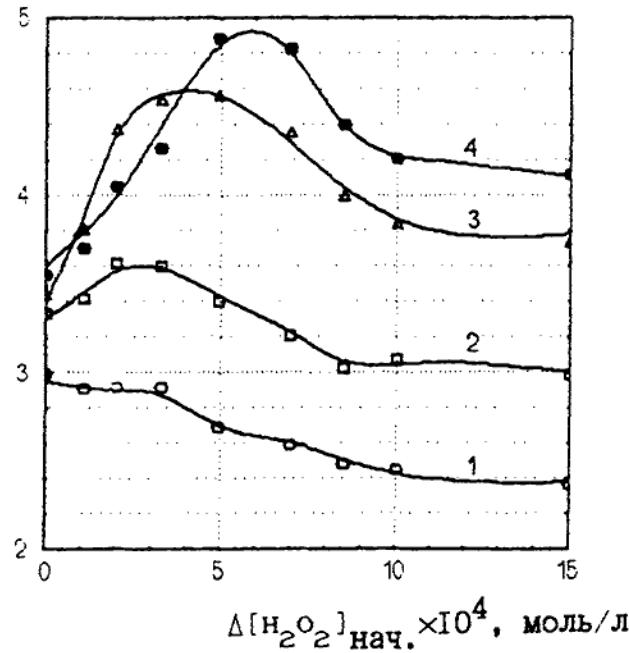


Рис.4. Зависимости начальных скоростей распада H_2O_2 от восстановленности MnO_2 (разные $[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{нач.}}$) от исходных значений рН — см. рис.2.

расчетами параметров адсорбционных слоев ПВС [8], адсорбция единичного сегмента ПВС может осуществляться за счет электроно-акцепторных уровней MnO_2 и водородных мостиков координационно связанной с ПВС воды. Геометрические несоответствия параметров решетки MnO_2 и цепи обуславливают их близкий контакт лишь в одной точке. Возникающая при этом достаточно жесткая структура определяет наличие четкой пространственной ориентации концов адсорбированного сегмента и, по-видимому, маскируя целый набор катализически активных центров на поверхности, блокирует его для подхода молекул H_2O_2 , либо значительно снижает для них коэффициент диффузии. Данные о более слабом влиянии описанных эффектов для растворов с pH 5-7 позволяют говорить не только об общем снижении адсорбции ПВС [8], но и о вероятном уменьшении степени заполнения поверхности элементарными звеньями полимера, что открывает дополнительные активные центры распада H_2O_2 .

4. Выводы.

С учетом корреляции между скоростью гетерогенно-катализического распада H_2O_2 и величиной адсорбции ПВС на поверхности катализатора предложен способ определения доли катализически активных центров частиц золя, блокированных звеньями полимера, то есть вычисления степени заполнения поверхности полимером.

Литература.

1. Шехобалова В.И. // Ж. физ. химии. - 1986. - Т.60, № 4. - С. 961.
2. Lume-Pereira C., Baral S., Henglein A., Janata E. // J. Phys. Chem. - 1985. - V.89, № 26. - P.5772.
3. Kremer M.L. // J. Chem. Faraday Trans. Pt.1 - 1988. - V.84, № 11. - P. 4145.
4. Дяков В.Е., Пурмаль А.П., Травин С.О. // Хим. физика. - 1989. - Т.8, № 5. С. 670.
5. Graedel T.E., Mandich M.L., Weschter C.J. // J. Geophys. Res. - 1986. - D.91, № 4. - P.5205.
6. Baral S., Lume-Pereira C., Janata E., Henglein A. // J. Phys. Chem. - 1985. - V.89, № 26. - P. 5778.
7. Костык С.В., Першина Е.Д., Грошенко Н.А. // Ученые записки Симферопольского госуд. ун-та. - 1997. - № 4 (43). - С. 97.
8. Костык С.В., Першина Е.Д., Грошенко Н.А. // этот сборник.
9. Садыков В.А., Цырульников П.Г. // Кинет. и катализ. - 1977. - Т.28, № 1. - С.137.
- 10.Костык С.В. Адсорбция и окисление поливинилового спирта в водных золях диоксида марганца: Автореф. дис. ...канд. хим. наук. - 1998. - 16 с.
- 11.Razouk R.I., Habashy G.M., Kelada N.Ph. // J. Catal. - 1972. - V.25. - P.183.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕСТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТОКСИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ НА КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ
ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ
В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Сурова Н. А., кандидат химических наук, доцент

Роль вольтамперометрических методов и особенно инверсионной вольтамперометрии (ИВА) на твердых электродах резко возросла в связи с острой необходимостью контроля объектов окружающей среды, биологических материалов, пищевых продуктов. При анализе этих объектов к методам аналитического контроля предъявляют требования повышенного уровня: обеспечение низких границ определяемых содержаний токсичных элементов, многоэлементность анализа, необходимость не только определения общего содержания токсичных элементов, но и получения качественной и количественной информации о физико-химических формах существования (включая степень окисления) контролируемых элементов, возможность автоматизации непрерывного контроля (мониторинг) и дистанционного управления процедурой анализа [1, 2].

Самой большой группой объектов окружающей среды, для контроля которой целесообразно применять ИВА, являются природные и сточные воды и почвы, которые содержат огромное количество токсичных элементов в различных формах: свободных и комплексных ионах с различными лигандами (неорганическими и органическими). Методы ИВА обеспечивают отличие связанных форм от свободных ионов.

Особенно ИВА удобна для оценки содержания наиболее часто встречающихся токсичных элементов таких как Cu, Pb, Cd, Zn, Hg, Co, Ni, а также Fe, избыток которого в воде также недопустим, и др.

В настоящее время стало актуальным проведение мониторинговых мероприятий экологических объектов на содержание ионов металлов. В области охраны окружающей среды, связанной со множеством одновременно действующих точек контроля, важно предусмотреть возможность конструирования достаточно простых приборов с использованием современной компьютерной техники.

Вольтамперометрическая компьютеризированная система, разработанная и опробованная в КБ "Домен" при Симферопольском госуниверситете, отвечает всем требованиям, предъявляемым к анализатору и методу при мониторинговых мероприятиях по контролю за окружающей средой: компактна, проста в эксплуатации, позволяет значительно уменьшить время анализа (до 3 мин при полярографии на ртутном капающем электроде и до 10 мин при проведении инверсионного анализа), позволяет управлять автоматически всеми режимами работы, обеспечивает низкий предел обнаружения элементов (порядка 10^{-10} моль/дм³ и значительно уменьшает погрешность определения

$S_r < 0,10$, а также позволяет создать банк данных по мониторинговым исследованиям. Система обеспечивает графическое изображение и расчет вольтамперных кривых, а также рассчитывает содержание определяемого компонента в растворе и может работать с двумя типами электродов: ртутный капельный и твердые.

В методе ИВА токсичные ртутные электроды могут быть заменены на твердые электроды, сделанные из графита, стеклографита, углеситалла, импрегнированного графита, благородных металлов и др. Успешное применение углеродных материалов обусловлено их высокой химической и электрохимической устойчивостью, широкой рабочей областью потенциалов, доступностью материалов [1].

Ранее [3] на компьютеризированной вольтамперометрической системе была исследована возможность определения пяти загрязняющих компонентов, содержащихся в пробе экологического объекта – это свинца, кадмия, меди, железа и цинка на фоне ацетата натрия методом ИВА.

Как показали литературные данные, ионы Hg(I) и Hg(II) восстанавливаются на ртутном капельном электроде во всех электролитах, в которых эти ионы не образуют труднорастворимых соединений. И при разрядке ионов ртути наблюдаются полярографические кривые, форма которых не соответствует уравнению катодной волны [4]. Процесс восстановления ионов ртути протекает обратимо в диффузионном режиме. Четкие волны ионов ртути могут быть получены на фонах азотной, хлорной, уксусной кислот, растворов солей этих кислот, при восстановлении ртути из комплексных ионов, образованных неорганическими и органическими лигандами (HgI_4^{2-} , HgS_2^{2-}) [5]. Для полярографического определения ртути часто применяют иодидный электролит. Известно, что ртуть трудно выделяется на поверхности индифферентных электродов. Это облегчается процессом соэлектрокристаллизации с кадмием или медью [6].

Представляло интерес исследовать возможность одновременного определения ртути в пробах объектов окружающей среды, содержащих и другие токсичные компоненты, такие как Cd, Pb, Fe, Cu и Zn.

