

K06
C 379
Kp

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
СИМФЕРОПОЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 5 (44)

СИМФЕРОПОЛЬ
1998

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
СИМФЕРОПОЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 5 (44):

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

06 +001
с 379
кр

ISBN 5-7763-981

Журнал зарегистрирован 31 января 1996 г.
Серия КМ № 1

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.
Терез 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.

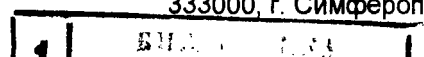
Химия

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 25.05.98 Формат 60x84 1/8
Усл. печ. л. 9,8. Тираж 500. Заказ № 23.
Отпечатано в информационно-издательском отделе СГУ.
333000, г. Симферополь, ул. Ялтинская, 4



УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
СИМФЕРОПОЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 5 (44):

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

06 +001
с 379
Кр

ISBN 5-7763-981

Журнал зарегистрирован 31 января 1996 г.
Серия КМ № .

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.
Терез 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.

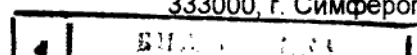
Химия

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 25.05.98 Формат 60x84 1/8
Усл. печ. л. 9,8. Тираж 500. Заказ № 23.
Отпечатано в информационно-издательском отделе СГУ.
333000, г. Симферополь, ул. Ялтинская, 4



НОВЫЕ ТАКСОНЫ В АРАНЕОФАУНЕ КРЫМА

Апостолов Л. Г., доктор естественных наук, профессор

Ончуров М. В., аспирант

Пауки на территории Крымского полуострова изучены крайне недостаточно. Специальная инвентаризация арахнофауны данного региона проводилась единственный раз С.А.Спасским в 1927 году [1].

Предлагаемая работа включает в себя список, являющийся результатом обработки довольно большой коллекции пауков Естественно-Исторического Музея Таврического Губернского Земства, полученной Спасским в 1914 году от С.Мокржецкого; кроме того, профессором были использованы: небольшая коллекция, присланная А.П.Брагиной – видным деятелем в арахнологии того времени, сборы сделанные Н.М.Спасской, главным образом в окрестностях Ялты, а также сборы студентов Донского института Сельского Хозяйства и Мелиорации.

Такая неизученность арахнофауны полуострова послужила поводом для проведения ревизии отряда в настоящее время. При исследовании в любом районе мы стремились собрать возможно более полный коллекционный материал.

С 1994 года по 1997 год нами было собрано более 3000 экземпляров пауков. При обработке материала пользовались "Определителем пауков европейской части СССР" В.П.Тыщенко [2], "Определителем пауков Донской области" С.А.Спасского [3], "Кратким определителем пауков (Aranei) лесной и лесостепной зоны СССР" Н.С.Ажегановой [4], "Определителем пауков семейства Linyphiidae Кавказа" А.В.Танасевича [5].

В ходе установления видовой принадлежности было выяснено, что пауки в нашей коллекции относятся к 26-й семействам, 77-и родам, 153-м видам. Самыми многочисленными семействами оказались: сем. Araneidae – 12 родов, 30 видов пауков; сем. Theridiidae – 6 родов, 11 видов /из которых один вид не определен (sp.); сем. Lycosidae – 4 рода, 26 видов; сем. Thomisidae – 8 родов, 12 видов пауков; сем. Salticidae – 11 родов, 16 видов. Основываясь на каталогах Спасского С.А. [1], Харитоновой Д.Е. и дополнении к нему [6, 7], на каталоге пауков мира Нормана Платника [8] и каталоге Михайлова К.Г. мы видели 3 рода и 31 вид новых для фауны Крымского полуострова, которые относятся к 12-и семействам.

сем. Theridiidae

1. *Enoplaghnatha crucifera* (Thor., 1875), 1 г. Джанкой, 1 г. Симферополь;
2. *Steatoda grossa* (C.L.Koch, 1838), 6 2 3 juv г. Симферополь;
3. *Theridion mystaceum* (C.K.Koch, 1870), 1 г. Карадаг.

сем. Tetragnathidae

4. *Tetragnatha extensa* (Linnaeus, 1758), 2 Симферопольское вдхрн.

сем. Lycosidae

5. *Alopecosa accentuata* (Latr., 1817), 1 1 Донузлав, 1 г. Симферополь, 1 Кизил-Коба;

6. *A.pentheri* (Nosek, 1905), 1 Карадаг;

7. *Pardosa alacris* (C.L.Koch, 1833), 1 г.Симферополь;

8. *P.bifasciata* (C.L.Koch, 1834), 1 Донузлав, 1 г.Джанкой, 2 м.Сарыч;

9. *P.scoraria* (Simon, 1876), 1 г.Симферополь, 2 Джанкой.

сем. Dictynidae

10. *Devade indistincta* (O.P.-Cambr., 1872), 2 с.Николаевка.

сем. Agelenidae

11. *Cedicus* sp. /новый для фауны Крыма род/, 2 1 Загорское вдхрн.

12. *Oxyopes ramosus* (Mart et Goeze, 1778), 1 Донузлав, 1 1 м.Сарыч.

сем. Liocranidae

13. *Agroeca dentigera* (Kulczynski, 1913), 2 ст. Прибрежная Саки;

14. *A.lusatica* (C.L.Koch, 1875), 1 с. Калиновка п-в Казантип.

сем. Clubionidae

15. *Cluiona corticalis* (Walck, 1802), 2 г.Джанкой;

16. *C.caerulescens* (C.L.Koch, 1866), 1 г.Симферополь, 1 г. Джанкой.

сем. Zodariidae

17. *Zodarion germanicum* (C.L.Koch, 1837), 1 Симферопольское вдхрн.

сем. Gnaphosidae

18. *Haplodrassus dalmatensis* (C.L.Koch, 1866), 1 Херсонес, 1 1 Симферопольское вдхрн

19. *Zelotes acneus* (Simon, 1878), 1 с.Васильевка Ялта;

20. *Z.petrensis* (C.L.Koch, 1839), 1 1 juv ст.Прибрежная Саки.

сем. Philodromidae

21. *Philodromus praedatus* (O.P.-Cambr., 1871), 1 ЯГАЗ, 1 с. Краснолесье.

сем. Thomisidae

22. *Heriaeus oblongus* (Simon, 1918), 1 г. Симферополь, 1 м. Сарыч;
23. *Xysticus luctuosus* (Blackw., 1836), 2 г. Симферополь;
24. *X. ulmi* (Hahn, 1831), 2 с. Желябовка Нижнегорского р-на;
25. *X. robustus* (Hahn, 1831), 2 г. Джанкой.

сем. Salticidae

26. *Evarcha lactabunda* (C.L.Koch, 1847), 2 м. Сарыч, 3 ст. Прибрежная Саки;
27. *E. flammata* (Gerck, 1757), 1 с. Желябовка, 2 г. Симферополь;
28. *Heliophanus flavipes* (Hahn, 1832), 1 Вдхрн. на р. Зуя;
29. *H. lineiventris* (Simon, 1868), 1 Между гор. Онук и с. Яковенково;
30. *Myrmarachne joblotii* (Scop, 1763) /новый род/, 1 г. Симферополь, 3 м. Донузлав;
31. *Synageles hilaricus* (C.L.Koch, 1846) /новый род/, 1 г. Симферополь, 3 м. Донузлав.

В результате проведенных исследований выяснено, что арахнофауна Крымского региона представлена 153-мя видами, относящимися к 26-и семействам. По территории Крыма пауки распределены неравномерно. Каждому физико-географическому району характерен свой комплекс видов: в Присивашье – 58 видов, на Тарханкутском плато – 20, на Центральной степной равнине – 23, на Керченском полуострове – 25, в Предгорьях – 109, на Главной гряде – 12 и на ЮБК – 55 видов пауков. Важным итогом работы является тот факт, что на территории полуострова зарегистрирован 31 новый для его фауны вид пауков, относящихся к 12 семействам. Обнаружены также 3 новых для фауны Крыма рода: *Cedicus* Simon, 1875 (Agelenidae); *Myrmarachne* Mac leay, 1839 (Salticidae); *Synageles* Simon, 1876 (Salticidae).

Литература.

1. Спасский С.А. Материалы к фауне пауков Таврической губернии. - Новочеркасск: Знание, 1927. - 15 с.
2. Тыщенко В.П. Определитель пауков Европейской части СССР. - Л.: Наука, 1971. - 281 с.
3. Спасский С.А. Определитель пауков Донской области. - Новочеркасск: Знание, 1925. - 63 с.
4. Ажеганова Н.С. Краткий определитель пауков (Aranei) лесной и лесостепной зоны СССР. - Л.: Наука, 1968. - 149 с.
5. Танасевич А.В. Определитель пауков семейства Linyphiidae Кавказа // Фауна наземных беспозвоночных Кавказа, 1990. - М.: Наука, - С.76-114.
6. Харитонов Д. Е. Каталог русских пауков. - Л.: изд. АН СССР, 1932. - 206 с.
7. Харитонов Д. Е. Дополнение к каталогу русских пауков // Ученые записки. - Пермь, 1936. - Т. 2, вып. 1. - С. 167-225.

8. Platnic N. I. Advanced in spider taxonomy 1988-1991. Ed. by P. Merreft Manchester, New York: Manchester University. -1993. - 846 p.
9. Дунин П. М. Пауки семейства Dysderidae фауны Кавказа (Arachnida Aranei Harlogynae)//Arthropoda selecta. - М. 1992. - Т.1, вып. 3. - С. 35-76.
10. Михайлов К. Г. Пауки рода Clubiona Latr., 1804 (Arachnida Aranei Clubionidae) фауны СССР: критический обзор с таксономическими замечаниями//Arthropoda selecta. - М. 1992. - Т.1, вып. 3. - С. 3-34.

К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМАЛЬНОСТИ СТРУКТУРНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООБЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ ПРОТОЧНЫХ ВОДОЕМОВ

Киселева Г. А., кандидат биологических наук, доцент

Лобкова М. Н., аспирант

Концепция оптимальности лежит в основе широкого класса построений теоретической физики [1, 2]. Наиболее известными из них являются принципы времени Ферма, наименьшего действия Мопертьюи, принцип Гамильтона.

Поскольку биологические объекты подчиняются физическим законам в степени не меньшей, чем объекты неживой природы, и, что немаловажно, являются результатом длительной эволюции, применение к ним критериев оптимальности является более чем желательным. Между тем, использование принципа оптимальности в биологии до сих пор носит острый дискуссионный характер [3]. Основные трудности, которые встречает применение этого принципа в биологии связаны с выбором функционала, обуславливающего направленное развитие или эволюцию живых систем [4]. Отсутствие в явном виде обобщенного функционала вынуждает ряд авторов в качестве критерия оптимальности биосистем выдвигать расплывчато-универсальный принцип целесообразности приспособления [5]. Либо принимать основным показателем нормальной деятельности устойчивость функционирования живых объектов [3]. Учитывая отсутствие у популяции и биоценозов систем, хранящих информацию, сторонники этих представлений склонны полагать, что если принцип оптимальности и существует в биологии, то он распространяется лишь на уровень отдельных организмов [3, 5].

Другая группа исследователей допускает возможность существования обобщенного критерия оптимальности, к которому в своем развитии стремятся биосистемы [1, 6, 7, 8].

Однако, если вспомнить, что критерием истинности естественнонаучного познания должен служить эксперимент, то необходимость в подобной дискуссии сразу же отпадает, поскольку существует ряд закономерностей в структуре и функционировании надорганизменных систем, являющихся всеобщими. К числу последних относится ранговое распределение видов в сообществах животных с различной степенью перекрытия экологических ниш [9]. А. П. Левич [9], Д. Лурье и Х. Вагенсберг [10] находят возможным объяснение подобной закономерности экстремизацией информационных показателей инварианта структуры и информационной энтропии соответственно.

Ф. Шлеглем [11] было обосновано применение информационных показателей в качестве критериев равновесности и стационарности макроскопических систем. Но, с точки зрения термодинамической феноменологии, равновесные и стационарные состояния как раз и являются оптимальными! [12]

В системе имеет место процесс, когда $\frac{d^2S}{dt^2} \neq 0$ (S - энтропия системы). С другой стороны, состояние характеризуется равенством этой величины нулю. Признаком стационарности при этом яв-

ляется равенство $\frac{dS}{dt}$ положительной (и минимальной) величине, а признаком равновесия $\frac{dS}{dt} = 0$. В последнем случае S постоянна и максимальна [12].

Информационная энтропия

$$H = -\sum_{i=1}^2 P_i \log_2 P_i, \quad P_i = \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

где n_i – число особей i -го вида в сообществе;

N – общая численность сообщества, [13] является показателем, величина которого в экологических исследованиях определяется довольно часто.

Исходя из вышеизложенного, величина $H_{\max} = \log_2 N$ [14] (2) характеризует состояние равновесия, а

$$H_{CT} = -\sum_{i=1}^2 \frac{\exp\left(-\frac{w_i}{\bar{w}}\right)}{\sum_{i=1}^2 \exp\left(-\frac{w_i}{\bar{w}}\right)} \log_2 \frac{\exp\left(-\frac{w_i}{\bar{w}}\right)}{\sum_{i=1}^2 \exp\left(-\frac{w_i}{\bar{w}}\right)} \quad (3)$$

где w_i – средний вес организмов i -го вида;

\bar{w} – средний вес особи в сообществе [10] – стационарное состояние сообщества. Удаленность же стационарного состояния от равновесия можно охарактеризовать с помощью величин $H_{\max} - H_{CT}$.

Однако, чем дальше система от равновесия, тем больше ее функция внешней диссипации ψ_d [15]. Величина функций внешней диссипации в условиях значительного дефицита сведений об интенсивности теплопродукции различных животных считается приблизительно равной интенсивности дыхания организмов [15]. Вследствие этого, в качестве величины ψ_d сообщества организмов можно принять величину $\frac{R}{\bar{B}}$, где R – траты на обмен; \bar{B} – средняя биомасса сообщества. Поскольку биологические системы далеки от равновесия, функция внешней диссипации в стационарном состоянии совершает колебания вокруг некоего среднего значения. Поэтому в стационарном состоянии минимальной является средняя величина функции внешней диссипации [16]. Энтропия же сообщества (\bar{H} в первом приближении) при этом максимальна. Подобные рассуждения позволяют объяснить факт уменьшения доли энергии, заключенной в продукции сообществ по отношению к рассеиваемой с ростом H [17].

Наличие обратной связи между H и $\frac{R}{\bar{B}}$ для первичной продукции в водных и наземных экосистемах было показано Маргалефом [7].

Что же является связующим звеном между термодинамическими и информационными (структурными и функциональными) показателями биологических сообществ?

У А. Ф. Алимова [17] находим: "Было установлено, что в популяциях животных различных видов значения $\frac{R}{B}$ коэффициентов находятся в обратной зависимости от веса животных по достижению ими половозрелости."

Согласно Д. Лурье и Х. Вагенсбергу [10], в стационарном состоянии величина H зависит от отношения средних весов организмов в популяциях к среднему весу особей в сообществе. Экспериментальные исследования Л. Н. Зимбалевской [18] также свидетельствуют о положительной корреляции индекса видового разнообразия Шеннона с величиной среднего веса особи и в бентосном сообществе ($r = 0,79$).

Смысл подобных результатов исследований становится понятным, если вспомнить, что интенсивность дыхания и траты на обмен являются функциями от веса: $q_{O_2} = \alpha w^{\beta-1}$ и $Q = \alpha w^{\beta}$ соответственно, где α и β – коэффициенты, величины которых находятся в пределах от 0 до 1 [19].

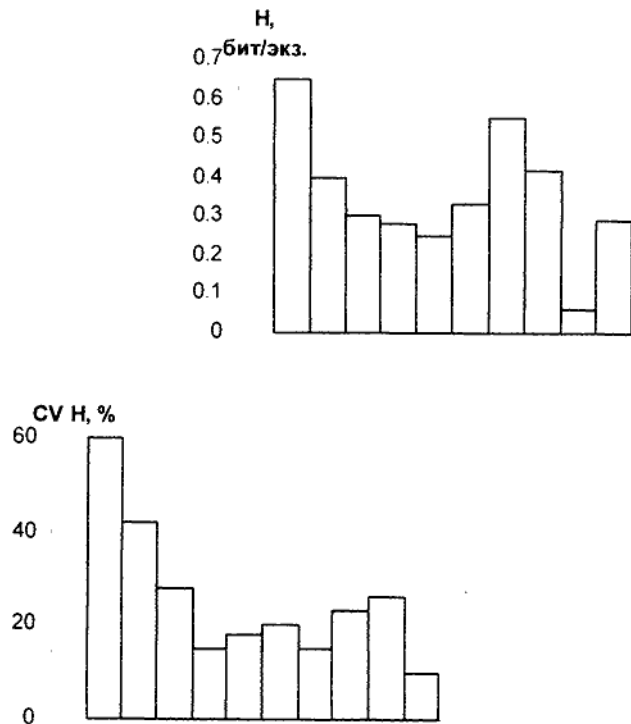
Все вышеизложенное касается сообществ, находящихся в более или менее стабильной среде обитания. Что же происходит в сообществах, подверженных значительным колебаниям окружающей среды?

Механизм адаптации сообществ животных к нестационарным условиям обитания становится ясен из результатов исследований, проводимых нами на зообентосных сообществах реки Салгир в 1993, 1995 годах. Гидробиологический материал собирали по 10-ти створам ежемесячно в течение вегетационного сезона. Протяженность района, охваченного исследованиями составила 70 км. Среди прочего, выяснялась динамика таких характеристик бентосных сообществ, как средний вес особи беспозвоночных в сообществе (\bar{w}), общая численность и биомасса (N , B), индекс видового разнообразия Шеннона (H). Амплитуда колебаний исследуемых характеристик измерялась с помощью коэффициента вариации (CV). Значения коэффициентов вариации показателей бентосных сообществ сравнивались между собой и со значением индекса видового разнообразия и амплитудой колебаний обобщенного ресурса питания ($СVM$). Поскольку, за редким исключением, изучаемые сообщества были представлены только нехищным бентосом, в качестве обобщенного ресурса питания на первых 6-ти створах принимался сестон, а на 4-х последних, находящихся ниже сброса сточных вод Симферопольскими канализационными сооружениями – активный ил. Амплитуда колебаний биомассы активного ила вычислялась по коэффициенту вариации значений биохимического потребления кислорода (БПК₅), а неустойчивость биомассы сестона – непосредственно по коэффициенту вариации его биомассы.

Исследования показали, что при увеличении амплитуды колебаний биомассы обобщенного ресурса питания увеличилась амплитуда колебаний среднего веса животных в сообществе (коэффициент корреляции $r = 0,73$). Незначительные колебания биомассы ресурса питания не вызвали такие отклонения в среднем весе организмов, которые могли бы быть сопряжены со значительным смещением скорости роста отдельных популяций, а, значит, и с более или менее серьезным изменением соотношения видов (CVH). При увеличении (уменьшении) биомассы ресурса питания увеличивается или уменьшается лишь общая численность животных в сообществе при сохранении структурных соотношений [20]. Значительные колебания биомассы ресурса питания сопровождаются резким изменением среднего веса организмов в бентосном сообществе и увеличением изменчивости структурных характеристик (CVH). Последнее приводит к снижению самой величины индекса видового разнообразия, вследствие удаления от стационарного состояния (рисунок).

Результаты исследований, проведенных нами по реке Салгир, позволяют понять, почему в сообществах, находящихся на стадии сукцессии, устойчивость как бы зависит от величины индекса Шеннона. И, напротив, не наблюдается в длительно существующих [21].

Но, как в стационарной, так и в нестационарной среде взаимосвязь между структурными и функциональными показателями сообществ остается однозначно определенной. И связующим звеном между ними является средний вес особи. Но именно вес организма и определяет величину дисбаланса между активным и основным обменом, максимум которого Ханин и Дорфман [8] выдвигают в качестве основного критерия оптимальности биологических систем.



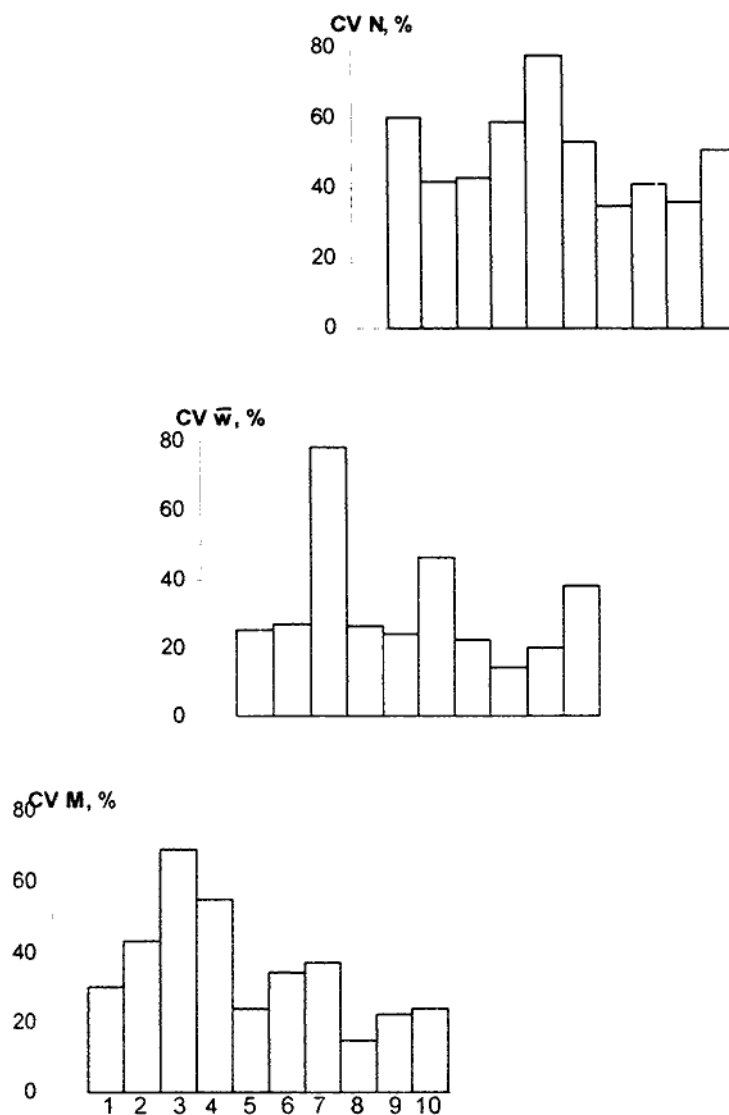


Рисунок. Коэффициенты вариации:

- | | |
|------------------|---|
| H, бит/экз. | – величина индекса видового разнообразия Шеннона; |
| CV M, % | – биомассы обобщенного ресурса питания; |
| CV \bar{w} , % | – среднего веса особи в сообществе; |
| CV N, % | – общей численности; |
| CV H, % | – индекса видового разнообразия Шеннона |
| 1-10 | – створы по реке Салгир. |

Литература.

1. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М.: Мир, 1969. – 213 с.
2. Weyl H. Space, Time, Matter, Dover. New York, 1950. – 244 p.

3. Новосельцев В. Н. Теория управления и биосистемы: Анализ сохранительных свойств. М.: Наука, 1978. – 320 с.
4. Лапкин В. В. Принцип оптимальности и температурные условия существования животных: Термодинамика и регуляция биологических процессов. М.: Наука, 1984. – С. 164-173.
5. Инсаров Г. С., Семенов С. М. Математическое моделирование биоценозов на основе принципа Холдейна-Семевского: Термодинамика и кинетика биологических процессов. М.: Наука, 1980. – С. 240-247.
6. Lotka A. J. Contribution to the energetic of evolution: Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1922, v. 8, 6. – P. 147-151.
7. Margalef R. Perspectives in ecological theory. Chicago, 1968. – 112 p.
8. Ханин М. А., Дорфман Н. Л., Бухаров И. Б., Левадный В. Г. Экстремальные принципы в биологии и физиологии. М.: Наука, 1978. – 256 с.
9. Левич А. П. Экстремальный принцип в теории систем и видовая структура сообществ: Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем, т. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – С. 164-183.
10. Лурье Д., Вагенсберг Х. Экстремальный принцип для разнообразия биомассы в экологии: Термодинамика и регуляция биологических процессов. М.: Наука, 1984. – С. 153-164.
11. Шлегль Ф. Статистическое обоснование критерия эволюции Гленсдорфа-Пригожина: Термодинамика и регуляция биологических процессов. М.: Наука, 1984. – С. 24-36.
12. Лейшнер Д. Информационные и кибернетические аспекты биологической термодинамики: Термодинамика и регуляция биологических процессов. М.: Наука, 1984. – С. 5-13.
13. Шеннон К. Математические работы по теории информации и кибернетике. М.: ИЛ, 1963. – 193 с.
14. Николис Дж. Динамика иерархических систем. М.: Мир, 1989. – 486 с.
15. Зотин А. И. Биоэнергетическая направленность эволюционного процесса организмов: Термодинамика и регуляция биологических процессов. М.: Наука, 1984. – С. 269-275.
16. Зотин И., Зотина Р. С. Экспериментальная и теоретическая основы качественной феноменологической теории развития: Термодинамика и регуляция биологических процессов. М.: Наука, 1976. – С. 47-65.
17. Алимов А. Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 150 с.
18. Зимбалева Л. Н. Фитофильные беспозвоночные равнинных рек и водохранилищ. Киев, Наукова думка, 1981. – 214 с.
19. Алимов А. Ф. Интенсивность обмена у водных пойкилотермных животных. Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука, 1979. – С. 5-21.
20. Приц А. К., Фикс Б. В. Принципы стационарных состояний открытых систем и некоторые вопросы динамики многокомпонентного биоценоза: Теоретическая и экспериментальная биофизика. Вып. 6, Калининград, 1976. – С. 88-101.
21. Свирижев Ю. М., Логофет Д. О. Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука, 1978. – 352 с.

ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МНОГОЛЕТНЕГО ВИДА НА ОДНОЛЕТНИК В ПОЛЫННО-ПЕТРОСИМОНИЕВЫХ СООБЩЕСТВАХ КРЫМА

Котов С. Ф., кандидат биологических наук, доцент

Иванова С. Н., аспирантка

Согласно современным взглядам на природу растительного сообщества, оно представляется как система, состоящая из совокупностей взаимодействующих растений [1, 2]. Взаимосвязи между элементами такой системы, в основном, топического характера и осуществляются опосредованно, путем трансформации среды [3]. Каждое растение, видоизменяя параметры среды в рамках определенного пространства (фитогенное поле по А. А. Уранову [4]), влияет тем самым на вероятность произрастания в этом пространстве других растений. Поэтому важной характеристикой функциональной структуры растительного блока экосистемы является размеры и напряженность фитогенного поля, входящих в него видов.

В отечественной фитоценологии имеется большое количество работ, посвященных исследованию структуры фитогенных полей различных видов [5, 6, 7, 8]. Однако, в основном эти работы касаются фитогенных полей древесно-кустарниковых видов: фитогенные поля травянистых растений, ввиду низкой интенсивности взаимодействий в травянистых сообществах [9], и методической сложности таких работ, исследовались в меньшей степени.

Целью нашей работы являлось определение интенсивности взаимодействий травянистых галофитов в сообществах, образованных многолетниками и однолетниками, и выявление размеров фитогенного поля многолетнего вида.

Материал и методы

Исследования проводились в районе станции Соленое Озеро, на участке галофитной растительности, представленной сообществом ас. *Artemisietum (santonicae) petrosimiosum (oppositifoliae)*. Сообщества этой ассоциации весьма обычны для засоленных земель Присивашья [10]. Травостой образован *Artemisia santonica* L. (проективное покрытие 20 %), *Petrosimonia oppositifolia* (Pall.) Litv. (проективное покрытие 60 %), в качестве примеси встречаются *Halimione pedunculata* (L.) Aell. (покрытие 3 %) и *Limonium gmelinii* (L.) O.Kuntze (покрытие 1 %). Общее проективное покрытие составляет 80 %. В сообществе изучали влияние многолетнего растения – *A. santonica* на однолетнее – *P. oppositifolia*; *A. santonica* рассматривалась как действующий вид (ДВ), а *P. oppositifolia* – как подчиненный вид (ПВ).

В радиальном направлении, с ориентировкой по сторонам света, от основания стебля ДВ закладывали полосные трансекты шириной 5 см. Трансекты были поделены на площадки с шагом

деления 2 см. Площадь такой учетной единицы (10 см²) сопоставима с размерами ПВ – на одной площадке произрастало от 1 до 30 особей *P. oppositifolia*. Всего было заложено свыше 20 трансект, длиной до 30 см каждая. На площадках определяли численность ПВ и измеряли высоту его надземной части, затем растения *A. santonica* и травостой площадок удаляли вместе с корневой системой и помещали в бумажные пакеты. В лабораторных условиях растения высушивали до воздушно-сухого состояния и определяли массу особей ДВ и биомассу ПВ на учетных площадках.

Результаты и их обсуждение

В ряде работ [5, 7, 11] показано, что степень трансформации среды растениями снижается с увеличением расстояния от основания стебля растения (центр фитогенного поля). Влияние *A. santonica* на *P. oppositifolia* определяли по наличию связи удаленности площадок трансекты от стебля ДВ с численностью, биомассой и высотой растений ПВ. Мы рассматривали только одностороннее влияние многолетника *A. santonica* на однолетник *P. oppositifolia*, исходя из того, что взаимодействия между растениями в ценозе распространяются в основном по вертикали [3] и, в подавляющем большинстве случаев, биоморфы с большей биомассой и с большими размерами особей обладают более высокой средообразующей способностью.

Анализ эмпирических линий регрессии численности, биомассы и высоты *P. oppositifolia* по градиенту удаленности от ДВ показал наличие зависимости между этими показателями – с увеличением расстояния обилие и мощность особей ПВ возрастает. Корреляционный анализ связи удаленности площадок от ДВ и показателей обилия и мощности ПВ также показал наличие зависимости между силой воздействия ДВ и характеристиками жизненности и обилия ПВ. Коэффициенты корреляции рассчитывались как по каждой трансекте, так и по всей совокупности трансект. Площадки всех трансект объединялись по классам расстояния в виду того, что “...количественный анализ растительности малых площадок (парцелл) дает результаты в значительной мере случайные, резко и неправильно колеблющиеся от площадки к площадке...” [12, с. 13].

Обнаружена статистически значимая зависимость ($P < 0,05$) численности, биомассы *P. oppositifolia* и высоты ее особей от силы влияния (удаленность площадок) *A. santonica* (табл. 1). Коэффициенты корреляции для обобщенной выборки невелики по значению, что в целом характеризует травянистые многолетники как слабые эдификаторы. Однолетник реагирует на воздействие многолетнего травянистого вида преимущественно снижением своей биомассы.

Для половины трансект получены статистически значимые показатели связи жизненности растений популяции ПВ в зависимости от влияния ДВ (табл. 1). *P. oppositifolia* реагирует на воздействие *A. santonica* изменением популяционных характеристик – численности и биомассы;

влияние на морфологические параметры особей однолетника (высота) сказывается в меньшей степени.

Таблица 1.

Оценка влияния *Artemisia santonica* на обилие и жизненность *Petrosimonia oppositifolia*

№	Трансекта	Масса ДВ, г	Теснота связи расстояния от ДВ с показателями обилия и жизненности ПВ ($r \pm m_r$)			Радиус фитогенного поля, см
			Численность	Биомасса	Высота	
1	1,1, юг	7,4	$0,96 \pm 0,13$	$0,78 \pm 0,28$	$0,25 \pm 0,11$	6,0
2	1,2, север	7,4	$0,93 \pm 0,17$	$0,88 \pm 0,22$		10,0
3	3, север	8,2			$0,36 \pm 0,10$	
4	5, север	7,2	$0,84 \pm 0,20$	$0,79 \pm 0,23$		8,0
5	7, север	6,0	$0,70 \pm 0,27$	$0,71 \pm 0,27$		10,0
6	9, юг	1,9		$0,71 \pm 0,29$		12,0
7	11, север	7,1	$0,70 \pm 0,29$			
8	12, юг	1,7	$0,85 \pm 0,20$	$0,71 \pm 0,29$		4,0
9	19, юг			$0,62 \pm 0,26$		
Обобщенные показатели связи по всем трансектам						
			$0,24 \pm 0,07$	$0,43 \pm 0,12$	$0,24 \pm 0,07$	

Примечание. Приведены только статистически достоверные ($P < 0,05$) значения коэффициентов корреляции.

Поэтому, в качестве результирующего признака, на основании анализа изменений которого определяли размеры фитогенного поля *A. santonica*, была взята биомасса *P. oppositifolia* на площадках трансект.

Границы фитогенного поля *A. santonica* определяли по различиям в мере уровня признака отрезков трансект [13]. Анализ по уровню варьирования, тренду уровня признака и тренду варьирования провести не удалось из-за малого количества площадок в трансектах. На графиках зависимости биомассы ПВ от удаленности ДВ предварительно выделяли отрезки с резким различием в уровне признака (биомасса ПВ). Правильность деления трансект на отрезки проверяли по наличию достоверности различий между средними значениями биомассы ПВ на выделенных отрезках. Для шести трансект были получены статистически значимые ($P < 0,01$) разницы средней биомассы ПВ на отрезках. Средняя биомасса площадок с ПВ на отрезках трансекты, примыкающих к ДВ, была значительно меньше, чем на удаленных отрезках трансекты, поэтому длина отрезков

трансекты, отходящих от основания *A. santonica* была идентифицирована как радиус ее фитогенного поля. Из таблицы 1 видно, что влияние многолетнего травянистого вида в данной ассоциации распространяется на расстояние 4 - 12 см от основания стебля растения. Длина отрезков трансекты, по которым определяли радиус фитогенного поля, не зависит от ориентации трансект и массы особей действующего вида. Границы фитогенного поля *A. santonica* совпадают с проекцией ее надземной части.

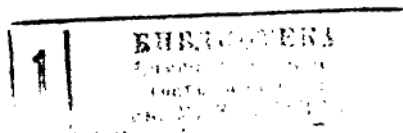
Растения воздействуют друг на друга в основном посредством потребления ресурсов среды. В некоторых случаях конкурентное преимущество достигается аллелопатическим путем [14, 15]. Очевидно, аллелопатия является одним из механизмов конкурентного воздействия *A. santonica* на *P. oppositifolia*. Трудно предположить наличие интенсивной конкуренции между этими двумя видами за свет и элементы почвенного питания. Их корневые системы ярко выраженного стержневого типа и расположены в разных горизонтах; отдельно стоящие особи *A. santonica* не образуют сомкнутого полога и слабо затеняют *P. oppositifolia*. Вместе с тем вблизи основания стебля *A. santonica* накапливается опад, и растения *P. oppositifolia* здесь либо вообще отсутствуют, либо представлены небольшим числом экземпляров. Это дает основание предположить ингибирующее влияние опада *A. santonica* и считать аллелопатию одним из механизмов конкурентного воздействия этого вида.

Литература.

1. Василевич В.И. Современные представления о растительном сообществе // Бот. журн.- 1989.- Т. 74.- № 8.- С.1100-1107.
2. Норин Б.Н. Структурно-функциональная организация фитоценозов // Бот. журн.- 1991.- Т. 76.- № 4.- С. 525-536.
3. Василевич В.И. Очерки теоретической фитоценологии.- Л.: Наука, 1983.- 247 с.
4. Уранов А.А. Фитогенное поле // Проблемы современной ботаники.- Т. 1.-М.: Наука, 1965.- С. 251-254.
5. Василевич В.И. Взаимоотношения ценопопуляций растений в фитоценозах и их количественная оценка // Популяционные проблемы в биоценологии: Докл. на 6 ежегодн. чтении памяти В. Н. Сукачева (18 ноября 1987 г.).- М.: Наука, 1988.- С.59-82.
6. Гуричева Н.П., Демьянов В.А. О структуре аридных редколесий. Фитогенное поле *Amygdalus bucharica* (*Rosaceae*) // Бот. журн.- 1990.- Т. 75- № 9.- С. 1235-1247.
7. Котов С.Ф. Кількісна оцінка фітоценологічної ролі *Pinus sylvestris* L. (*Pinaceae*) в Гірському Криму // Укр. бот. журн.- 1994.- Т. 51.- № 2/3.- С. 29-35.
8. Ястребов А.Б. Напряженность фитогенных полей деревьев в лишайниково-зеленомошных сосняках // Экология.- 1996.- № 1.- С. 3-9.

9. Василевич В.И. Исследование структуры лугового сообщества с помощью межвидовых сопряженностей // Пробл. ботан.- 1969.- Т. 11.- С. 108-118.
10. Білик Г.І. Рослинність засолених ґрунтів України, її розвиток, використання та поліпшення.- Київ: Вид-во АН УРСР, 1963.- 299 с.
11. Котов С.Ф. Метод количественной оценки эдификаторной роли вида // Бот. журн.- 1982.- Т. 67. - № 2.- С. 235-243.
12. Раменский Л.Г. Основные закономерности растительного покрова и их изучение.- Воронеж: Обл. ред. - изд. комитета НКЗ, 1925.- 37 с.
13. Ипатов В.С., Кирикова Л.А. Статистический анализ квантованности растительного покрова // Бот. журн.- 1985.- Т. 70.- № 2.- С. 255-261.
14. Bergelson L., Perry R. Interspecific competition between seeds: relative planting date and density affect seedling emergence // Ecology.- 1989.- V. 70.- №6.- P. 1639-1644.
15. Morris W.F., Wood D.M. The role of *Lupine* in succession on mount St. Helenes: facilitation or inhibition ? // Ecology.- 1989.- V.70.- №3.- P. 697-703.