Исследование проводили на компьютеризированной вольтамперометрической установке на графитовом рабочем электроде. Использовали хлорсеребряный электрод сравнения и вспомогательный – платиновый. Для работы использовали реактивы квалификации ос.ч и х.ч. Определение элементов проводили на ацетатном фоне в режиме переменнотоковой полярографии с наложением прямоугольной развертки потенциала. Электролиз раствора проводили при потенциале $E = -1,4$ В в течение 3 мин, включив одновременно секундомер и мешалку. Спустя 15-20 с после отключения перемешивания включали развертку потенциала и регистрировали вольтамперную анодную кривую. При потенциале $E = 0,2$ В отключали развертку и включали перемешивание на 5-10 с. Определение проводили методом добавок.

Было найдено, что на фоне, содержащем ацетат ионы, которые являются хорошими лигандами

для ряда металлов при образовании комплексных соединений, проявлялись только пики ионов Cu, Cd, Pb, Fe и Zn, а вольтамперная кривая ртути не наблюдается. После добавления в электрохимическую ячейку раствора едкого натра и доведения pH до 10, стал проявляться пик ртути при потенциале $E = -0,52$ В. Полученные результаты представлены в таблице 1.

В присутствии ионов кадмия осаждение ртути на графитовом электроде незатруднено, однако, если в растворе нет ионов кадмия (или меди), то их необходимо добавить.

Как уже отмечалось [3], при одновременном присутствии в растворе ионов железа и свинца необходимо добавить 0,05 г сульфида натрия для устранения мешающего влияния тяжелых металлов, что позволяет также определять железо в смеси с указанными выше элементами.

Было найдено, что зависимость высоты анодного пика от концентрации носит линейный характер для свинца, кадмия, цинка и ртути в интервалах концентраций (10^{-5} - 10^{-10}) моль/дм³, а для меди и железа - (10^{-5} - 10^{-9}) моль/дм³. Относительная погрешность определения ниже, чем $S_k = 0,1$ (измерения проводили для 5 стандартных растворов указанных концентраций).

Таблица 1

**Экспериментальные данные инверсионной
вольтамперометрии на ацетатном фоне**

Элемент	Потенциал пика при pH=5, E, В	Концентрация элемента, С, моль/дм ³	S_r $n=5, H=0,95$	Потенциал пика при pH=10, E, В
Pb	-0,40	10^{-5} - 10^{-10}	0,05-0,08	-
Cd	-0,60	10^{-5} - 10^{-10}	0,05-0,08	-0,66
Cu	0,05	10^{-5} - 10^{-9}	0,05-0,08	-
Zn	-1,40	10^{-5} - 10^{-10}	0,05-0,08	-
Fe	-0,39	10^{-5} - 10^{-9}	0,07-0,09	-
Hg	-	10^{-5} - 10^{-10}	0,05-0,09	-0,52

Таким образом, были найдены условия для совместного определения из одной аликвоты шести компонентов (кадмия, свинца, меди, цинка, железа и ртути) в пробах экологических объектов методом инверсионной вольтамперометрии на графитовом электроде при использовании компьютеризированной вольтамперометрической системы.

Применение методики многокомпонентного анализа и компьютеризированной вольтамперометрической системы позволяет значительно ускорить анализ экологических объектов и получить банк данных при мониторинговых исследованиях.

Литература.

1. Брайнина Х. З., Нейман Е. Я., Слепушкин В. В. Инверсионные электроаналитические методы. - М.: Химия, 1988. - 239 с.
2. Электрохимические методы в контроле окружающей среды. - М.: Химия, 1990. - 238 с.
3. Сурова Н. А. Использование вольтамперометрической компьютеризированной системы для анализа экологических объектов // Ученые записки Симферопольского государственного университета. Математика, физика, химия. - 1997. - № 4 (43). - С. 112-119.
4. Гейровский Я., Кута Я. Основы полярографии. - М.: Мир, 1965. - 295 с.
5. Гладышев В. П., Левицкая С. А., Филиппова Л. М. Аналитическая химия ртути. - М.: Наука, 1974. - 236 с.
6. Ройзенблат Е. М., Веретина Г. И. О чувствительности определения ртути методом инверсионной вольтамперометрии на графитовом электроде // Журн. аналит. химии. - 1974. - Т. 29, № 12. - С. 2376-2380.

**ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СТРУКТУР ИЗ НИОБИЯ**

Устименко В. Н., Хрулева О. Д., Федоренко А. М., доктор химических наук

Специфические свойства сверхпроводящих высокочастотных структур из ниобия и его сплавов открывают широкие перспективы в создании на их основе уникальных ускорителей элементарных частиц [1]. Успешное применение сверхпроводимости в ускорительной технике сопровождается повышением требований к качеству поверхности сверхпроводящих изделий, особенно, изделий сложной конфигурации (секций захвата ускорителя ЛУЭС-5) [2,3]. Достижение рабочих параметров сверхпроводников (значений собственной добротности порядка $10^9 \dots 10^{10}$ и амплитуд электрической компоненты высокочастотных полей порядка десятков мегавольт на метр) возможно при условии высокого качества рабочей поверхности со значением коэффициента шероховатости $R_a = 0.05 \dots 0.01 \text{ мкм}$.

Технология изготовления сверхпроводящих изделий включает операции: механическую обработку, электронно-лучевую сварку, вакуумный отжиг и др. Заключительной и наиболее ответственной операцией является доводка поверхности изделия до рабочих параметров с помощью химической и электрохимической обработки. Несмотря на многие технологические усовершенствования, электрохимическое полирование (ЭХП) остается особо сложной операцией и зависит от многих факторов, которые до настоящего времени недостаточно изучены. При ЭХП полуячеек резонаторов и сварных резонаторов, а также секций захвата ускорителя ЛУЭС—5, выявлено, что достигается предел качества рабочей поверхности ($R_a \leq 0.03 \text{ мкм}$), который невозможно преодолеть с помощью ранее разработанной технологии. Режимы ЭХП ниобия в растворах серной и плавиковой кислот являются нестационарными (сопровождаются колебаниями величины тока или потенциала) и неустойчивыми [4, 5]. Для их стабилизации в растворы вводятся добавки органических веществ, например, кетоны, альдегиды и ангидриды кислот [6] либо азотсодержащие вещества из карбамидного ряда [7, 8], а полирование ниобия ведется в пассивной или в транспассивной областях потенциалов на анодной ветви вольтамперной характеристики (ВАХ).

Была обнаружена сильная адсорбция азотсодержащих карбамидных добавок в растворах кислот [8] и в хлоридсодержащих расплавах мочевины с хлоридом аммония [9], причем, усиливалась степень и скорость пассивирования поверхности. Методами инверсионной вольтамперометрии [7] обнаружено, что азотсодержащие добавки ослабляли адсорбцию воды и серной кислоты, но сами практически не участвовали в электрохимической стадии переноса электронов при окислении ниобия, – механизм такого действия добавок остался необъясненным. Было предположено комплексообразование ниобия с азотсодержащими соединениями [7] в ходе его ЭХП, поскольку известно, что ниобий способен координировать органические лиганда по кислородному атому лиганда (например, ацетон

и спирокарбон [10]), но комплексообразование его с карбамидными производными изучена недостаточно. Ранее было выявлено, что карбамид активно влияет на процессы химического полирования ниобия в сульфатно-фторидных растворах в присутствии азотной кислоты [11].

В настоящей работе приведена модель состояния анодно поляризованного электрода Nb|раствор, по которой объяснено влияние добавок органических веществ карбамидного ряда на нестационарные режимы ЭХП ниобия в растворах плавиковой и серной кислот с учетом исследований комплексообразования ниобия с карбамидом и его производными.