200802



**ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КРЫМСКИХ ОРХИДЕЙ ИЗ
РОДОВ *DACTYLORHIZA NEVSKI* И *PLATANThERA RICH.* И МЕТОД ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ОПЫЛЕНИЯ**

Кучер Е. Н., аспирантка

Изучение семенной продуктивности и эффективности опыления редких и исчезающих видов имеют неоспоримый научный приоритет [1,2,3,4]. Особенно остро эта проблема стоит для представителей семейства *Orchidaceae Juss.*[5,6]. Как показали первые исследования в этой области [7], оценка семенной продуктивности и эффективности опыления у орхидных при помощи традиционных методов невозможна. Специальная методика подсчета семян и семязачатков у орхидей предоставила новые возможности для разработки точных методов оценки эффективности опыления [8]. В настоящей работе мы приводим результаты изучения потенциальной семенной продуктивности 4 видов крымских орхидных, предлагаем новую методику оценки эффективности опыления цветка орхидных и первые результаты этой оценки у двух видов.

Число семязачатков было изучено у 59 завязей *Platanthera bifolia (L.) Rich.*, 40 завязей *P. chlorantha (Cust.) Reichenb.*, 37 завязей *Dactylorhiza incarnata (L.) Soo* и 35 завязей *D. romana (Seb. et Mauri) Soo*. Пределы варьирования этого показателя и средние значения для изученных орхидей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Потенциальная и реальная семенная продуктивность цветка у четырёх видов орхидей

ВИД	N исследованных		N семязачатков в завязи, шт		N зрелых неповреждённых семян в плоде, шт		N семян/N семяза- чатков
	растений, шт	завязей, шт	min-max	$\bar{x} \pm Sx$	min-max	$\bar{x} \pm Sx$	
<i>Dactylorhiza incarnata</i>	8	37	4230-12568	7478 \pm 333	2380-11566	7110 \pm 348	0,951
<i>D.romana</i>	11	35	2187-8019	4091 \pm 241	1067-7848	3971 \pm 359	0,971
<i>Platanthera bifolia</i>	9	59	985-8217	4160 \pm 378	556-7401	3597 \pm 429	0,865
<i>P.chlorantha</i>	10	40	2598-9726	5939 \pm 334	1629-6821	4598 \pm 437	0,807

Как видно из данных таблицы, число семязачатков у всех видов сильно варьирует в пределах популяции. Значительные, хотя и несколько меньшие, чем в популяции, пределы варьирования числа семязачатков в завязи установлены для отдельного соцветия: 2238–8294 у *Platanthera bifolia*, 2901–7289 у *P. chlorantha*, 4746–12493 у *Dactylorhiza incarnata* и 3507–5274 у *D. romana*. Это делает практически невозможным точную оценку числа семяпочек в опыленном цветке на основе среднепопуляционных показателей. Ранее было установлено, что число семян в коробочке у

крымских орхидных тесно коррелирует с размерами коробочки [7]. Нами предпринята попытка определить связь между числом семязачатков в завязи и ее длиной. Результаты регрессионного анализа показали, что отмечается достаточно тесная связь, хотя и менее тесная, чем между числом семян и размерами коробочки. Коэффициент корреляции между числом семязачатков и длиной завязи составил 0.81 для *Platanthera bifolia*, 0.65 для *P. chlorantha*, 0.61 для *Dactylorhiza incarnata* и 0.69 для *D. romana* (рис.1), тогда как аналогичный показатель между числом семян и размерами коробочки в тех же популяциях колебался от 0.81 до 0.92.

Было предположено, что на связь между числом семязачатков в завязи и длиной завязи (в пределах популяции) оказывают влияние возрастные, физиологические и генетические различия между отдельными особями. Чтобы проверить это, нами были взяты два соцветия (20-цветковое соцветие *Platanthera bifolia* и 14-цветковое соцветие *P. chlorantha*) и подсчитано число семязачатков от всех завязей. Коэффициент корреляции в обоих случаях был заметно выше аналогичного показателя, определенного для популяции в целом (рис.1,2). Возрастание коэффициента корреляции наблюдалось также и у *Dactylorhiza incarnata*, когда соцветия были разделены на две группы по количеству цветков в них (19-29-цветковые и 30-45-цветковые соцветия) и проанализированы по отдельности (рис.1,2). Возрастные и физиологические различия в пределах выделенных групп особей были меньше, чем в популяции.

У изученных видов растений число семязачатков в завязи в пределах соцветия постепенно уменьшается снизу вверх. Причем, как видно на примере двух соцветий *Platanthera*, число семязачатков в завязи на отдельно взятом соцветии примерно равно среднему числу семязачатков у выше- и нижерасположенной от нее завязях. Погрешность в определении числа семязачатков в завязи по числу семязачатков в двух близлежащих от нее завязях редко превышала 10%-ный уровень (рис.3). Это обстоятельство создает благоприятную возможность как для определения потенциальной семенной продуктивности, так и при оценке достаточности опыления у орхидных. Был поставлен такой эксперимент. Каждая вторая завязь в соцветиях *Dactylorhiza romana* и *Platanthera chlorantha* опылялась перекрестно (рис.4). На рыльце наносили дозированное количество пыльцы. В качестве дискретной единицы использовалась массула. У европейских орхидей этот пыльцевой агрегат может содержать в себе от нескольких сотен до нескольких тысяч пыльцевых зерен. Результаты подсчета пыльцевых зерен свидетельствуют, что массулы *D. romana* содержат в себе значительно больше пыльцы, чем массулы *P. chlorantha*. Однако, в одном поллинии *P. chlorantha* содержится примерно в 2 раза больше пыльцы, чем у *D. romana*, поскольку последний вид характеризуется меньшим количеством массул в поллинии (табл. 2).

На рыльце опыляемых цветков наносили от 1 до 20 массул. Размер пыльцевого депозита определяли исходя из числа массул на рыльце и среднего числа пыльцы в массуле. Неопыленные

ись для подсчета числа семязачатков в завязи. Опыленные цветки этикетировали

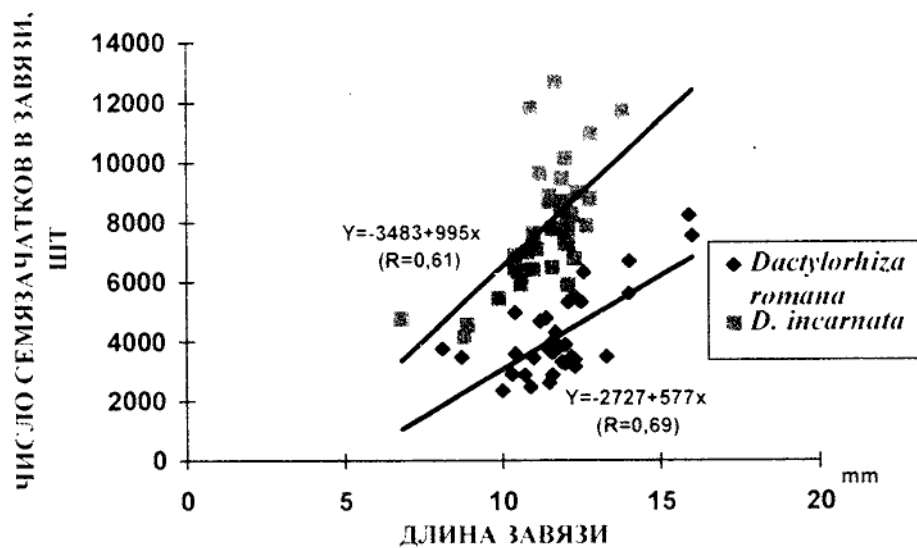
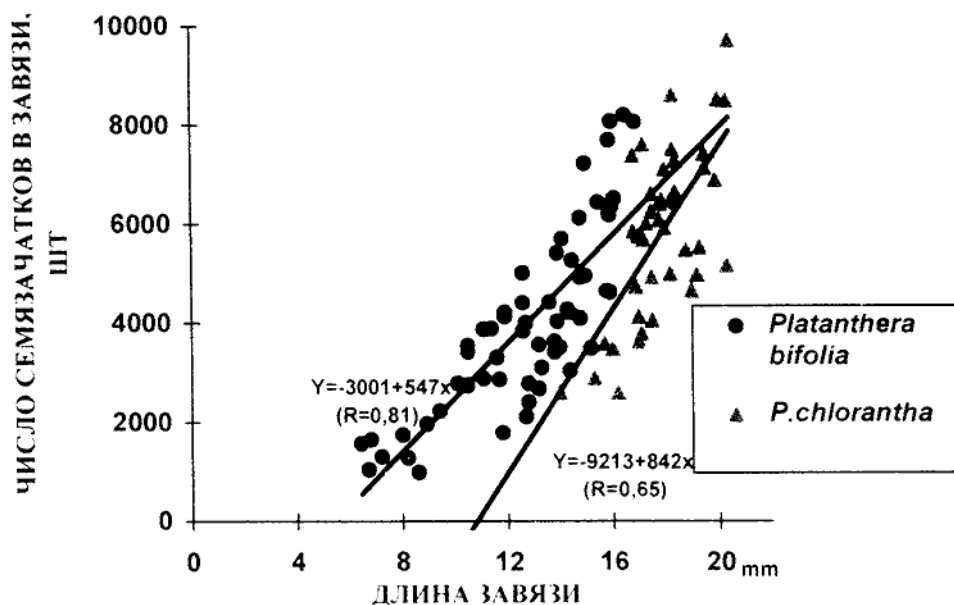


Рис 1 Связь между числом семязачатков и длиной завязи у *Platanthera bifolia*, *P. chlorantha*, *Dactylorhiza incarnata* и *D. romana*.

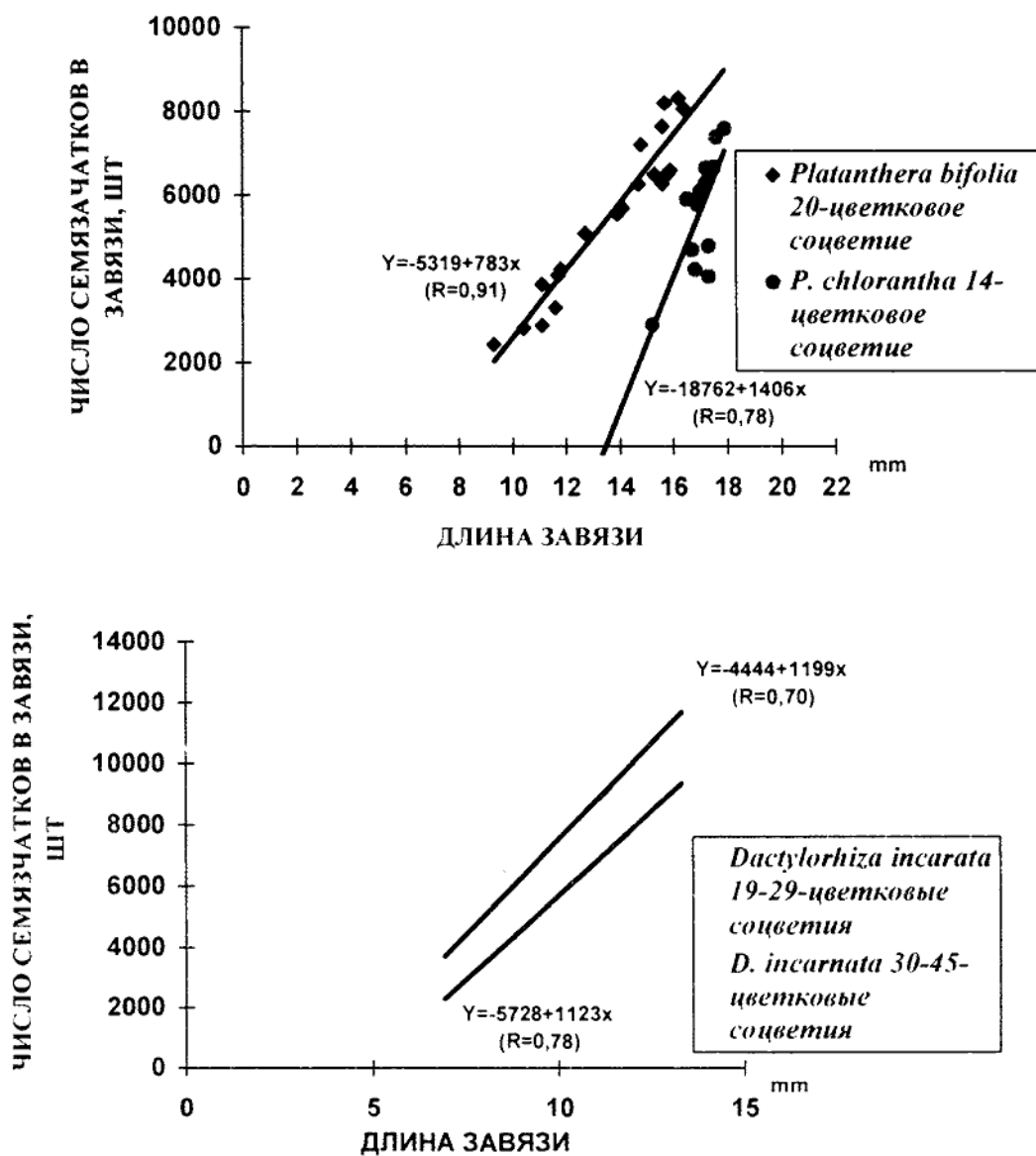


Рис. 2. Связь между числом семязачатков длиной завязи у 20-цветкового соцветия *Platanthera bifolia*, 14-цветкового соцветия *P. chlorantha*, 19-29-цветковых соцветий и 30-45-цветковых соцветий *Dactylorhiza incarnata*.

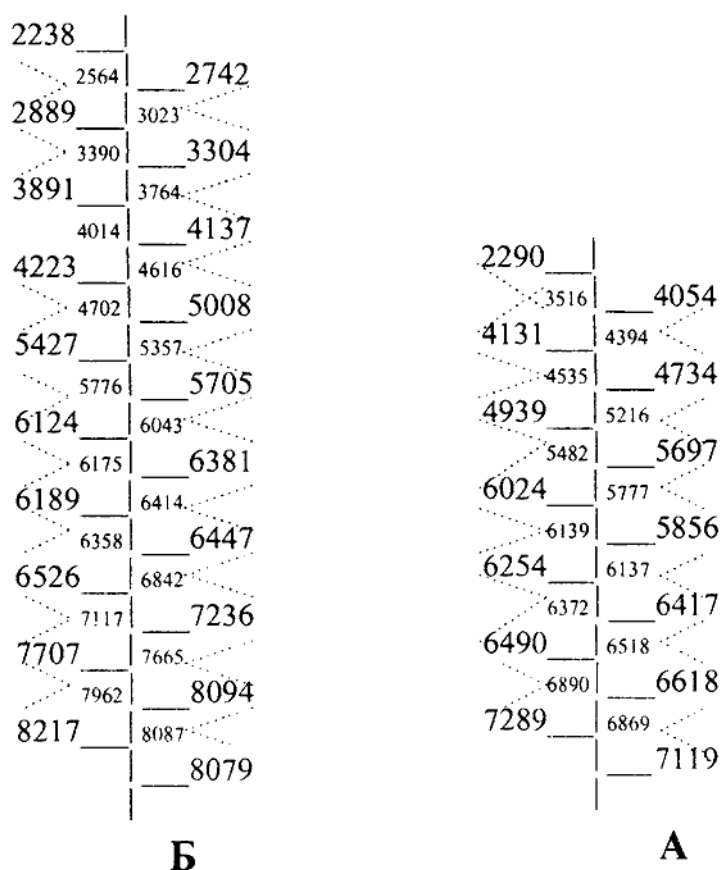


рис.3 Схема расположения завязей на 20-цветковом соцветии *Platanthera bifolia* (L.) Rich.(А) и на 14-цветковом соцветии *P.chlorantha* (Cust.) Reichend. (Б). Реальные значения числа семязачатков изображены крупными цифрами, расчётные значения--мелкими.Пунктирные линии указывают на реальные значения числа семязачатков в двух завязях, которые использовались для расчёта числа семязачатков в третьей завязи.

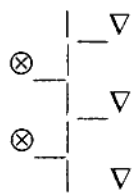


Рис. 4. Порядок расположения неопылённых (⊗) и искусственно опылённых(▽) цветков в ходе эксперимента по изучению достаточности пыльцы на рыльце.

Таблица 2

Количество пыльцы в поллинии и в пыльцевом депозите на рыльце естественно опыленных цветков у двух видов орхидей

ВИД	N пыльцевых зёрен в массуле, шт.		N массул в поллинии, шт.		N массул на рыльце естественно опылённых цветков, шт		Средний размер пыльцевого депозита на рыльце естественно опылённых цветков	Среднее число семязачатков в завязи, шт
	min-max	$x \pm Sx$	min-max	$x \pm Sx$	min-max	$x \pm Sx$		
<i>Dactylorhiza romana</i>	58-624	401 \pm 32	83-155	112 \pm 8	3-97	32 \pm 2	12838	4091
<i>Platanthera chlorantha</i>	36-269	216 \pm 16	353-560	409 \pm 29	5-53	22 \pm 2	4752	5699

образовавшиеся плоды собирались в бумажные пакетики до момента раскрытия коробочек. Число зрелых неповрежденных семян в них подсчитывалось.

Анализ полученных данных показал, что при явно недостаточном опылении (1-5 массул на рыльце) в семени развивались менее 10% семязачатков в завязи. Причем многие из семян оказывались неполноценными (отсутствие или сильная дегенерация зародыша). С увеличением размера пыльцевого депозита число полноценных семян в коробочке возрастало и достигало максимума, если на каждый семязачаток приходилось в среднем 1.6–1.7 пыльцевого зерна. Используя, например, данные таблицы 1, нетрудно рассчитать средний пыльцевой депозит, необходимый для "достаточного" опыления. На рыльце *D. romana* должно содержаться не менее 6550 пыльцевых зерен или 17 массул, а на рыльце *P. chlorantha* – 9500 пыльцевых зерен или 44 массылы.

Для изучения пыльцевого депозита на рыльце цветков, опыленных насекомыми, были произвольно отобраны по 50 цветков из ценопопуляций каждого вида. Количество массул затем подсчитывали в лабораторных условиях под бинокулярным микроскопом МБС-10. Как видно из таблицы 2, насекомые оставляют на рыльце цветков *D. romana* в среднем значительно больше пыльцы, чем требуется для оплодотворения всех семязачатков завязи. Только у 8 цветков (16%) на рыльце было оставлено меньше 17 массул. Подавляющее большинство изученных цветков *P. chlorantha* имели недостаточное количество пыльцы на рыльце. Только у 5 из них (10%) было обнаружено 44 и более массул. Причина низкой эффективности опыления цветков *P. chlorantha* кроется, по нашему мнению, в морфологическом несоответствии опылителей.

Главную роль в опылении *P. chlorantha* в изученной ценопопуляции принадлежит совке гамма

(*Autographa gamma* L.). Эта бабочка несет на себе 1–2 поллиария. Они расположены обычно на одном из фасеточных глаз. Второй глаз редко входит в контакт с висцидием поллиария при посещении цветка орхидеи, так как расстояние между краями глаз бабочки значительно меньше расстояния между висцидиями *P. chlorantha* (2.8 мм против 3.5 мм)*. В этом случае только одна половина рыльца орхидеи получает массулы, что, безусловно, снижает размер среднего пыльцевого депозита.

Отношение среднего числа семян в плоде к среднему числу семязачатков в завязи подтверждает полученные результаты (табл.1). Однако это отношение, как мы считаем, дает несколько завышенные результаты по эффективности опыления растений. В соцветиях *P. chlorantha* и особенно *D. romana* [9] верхние цветки часто остаются неопыленными и плоды образуются преимущественно из нижних. В таком случае нельзя сравнивать средние значения числа семязачатков в завязи со средним числом семян в плоде. В подобных исследованиях, по нашему мнению, необходимо использовать дифференцированную оценку показателей для каждого изучаемого растения.

* Данные об опылителях *P. chlorantha* предоставлены В.В.Назаровым, за что автор выражает свою признательность.

Литература.

1. Вайнагий И.В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботан.журн. -1974. -Т. 59, N 6. - С. 826-831.
2. Левина Р.Е. Репродуктивная биология семенных растений. - М.: Наука, 1981. - 96 с.
3. Cruden R.W., Jensen K.G. Viscin threads, pollination efficiency and low pollen-ovule ratios // Amer.J.Bot. -1979. - Vol. 66, N 8. - P. 875-879.
4. Salisbury E.J. The reproductive capacity of plants. Studies in quantitative biology. - London, 1942. - 244 p.
5. Nilsson L.A. Pollination ecology and adaptation in *Platanthera chlorantha* (*Orchidaceae*) // Botan.Notiser. - 1978. - Vol. 131, N 1.- P. 35-51.
6. Pijl L. van der, Dodson C. Orchid flowers. Their pollination and evolution // Coral Gables. Florida: University of Miami Press, - 1966. - 244 p.
7. Назаров В.В. Определение реальной семенной продуктивности у *Dactylophiza romana* и *D. incarnata* (*Orchidaceae*) // Ботан. журн. -1988. -Т. 73, N 2. - С. 231-233.
8. Назаров В.В. Методика подсчета мелких семян и семяпочек (на примере сем. *Orchidaceae*) // Ботан.журн.-1989.-Т. 74, N 8.- С. 1194-1196.
9. Лагутова О.И., Назаров В.В. Экология опыления *D. romana* Soo (*Orchidaceae*) // Укр. ботан. журн.: 1993. -Т. 50, N 1. - С. 107-110.

ВЛИЯНИЕ ГОРМОНАЛЬНОГО ЛЕЙКОПЛАСТЫРЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОКА ЯГОД ВИНОГРАДА СОРТА КИШМИШ ЧЕРНЫЙ

Мананкова О. П., аспирант

Одной из актуальных проблем в виноградарстве является повышение урожайности путём широкого применения регуляторов роста растений – гиббереллинов. Многочисленные исследования показали, что действие гиббереллина весьма специфично. В зависимости от способов применения, концентрации, сроков обработки он может влиять на вегетативный рост, генеративное развитие, плодообразование и биохимические процессы [1,2,3,4]. Из всех органических соединений, входящих в химический состав ягод, наиболее существенное значение для определения качества плодов имеют сахара и органические кислоты. Перепелицина Е.П. и Смирнов К.В.[5] отмечали, что у Кишмиша чёрного, обработанного гиббереллином в период цветения, сахаристость сока ягод была на 0,6% выше, чем в контроле, а у ягод, обработанных после цветения, ниже на 2 - 3,4%. Исследования, проведенные на бессемянном сорте винограда Шудокхани, Сэйдом, Хэйчем, Кэном [6,7] показали, что существует тенденция к снижению процента общих сахаров и повышению кислотности сока ягод под влиянием обработки гибберелловой кислотой. Одновременно авторы указывают, что под влиянием препарата увеличивается продолжительность срока созревания ягод. Мы склонны согласиться с мнением Катарьяна Т.Г.[8], что это может быть связано с очень большим увеличением урожая под влиянием гиббереллина и тем, что фотосинтетическая деятельность листьев не в состоянии обеспечить плоды углеводами. Анализируя данные литературы нельзя согласиться с однозначным объяснением данного явления. По всей вероятности здесь имеет место многофакторность и, прежде всего, состояние растений, наличие элементов питания в почве, влагообеспеченность и др.

Целью настоящей работы было изучение влияния гиббереллина на биохимические процессы винограда сорта Кишмиш чёрный. При этом изучалось влияние его на сахаристость и кислотность сока ягод.

Условия, объект исследования и методика.

Исследования проводились в Самаркандской области Узбекистана, где сосредоточено большие площади бессемянных сортов винограда. Почвенно-климатические условия Самаркандской области имеют ряд особенностей. Климат этого района засушливый и резко континентальный, так как имеет значительное удаление от крупных водных бассейнов. Летом наблюдается высокая солнечная радиация. Температура на поверхности почвы может достигать 70 - 80 °С, и температура воздуха

40 °С и выше. Холодный период года (ноябрь - март) отличается значительным понижением температуры воздуха, нередко она опускается до минус 23 °С.

Объектом исследования был виноград сорта Кишмиш чёрный. Кишмиш чёрный — широко распространённый бессемянный сорт. Особое значение он приобрел в южных поливных районах виноградарства с жарким и сухим летом. Используется в основном для сушки, кроме того, является хорошим столовым сортом среднего периода созревания.

В нашей работе было продолжено изучение методов обработки гиббереллином, впервые разработанных на кафедре физиологии и биотехнологии Симферопольского госуниверситета под руководством профессора Мананкова М.К.. В частности испытывали метод “гормонального лейкопластыря”. Метод гормонального лейкопластыря заключается в наложении лейкопластыря размером 2 см с заданной концентрацией препарата (5, 10, 15, 20%) в зону гребненожки грозди в виде “флажка”. (Рис. 1) В работе, при изготовлении гормонального лейкопластыря, использовался гиббереллин производства Курганского комбината медпрепаратов. Основным действующим началом которого является гибберелловая кислота. В наших опытах проводились исследования по изучению влияния гормонального лейкопластыря на накопление сахаров и общей кислотности.

Сахаристость сока ягод винограда определяли с помощью рефрактометра. Общую кислотность сока ягод винограда определяли методом титрования третьнормальным раствором щелочи. Расчет общей кислотности проводили в пересчете на винную кислоту (1мл щелочи соответствует 1 г винной кислоты в соке).

Результаты исследований.

Ранее проведенные исследования показали, что процесс сахаронакопления находится в определённой зависимости от условий агротехники, нагрузки на куст, используемых концентраций препарата, методов, сроков и способов обработки [3,4]. Из данных, приведенных в табл.1 видно, что применение гиббереллина в виде гормонального лейкопластыря, независимо от применяемых концентраций его, несколько снижает сахаристость сока ягод винограда сорта Кишмиш чёрный. Причем, с увеличением концентрации гиббереллина, этот показатель снижается больше, по сравнению с контролем. Так например, при применении гормонального лейкопластыря с концентрацией 5% — сахаристость составила 20,76 %, а в контроле она была — 22,2 %. При использовании гормонального лейкопластыря 20 % — сахаристость сока ягод составила 19,4%.

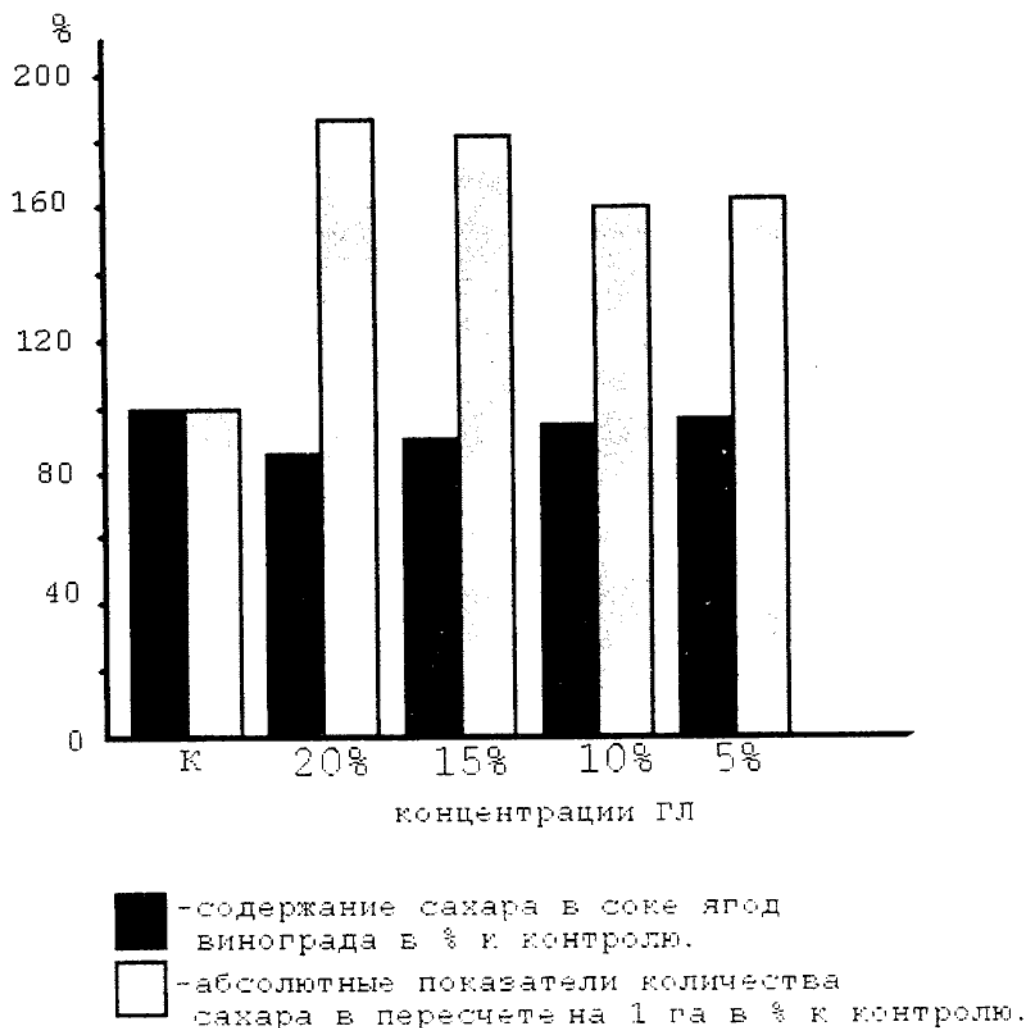


Рис.2 Влияние разных концентраций гормонального лейкопластыря на содержание сахара в ягодах винограда сорта Кишмиш чёрный.

Однако, при пересчете полученного урожая винограда на общий вал сахара с гектара, количество сахара увеличивается, по сравнению с контролем, в 1,6 - 1,8 раза, (Рис.2) несмотря на то, что процентное содержание сахара в соке ягод винограда имеет тенденцию к уменьшению. Особенно контрастно это проявляется при использовании более высоких концентраций гормонального лейкопластыря — 15%, 20% по гиббереллину. В этих вариантах содержание сахара в соке уменьшилось, по сравнению с контролем, на 2,06% и 2,76%, но в связи с резким увеличением урожайности, под влиянием гормонального лейкопластыря, общий вал сахара был максимальным и составил соответственно 183,9% и 185,7%, по сравнению с контролем. При использовании более низких концентраций общий вал сахара увеличился на 61 и 64 %.

Таблиц

Влияние разных концентраций гормонального лейкопластыря на содержание сахара (%) в соке ягод винограда сорта Кишмиш чёрный.

Варианты опыта	Даты определения				
	8/У11	17/У11	27/У11	7/1Х	17/1Х
ГЛ* 20%	12,70	16,20	17,30	18,60	19,40
ГЛ 15%	10,40	16,10	18,50	19,00	20,10
ГЛ 10%	11,90	17,26	19,40	20,40	20,50
ГЛ 5%	11,20	15,60	19,00	19,47	20,76
Контроль	13,56	20,60	21,10	21,36	22,20
P = 0,188 - 1,09					

ГЛ* - гормональный лейкопластырь

Следующим важным показателем качества товарной продукции винограда является содержание кислот в ягодах. Это имеет особое значение при использовании продукции на вино. Ягоды сорта Кишмиш чёрный отличаются низкой кислотностью при высокой их сахаристости. Всё это взятое не даёт возможности получать высококачественные, особенно столовые, вина из этого сорта.

Таблиц

Влияние разных концентраций гормонального лейкопластыря на содержание кислот в соке ягод винограда сорта Кишмиш чёрный (г/л)

Варианты опыта	Даты определения				
	8/У11	17/У11	27/У11	7/1Х	17/1Х
ГЛ* 20%	17,50	14,30	11,36	9,27	7,60
ГЛ 15%	17,00	14,00	12,40	9,23	6,96
ГЛ 10%	16,70	15,80	13,10	10,73	6,86
ГЛ 5%	16,20	13,23	13,17	10,60	6,40
Контроль	13,73	11,70	10,40	7,50	5,66
P = 0,24 - 2,83					

ГЛ* - гормональный лейкопластырь

Применение гиббереллина значительно повышает кислотность сока ягод винограда (Таб. Увеличение кислотности сока ягод положительно влияет на качество товарной продукции, при

винограду более приятный освежающий вкус, а вину, полученному из такого винограда, игривость, лёгкость, приятный вкус и букет.

Проведенные нами исследования дают основание считать, что применение гиббереллина повышает урожайность и улучшает товарные качества винограда сорта Кишмиш чёрный.

Литература.

1. Плакида Е.К., Габович В.И. Применение гиббереллина в виноградарстве. К., "Урожай", 1964, 99 с.
2. Мананков М.К. Установление оптимальных концентраций, сроков обработки гибберелловой кислотой. - В сб. "Гиббереллины и их действие на растения". М., изд-во АН СССР, 1963, с. 226-233.
3. Мананков М.К. Теория и практика применения гиббереллина в виноградарстве. - В сб. "Регуляторы роста растений." - Л., 1989, с. 46 -59.
4. Смирнов К.В. Применение регуляторов роста в виноградарстве. Виноградарство и виноделие, 1997, №1, с. 9-10.
5. Перепелицина Е.П., Смирнов К.В. Влияние гиббереллина на урожайность и качество бессемянных сортов винограда. Труды НИИ садоводства, виноградарства и виноделия им.Р.Р.Шредера, изд-во "Узбекистан", 1964, т.29, с.63 - 71.
6. Seed M.,Hag A. and Khan A. - Some studies on the Effect of Gibberellic Acid on size and Quality of seedless grapes (Shudokhani) in Quetta Kalat Region. W. Pakistan I. agr. Res., 1968, v.6, №2, p.85 - 97.
7. Weaver R.I. and McCune S.B. - Effect of Gibberellin on seedless Vitis vinifera. - Hilgardia, 1959, v.29, №6, s.247 - 275.
8. Катарьян Т.Г. Урожай и качество винограда. Автореферат докторск. диссерт., Л., 1965, 45 с.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГЕННОЙ РЕГУЛЯЦИИ БИОСИНТЕЗА ТЕРПЕНОИДОВ ПРИ СОЗДАНИИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ГИБРИДОВ МЯТЫ

Мишнев А. В.

Мяту можно смело отнести к довольно немногочисленной группе растений, любимой всенародно и практически во все времена. Такая популярность объясняется наличием эфирного масла, которое стали применять одновременно в двух важнейших отраслях: медицине и парфюмерии. Извлечение эфирного масла посредством довольно простой водно-паровой дистилляции делало возможным его получение уже в Древнем Египте. А широкое распространение дикой мяты в Старом и Новом свете способствовало отбору наиболее ароматичных клонов и последующую их культивацию уже в промышленных масштабах. Роду *Mentha L.*, посвящено множество публикаций: от популярных брошюр по применению лекарственного сырья до научных монографий по систематике, биохимии, генетике, селекции, агротехнике возделывания и т.д. Нас же будет интересовать довольно узкий, но крайне важный вопрос о генной регуляции биосинтеза компонентов эфирного масла мяты и практический аспект его применения.

В 1958 г. Reitsema предложил первую схему биосинтеза компонентов эфирного масла мяты. К настоящему времени предложено ещё несколько версий, суть которых можно очень упрощенно свести к следующему. Компоненты эфирного мятного масла по своей природе являются терпеноидами и могут трансформироваться друг в друга под контролем определенных генов. В настоящее время считается, что мевалоновая кислота является наиболее вероятным предшественником для монотерпенового синтеза во всех эфиромасличных растениях. Ряд последовательных превращений приводит к следующей важной стадии – формированию ациклических монотерпеноидных пирофосфатов: геранил пирофосфата (ГПФ), нерил пирофосфата (НПФ) и линалил пирофосфата (ЛПФ). Среди исследователей нет единой точки зрения, какой именно из этих пирофосфатов дает начало компонентам эфирного масла рода *Mentha*. Одни отвели эту роль геранил пирофосфату, другие отдали предпочтение нерил пирофосфату. Третьи же полагают, что нерил пирофосфат даёт начало линалил пирофосфату, в результате гидролиза которого и образуется ациклический спирт линалоол. В настоящее время признана точка зрения, что ациклические компоненты мятного эфирного масла (линалоол, гераниол) дают начало цепи циклических компонентов.

При этом главная роль отводится гену I, который возможно является контролирующим механизмом при формировании линалил пирофосфата из нерил пирофосфата, или при образовании линалоола из ЛПФ. Следовательно, ген I, очевидно контролирует синтез линалил пирофосфат синтетазы [1]. Также считается, что доминантный аллель I препятствует реакциям циклизации и

способствует накоплению в эфирном масле компонентов с незамкнутой цепью, главным образом линалоола. Доминанта E в генотипе растения отвечает за образование сложных эфиров соответствующих спиртов, в частности образования линалил ацетата. Таким образом полагают, что все известные линалоольные формы мяты имеют в своём составе доминанту I и наряду с "бергамотными" мятами (содержащими ещё и линалил ацетат, т.е. имеющими состав масла сходный с лавандой, шалфеем мускатным и бергамотом (*Citrus bergamia*)) являются наименее хемо специализированными представителями рода.