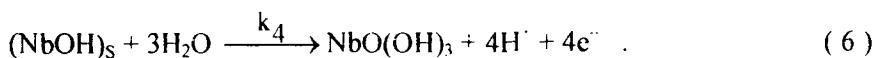
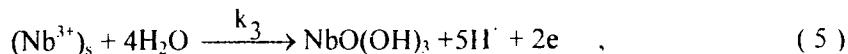
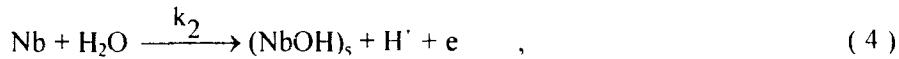
При построении модели исходили из основных стадий последовательно-параллельного окисления ниобия по схеме в работе [8], и из представлений адсорбционно-пленочной теории пассивации [12, 13]:

1 – стадии, определяющие сопротивление поляризации:

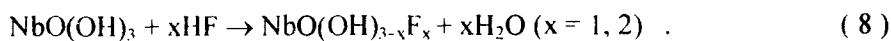
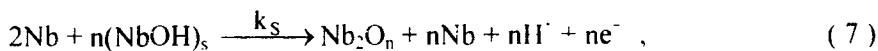


где индекс “s” относится к адсорбируемым частицам, индекс “p” – к растворимым соединениям ниобия, например [14 – 16]: H[NbO(OH)₂]SO₄, [NbOSO₄][HSO₄], H₂[NbO(SO₄)₂], [NbOF₃], H₂[NbOF₅], H₂[NbF₇], H₂[NbF_x(SO₄)_{0.5(7-x)}] (x = 1...7) :

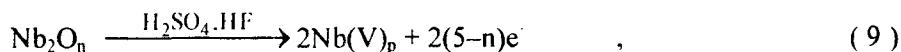
2 – образование “зародышей” и монослоя пассивирующей пленки:



3 – тонкотекущие превращения на границе ниобий/пассивирующая пленка и пассивирующая пленка/раствор:



4 – растворение пассивирующей пленки (образование растворимых соединений ниобия):



Степень пассивирования (θ) зависит от скорости формирования поверхностного гидроксида (NbOH), глубины протекания в нем различных топохимических реакций, от скорости окисления поверхностных катионов (Nb^{3+}) с участием молекул воды. Предполагается, что топохимические реакции и ионный массоперенос внутри пассивирующей пленки мало изменяют степень закрытия поверхности (θ) по сравнению с химическими и электрохимическими стадиями растворения пассивирующего слоя и стадиями его формирования. Тогда, возможно составить уравнение состояния поверхности ниобия следующим образом:

$$\frac{d\theta}{dt} = H_0 + KC(1-\theta)f(\theta) - \theta[H_0 + V - V_b] , \quad (11)$$

где V, V_b – константы скоростей растворения и роста по толщине соответствующего пассивирующего слоя, $H_0 = k_2 C(\text{H}_2\text{O}) \exp(\eta_2/b_2)$ есть скорость пассивирования ниобия в чистой воде при заданном потенциале; $K = k_3 k_s K_p^{-1} \exp(\eta_3/b_3)$; K_p – эффективная константа перехода (3), C – аналитическая концентрация ниобия у поверхности анода, η – перенапряжение реакций электронного перехода, b – тафелевские коэффициенты, а $f(\theta)$ определяет тип изотермы адсорбции согласно работе [17].

При поступательном движении границы раздела фаз (со скоростью (v) для растворяемого анода [18]) на врачающемся дисковом электролите (ВДЭ) массоперенос описывается уравнением конвективной диффузии [1, с. 19].

$$\frac{dC}{dt} + vVC = -D\nabla^2C , \quad (12)$$

которое может быть приведено к виду:

$$\frac{dC}{dt} = -2v\nabla C - 2(1 - \frac{C_0}{C})\{\frac{D}{\delta^2} \cdot (C - C_0) - \frac{i}{zF\delta}\} , \quad (13)$$

где D – эффективный коэффициент диффузии ниобий - содержащих частиц, δ – толщина диффузионного слоя, C_0 – объемная концентрация ниобия в растворе, а поверхностная плотность тока (i) задается выражением [20, с.448]:

$$i = i_a(1-\theta) + i_{in}\theta , \quad (14)$$

где i_a определяется общей скоростью стадий (1) – (4) на непассивированной части поверхности, а i_{in} – предельный ток через пассивированную поверхность ВДЭ, – поэтому, справедливо уравнение:

$$\frac{di}{dt} = -(i_a - i_{in}) \frac{d\theta}{dt} . \quad (15)$$

Система уравнений (11), (13) – (15) полностью описывает состояние поляризованного электрода $\text{Nb}(\text{ВДЭ}) | (\text{HF}, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O})$. Все переменные величины в них функционально связаны с условиями поляризации электрода, именно:

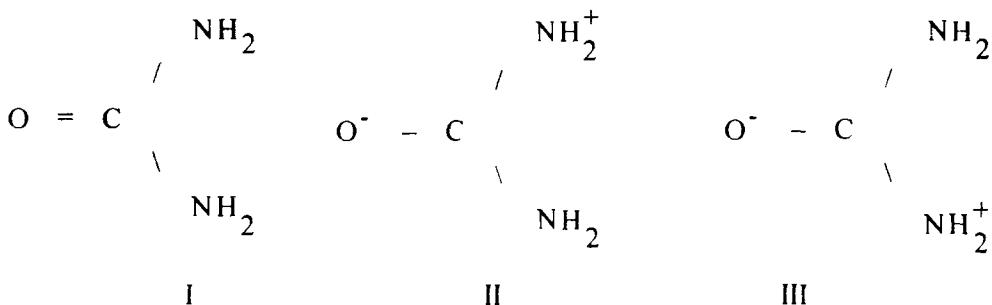
$$H_o \propto \exp(\phi), C(H_2O); \quad K \propto \exp(\phi); \quad V_h \propto i_n; \quad V \propto C(HF); \quad i_a \propto \exp(\phi); \\ \delta \propto \omega^{-1/2}, v^{1/6}; \quad i_n \propto C(HF), \omega^{1/2}, v^{-1/6}, T^a (a = 1, 2), \quad (16)$$

исходя из уравнений для перечисленных кинетических параметров [18 – 21] (здесь: Т – температура, ϕ – электродный потенциал, v – гидродинамическая вязкость раствора, ω – угловая частота вращения ВДЭ). Соотношения этих величин влияют на стационарный ход электролиза. Очевидно, что их изменения влияют и на характер устойчивости решений системы уравнений состояния (11), (13) – (15). В частности, когда органические добавки ослабляют адсорбцию воды и серной кислоты [8, 9], то, тем самым, величина H_o может уменьшиться до нуля, и основным становится механизм пассивации с участием только адсорбируемых катионов (Nb^{3+})_s, согласно известной модели Ориани и Тальбота [17], в которой показано генерирование устойчивых автоколебательных процессов, со стабилизацией нестационарного режима ЭХП ниobia.

Для выявления причины сильной адсорбции органических добавок был поставлен эксперимент. В эталонный раствор состава (мол. %): HF (10,34), H₂SO₄ (58,03), H₂O (31,63) – вводились добавки веществ: ацетилкарбамид, N,N'-метилацетилкарбамид, N,N'-диметилкарбамид, N,N'-фифенилкарбамид, карбамид, спирокарбон, тиокарбамид, фенилтиокарбамиад, N,N'-дифенилтиокарбамид, с-метилизотиокарбамид сернокислый. С учетом образования в растворе фторсерной кислоты, он соответствовал составу (мол. %): HF (0,95), HSO₃F (9,39), H₂SO₄ (48,64), H₂O (41,02). Такой раствор можно было отнести к безводной химической системе, поскольку вода в нем не может оставаться в свободном состоянии, образуя прочные гидраты с серной кислотой. Поэтому, решено было комплексные соединения ниobia с упомянутыми органическими веществами определять также в безводной системе: NbCl₅ - L - (CH₃)₂CO, где L – карбамид, ацетилкарбамид, N,N'-метилацетилкарбамид. С применением метода относительной растворимости получены комплексные соединения карбамида и его производных в кристаллическом виде, которые затем исследовались методом инфракрасной (ИК) спектроскопии.

Соотнесение найденных в ИК - спектрах колебательных частот проводилось сравнением спектров карбамида и его производных со спектрами комплексных соединений ниobia (V) [22 – 25]. Известно, что для карбамида и его производных характерно образование координационных соединений через атом кислорода или азота. Принималось, что координация металла осуществляется через атом кислорода, если частота низкочастотной компоненты $\nu(C=O)$ претерпевает заметные изменения, а интенсивные колебания $\nu(CN)$ 1340 – 1540 см⁻¹ и $\nu(NH)$ 3400 – 3100 см⁻¹ в координационных соединениях смещены в высокочастотную область. Эти изменения объяснялись тем, что атом азота NH - группы не связывается с атомами металла, а водородные связи в свободном от координации лиганде несколько ослаблены из-за взаимодействия атомов кислорода с ниобием. В случае образования координационных соединений карбамида с ниобием через атом азота частота $\nu(C=O)$ должна повышать-

ся, а частота ν (CN) понижаться. Доказательство образования координационных соединений хлорида ниобия (V) с карбамидом проводилось с учетом резонансного гибрида структур карбамида:



В свободной молекуле карбамида кратность связи C=O понижена, а кратность связи C - N повышенна. Сопоставление ИК-спектров карбамида и координационного соединения позволило предположить, что координация с ниобием (V) осуществляется через атом кислорода. В этом случае, вероятность структуры I уменьшается [25]. Доказательством такому предположению являлись закономерные изменения частоты $\nu(C=O)$ с 1625 см^{-1} до 1600 см^{-1} с понижением ее интенсивности, и повышение частоты $\nu(CN)$ с 1450 см^{-1} до 1500 см^{-1} . Значение $\nu(NH)$ практически не изменилось.

Инфракрасный спектр N,N'-метилацетилкарбамида имеет валентные колебания $\nu(C=O)$ в области 1685 см^{-1} , а $\nu(CN)$ имеет значение 1548 см^{-1} . При этом, валентные колебания N - H находятся в интервале $3321 - 3100 \text{ см}^{-1}$. При образовании комплексного соединения N,N'-метилацетилкарбамида с NbCl₅ наблюдалось заметное смещение полос валентных колебаний $\nu(CN)$ до 1495 см^{-1} , $\nu(NH)$ до 3408 см^{-1} . Колебания $\nu(C=O)$ изменились слабо (до 1692 см^{-1}). Указанные изменения частот валентных колебаний дают основание считать, что в этом случае координация ниобия (V) происходит через атом азота, следовательно, вероятность образования структур II и III уменьшается.

По данным ИК спектроскопии имеются основания полагать, что координация ацетилкарбамида с ниобием (V) осуществляется через атом азота. Доказательством этого является характерные изменения волновых чисел в области $1400 - 1700 \text{ см}^{-1}$.

В общем случае, образование устойчивых полярных мезомерных форм определенного лиганда может объяснить его неактивное поведение в электрохимической стадии переноса электронов. Образование же катионных комплексов лиганда с ниобием может усиливать их десорбцию с поверхности анода, приводя к сглаживанию микровыступов, т.е. к усилению эффекта ЭХП. Таким образом, образование поверхностных координационных соединений ионов ниобия с карбамидом и его производными влияет на механизм анодного растворения ниобия, что позволяет управлять технологическим (колебательным) режимом ЭХП ниобия.

Литература.

1. Металлургия сверхпроводящих материалов. Под ред. Т.Люмана и Д.Дью Хьюза. Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1984. – 360 с.
2. Разработка технологии изготовления листового ниобия и методов его обработки // НИИ электротехнической аппаратуры. – № ГР У67231. – Санкт-Петербург, 1991. – 43 с.
3. Разработка оптимальных режимов электрохимической обработки макетных изделий из ниобия и экспериментального образца технологической оснастки. // Симферопольский гос.ун-т. – № ГР 01.86.0045586. – Симферополь, 1987. – 117 с.
4. Diepers H., Schmidt O., Martens H., Sun F.S. A new method of electropolishing niobium // Phys. lett. – 1971. – Vol.37A, №2. – PP.139 – 140
5. Севрюкова Л.М. Электрохимическое полирование и анодное оксидирование сверхпроводящих резонаторов // Труды НИИЯФЭИА. Сверхпроводники и их использование в ускорительной технике. Вып. 5. – М.: Атомиздат, 1975. – С. 3–8.
6. А.С. 1528820 СССР, МКИ С 25F 3/26. Электролит для анодного полирования ниобия
Д.Б.Сандулов, В.Н.Устименко (Украина) – Заявл. 30.09.1987; Опубл.15.08.1989
7. Устименко В.Н., Хрулева О.Д. Карбамидные комплексы ниобия в полирующих растворах // Сб XIII Укр. конфер. по электрохимии 3 – 5 сентября 1992 г. (Ужгород). – К: КГУ. 1992. - С.123.
8. Хрулева О.Д., Устименко В.Н., Федоренко А.М. Действие добавок карбамидного ряда на процесс анодного растворения ниобия // Укр. химич. журн. – 1996. – Т.62, № 5–6. – С.109 – 113.
9. Туманова Н.Х., Богданович Д.В., Бабенков Е.А., Лапшин В.Ф. Химическое и электрохимическое растворение ниобия в низкоплавких электролитах // Укр. химич. журн. – 1996. – Т.62, № 5–6 – С.38 – 41.
10. Федоренко А.М. Метод относительной растворимости, теория и практика. Докт.дисс.– Симферополь, 1992. – 415 с.
11. Пат. РФ № 2023751. МКИ⁴ С 25 F 3/00, 3/08, 3/16, 5/00 Федоренко А.М, Цыганкова Т.А., Джрафова С.Э. Раствор для химического полирования ниобия. Опубл. 30.11.94.
12. Байрачный Б.И., Андрющенко Ф.К. Электрохимия вентильных металлов. – Харьков: Высшая школа, 1985. – 144 с.
13. Попов Ю.Н., Алексеев Ю.В. К основам теории пассивности металлов в водном электролите Электрохимия. – 1985. – Т.21. Вып. 4. – С. 499 – 504.
14. Кравцов В.И., Иваненко В.И., Кадырова Г.И. Исследование равновесий электродных реакций комплексов ниобия в кислых водных растворах. // Электрохимия. – 1987. – Т.23. Вып.1. – С.36–41
15. Бабко А.К., Набиванец Б.И. Состояние ниобия и тантала в растворах // Проблемы современной химии координационных соединений. Вып. 2. – Л.: ЛГУ, 1969. – С.111 – 128.

16. Барам И.И. Влияние C_{HF} и $C_{H_2SO_4}$ в их смеси на кинетику растворения Nb_2O_5 и Ta_2O_5 // Цветная металлургия – 1969. – № 4. – С.78–82.
17. Talbot J.B., Oriani R.A. Steady state multiplicity and oscillations in passive film formation // J. Electrochim. Acta. – 1985. – Vol. 30, No. 10. – PP. 1277 – 1284.
18. Галюс З. Теоретические основы электрохимического анализа.–М: Мир,1974.–552с.
19. Маршаков И.К., Введенский А.В., Кондрашин В.Ю., Боков Г.А. Анодное растворение и селективная коррозия металлов. – Воронеж: Изд-во ВГУ. 1988. – 208 с.
- 20.Корыта М., Дворжак М., Богачкова Б. Электрохимия. – М.: Мир. 1977.– 472 с.
- 21.Анисимов Р.И., Коварский Н.Я. Потенциостатическое электрополирование ниобия в смесях серной и плавиковой кислот // Журнал прикладной химии.–1984.– № 3.–С. 547 – 552.
22. Миничаева Л.Х., Сахарова В.Г., Иванова И.С. и др. Кристаллическая структура и колебательные спектры дибромида бис-(2,6-диэтил-4,8-диметил-2,4,6,8-тетраазобицикло 3.3.0 октацислоном-3,7) тетраакводилития // Журн. неорган. химии. –1988.–Т. 33. Вып.2.. – С. 281–288.
23. Зимакова И.Е. Экспериментальное обоснование возможности применения в медицине нового биологически активного класса химических веществ – производных бициклических бисмочевин.// Автореф. на соискание у.с. д.м.н. – Казань. 1978 –42 с.
24. Григорьев А.И. Введение в колебательную спектроскопию неорганических соединений. – М.: МГУ, 1977.– 85 с.
25. К.Накамото. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. – М.: Мир, 1966.– 411 с.

ВЛИЯНИЕ АНИОНОАКТИВНЫХ ПАВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА РАСТВОР – ВОЗДУХ

Шадрин Г. Н., кандидат химических наук, доцент,

Крымова В. В., кандидат химических наук, доцент,

Лозенко Е. А., Горобей В. П., кандидат химических наук, старший научный сотрудник,

Сурова Н. А., кандидат химических наук, доцент

Златогорский М. Л., кандидат физико-математических наук, доцент

Известно, что поверхностно-активные вещества (ПАВ) используют как флотоагенты при разделении веществ в поверхностных слоях. Например, такой метод как ионная флотация позволяет селективно разделить ионы с близкими физико-химическими свойствами, используя специфически взаимодействующие с ионами ПАВ. Однако до настоящего времени механизм ионной флотации не совсем понятен. Это связано в основном с отсутствием достоверной информации об электрических свойствах границы раздела раствор - воздух [1, с. 242].

Поэтому представлялось интересным изучить влияние концентрации анионоактивных ПАВ на изменение межфазного электрического потенциала на границе раздела раствор - воздух.

В качестве анионоактивных ПАВ использовали стеарат и олеат натрия марки "ХЧ". Растворы готовили на дистиллированной воде в интервале концентраций ниже критической концентрации мицеллообразования (ККМ), используемых в эксперименте ПАВ.