Далее считается, что гомозигота ii открывает путь реакциям циклизации и прежде всего разрешает трансформацию линалоол—лимонен. Последний служит переходным звеном между ациклическими компонентами и компонентами с замкнутой цепью и, кроме того, даёт начало двум ветвям биосинтеза - карвонной и ментольной [1,2,3,4].

Присутствие в генотипе доминанты C определяет трансформацию лимонен — карвон или путь C-2 окисленных соединений, куда кроме карвона входят и его производные: дигидрокарвон, карвеол, карвакрол и др. Промышленное производство мяты карвонного направления налажено главным образом в США. В этой стране культивируют колосовую мяту (*M. spicata* L) и шотландскую колосовую мяту (*M. x gentilis* nm. *cardiaca* (Gray) Baker.) преимущественно для ароматизации продукции, в основном жевательной резинки и зубных паст. Наш потребитель может узнать вкус карвонной мяты, отыскав на упаковке наименование spearmint.

Рецессивный аллель c даёт начало переходу лимонен — изопиперитон, тем самым открывая ментольную ветвь биосинтеза (или C-3 путь), наиболее специализированную в пределах рода *Mentha*. Под контролем определенных генов здесь происходит накопление или дальнейшая трансформация пиперитенона, пулегона, пиперитона, ментофурана и, конечно, ментона, ментола и их изомеров, результат высшей хемо специализации у рода [2,5].

Ментольная ветвь биосинтеза ассоциируется главным образом с мятой перечной (*M. piperita* L.), которая содержит около 50% ментола и благодаря сбалансированности минорных компонентов используется не только в медицине, но и в парфюмерии, пищевой промышленности и т.д. Чуть в меньшей степени культивируется другой вид *M. arvensis* L., var. *piperascens* Holm., мята японская. Она практически не имеет парфюмерного значения, содержит до 90% ментола и служит для его технического получения.

С 1991 г. в Институте лекарственных и эфиромасличных растений начата программа по уточнению некоторых аспектов биосинтеза терпеноидов и практическому получению высокопродуктивных образцов с нетрадиционным составом эфирного масла. В настоящее время наиболее перспективным путем создания любых высокопродуктивных образцов мяты считается межвидовая гибридизация, нередко в сочетании с искусственной полиплоидией и мутагенезом [5].

Одним из направлений гибридизации являлись скрещивания с формой К 59. Она относится к *M.canadensis* (один из синонимов *M.arvensis*, var. *piperascens*) мяте японской и была получена в более раннее время Л.А.Бугаенко, путем колхицинирования стерильной дикорастущей мяты с Дальнего Востока. В результате удвоения числа хромосом нормализовались процессы мейотического деления, что и проявилось в восстановлении женской фертильности. При этом мужская стерильность сохранилась, что, очевидно, связано с факторами ЦМС. Форма К 59 содержит около 80% ментола, высокомаслична (5...6%), и в разные годы широко привлекалась в качестве материнской формы для создания высокопродуктивных ментольных гибридов. С её участием получены высокоментольные районированные сорта Симферопольская 200, и Заграва [5]. В наших исследованиях мы попытались использовать эту форму как донора высокой масличности при создании нетрадиционных образцов мяты.

В настоящее время в Украине, как и в б.СССР, нет районированных сортов карвонной мяты. Хотя есть данные, что такая мята выращивалась в царской России и в б.СССР до Второй мировой войны [6]. Для получения перспективных карвонных образцов для формы К 59 в качестве опылителя была выбрана дикорастущая карвонная форма *M.longifolia* L..N 22 из коллекции института. У ментолсинтезирующего образца К 59 генотип по интересующим нас генам может быть только *iiсс* (здесь и далее для простоты показан без учета полиплоидной природы), иначе синтез ментола был бы невозможен. исходя из приведенных выше представлений о роли генов I и C. Генотип формы N22 по интересующим нас генам был определен как *iiСС*, с учетом того, что в изученном индукт потомстве этой формы не было отклонений от карвонного хемотипа. В соответствии с генетическими закономерностями мы рассчитывали получить в потомстве 100% карвонсинтезирующих гибридов. Анализ потомства методом ГЖХ подтвердил наши расчеты. Все потомки от комбинации К59хN22 содержали карвон (52...56%) в сочетании с лимоненом (9...18%).

Параллельно с этими исследованиями проводились работы по получению высокопродуктивных линалоольных образцов для нужд парфюмерии и пищевой промышленности. Для этой цели в качестве отцовских форм были выбраны 4 линалоольных образца: две коллекционные дикорастущие формы *M.longifolia* 2 и 18 (содержание линалоола соответственно 69...75% и 70...78%) и два образца *M.longifolia* X и M были получены при колхицинировании полностью.

Таблица 1

Характеристика комбинаций скрещивания и распределение полученных гибридов по хемотипам

Комбинация скрещивания и генотип род. форм по некоторым генам. (ж)	Кол-во проанализированных гибридов, шт	Теоретич. выход среди потомков	Фактический выход		
			линалоольные и линалил ацетатные гибриды, шт.	ментолсинтезирующие гибриды, шт.	карвонсинтезирующие гибриды, шт.
К 59 (4n) x №22 iicc iicc	70	100% карвонных гибридов	-	-	70
К 59 (4n) x №2 iicc II	65	100% линалоольных гибридов	-	39	26
К 59 (4n) x №18 iicc IIcc	41	50% линалоольных гибридов	-	23	18
К 59 (4n) x X iicc II	124	100% линалоольных гибридов	-	124	-
К 59 (4n) x M iicc II	17	100% линалоольных гибридов	-	17	-
K59(4n) x 94.15.9 iicc II	21	100% лавандовых гибридов	19	2	-
K59(4n) x 94.18.8 iicc II или Ii	21	100 или 50% лавандовых гибридов	11	10	-

(ж) для удобства полиплоидные формы показаны без учета полиплоидной природы.

стерильных дикорастущих линалоольных образцов 13 и 37. В результате этого выделены X и M образцы с полностью восстановленной фертильностью, имеющие достоверные отличия от исходных

форм в размерах листовой пластины и чашечки, с более поздними сроками цветения, что служит косвенными доказательствами их полиплоидной природы. Содержание линалоола у этих образцов соответствует исходным формам и составляет 70...80%. Проведенный анализ компонентного состава масла инцухт потомков отобранных для гибридизации форм позволил установить их генотип по гену I : форма N2 –II, N 18 – IiCc, X - II, M - II. Таким образом, исходя из представления о решающей роли гена I в накоплении линалоола, ожидалось получить в гибридном потомстве до 50% линалоольных потомков в комбинации K 59xN18 и до 100% от других комбинаций. Анализ компонентного состава масла потомства выявил полное "игнорирование" доминанты I во всех 4-х комбинациях. В комбинации K59xN18 были получены ментолсинтезирующие и карвонсинтезирующие гибриды соотношении 1,3 : 1 (см. табл.1). При этом и те и другие содержали лимонен (3...51%). Сходная картина наблюдалась и в комбинации K 59 x N 2. Здесь соотношение ментольных и карвонных гибридов составило 1,5 : 1. Карвон варьировал в пределах 40...58%, а лимонен 12...37%. Из этой комбинации был выделен высокоурожайный образец с содержанием лимонена в масле 36%. В комбинациях K 59 x M и K 59 x X - все потомки относились к ментольной ветви биосинтеза терпеноидов. Детальный анализ последней комбинации показал, что у 84% гибридов в эфирном масле преобладал изоментон (28...40%) и ментол (24...31%); у 5% - повышенный изоментон (54...59%); у 9% - ментол (31...42%) и ментон (19...25%). Из последней группы выделены высокомасличные гибриды по содержанию общего ментола (41...53%) и соотношению других основных компонентов, аналогичные сортам мяты перечной советской и болгарской селекции. Представляют также интерес и два отобранных высокопродуктивных образца изоментонного направления (40...56%) с приятной "конфетной" гаммой эфирного масла. Однако ожидаемых линалоольных гибридов во всех случаях получено не было, что явно расходится с постулированной ролью гена I в биосинтезе. Наши дальнейшие исследования были направлены на некоторое уточнение этого механизма.

Коллекция института располагает полиплоидным образцом "бергамотной" мяты *M.citrata* K 66, который был получен ранее Л.А.Бугаенко методом колхицинирования стерильного образца из Болгарии. В результате произошло восстановление только женской фертильности, что позволило широко использовать эту форму в гибридизации для создания перспективных гибридов так называемого лавандового направления. K 66 содержит в составе масла 26,0 + 2,6% линалоола и 37,8 + 4,5% линалил ацетата и при скрещивании с изоментонным, ментофурановым и перечными образцами мяты, а также при свободном её опылении поведение гена I полностью соответствовало литературным данным. Все гибриды на основе K 66 не содержали в своем составе C-2 или C-3 окисленных компонентов, а накапливали преимущественно линалоол и линалил ацетат. Это дало основание предположить гомозиготную природу этой формы по доминантному гену I.

Представлялось заманчивым получить гибриды от комбинации К 59 х К 66, но поскольку эти формы стерильны по мужской линии, объединить эти генотипы представлялось возможным путем создания трехвидовых гибридов.

Обычно потомство на основе К 66 стерильно по мужской линии и почти стерильно по женской. Однако при анализе образцов от скрещивания К66 с линалоольными образцами *M. longifolia* X и М с восстановленной фертильностью, были выделены два полностью фертильных гибрида. По сравнению с материнской формой у них увеличилось содержание линалоола и уменьшилось линалил ацетата. Образец 94.15.9 содержит 49...64% линалоола и 18...23% линалил ацетата; 94.18.8 – линалоола 73...79% и линалил ацетата 5...10%. От свободного опыления образца 94.15.9 анализировалось методом ГЖХ 18 инцухт потомков, все из которых оказались линалоольно-линалил ацетатными. Из этого можно предположить, что по содержанию гена I образец 94.15.9 является доминантной гомозиготой. Серия скрещиваний К 59 с формами 95.15.9 и 94.18.8 позволила получить трехвидовые гибриды, анализ которых продолжается в настоящее время. Но уже сейчас получены предварительные результаты, в основном совпадающие с литературными данными. Так, от комбинации К 59 х 94.15.9 по составу масла проанализирован 21 гибрид, из которых 19 имеют линалоольно-линалил ацетатное направление, а остальные 2, вероятно, относятся к ментолсинтезирующим. У комбинации К 59 х 94.18.8 соотношение ментолсинтезирующих и лавандовых гибридов составляет 1 : 1 (10 : 11 шт), что, возможно, указывает на гетерогенность отцовской формы по гену I (генотип Ii).

Результаты исследований гибридного потомства по принадлежности к той или иной ветви биосинтеза терпеноидов у всех выше перечисленных комбинаций, представлены в таблице 1.

Таким образом, на основе высокоментольной высокомасличной формы *M. canadensis* К 59 получены межвидовые гибриды, относящиеся к различным ветвям биосинтеза терпеноидов эфирного мятного масла с сохранением морфологических черт материнского растения. Среди гибридов по комплексу признаков выделены наиболее перспективные с продуктивностью на уровне и выше высокоментольных сортов Симферопольская 200, Заграва и значительно выше сортов мяты перечной, иммунные и практически устойчивые к ржавчине. В их числе : 3 карвонных образца со сбором масла 50...58 кг/га, содержанием карвона 50...51%; 2 гибрида перечного направления со сбором эфирного масла 52...55 кг/га; 2 гибрида с содержанием изоментона 40...56% с приятной "конфетной" гаммой эфирного масла и его сбором в 49...56 кг/га; оригинальный лимоненный образец (36% лимонена) с приятным ароматом и сбором масла 34 кг/га. Продолжаются исследования трехвидовых гибридов линалоольно-линалил ацетатного направления с перспективой выделения хозяйственно-ценных образцов.

Вместе с тем, полученные данные не всегда соответствуют литературным сведениям о роли гена I в биосинтезе компонентов эфирного масла мяты. Возможно, ген I в линалоольных образцах не идентичен гену в составе мят лавандового направления. Возможно также, что этот механизм несколько сложнее постулированных взглядов (множественное действие генов, механизм блокады и т.д.) и требует дальнейших исследований. Как бы там ни было, наши результаты не подтвердили доминантной роли гена I при скрещивании конкретного высокоментольного образца с конкретными линалоольными формами. Вместе с тем, постулированный механизм подтверждается при гибридизации с карвонной формой, а также при использовании гена I, источником которого служит *M.citrata*.

Литература.

1. Hefendehl F.W., Murray M.J., Changes in monoterpene composition in *Mentha aquatica* produced by gene substitution from a high limonen strain of *M.citrata* // *Phytochemistry*, 1973, 12, p.1875-1880.
2. Lawrence B.M., A study of monoterpene in terrelationships in the genus *Mentha* with special reference to the origin of pulegon and menthofuran: Doctor dis. Hamilton, Ontario, Canada: 1978, p.302.
3. Murray M.J. The genetic basis for a third ketone group in *Mentha spicata* // *Genetics*, 1960. vol.45, 7, p 931-937.
4. Murray M.J., Lincoln D.E. The genetic basis of acyclic oil constituents in *Mentha citrata* Ehrh. // *Genetics*, 1970, 65 p457-471.
5. Бугаенко Л.А. Генетические закономерности биосинтеза терпенов и перспективы регуляции содержания и качества эфирного масла при межвидовой гибридизации у мяты. Дис. на соиск. уч. степени док. биол. наук. Симферополь: 1985, 440 с.
6. Сааков С.Г., Крейзер Г.К., Мята кудрявая: Эфирно-масличные растения, их культура и эф. масла. Л.: 1937, т.5, стр 278-280.

САМОРЕГУЛЯЦИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ *SALICORNIA EUROPAEA L.*

Репецкая А. И., аспирантка

В отсутствие значительных изменений режима основных экологических факторов природные популяции растений могут существовать в данном местообитании неограниченно долго. Наличие ряда регуляторных механизмов обеспечивает сохранение популяций в условиях колебаний внешних факторов. Среди них изменение жизненности растений, уровня репродукции и смертности, степени размерной дифференциации особей [1,2,3,4,5,6]. В результате популяция достигает оптимального состояния в данных условиях среды.

В популяциях растений разных жизненных форм преобладают определенные механизмы саморегуляции. Для успешного самоподдержания популяций особенно лабильными должны быть регуляторные процессы у однолетних растений, в связи с необходимостью ежегодного завершения жизненного цикла независимо от изменений внешних факторов. В конкретных условиях ведущими оказываются различные факторы среды. В связи с этим интересно рассмотреть процессы, протекающие в популяциях растений, обитающих в экстремальных для большинства видов условиях. К таковым относятся галофиты, произрастающих в условиях солончаков и солонцов. Ведущими факторами в этих экотопах являются степень засоления и влажности почвы.

Целью нашей работы является изучение процессов саморегуляции в популяциях однолетнего галофита *Salicornia europaea L.*, образующего моноценозы на засоленных местообитаниях.

Материалы и методика

Исследования проводили в естественных популяциях *Salicornia europaea* в асс. *Salicornietum rigum* в окрестностях соленого озера Сасык в Западном Крыму. С июля по октябрь 1996 г. с периодичностью раз в две недели, в каждой популяции отбирали 50 растений случайным методом [7]. У них регистрировали фенологическую фазу, высоту и диаметр стебля, а также определяли воздушно-сухую массу. У растений, отобранных в конце вегетационного сезона, подсчитывали число цветков и семян, чтобы установить уровень семенной продуктивности популяции. Для изучения сезонной динамики плотности в этих же популяциях в июле были заложены постоянные площадки (по 100 в каждой), размером 5х5см. На них подсчитывали число особей с той же периодичностью, что и другие измерения. Для определения полевой влажности почвы отбирали образцы в металлические бюксы, в лаборатории проводили анализ по общепринятой методике [8].

Результаты и обсуждение

Изучено 6 популяций, расположенных вдоль градиента влажности почвы (табл.1). Их можно разделить на 3 группы по уровню влагообеспеченности местообитания. Плотность популяций (ρ) находится в тесной зависимости от этого экологического фактора ($r = 0,848 \pm 0,026$; $P < 0,05$). За исключением некоторых отклонений внутри 2-й группы, с увеличением влажности повышается и плотность популяций. В связи с этим, изменения параметров популяций будем рассматривать в зависимости от двух факторов: влажности почвы, которая является одним из ведущих экологических факторов на солончаках [9,10,11,12,] и плотности, которую многие авторы выделяют в качестве главного внутреннего регулятора популяционных процессов [2,3,4,5,13].

Таблица 1.

Полевая влажность почвы и основные характеристики популяций *Salicornia europaea*

Популяции	2.1	1.0	2.2	2.3	2.4	2.5
	1	2			3	
Полевая влажность почвы, %	19,5	16,0	14,5	16,6	11,9	11,5
Средняя плотность популяции, особей/м ²	7746 ± 136	2376 ± 48	1830 ± 44	1697 ± 36	1251 ± 32	377 ± 16
Семенная продукция популяции, семян/ м ²	18983 ± 2744	—	23326 ± 3117	75708 ± 17037	5834 ± 867	8432 ± 1823
Общая биомасса популяции, г/ м ²	343,1 ± 16,0	137,5 ± 8,5	124,6 ± 6,2	259,3 ± 12,8	42,5 ± 2,1	21,6 ± 1,1

Значения морфометрических параметров - высоты (h), диаметра стебля (d) и воздушно-сухой массы (m) – растений в популяциях, находящихся в засушливых условиях (3-я группа), значительно ниже, чем на более влажных участках (рис. 1). Значения этих характеристик, отражающих уровень жизненности особей, снижаются также при загущении, что видно на примере популяций 2-й и 3-й группы. Так как повышение влажности почвы ведет к увеличению размеров особей, можно ожидать дальнейшее увеличение их размеров в популяции 2.1, находящейся в условиях максимального увлажнения (табл. 1). Однако, большое количество влаги создает благоприятные условия для прорастания семян [14]. Это привело к формированию сильно загущенного травостоя, средняя плотность (7746 особей/м²) которого в 3 раза выше, чем у предыдущей в ряду плотности популяции 1.0. Результатом является снижение размеров особей, несмотря на улучшение условий местообитания.