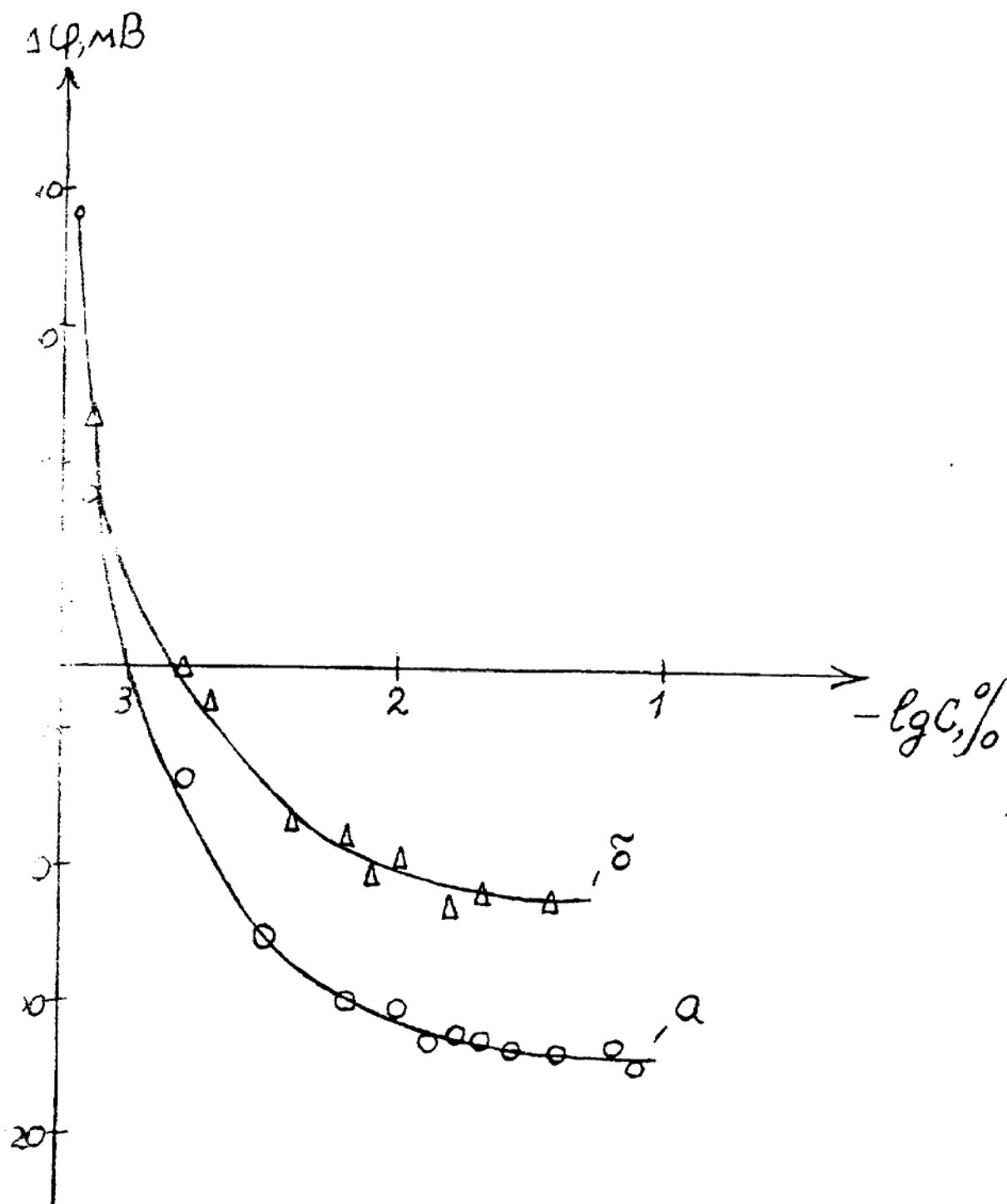
Для определения ККМ использовали тензиометрический, вискозиметрический и кондуктометрический методы. Поверхностное напряжение измеряли статагрометрическим методом с автоматическим фотоэлектронным подсчетом капель (погрешность измерения 0,1 %). Для измерения вязкости использовали вискозиметр Оствальда с диаметром капилляра 0,56 мм. Время истечения жидкости в капилляре вискозиметра фиксировали электронным секундомером (погрешность измерения до 0,1-0,15 %). Электропроводность измеряли с помощью мостика Кольрауша (погрешность измерения 0,05-0,1 %). Численное значение ККМ составило, соответственно, для стеарата натрия $5 \cdot 10^{-3}$ %, олеата натрия - $5,5 \cdot 10^{-3}$ %.

Межфазный электрический потенциал измеряли методом вибрирующего конденсатора (теоретическая точность измерения 0,1 мВ) [2, с. 44].

Из графических зависимостей, приведенных на рисунке, видно, что с увеличением концентрации ПАВ наблюдается уменьшение отрицательного межфазного электрического потенциала по абсолютной величине и при достижении определенных концентраций изменение знака потенциала и его возрастание.

Для объяснения полученных результатов необходимо рассмотреть формирование двойного электрического слоя на границе раздела раствор - воздух. В свете представлений Олти двойной

рический слой на межфазной границе обусловлен ориентацией молекул воды атомами водорода в газовую фазу, а атомами водорода – в жидкость [3, с. 86]. Межфазный электрический потенциал зависит от степени ориентации диполей воды и адсорбции ПАВ на межфазной границе.



Адсорбция ионогенных ПАВ на границе раздела жидкость – газ подчиняется классическому уравнению Гиббса

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC}, \quad (1)$$

где Γ – адсорбция ПАВ, С – концентрация ПАВ, R – универсальная газовая постоянная, T – температура, σ – поверхностное натяжение.

В зависимости от концентрации ПАВ на поверхности жидкости образуются газообразные, жидкоко-растянутые и конденсированные пленки [4, с.42]. Однако, остается открытым вопрос о взаимодействии молекул ПАВ с ориентированными на границе раздела раствор – воздух молекулами воды.

Молекулы ионогенных ПАВ ориентированы на границе раздела жидкость – газ неполярными радикалами в газовую фазу, а полярными функциональными группами – в жидкость в свете представлений электростатики.

Взаимодействие ионизированных функциональных групп молекул ПАВ с диполями воды в поверхностном слое можно представить следующим уравнением

$$n_k = n_0 \exp \left[\frac{\mu e z}{\epsilon l^2 kT} \cos(\bar{E}, \bar{\mu}) - \frac{U_i}{kT} \right], \quad (2)$$

где n_k – число диполей воды, закоординированных в электростатическом поле ионизированной функциональной группой, n_0 – общее число диполей, ориентированных в поверхностном слое, μ – дипольный момент молекулы воды, e – элементарный заряд, z – валентность иона, E – напряженность поля, k – постоянная Больцмана, T – температура, ϵ – диэлектрическая постоянная воды в поверхностном слое, l – расстояние между центром диполя воды и ионом, U_i – электрический параметр, зависящий от межмолекулярных взаимодействий молекул воды в объеме.

Как было показано в работах Русанова [5, с. 39], наблюдается симбатное изменение энтропии в объеме и поверхностном слое, то есть изменение структуры объемной воды приводит к изменению ориентации диполей воды в поверхностном слое.

В свете представлений Немети и Шерага [6, с. 249] используемые в эксперименте ионогенные ПАВ разрушают объемную структуру воды. Как следует из анализа выше приведенного уравнения, это должно приводить к увеличению числа молекул воды в поверхностном слое, гидратирующих ионизированные функциональные группы молекул ПАВ.

Изменение знака межфазного электрического потенциала можно объяснить перезарядкой двойного электрического слоя на границе раздела раствор – воздух. Это обусловлено с одной стороны переориентацией диполей воды в поверхностном слое за счет гидратации молекул ПАВ, с другой – влиянием их гидрофобных радикалов.

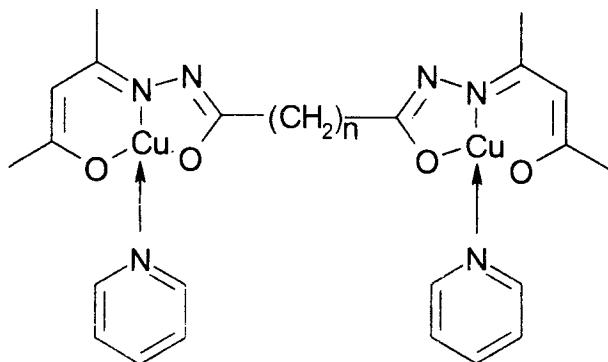
Литература.

1. Гольман А. М. Физико-химические основы теории флотации. - М.: Наука, 1983. - 242 с.
2. Зависимость электрического потенциала на границе раздела раствор - воздух от концентрации тритерпеновых гликозидов / Шадрин Г. Н., Таримов О. Е., Щербуха А. В., Крымова В. В., Хентов В. Я. // Укр. хим. журн. - 1996. - Т. 62, № 11. - С. 44.
3. Влияние адсорбции дибензо-18-краун-6 на границе раздела раствор электролита - воздух на межфазный электрический потенциал / Шадрин Г. Н., Таримов О. Е., Хентов В. Я., Грошенко Н. А., Першина Е. Д., Крымова В. В. // Укр. хим. журн. - 1996. - Т. 62, № 10. - С. 86.
4. Электрические свойства нерастворимых пленок ароматических углеводородов на поверхности воды / Таримов О. Е., Шадрин Г. Н., Грошенко Н. А., Першина Е. Д., Хентов В. Я. // Укр. хим. журн. - 1996. - Т. 62, № 5. - С. 42.
5. Русанов А. И. Молекулярная структура поверхностных слоев // Успехи коллоидной химии. - М.: Наука, 1973. - С. 39.
6. Маркина З. Н. Исследование мицеллообразования поверхностно - активных веществ в смешанных растворителях // Успехи коллоидной химии. - М.: Наука, 1973. - С. 249.

ИЗУЧЕНИЕ ОБМЕННОГО ВЗАЙМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ КАТИОНАМИ МЕДИ В КОМПЛЕКСАХ С ДИГИДРАЗОНАМИ АЦЕТИЛАЦЕТОНА И ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

Шульгин В. Ф., доктор химических наук, профессор, Сарнит Е. А.,
Зуб В. Я., кандидат химических наук, доцент (Киевский национальный университет),
Ларин Г. М., доктор химических наук, профессор (ИОНХ РАН, Москва)

Относительно недавно был описан интересный тип биядерных комплексов, в которых два хелатных комплекса меди(II) с тридентатными двухосновными лигандами соединены между собой полиметиленовыми мостиками, содержащими σ -связи [1,2]:



При изучении растворов комплексов производных малоновой, янтарной и адилиновой кислот ($n = 1, 2, 4$) было обнаружено, что в спектре ЭПР наблюдается сигнал с $g = 2.094$, состоящий из семи хорошо разрешенных линий сверхтонкой структуры (СТС) с величиной расщепления $a_{Cu} = 44.5 \cdot 10^{-4}$ см $^{-1}$. Спектр был интерпретирован как результат спин-спинового обменного взаимодействия неспаренного электрона с двумя эквивалентными ядрами атомов меди ($S = 3/2$). Было установлено также, что данное обменное взаимодействие уменьшается при увеличении длины полиметиленовой цепочки и до конца не исчезает даже для цепочки из восьми звеньев. К сожалению, в изученной серии комплексов не были синтезированы и исследованы магнитными методами соединения с полиметиленовыми мостиками, отвечающими $n = 3, 5, 6$ и 7 .

В данной работе приводятся результаты исследования методом ЭПР пиридиновых комплексов меди(II) с дигидразонами ацетилцетона и глутаровой, пимелиновой, субериновой, а также азелаиновой кислоты, то есть с числом метиленовых звеньев $n = 3, 5, 6$ и 7 .

Синтез исследуемых внутрикомплексных соединений меди (II) осуществлен взаимодействием 10-20-кратного избытка пиридина с аммиачными аддуктами. Последние получены темплатной конденсацией ацетилацетона с дигидразидом соответствующей дикарбоновой кислоты в аммиачном водно-спиртовом растворе ацетата меди(II) по методике, описанной ранее [1]. Индивидуальность,

состав и строение комплексов подтверждены данными элементного и термического анализа, а также ИК-спектрами. Спектры ЭПР снимали в растворах в смеси хлороформ-пиридин (10–20% по объему) на приборе PS 100Х.

В результате проведенного исследования установлено, что спектр ЭПР комплекса на основе глутаровой кислоты ($n = 3$) представляет собой сигнал из семи линий (рис.1) с параметрами $g = 2.093$, $a_{Cu} = 45.9 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$, близкими к найденным ранее для его аналогов с $n = 1, 2$ и 4 [1.2]. При 77К спектр замороженного раствора содержит три плохо разрешенные линии СТС от одного атома меди ($g_1 = 2.97$, $\langle a \rangle = 175 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$) и сигнал с $g_- = 2.057$, типичные для систем с аксиально-симметричным г-ектором (рис.2).

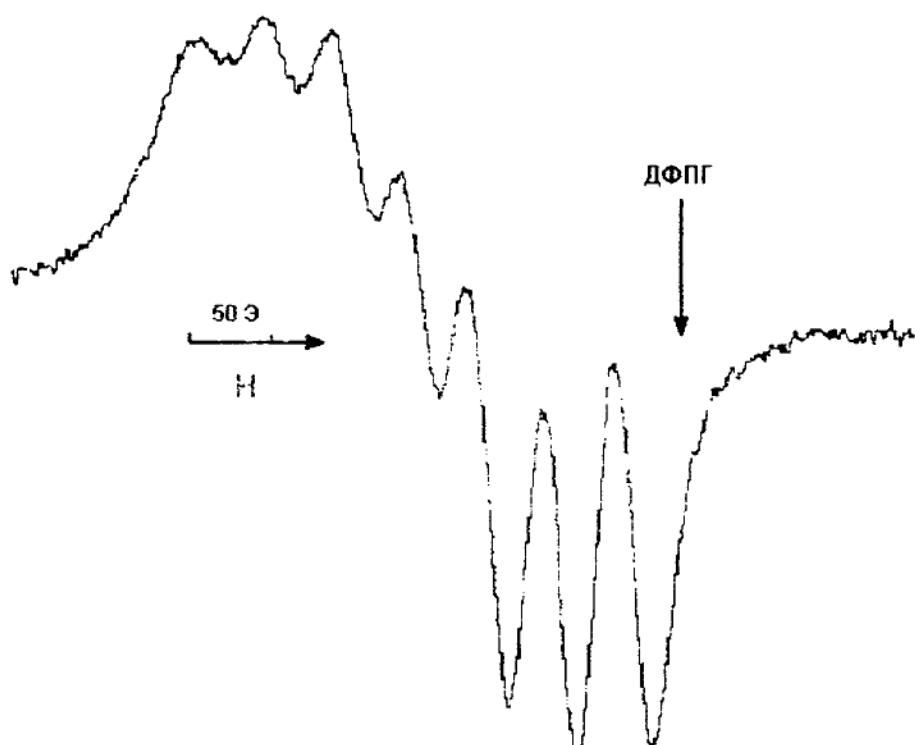


Рис.1. Спектр ЭПР жидкого раствора пиридинового аддукта комплекса меди с дигидразоном ацетилацетона и дигидразида глутаровой кислоты ($n = 3$) при 293К.

Наличие при 77К СТС только от одного атома меди, возможно, обусловлено подавлением обменного взаимодействия между катионами меди при замораживании раствора. Это позволяет предположить, что механизм обмена связан с динамическими явлениями в полиметиленовой цепочке.