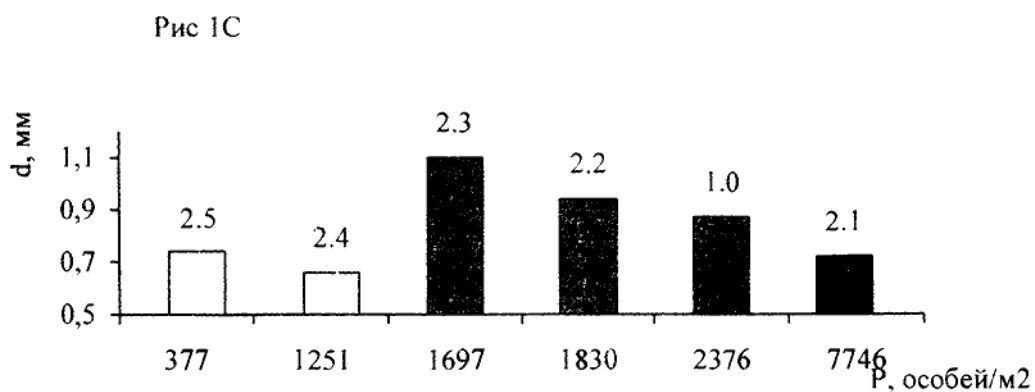
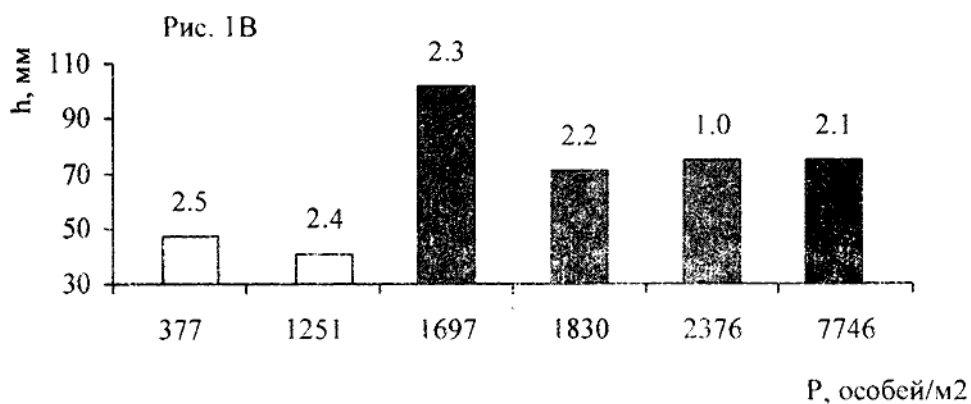
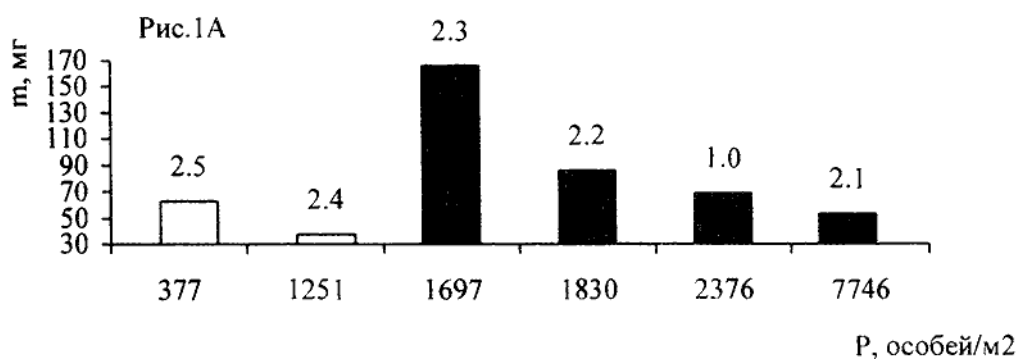


Рис. 1 Зависимость массы особи (m) -- Рис. 1А; высоты особи (h) --
 Рис. 1В; диаметра стебля особи (d) -- Рис. 1С от плотности (p)
 популяций *Salicornia europaea*

■ 1-я группа ■ 2-я группа □ 3-я группа

Одной из основных экологических закономерностей, связывающей среднюю массу растений (m) и плотность популяции (p), является «закон $-3/2$ » [15], выражающийся формулой:

$$m = c p^{-3/2},$$

где c - константа

Эта зависимость задает прямую, по которой идет самоизреживание в загущенных популяциях растений.

На рисунке 2 приведены результаты аппроксимации эмпирической зависимости $\ln m$ от $\ln p$ прямой линией для популяций трех ступеней влажности почвы. Популяция 1.0 не анализировалась, так как сильные дожди в конце вегетационного сезона привели к затоплению данного участка и преждевременному отмиранию растений.

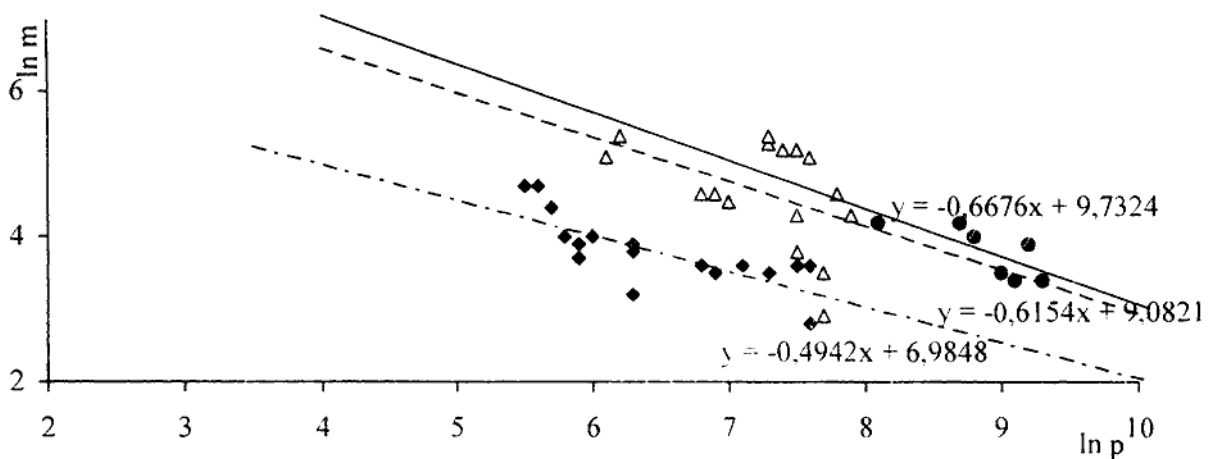


Рис. 2 Аппроксимация прямыми эмпирической зависимости \ln массы особей (m) по \ln плотности (p) популяций *Salicornia europaea*

●	1-я группа	△	2-я группа	◆	3-я группа
—	1-я группа	- - - -	2-я группа	- · - · -	3-я группа

Во всех случаях (рис. 2) средняя масса особей увеличивается в течение сезона, а плотность уменьшается. Коэффициент регрессии возрастает с повышением плотности популяции, но ни в одном случае не достигает значения $-3/2$, т.е. угла линии самоизреживания. Исходя из этого нужно считать, что при сочетании данных значений m и p самоизреживание в популяциях не происходит. Популяции не достигают высоких плотностей, при которых действует "закон $-3/2$ ", а при низкой плотности связь m и p приобретает линейный вид обратного характера [16]. Однако, неуниверсальность закона в этом отношении снижает эффективность его использования на практике. Основной целью анализа является выяснение пороговых значений m и p , при которых в популяции можно ожидать плотность-зависимую смертность. Но использование более низких, допороговых значений ведет к тому, что при аппроксимации линия не достигает угла наклона 56° ($\text{tg } 56^\circ = 3/2$). Таким образом, чтобы узнать являются ли данные значения m и p пороговыми, необходимо сравнить их на графике с

линией самоизреживания, угол наклона которой 56° . А чтобы построить такую линию необходимо использовать для аппроксимации только точки со значениями близкими к пороговым. Решение задачи оказывается невозможным без привлечение непосредственных данных о динамике плотности популяции. Ряд исследователей не отмечали самоизреживание в популяциях *S. europaea* [11,17,18,19], но некоторые из них высказали предположение, что для начала процесса необходима пороговая плотность около 10000 особей/м², а она в природных популяциях этими авторами обнаружена не была. Јоенје (цит. по [12]). наблюдал самоизреживание в популяциях этого вида, но траектория $-3/2$ достигнута не была.

В связи с вышеизложенным результаты аппроксимации эмпирической зависимости $\ln m$ от $\ln p$ прямой (рис. 2) не могут однозначно отрицать самоизреживание в популяциях *S. europaea*.

Отпад растений происходил в течение сезона во всех исследованных популяциях (табл.2), но его интенсивность не была одинакова и зависела от плотности ($r = 0,812 \pm 0,336$; $P < 0,05$). Если в июле-августе число всходов в максимально загущенной популяции 2.1 превышало тот же показатель в разреженной (2.5) в 20 раз, то к моменту обсеменения (12.10) превышение было лишь двукратным.

Таблица 2.

Динамика плотности популяций *Saicornia europaea* L.

Сроки отбора	Плотность популяций, особей / м ²					
	2.1	1.0	2.2	2.3	2.4	2.5
6.07.96	8810 ± 360	2440 ± 140	2300 ± 120	1750 ± 100	1940 ± 140	566 ± 60
20.07.96	8040 ± 344	2732 ± 124	2296 ± 124	1784 ± 92	1937 ± 116	552 ± 56
3.08.96	11120 ± 388	3224 ± 152	2748 ± 152	1948 ± 116	1916 ± 152	416 ± 44
17.08.96	10320 ± 448	2944 ± 128	2440 ± 148	1884 ± 128	1436 ± 108	356 ± 44
31.08.96	6760 ± 464	1544 ± 92	1048 ± 100	1672 ± 104	1164 ± 96	360 ± 40
14.09.96	5772 ± 252	1372 ± 68	1004 ± 88	1424 ± 76	1032 ± 92	320 ± 40
28.09.96	3404 ± 208	40 ± 22	972 ± 72	1420 ± 68	904 ± 68	292 ± 36
12.10.96	488 ± 52	—	436 ± 40	472 ± 48	572 ± 52	272 ± 36
26.10.96	—	—	96 ± 50	12 ± 8	360 ± 48	264 ± 24

Подобная стабилизация плотности к концу вегетативного сезона могла произойти только вследствие плотность-зависимой смертности. На рисунке 3 представлено изменение выживаемости особей (с начала сезона, когда плотность была максимальной, до момента обсеменения растений) от плотно-

сти популяций. В наиболее загущенной популяции –2.1– выживаемость растений за сезон составила лишь – 4,4% (рис.3), а в разреженной –2.5– 48%.



Рис. 3. Зависимость выживаемости особей от плотности (ρ) популяций *Salicornia europaea*

Для однолетних растений, судьба будущих поколений во многом зависит от успеха семенной репродукции нынешнего, поэтому число особей к моменту обсеменения - важная популяционная характеристика. Она является одной из двух составляющих, от которых зависит семенная продукция популяции. Вторая составляющая - это количество семян, производимых особью. Продукция семян является функцией массы растений ($r = 0,985 \pm 0,085$; $P < 0,05$). Масса же, в свою очередь, зависит от плотности популяции и степени увлажнения почвы. Так как число растений, вносящих вклад в семенной банк популяций, находится примерно на одном уровне, то величина банка определяется средней семенной продуктивностью особи. Все эти зависимости играют регуляторную роль: под влиянием плотности снижается размер растений, а следовательно и их семенная продуктивность (рис. 4); уровень плотности к моменту обсеменения одинаков, поэтому повышенная плотность не может компенсировать низкую семенную продуктивность отдельного растения. В результате загущенные популяции производят меньше семян (рис.4, табл.1), что приведет к уменьшению численности популяции в следующем поколении и, как следствие, к увеличению размеров растений и семенной продуктивности. Подобный механизм, обеспечивающий регуляцию плотности и размеров растений отмечен и в популяциях других однолетников [20,21].

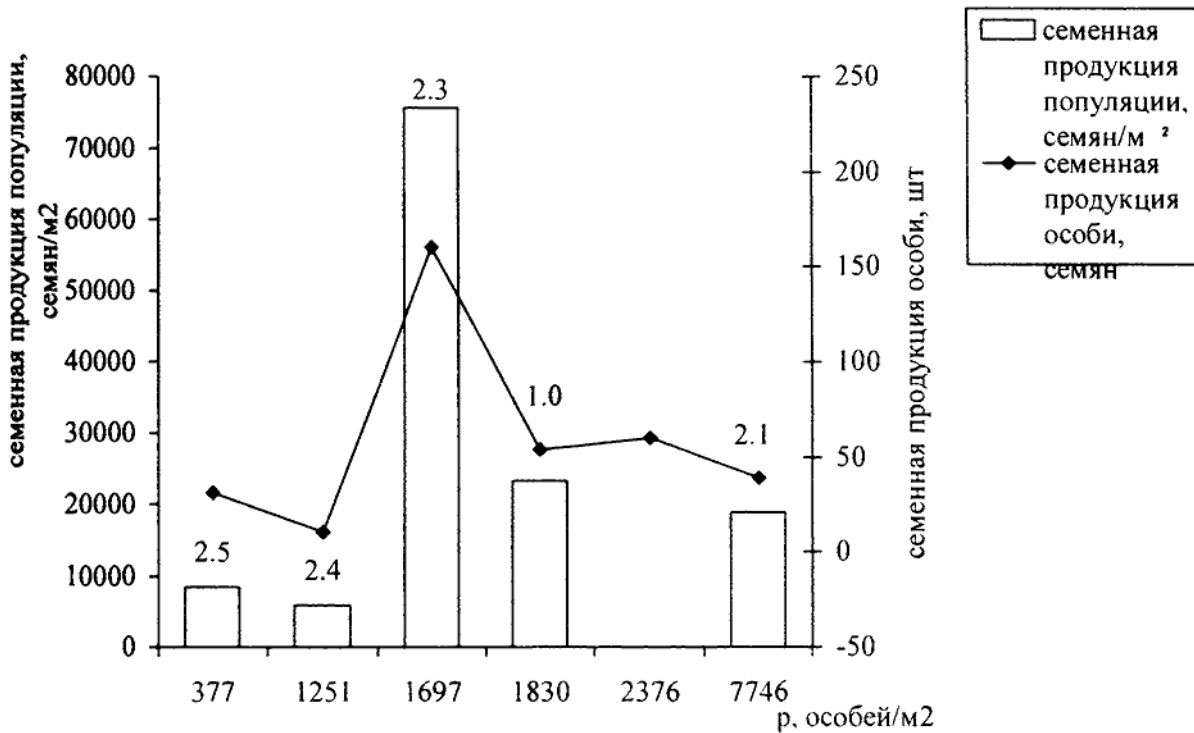


Рис. 4. Зависимость репродуктивных характеристик особи и популяции от плотности популяции

Уровень влагообеспеченности местообитания накладывает свой отпечаток на значения популяционных характеристик: при увеличении засушливости понижается уровень всех параметров (массы особи, числа семян, семенного банка популяции (рис. 4), но отмеченные тенденции остаются в силе на всех ступенях влажности. С точки зрения благоприятности условий местообитания, оптимальными для популяции в целом можно считать участки 2.3 и 2.1. Общая биомасса популяции на них наибольшая в течение сезона (табл.1), в первом случае это достигается за счет большой биомассы особей, а во втором за счет высокой плотности. Принимая во внимание второй параметр, определяющий оптимум популяции – семенную продуктивность [22], наилучшим условиям соответствует участок 2.3. Он же оптимален для развития отдельной особи, т.к. все морфометрические параметры вегетативной и генеративной сферы максимальны у растений этой популяции.

Таким образом, популяции *Salicornia europaea*, располагающиеся вдоль градиента влажности почвы, образуют соответствующий градиент плотности. Оба фактора оказывают влияние на размер растений, уровень их репродукции и смертности, регулируя тем самым популяционные параметры в соответствии с условиями среды. В популяциях обнаружены плотность-зависимая смертность и плотность-зависимая репродукция, которые наряду с дифференциацией особей являются основными регуляторными механизмами популяционных систем.

Литература.

1. Ипатов В.С. Некоторые аспекты общественной жизни растений // Вестник ЛГУ, Биология. - 1967. - вып.3. - №15. - С.97-106.
2. Harper J.L. Population biology of plants. L., N.Y - Ac.Press, 1977.- 892 p.
3. Keddy P.A. Experimental demography of sanddune annual *Cakile edentula*, growing along an environmental gradient in Nova Scotia // J.Ecol. - 1981 - V.69 -№7 - P.615-630.
4. Symonides E. Population size regulation as a result of intra-population interactions. 1.Effect of density on the survival and development of individuals of *Erophila verna* // Ibid. - 1983a. - V.31. -№4. - P.839-881.
5. Symonides E. Population size regulation as a result of intra-population interactions. 1.Effect of density on the growth rate, morphological diversity and fecundity of *Erophila verna* (L.) C.A.M. individuals // Ibid. - 1983b. - V.31. - №4. - P.883-912.
6. Watkinson A.R. Density-dependence in single-species populations of plants // J.Theor.Biol. -1980. - V.83. -№4 - P.345-357.
7. Грейг-Смит П. Количественные методы изучения растительности М.:Мир. - 1967.
8. Александрова Л.Н., Найденова О.А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. - Л.: Колос, 1976. - 280 с.
9. Генкель К.А., Шахов А.А. Экологическое значение водного режима некоторых галофитов // Бот.ж. - 1945. - Т.30. - №4. - С.154-166.
- 10.Шахов А.А. Экологическая и фитоценотическая области солончакового фитоценоза // Бюл.МОИП отд.биол. - 1945. - Т.50. - №3,4 - С.120-127.
- 11.Ungar I.A. Population characteristics, growth, and survival of the halophyte *Salicornia europaea* // Ecology. - 1987. - V.68. - №3. - P.569-575.
- 12.Watkinson A.R., Davy A.J. Population biology of salt marsh and sand dune annuals // Vegetatio. - 1985. - V.65. - №1-3. - P.487-497.
- 13.Quinn J.A., Hodgkinson K.C. Population variability in *Danthonia caespitosa* (Gramineae) in responses to increasing density under three temperature regimes // Amer.J.Bot. - 1983. - V.70. - №10. - P.1425-1431.
- 14.Ungar I.A. Halophyte seed germination // Bot.Rev. - 1978. - V.44. - N2. - P.233-264.
- 15.White S., Harper J.L. Correlated changes in plant size and number in plant population // J.Ecol. - 1970. - V.58. - №1 - P.467-485.
- 16.Lonsdale W.M. The self-thinning rule: dead or alive // Ecology. - 1990. - V.71. - №4. - P.1373-1388.
- 17.Ellison A.M. Density-dependent dynamics of *Salicornia europaea* monocultures // Ecology. - 1987. - V.68. - №3 - P.737-741.
- 18.Jefferies R.L., Davy A.J., Rudmic T. Population biology of the salt marsh annual *S.europaea* agg. // J.Ecol. - 1981. - V.69. - №3. - P.17-32.
- 19.Keiffer C.H., Ungar I.A. The effects of density and salinity on shoot biomass and ion accumulation in five inland halophytic species // Can.J.Bot. - 1997. - V.75. - №5 - P.96-107.
- 20.Clay K., Shaw R. An experimental demonstration of density dependent reproduction in a natural population of *Diamorpha smalli*, a rare annual // Oecologia (Berlin). -1981. -V.51. -№7-P.1-6
- 21.Watkinson A.R. The population ecology of winter annuals/ The Biological aspects of rare plant conservation. -Chichester. - 1981. - P.253-264.
- 22.Заугольнова Л.Б. Понятие оптимумов у растений // Журн.общ.биологии. - 1985. - Т.46. - №4. - С.444-452.