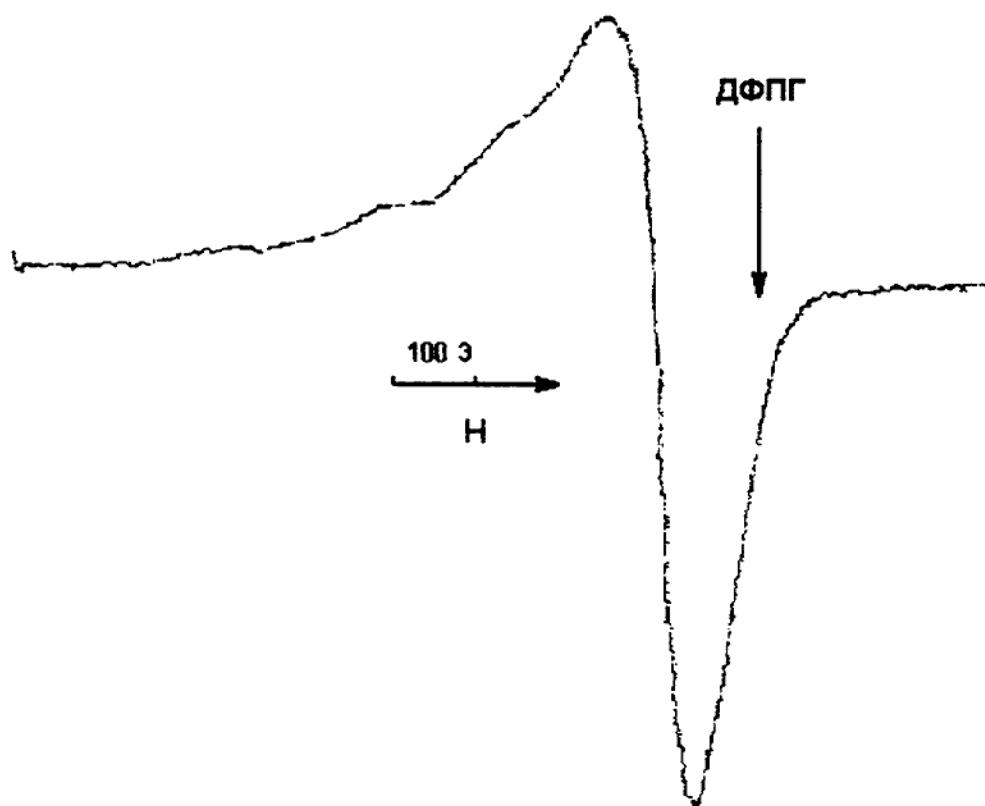


Рис.2. Спектр ЭПР замороженного раствора пиридинового аддукта комплекса меди с дигидразоном ацетилацетона и дигидразида глутаровой кислоты ($n = 3$) при 77К.

Удлинение полиметиленовой цепочки, разделяющей хелатные циклы, до пяти звеньев приводит к кардинальному изменению характера поглощения. В спектре ЭПР комплекса, полученного на основе пимелиновой кислоты ($n = 5$), наблюдается сигнал из четырех линий с СТС от одного атома меди ($g = 2.088$. $\langle A \rangle = 86$ Гц) (рис.3). Незквидистатное расположение линий (табл.1) может быть обусловлено проявлением слабого обмена между катионами меди [3]. В спектре замороженного раствора данного комплекса при 77К наблюдается поглощение с аксиально-симметричным g -фактором ($g_{||} = 2.303$, $g_{\perp} = 2.055$) и константой сверхтонкого расщепления в параллельной ориентации $\langle a \rangle = 192 \cdot 10^{-4}$ см $^{-1}$. В перпендикулярной ориентации наблюдается дополнительная сверхтонкая структура (ДСТС) за счет взаимодействия с атомами азота с $a_N = 13,7 \cdot 10^{-4}$ см $^{-1}$ (рис.4).

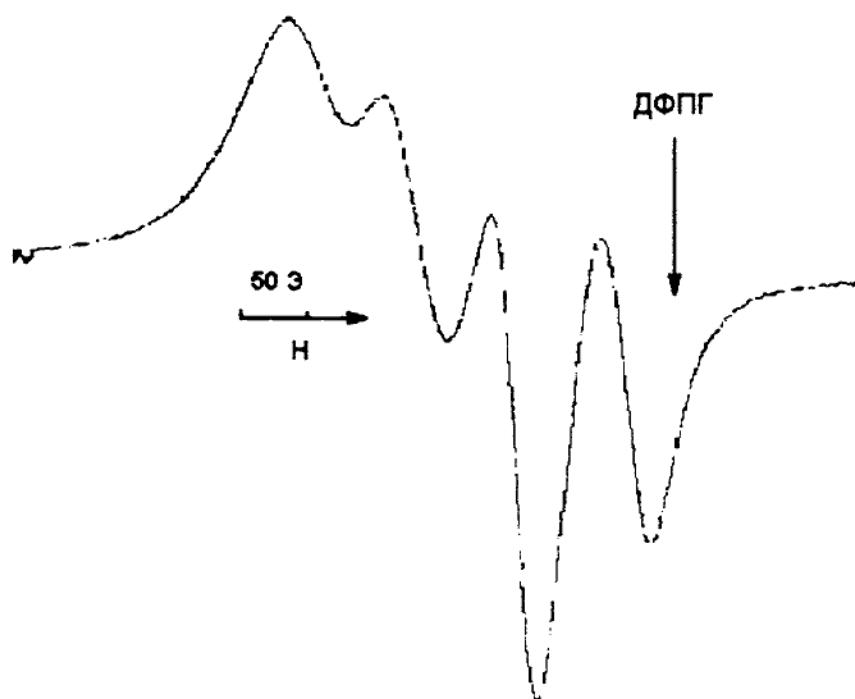


Рис.3. Спектр ЭПР жидкого раствора пиридинового аддукта комплекса меди с дигидразоном плацетона и дигидразида пимелиновой кислоты ($n = 5$) при 293К.

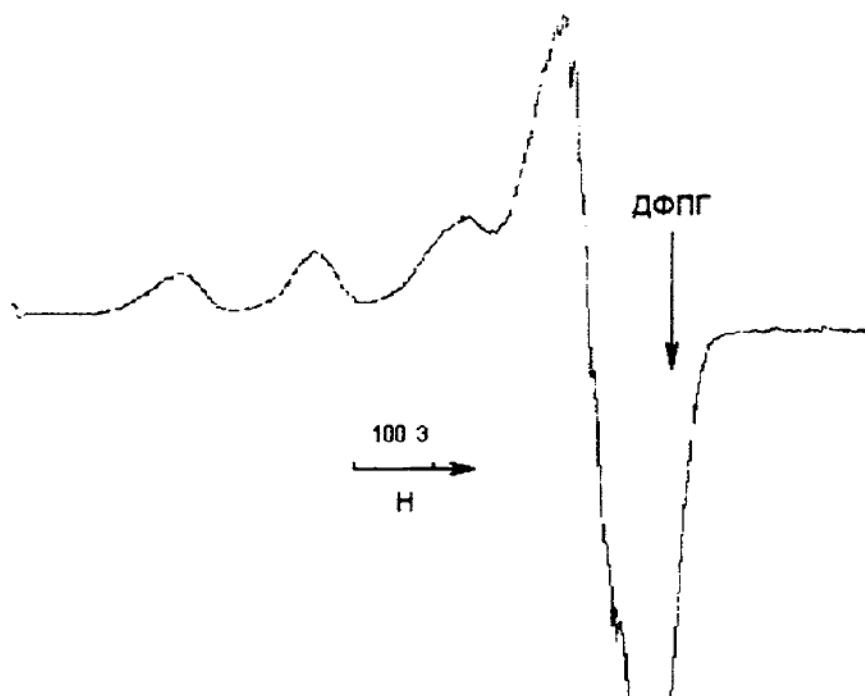


Рис.4. Спектр ЭПР замороженного раствора пиридинового аддукта комплекса меди с дигидроном ацетилацетона и дигидразида пимелиновой кислоты ($n = 5$) при 77К.

Таблица 1.

Параметры спектров ЭПР комплексов меди с пиридином и дигидразонами дикарбоновых кислот и ацетилацетона (данные по производным малоновой, янтарной и аллиновой кислоты взяты из [1])

длина полиметиленовой цепочки	Раствор при 293К			Замороженный раствор при 77К		
	Число линий	g	$\langle a \rangle \times 10^4$ см ⁻¹	ε_{\parallel}	ε_{\perp}	$a_{\text{дет}} \times 10^4$ см ⁻¹
n = 1	7	2.094	44.5	-	-	-
n = 2	7	2.094	44.5	-	-	-
n = 3	7	2.093	45.9	2.297	2.057	175
n = 4	7	2.094	45.9	-	-	13.6
n = 5	4	2.088	83.9*	2.303	2.055	192
n = 6	4	2.086	84.8**	2.298	2.028	196
n = 7	4	2.084	88.2***	2.325	2.057	199
						14.1

*) расстояние между линиями - 76, 90 и 92 Гц

**) расстояние между линиями - 82, 89 и 90 Гц

***) расстояние между линиями - 89, 91 и 92 Гц

Аналогичные спектры наблюдаются для комплексов на основе дигидразонов субериновой и азелиновой кислоты ($n = 6$ и 7). При этом неэквидистантность расположения линий, наблюдающаяся у комплекса дигидразона пимелиновой кислоты, постепенно уменьшается (табл.1), свидетельствуя о затухании слабого обменного взаимодействия между катионами меди.

Таким образом, результаты проведенного исследования однозначно указывают на то, что сильные обменные взаимодействия между катионами меди, координационные сферы которых связаны цепочкой σ -связей, в комплексах дигидразонов дикарбоновых кислот с ацетилацетоном почти полностью прекращаются при увеличении длины полиметиленовой цепочки до пяти звеньев. При этом вплоть до шестизвенной цепочки наблюдается неэквидистатное расположение линий спектра ЭПР, которое, по-видимому, обусловлено дополнительным слабым обменом. Механизм обоих явлений в настоящее время изучается.