О МЕТОДЕ УСРЕДНЕНИЯ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ

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

Евстигнеева Е. Г., аспирант

1. Введение. Целью настоящей статьи является изложение нового подхода в обосновании метода усреднения для весьма общего класса разностных уравнений с малым параметром ε . Метод усреднения [1] заключается в замене исходного уравнения так называемым усредненным. Усредненное уравнение оказывается обычно значительно проще исходного и свойства его решений удается исследовать достаточно полно. В основе метода усреднения лежит принцип усреднения, представляющий собой теорему о достаточных условиях, гарантирующих близость решений исходного и усредненного уравнений с одинаковыми начальными данными на асимптотически большом промежутке времени порядка ε^{-1} , при всех достаточно малых значениях ε .

Вопрос обоснования метода усреднения для разностных уравнений рассматривался многими авторами, одними из первых работ были статьи [2 — 4]. Основным побудительным мотивом к написанию этой статьи послужили публикации [5, 6], в которых дается обоснование метода усреднения для разностного уравнения с переменным запаздыванием, имеющего вид

$$x(k+1) = x(k) + \varepsilon f(k, x(k), x(k-h(k))), \quad k \geq k_0, \quad x(k) = \varphi(k), \quad k_0 - P \leq k \leq k_0, \quad (1.1)$$

где $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbf{R}^n$, $0 \leq h(k) \leq P < \infty$ — запаздывание с целочисленными значениями, k — дискретное время, ε — неотрицательный малый параметр, f — заданная непрерывная функция, φ — начальная функция. В качестве усредненного уравнения берется

$$z(k+1) = z(k) + \varepsilon f_0(z(k), z(k-h(k))), \quad k \geq k_0, \quad z(k) = \varphi(k), \quad k_0 - P \leq k \leq k_0, \quad (1.2)$$

где $f_0(c_1, c_2) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} f(j, c_1, c_2)$.

В структуре уравнения (1.1) очевидна аналогия с дифференциально-разностными уравнениями, метод усреднения для которых рассматривался, например, в работах [2, 7-8]. Но, если до конца следовать этой аналогии, то усредненное уравнение следует определить как

$$z(k+1) = z(k) + \varepsilon f_0(z(k), z(k)), \quad k \geq k_0. \quad (1.3)$$

Это уравнение уже не содержит запаздывания и по этой причине является более простым, чем уравнение (1.2). На самом деле принцип усреднения «допускает» использование в качестве усредненного как уравнение (1.3), так и уравнение (1.2), если предполагать, как это всегда делается в теории, что малый параметр ε может принимать сколь угодно малое значение. В практических приложениях значение малого параметра обычно ограничено снизу, а при «не слишком малых» значениях ε решения уравнения (1.2) точнее аппроксимируют решения уравнения (1.1) и это совершенно есте-

ственно. В [5, 6] приведены примеры численных расчетов, иллюстрирующие этот факт. Однако метод обоснования принципа усреднения, избранный авторами работ [5, 6], представляется нам неоправданно трудоемким. В нем используется понятие «среднего движения»¹, которое определяется следующим образом. Пусть $x(k) = x(k; k_0, \varphi)$ есть решение уравнения (1.1) с начальными данными k_0, φ . Тогда «среднее движение» $\bar{x}(k)$ определяется как

$$\bar{x}(k) = \begin{cases} \varphi(k), & k_0 - P \leq k \leq k_0, \\ \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x(i-k), & k > k_0. \end{cases}$$

В настоящей статье мы предлагаем более простой и прямой способ обоснования принципа усреднения для разностных уравнений весьма общего вида, охватывающего, в частности, и уравнения вида (1.1).

2. Принцип усреднения. В этом разделе будет дано обоснование принципа усреднения для основного класса разностных уравнений. Обозначим через \mathcal{M}_P множество всех функций дискретного аргумента $\varphi: \{-P, \dots, 1, 0\} \rightarrow \mathbf{R}^n$, $k \mapsto \varphi(k)$. Очевидно, что это множество отождествляется с множеством всех действительных $(n \times (P+1))$ -матриц и является конечномерным векторным пространством размерности $n(P+1)$. Введем в \mathcal{M}_P норму $\|\varphi\| = \max\{|\varphi(s)|: s = -P, \dots, 0\}$, где $|\cdot|$ — норма в \mathbf{R}^n , и для $x \in \mathbf{R}^n$ обозначим через e_x элемент из \mathcal{M}_P , определяемый как $e_x(s) = x$, для всех $s, -P \leq s \leq 0$. Пусть D — некоторая область в \mathbf{R}^n и Ω есть множество функций из \mathcal{M}_P со значениями в D . Рассмотрим отображение $F: \mathbf{Z} \times \mathcal{M}_P \rightarrow \mathbf{R}^n$, $(k, \varphi) \mapsto F(k, \varphi)$, предполагая, что для всех $k \geq k_0$ и $\varphi, \psi \in \Omega$ выполняются условия:

I. Функция F ограничена по норме константой $M_0 > 0$ и удовлетворяет условию Липшица с константой $L_0 > 0$ по второму аргументу, т.е. $|F(k, \varphi)| \leq M_0$,
 $|F(k, \varphi) - F(k, \psi)| \leq L_0 \|\varphi - \psi\|$.

II. Равномерно по $x \in D$ и $k \geq k_0$ существует среднее значение $F_0(x)$ функции $F(k, e_x)$

¹ The moving average в оригинале.

$$F_0(x) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{s=0}^{N-1} F(k+s, e_x). \quad (2.1)$$

Нетрудно доказать следующее важное утверждение.

ЛЕММА 2.1. $|F_0(x)| \leq M_0, |F_0(x) - F_0(y)| \leq L_0|x - y|, \forall x, y \in D.$

Введем в рассмотрение основной класс разностных уравнений

$$x(k+1) = x(k) + \varepsilon F(k, x[k]), \quad k \geq k_0, \quad x[k_0](s) = \varphi(s), \quad -P \leq s \leq 0, \quad (2.2)$$

где $x[k]$ есть элемент пространства \mathcal{M}_P , определяемый как $x[k](s) = x(k+s), s = -P, \dots, 0.$

Очевидно, уравнение (1.1) является частным случаем уравнения (2.2). Усредненное уравнение определим как

$$\xi(k+1) = \xi(k) + \varepsilon F_0(\xi(k)), \quad k \geq k_0, \quad \xi(k_0) = \varphi(k_0). \quad (2.3)$$

Принцип усреднения для (2.2) сформулируем следующим образом.

ТЕОРЕМА 2.1. Пусть функция F удовлетворяет условиям I и II, тогда сколь угодно малым положительным ρ, η и сколь угодно большому L можно сопоставить такое положительное ε_0 , что если решение усредненного уравнения (2.3) $\xi(k)$ определено и содержится в области D вместе со своей ρ -окрестностью при всех $k \geq k_0$, то для $0 < \varepsilon < \varepsilon_0$ в интервале $k_0 \leq k \leq k_0 + L/\varepsilon$ справедливо неравенство: $|x(k) - \xi(k)| < \eta$. Если, кроме того, функция F периодическая по первому аргументу, то оценка улучшается: $|x(k) - \xi(k)| = O(\varepsilon)$.

Доказательство. Введем в рассмотрение функцию $\tilde{F}(k, \varphi) = F(k, \varphi) - F_0(\varphi(0))$ с нулевым средним на всех константах $e_x \in \mathcal{M}_P$ при $x \in D$, причем предельный переход

$$\frac{1}{N} \sum_{s=0}^{N-1} F(k+s, e_x) = \frac{1}{N} \sum_{s=0}^{N-1} [F(k+s, e_x) - F_0(x)] \xrightarrow{N \rightarrow \infty} 0$$

равномерен по $x \in D$ и $k \geq k_0$. Следовательно для сколь угодно малого $\gamma > 0$ существует наименьшее натуральное N_γ такое, что при $N \geq N_\gamma$

$$\left| \sum_{s=0}^{N-1} \tilde{F}(k+s, e_x) \right| < N\gamma \quad (2.4)$$

для всех $x \in D$ и $k \geq k_0$ ¹. Представим функцию F в виде $F(k, \varphi) = F_0(\varphi(0)) + \tilde{F}(k, \varphi)$, тогда уравнение (2.2) примет вид

$$x(k) = x(0) + \varepsilon \sum_{s=0}^k F_0(x(s)) + \varepsilon \sum_{s=0}^k \tilde{F}(s, x[s]). \quad (2.5)$$

Преобразуя подобным образом правую часть усредненного уравнения, получим

$$\xi(k+1) = \xi(0) + \varepsilon \sum_{s=0}^k F_0(\xi(s)). \quad (2.6)$$

Обозначим $u(k) = |x(k) - \xi(k)|$. Вычитая (2.6) из (2.5) и используя неравенство Липшица, получим оценку

$$u(k) \leq \varepsilon \sum_{s=0}^{k-1} L_0 u(s) + \varepsilon \left| \sum_{s=0}^{k-1} \tilde{F}(s, x[s]) \right|. \quad (2.7)$$

Имея целью применить к полученному неравенству дискретный аналог² неравенства Гронуолла, покажем, что второе слагаемое в неравенстве (2.7) при достаточно малых значениях параметра ε будет меньше любого наперед заданного числа. Пусть $\gamma > 0$ — некоторое малое число, значение которого будет уточнено ниже, и пусть целое $N_\gamma > 0$ удовлетворяет (2.4). Выберем натуральное Q так, что

$$QN_\gamma \leq k \leq (Q+1)N_\gamma, \quad (2.8)$$

тогда, обозначая для краткости записи $\Phi(s) = \tilde{F}(s, x[s])$, имеем

$$\sum_{s=0}^{k-1} \Phi(s) = \sum_{q=0}^{Q-1} \sum_{s=0}^{N_\gamma-1} \Phi(qN_\gamma + s) + \underbrace{\Phi(QN_\gamma) + \dots + \Phi(k-1)}_{\leq N_\gamma - 1}, \quad (2.9)$$

где в последней группе не более $N_\gamma - 1$ слагаемых. Обозначим

$$r_{m,s} = \tilde{F}(m+s, x[m+s]) - \tilde{F}(m+s, e_{x(m)}).$$

Используя представление $x(q) = x(p) + \varepsilon \sum_{j=p}^{q-1} F(j, x[j])$, получим оценку

$$|x(q) - x(p)| \leq \varepsilon M_0 |q - p|.$$

Отсюда, учитывая утверждение леммы 2.1, имеем

$$|r_{m,s}| \leq L_0 \|x[m+s] - e_{x(m)}\| = \max_{-P \leq l \leq 0} |x(m+s+l) - x(m)| \leq \varepsilon L_0 M_0 \max_{-P \leq l \leq 0} |s+l|.$$

¹ Далее для сокращения записи считаем $k_0 = 0$.

² Пусть $v(s) \geq 0$, $s \geq 0$, $A = \text{const} > 0$ и $u(k) \leq A + \sum_{s=0}^{k-1} v(s)u(s)$, $k \geq 1$, $u(0) \leq A$, тогда $u(k) \leq A \prod_{s=0}^{k-1} (1 + v(s))$, $k \geq 0$.

Обозначим $[[a]]$ целую часть действительного числа a . Согласно (2.9) $0 \leq s \leq N_\gamma - 1$. Нетрудно показать, что

$$\max_{-P \leq l \leq 0} |s + l| = \begin{cases} P - s, & 0 \leq s \leq [[0,5P]], \\ s, & s \geq [[0,5P]] + 1. \end{cases}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \sum_{s=0}^{N_\gamma-1} \max_{-P \leq l \leq 0} |s + l| &= \sum_{s=0}^{[[0,5P]]} (P - s) + \sum_{s=[[0,5P]]+1}^{N_\gamma-1} s = (1 + [[0,5P]])P - 2 \sum_{s=1}^{[[0,5P]]} s + \sum_{s=1}^{N_\gamma-1} s = \\ &= (1 + [[0,5P]])(P - [[0,5P]]) + N_\gamma \frac{N_\gamma - 1}{2} \end{aligned}$$

Теперь мы готовы выписать окончательный результат

$$\begin{aligned} &\left| \sum_{s=0}^{k-1} \tilde{F}(s, x[s]) \right| \leq \\ &\leq \sum_{q=0}^{Q-1} \left| \sum_{s=0}^{N_\gamma-1} \tilde{F}(qN_\gamma + s, e_{x(qN_\gamma+s)}) + r_{qN_\gamma, s} \right| + \left| \tilde{F}(QN_\gamma, e_{x(QN_\gamma)}) \right| + \dots + \left| \tilde{F}(k-1, e_{x(k-1)}) \right| \leq \\ &\leq \sum_{q=0}^{Q-1} \left| \sum_{s=0}^{N_\gamma-1} \tilde{F}(qN_\gamma + s, e_{x(qN_\gamma+s)}) \right| + \sum_{q=0}^{Q-1} \sum_{s=0}^{N_\gamma-1} |r_{qN_\gamma, s}| + (N_\gamma - 1)M_0 \leq \\ &\leq QN_\gamma \gamma + \varepsilon L_0 M_0 Q((1 + [[0,5P]])(P - [[0,5P]]) + N_\gamma \frac{N_\gamma - 1}{2}) + (N_\gamma - 1)M_0. \end{aligned}$$

По условию $QN_\gamma \leq k \leq L\varepsilon^{-1}$, поэтому

$$\begin{aligned} \varepsilon \left| \sum_{s=0}^{k-1} \tilde{F}(s, x[s]) \right| &\leq L\gamma + \varepsilon L_0 M_0 (\varepsilon Q(1 + [[0,5P]])(P - [[0,5P]]) + \\ &+ 0,5L(N_\gamma - 1)) + \varepsilon (N_\gamma - 1)M_0 \leq \eta e^{-LL_0} \end{aligned} \quad (2.10)$$

при достаточно малых γ и ε . Определим γ из условия

$$L\gamma \leq 0,5\eta \exp(-LL_0), \quad (2.11)$$

а затем выберем значение $\varepsilon_0 > 0$ так, чтобы при $0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0$

$$\varepsilon^2 L_0 M_0 Q(1 + [[0,5P]])(P - [[0,5P]]) + \varepsilon (N_\gamma - 1)M_0(1 + 0,5LL_0) \leq 0,5\eta e^{-LL_0}. \quad (2.12)$$

Таким образом, при $0 < \varepsilon \leq \varepsilon_0$ из (2.7) и (2.10) — (2.12) следует оценка

$$u(k) \leq \varepsilon \sum_{s=0}^{k-1} L_0 u(s) + \eta \exp(-LL_0).$$

Применяя неравенство Гронуолла для функций дискретного аргумента, отсюда получаем

$$u(k) \leq \eta \exp(-LL_0) \prod_{s=0}^{k-1} (1 + \varepsilon L_0) = \eta \exp(-LL_0) (1 + \varepsilon L_0)^k < \eta.$$

Здесь мы учли что $(1 + \varepsilon)^{\frac{1}{\varepsilon}} \uparrow e$ при $\varepsilon \rightarrow 0$ и поэтому $(1 + \varepsilon L_0)^k \leq (1 + \varepsilon L_0)^{\frac{1}{\varepsilon}} = [(1 + \varepsilon L_0)^{\varepsilon L_0}]^{\frac{1}{\varepsilon L_0}} < \exp(LL_0)$. Остается заметить, что следует предполагать, что $\eta < \rho$. Основное утверждение теоремы доказано.

В случае периодичности $F(k, \varphi)$ по k в наших оценках следует считать, что $\gamma = 0$, а N_γ равняется периоду. Искомое неравенство вытекает из оценки (2.10). Теорема полностью доказана.

Литература.

1. Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. — М.: Наука, 1974. — 504 с.
2. Митропольский Ю. А. Лекции по методу усреднения в нелинейной механике. — К.: Наукова думка, 1966. — 469 с.
3. Белан Е. П. О методе усреднения в теории конечно-разностных уравнений // Укр. матем. журнал. — 1967. — Т.19. — С. 85 — 90.
4. Halanay A. Solution périodiques et preque-périodiques des systemés d'équations aux differences finies // Arch. Rat. Mech. Anal. — 1962. — V.12, No.2 — P. 131 — 139.
5. Lehman B. and Weibel S. P. Averaging of Discrete Difference Equations with Time-Varying Delays. Proceedings of the 1997 Conference on Decision and Control, 1997. — P.4456—4562.
6. Lehman B. and Weibel S. P. Moving Averages for Periodic Delay Differential and Difference Equations, Lecture Notes in Control and Information Sciences, Springer-Verlag, Berlin, 1997. — P.158—183.
7. Hale J. K. Averaging Methods for Differential Equations with Retarded Arguments with a Small Parameter // J. of Differential Equations. — 1966. — V.2 — P. 57 — 73.
8. Хейл Дж. Теория функционально-дифференциальных уравнений. — М.: Мир. — 1984. — 421 с.

МАЛЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЧНО ДИССИПАТИВНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ГИДРОСИСТЕМЫ

Закора Д. А., аспирант

1. Постановка задачи.

Рассмотрим сосуд, частично заполненный двумя несжимаемыми несмешивающимися жидкостями. Сосуд равномерно вращается вокруг оси, сонаправленной с действием силы тяжести. Жидкости предполагаются тяжелыми, поэтому действие капиллярных сил в этой задаче не учитывается. Область Ω_1 , нижняя по отношению к действию силы тяжести, заполнена вязкой жидкостью плотности ρ_1 с динамическим коэффициентом вязкости μ (кинематический коэффициент вязкости $\nu = \mu / \rho_1$). Область Ω_2 заполнена идеальной жидкостью плотности ρ_2 . $0 < \rho_2 < \rho_1$.

Обозначим через \vec{n}_i ($i = 1, 2$) единичный вектор, нормальный к $\partial \Omega_i$ ($i = 1, 2$). Через S_i обозначим часть стенки сосуда, граничащей с областью Ω_i ($i = 1, 2$). Обозначим через $\Gamma_1 := \partial \Omega_1 \setminus \bar{S}_1$ – свободную поверхность первой жидкости, и через $\Gamma_1 \cup \Gamma_2 := \partial \Omega_2 \setminus \bar{S}_2$ – свободные поверхности второй жидкости. Введем систему координат $Ox_1x_2x_3$, жестко связанную с сосудом, таким образом, что ось Ox_3 совпадает с осью вращения и направлена против действия силы тяжести, а начало координат находится на равновесной поверхности Γ_1 . В этом случае равномерная скорость вращения сосуда запишется в виде $\vec{\omega}_0 = \omega_0 \vec{e}_3$. Будем считать для определенности, что $\omega_0 > 0$.