Литература.

1. Ларин Г.М., Умаров Б.Б., Минин В.В. и др. Докл.АН СССР. 1988. Т. 303. № 1. С. 139.
2. Ракитин Ю.В., Ларин Г.М., Минин В.В. Интерпретация спектров ЭПР координационных соединений. - М.: Наука, 1993. - 339 с.
3. Нарден В.Н., Кокорин А.И., Жидомироз Г.М. Стабильные бирадикалы. М.: Наука, 1980. - 82 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Сидякин В. Г., Ена В. Г.	
СЛОВО О ПЕРВОМ РЕКТОРЕ ПЕРВОГО УНИВЕРСИТЕТА КРЫМА (К 80-ЛЕТИЮ СИМФЕРОПОЛЬСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА).....	3
Апостолов Л. Г., Ивашов А. В., Колодочка А. А.	
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ЛЕСНЫХ И ЛЕСОПАРКОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ КРЫМСКОГО ЮЖНОБЕРЕЖЬЯ	11
Брановицкая Т. Ю.	
ВЛИЯНИЕ ГИББЕРЕЛЛИНА НА СОДЕРЖАНИЕ КРАСЯЩИХ ВЕЩЕСТВ В ЯГОДАХ ВИНОГРАДА СОРТОВ БАСТАРДО МАГАРАЧСКИЙ, САПЕРАВИ, КАБЕРНЕ.....	20
Булич Е. В.	
ФИЗИОЛОГО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛИЯНИЯ ЗАНЯТИЙ ФИЗИЧЕСКИМ ВОСПИТАНИЕМ НА УМСТВЕННУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СТУДЕНТОВ	25
Кобечинская В. Г., Отуринова И. П.	
ДИНАМИКА РЕЛИКТОВЫХ МОЖЖЕВЕЛОВЫХ РЕДКОЛЕСИЙ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	31
Кобза Т. М.	
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ АДАПТАЦИИ К ФИЗИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ И ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЗАНЯТИЙ СПОРТОМ	35
Сидякин В. Г., Сташков А. М.	
МАГНИТОИНДУЦИРОВАННЫЕ РЕАКЦИИ В МЕХАНИЗМАХ РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ОРГАНИЗМА (теоретический аспект проблемы, сообщение 1).....	39
Юрахно М. В.	
ВКЛАД КАФЕДРЫ ЗООЛОГИИ СИМФЕРОПОЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА В РАЗРАБОТКУ СИСТЕМАТИКИ МИРОВОЙ ФАУНЫ ПАРАЗИТОВ	47
Анашкин О. В.	
ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ В ТЕОРИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ДИФФРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ	54
Белан Е. П.	
ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ РЕАКЦИИ-ДИФФУЗИИ.....	57

Вронский Б. М.	
О СПЕКТРЕ ОДНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ	60
Игнатенко В. Ф., Рудницкий О. И., Плышевская С. П.	
О ТРЕХ ПРЯМЫХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ЧЕТЫРЕХ ЛИНЕЙНЫХ ОБОЛОЧЕК СРБИТ НАПРАВЛЕНИЙ СИММЕТРИИ ДИКИХ ГРУПП СИММЕТРИЙ	66
Козлов А.И.	
ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О МЯГКОЙ ПОСАДКЕ В ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ ПОСТАНОВКЕ	70
Козлова М. Г.	
ЗНАНИЕОРИЕНТИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ	76
Кужель А. В.	
ПРОСТРАНСТВА ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕГУЛЯРНОГО КВАЗИДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА	85
Ефименко А. М., Гончаров В. Ю.	
КИСЛОРОДНЫЙ МОНИТОРИНГ, ПОРОГ АНАЭРОБНОГО ОБМЕНА (ПАНО), КРОВООБРАЩЕНИЕ И ДЫХАНИЕ В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНА ПРИ ВОЗРАСТАЮЩИХ НАГРУЗКАХ	93
Лейкин М. Г., Садовская Ю. Я.	
ЗАКСНОМЕРНОСТИ ГЕМОДИНАМИКИ И СЕНСОМОТОРИКИ ЗАНИМАЮЩИХСЯ РИТМИЧЕСКОЙ ГИМНАСТИКОЙ (РГ) (В КОНТЕКСТЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ (ППФП)	98
Басиладзе Г. Д., Долгов А. И., Николаев Е. Я.	
СПЛАВНОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ МНОГОМОДОВЫЙ РАЗВЕТВИТЕЛЬ КОНФИГУРАЦИИ 1xN	110
Басиладзе Г. Д., Семов А. Е.	
РАЗВЕТВИТЕЛЬ С АСИММЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ	113
Бержанский В. Н., Власова Т. А., Горбованов А. И.,	
Евстафьев И. И., Лагунов И. М., Полулях С. Н.	
КИНЕТИЧЕСКИЕ И РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА $Y_3Fe_{5-x}Si_xO_{12}$	116
Бурцев А. В., Грознов М. В., Панкратов А. К., Рудницкий А. Г., Стругацкий М. Б.	
СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДИФФУЗИОННО ЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ КОРУНДА	119

Бутрим В. И., Михерский Р. М., Вишневский В. Г., Дубинко С. В.	
СТРУКТУРА НАМАГНИЧЕННОСТИ ЛЕГКОПЛОСКОСТНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ В НЕОДНОРОДНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ	122
Быков А. М., Дзедолик И. В.	
ИНТЕНСИВНОЕ АННИГИЛЯЦИОННОЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОННО-ПОЗИТРОННОГО ПОТОКА	125
Глумова М. В., Воробьев М. Д., Старостенко В. В.	
ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА	128
Дубинко С. В.	
ОСОБЕННОСТИ ТРАНСЛЯЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ДОМЕНОВ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ С РАЗОРИЕНТИРОВАННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ	131
Евстафьев И. И., Лагунов И. И.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛА S-D-ОБМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ	134
Мицай Ю. Н., Фридман Ю. А., Кожемяко О. В.	
СПЕКТРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН ДВУОСНОГО СИЛЬНО АНИЗОТРОПНОГО ФЕРРОМАГНЕТИКА С УЧЕТОМ БИКВАДРАТИЧНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	137
Мицай Ю. Н., Фридман Ю. А., Спирин Д. В., Алексеев К. Н.	
ВЛИЯНИЕ МАГНИТОУПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА МАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ В ДВУМЕРНЫХ ЛЕГКОПЛОСКОСТНЫХ ФЕРРОМАГНЕТИКАХ	139
Пономаренко В. И.	
ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬ ТОНКОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПРОВОДНИКА В КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ	142
Рябушкин Д. С., Сергеев Н. А.	
ФОРМИРОВАНИЕ МАГИЧЕСКОГО ЭХА ЯМР В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ	145
Земляков А. Е.	
СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПО С-КОНЦЕВОЙ АМИНОКИСЛОТЕ МУРАМОИЛДИПЕПТИДОВ	148
Кропотов В. А.	
АППРОКСИМАЦИЯ КРИВЫХ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ТИТРОВАНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКИМИ ЗАВИСИМОСТЯМИ: ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДА.....	157
Панова Э. П., Кацева Г. Н.	
СТАЛАГМОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ ЯБЛОЧНОГО ПЕКТИНА СОЛЯМИ ПОЛИВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ	165

Першина Е.Д., Костык С.В., Грошенко Н.А.	
РАЗЛОЖЕНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В ВОДНЫХ ЗОЛЯХ МНО ₂ В ПРИСУТСТВИИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА.....	170
Сурова Н. А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕСТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ НА КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	175
Устименко В. Н., Хрулева О. Д., Федоренко А. М.	
ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СТРУКТУР ИЗ НИСБИЯ	179
Шадрин Г. Н., Крымова В. В., Лозенко Е. А..	
ВЛИЯНИЕ АНИОНОАКТИВНЫХ ПАВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА РАСТВОР – ВОЗДУХ.....	186
Горобей В. П., Сурова Н. А., Златогорский М. Л.	
ИЗУЧЕНИЕ ОБМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ КАТИОНАМИ МЕДИ В КОМПЛЕКСАХ С ДИГИДРАЗОНАМИ АЦЕТИЛАЦЕТОНА И ДИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ	190
Шульгин В. Ф., Сарнит Е. А., Зуб В. Я., Ларин Г. М.	