Постановка линейной задачи о малых движениях рассматриваемой гидросистемы имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{u}_1}{\partial t} - 2\omega_0 (\vec{u}_1 \times \vec{e}_3) &= -\rho_1^{-1} \nabla p_1 + \nu \Delta \vec{u}_1 + \vec{f}, & \operatorname{div} \vec{u}_1 &= 0 & (\text{в } \Omega_1), \\ \frac{\partial \vec{u}_2}{\partial t} - 2\omega_0 (\vec{u}_2 \times \vec{e}_3) &= -\rho_2^{-1} \nabla p_2 + \vec{f}, & \operatorname{div} \vec{u}_2 &= 0 & (\text{в } \Omega_2), \\ \vec{u}_1 &= \vec{0} & (\text{на } S_1), & \vec{u}_2 \cdot \vec{n}_2 &= 0 & (\text{на } S_2), \\ \frac{\partial \zeta_1}{\partial t} &= \vec{u}_1 \cdot \vec{n}_1 = \vec{u}_2 \cdot \vec{n}_1 & (\text{на } \Gamma_1), & \frac{\partial \zeta_2}{\partial t} &= \vec{u}_2 \cdot \vec{n}_2 & (\text{на } \Gamma_2), \\ p_2 &= \rho_2 a_2 \zeta_2 & (\text{на } \Gamma_2), & \mu ((u_1)_{i,3} + (u_2)_{3,i}) &= 0 & (i=1, 2; \text{ на } \Gamma_1), \end{aligned} \quad (1)$$

$$-p_1 + 2\mu(u_1)_{3,3} = -(\Delta p)a_1\zeta_1 - p_2, \quad (\text{на } \Gamma_1), \quad \Delta p := \rho_1 - \rho_2 > 0,$$

$$\overset{\Gamma}{u}_i(0, x) = \overset{\Gamma}{u}_i^0(x), \quad \zeta_i(0, \xi_i) = \zeta_i^0(\xi_i) \quad (i=1, 2). \quad (2)$$

Здесь $\overset{\Gamma}{u}_i$ ($i=1, 2$) — поля скоростей жидкостей в соответствующих областях, p_i ($i=1, 2$) — динамические давления в жидкостях, ζ_i ($i=1, 2$) — малые нормальные отклонения свободных границ от состояния равновесия, a_i ($i=1, 2$) — известные гладкие функции заданные на Γ_i ($i=1, 2$), $\overset{\Gamma}{f}$ — малое поле внешних массовых сил. Далее считаем, что движения гидросистемы статически устойчивы по линейному приближению; это означает, что функции a_i ($i=1, 2$) строго положительны на Γ_i ($i=1, 2$).

2. Операторная формулировка задачи и сильные решения соответствующей задачи Коши.

Применим к задаче (1) метод ортогонального проектирования. После отделения тривиальных решений основную задачу можно записать в виде дифференциального уравнения в ортогональной сумме гильбертовых пространств $\tilde{H} := J_{0,S_1}(\Omega_1) \oplus H_1 \oplus H$:

$$\begin{pmatrix} C_{1,1} & 0 & C_{1,2} \\ 0 & B_1 & 0 \\ C_{2,1} & 0 & B_C \end{pmatrix} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \overset{\Gamma}{u}_1 \\ \zeta_1 \\ v \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mu A & G_1 B_1 & 0 \\ -B_1 \gamma_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overset{\Gamma}{u}_1 \\ \zeta_1 \\ v \end{pmatrix} + 2\omega_0 i \begin{pmatrix} S_{1,1} & 0 & S_{1,2} \\ 0 & 0 & 0 \\ S_{2,1} & 0 & S_{2,2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \overset{\Gamma}{u}_1 \\ \zeta_1 \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \overset{\Gamma}{f}_1 \\ 0 \\ f_2 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$(\overset{\Gamma}{u}_1, \zeta_1, v)'(0) = (\overset{\Gamma}{u}_1, \zeta_1, v)^{0r}, \quad (4)$$

где $H := \overset{\Gamma}{G}_2(\Omega_2) \oplus \overset{\Gamma}{J}_0(\Omega_2) \oplus H_2, \quad H_i := L_{2,1}, \quad (i=1, 2),$

$$\overset{\Gamma}{J}_{0,S_1} := \left\{ \overset{\Gamma}{u}_1 \in \overset{\Gamma}{L}_2(\Omega_1) \mid \operatorname{div} \overset{\Gamma}{u}_1 = 0 \quad (\text{в } \Omega_1), \quad \overset{\Gamma}{u}_1 \cdot \overset{\Gamma}{n}_1 = 0 \quad (\text{на } S_1) \right\},$$

$$\overset{\Gamma}{G}_2(\Omega_2) := \left\{ \overset{\Gamma}{w} = \nabla p \mid \Delta p = 0 \quad (\text{в } \Omega_2), \quad \frac{\partial p}{\partial \overset{\Gamma}{n}_2} = 0 \quad (\text{на } S_2 \cup \Gamma_1), \quad \int_{\Gamma_2} p d\Gamma_2 = 0 \right\},$$

$$\overset{\Gamma}{J}_0(\Omega_2) := \left\{ \overset{\Gamma}{v} \in \overset{\Gamma}{L}_2(\Omega_2) \mid \operatorname{div} \overset{\Gamma}{v} = 0 \quad (\text{в } \Omega_2), \quad \overset{\Gamma}{v} \cdot \overset{\Gamma}{n}_2 = 0 \quad (\text{на } \partial\Omega_2) \right\},$$

$$(\overset{\Gamma}{u}_1, \zeta_1, v)' := (\overset{\Gamma}{u}_1; \zeta_1; \overset{\Gamma}{w}, \overset{\Gamma}{v}, \zeta_2)'$$

Введем следующие обозначения:

$$\tilde{J} := \begin{pmatrix} C_{1,1} & 0 & C_{1,2} \\ 0 & B_1 & 0 \\ C_{2,1} & 0 & B_C \end{pmatrix}, \quad \tilde{A} := \begin{pmatrix} \mu A & G_1 B_1 & 0 \\ -B_1 \gamma_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F \end{pmatrix}, \quad \tilde{S} := \begin{pmatrix} S_{1,1} & 0 & S_{1,2} \\ 0 & 0 & 0 \\ S_{2,1} & 0 & S_{2,2} \end{pmatrix}, \quad \tilde{P} := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_{\Gamma_1} & 0 \\ 0 & 0 & I \end{pmatrix},$$

$$y := (\overset{\Gamma}{u}_1, \zeta_1, v)', \quad f := (f_1, 0, f_2)', \quad B_1 \gamma_1 A^{-1/2} =: Q, \quad A^{-1/2} G_1 B_1 =: Q^+.$$

Тогда уравнение (3) запишется в виде

$$\tilde{J} \frac{dy}{dt} + \tilde{A}y + 2\omega_0 i \tilde{S}y = f. \quad (5)$$

Сделаем в уравнении (5) замену $y(t) = e^t z(t)$. В результате получим уравнение относительно z :

$$\tilde{J} \frac{dz}{dt} + (\tilde{A} + \varepsilon \tilde{P})z + (\tilde{J} - \varepsilon \tilde{P})z + 2\omega_0 i \tilde{S}z = e^{-t} f, \quad (6)$$

где число $\varepsilon > 0$ выбрано таким образом, что $\tilde{J} - \varepsilon \tilde{P} \gg 0$. Это возможно, так как $\tilde{J} \gg 0$ в \tilde{H} .

ЛЕММА 1. *Имеют место следующие утверждения:*

1. $0 \ll \tilde{J} = \tilde{J}^* \in L(\tilde{H}), \tilde{S} = \tilde{S}^* \in L(\tilde{H});$
2. $F = -F^*$ неограничен в H ;
3. $0 \ll \tilde{A} = \tilde{A}^*, \tilde{A}^{-1} \in S_\infty;$
4. $Q^+ \subset Q^*, Q^+ = Q^*|_{D(Q^+)}, \bar{Q}^+ = Q^*;$
5. оператор $\tilde{A} + \varepsilon \tilde{P}$ аккретивен.

Доказательство леммы довольно обширно и потому здесь не приводится.

Оператор $\tilde{A} + \varepsilon \tilde{P}$ не является замкнутым из-за того, что оператор γ_1 неограничен в $\overset{\Gamma}{J}_{0,S}(\Omega_1)$ и $D(\gamma_1) \supset D(\tilde{A})$. Таким образом, оператор $\tilde{A} + \varepsilon \tilde{P}$ не является максимальным аккретивным, но допускает замыкание до максимального аккретивного оператора.

ЛЕММА 2. *Замыкание A_0 оператора $\tilde{A} + \varepsilon \tilde{P}$ есть максимальный аккретивный оператор.*

При этом $D(A_0) = \{(\overset{\Gamma}{u}_1, \zeta_1, v)' \mid \mu \overset{\Gamma}{u}_1 + A^{-1} Q^* \zeta_1 \in D(A), v \in D(F)\},$

$$A_0 = \begin{pmatrix} 1 & & \\ A^2 & 0 & 0 \\ 0 & I_{\Gamma_1} & 0 \\ 0 & 0 & I \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mu I_1 & Q^* & 0 \\ -Q & \varepsilon I_{\Gamma_1} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon I + F \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & & \\ A^2 & 0 & 0 \\ 0 & I_{\Gamma_1} & 0 \\ 0 & 0 & I \end{pmatrix}.$$

Доказательство. Нетрудно проверить, что оператор $\tilde{A} + \varepsilon \tilde{P}$ можно представить в форме, аналогичной A_0 с заменой Q^* на Q^+ . Замыкание оператора $\tilde{A} + \varepsilon \tilde{P}$ состоит в замене в среднем блоке Q^+ на Q^* . Действительно, оператор A_0 представлен в виде произведения трех замкнутых операторов, каждый из которых имеет ограниченный обратный, а значит (это можно доказать) он замкнут.

Найдем область определения $D(A_0)$ оператора A_0 . Прежде всего, из представления для оператора A_0 следует, что $\overset{\Gamma}{u}_1 \in D(A^2), v \in D(F)$. Далее, должно иметь смысл следующее выражение:

$$\begin{pmatrix} 1 & & \\ A^2 & 0 & 0 \\ 0 & I_{\Gamma_1} & 0 \\ 0 & 0 & I \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mu A^2 \overset{1}{u}_1 + Q^* \zeta_1 \\ -Q A^2 \overset{1}{u}_1 + \varepsilon \zeta_1 \\ (\varepsilon I + F)v \end{pmatrix},$$

то есть $\mu A^2 \overset{1}{u}_1 + Q^* \zeta_1 \in D(A^2)$ или $\mu \overset{1}{u}_1 + A^{-2} Q^* \zeta_1 \in D(A)$. Таким образом, заключаем

$$D(A_0) = \left\{ (\overset{1}{u}_1, \zeta_1, v)' \mid \mu \overset{1}{u}_1 + A^{-2} Q^* \zeta_1 \in D(A), v \in D(F) \right\}.$$

Заметим, что условие $\overset{1}{u}_1 \in D(A^2)$ следует из требования $\mu \overset{1}{u}_1 + A^{-2} Q^* \zeta_1 \in D(A)$. Действительно,

так как $D(A) \subset D(A^2)$ и $A^{-2} Q^* \zeta_1 \in D(A^2)$ для любого $\zeta_1 \in H_1$, то $\overset{1}{u}_1$ также принадлежит

$D(A^2)$. Лемма доказана.

Рассмотрим теперь уравнение (6) с заменой $\tilde{A} + \varepsilon \tilde{P}$ на замкнутый оператор A_0 . Оператор $A_0 + \tilde{J} - \varepsilon \tilde{P} + 2\omega_0 \tilde{S}$ уже максимальный аккретивный. Введем в \tilde{H} эквивалентную норму с помощью квадратичной формы оператора \tilde{J} и преобразуем уравнение (6) к виду

$$\frac{dz}{dt} = -\tilde{J}^{-1} (A_0 + \tilde{J} - \varepsilon \tilde{P} + 2\omega_0 i \tilde{S}) z + e^{-t} f, \quad z(0) = y^0. \quad (7)$$

ТЕОРЕМА 1. *Начально-краевая задача (1) имеет единственное сильное решение на промежутке $[0, T]$, выражаемое формулой*

$$z(t) = U(t)y^0 + \int_0^t U(t-\tau) \tilde{J}^{-1} e^{-\tau} f(\tau) d\tau,$$

$$U(t) := \exp\left(-t \tilde{J}^{-1} (A_0 + \tilde{J} - \varepsilon \tilde{P} + 2\omega_0 i \tilde{S})\right)$$

если выполнены следующие условия:

1. $y^0 \in D(A_0)$,
2. $f(t) \in C^1([0, T] \tilde{H})$.

Записывая уравнение (7) в виде системы, можно показать, что для начальных данных из области определения незамкнутого оператора соответствующее решение также находится в области определения незамкнутого оператора. Осуществляя в этой системе обратную замену $z(t) = e^{-t} y(t)$, мы приходим к следующему утверждению.

ТЕОРЕМА 2. *Задача Коши (3)-(4) имеет единственное сильное решение на промежутке $[0, T]$, если выполнены следующие условия:*

1. $y^0 \in D(\tilde{A})$,
2. $f(t) \in C^1([0, T]; \tilde{H})$.

Переформулировка последнего результата в терминах исходной задачи приводит нас к следующему выводу.

ТЕОРЕМА 3. *Начально-краевая задача (1) имеет единственное сильное решение на промежутке $[0, T]$, если выполнены условия:*

1. $\overset{\Gamma}{u}_1^0 \in D(A)$, $\overset{\Gamma}{u}_2^0 \in \overset{\Gamma}{H}^2(\Omega_2) \cap \overset{\Gamma}{J}_{0, S_2}(\Omega_2)$, $\zeta_i^0 \in \overset{\Gamma}{H}^2 \Gamma_i$ ($i = 1, 2$),

$$\overset{\Gamma}{J}_{0, S_2}(\Omega_2) := \left\{ \overset{\Gamma}{u}_2 \in \overset{\Gamma}{L}_2(\Omega_2) \mid \operatorname{div} \overset{\Gamma}{u}_2 = 0 \text{ (в } \Omega_2), \quad \overset{\Gamma}{u}_2 \cdot \overset{\Gamma}{n}_2 = 0 \text{ (на } S_2), \right.$$

$$\left. \int_{\Gamma_1} \overset{\Gamma}{u}_2 \cdot \overset{\Gamma}{n}_2 d\Gamma_1 = 0, \quad \int_{\Gamma_2} \overset{\Gamma}{u}_2 \cdot \overset{\Gamma}{n}_2 d\Gamma_2 = 0 \right\},$$

причем $\overset{\Gamma}{u}_1^0(x) \cdot \overset{\Gamma}{n}_1 = -\overset{\Gamma}{u}_2^0(x) \cdot \overset{\Gamma}{n}_2$ (на Γ_1).

2. $f(t) \in C^1([0, T]; \overset{\Gamma}{L}_2(\Omega))$ ($\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$).

Автор выражает благодарность научному руководителю Н. Д. Копачевскому за постановку задачи, постоянное внимание и помощь в работе.

ОСОБЫЕ ПОДМНОГООБРАЗИЯ ДЛЯ ГРУПП E_6

Кобец А. А., ассистент

Пусть G есть конечная группа, порожденная отражениями относительно $(n-1)$ -мерных плоскостей, в вещественном пространстве E^n . Особое многообразие M состоит из действительных векторов x , таких что $\prod_{i=1}^n I_{n_i}^G(x) = 0$; здесь $I_{n_i}^G$ – базисные инварианты Флатто-Винер степеней n_i группы G [1], вектор $x = (x_i)$. Многообразия M для групп $G = I_2', A_3$ приведены в работе [1]. Найдем некоторые подмногообразия для группы E_6 .

В прямоугольной системе координат $Ox_i (i = \overline{1,6})$ двадцать семь вершин многогранника 2_{21} зададим строками следующей матрицы (см. [2]):

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & c_\lambda & s_\lambda & -c_\mu & -s_\mu \\ -c_\mu & -s_\mu & 0 & 0 & c_\lambda & s_\lambda \\ c_\lambda & s_\lambda & -c_\mu & -s_\mu & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

где $c_\lambda = \cos \frac{2\pi\lambda}{3}$, $s_\lambda = \sin \frac{2\pi\lambda}{3}$; $\lambda, \mu = 1, 2, 3$. При этом все тридцать шесть плоскостей симметрии многогранника 2_{21} определяются такими уравнениями:

$$\begin{aligned} x_2 = 0, x_4 = 0, x_6 = 0, \sqrt{3}x_1 \pm x_2 = 0, \sqrt{3}x_3 \pm x_4 = 0, \sqrt{3}x_5 \pm x_6 = 0, x_1 + x_3 + x_5 = 0, \\ x_1 \pm \sqrt{3}x_2 - 2x_3 - 2x_5 = 0, x_1 \pm \sqrt{3}x_2 + x_3 \pm \sqrt{3}x_4 + 2x_5 = 0, x_1 \pm \sqrt{3}x_2 - 2x_3 + \\ + x_5 \pm \sqrt{3}x_6 = 0, x_1 \pm \sqrt{3}x_2 + x_3 \pm \sqrt{3}x_4 + x_5 \pm \sqrt{3}x_6 = 0, 2x_1 - x_3 \pm \sqrt{3}x_4 + 2x_5 = \\ = 0, 2x_1 - x_3 \pm \sqrt{3}x_4 + x_5 \pm \sqrt{3}x_6 = 0, 2x_1 + 2x_3 - x_5 \pm \sqrt{3}x_6 = 0. \end{aligned}$$

Любой инвариант группы E_6 является многочленом относительно

$$u_p = 3x_\beta^2 x_\alpha - x_\alpha^3, v_p = x_\alpha^2 + x_\beta^2; \quad (1)$$

$p = 1, 2, 3$ соответственно $(\alpha\beta) = (12), (34), (56)$ [3].

Пусть $R^6(u_p, v_p)$ – пространство переменных u_p, v_p . Формулы (1) задают преобразование пространства E^6 в пространство $R^6(u_p, v_p)$.

Лемма 1. Базисные инварианты Флатто-Винер пятой и шестой степеней имеют вид

$$\begin{aligned} I_5 = C_5 = \sum u_p (v_q - v_r), \\ I_6 = 3 \sum_{p \neq q} v_p^3 - 9 \sum_{p \neq q} v_p^2 v_q + 72 v_1 v_2 v_3 - 2 \sum u_p^2 + 20 \sum_{p \neq q} u_p u_q, \end{aligned} \quad (2)$$

где индексы $p, q, r = 1, 2, 3$ (циклически).

Доказательство. Запишем базисные инварианты пятой и шестой степеней группы E_6 [2]:

$$C_5 = \sum u_p(v_q - v_r),$$

$$C_6 = -\sum u_p^2 + 10 \sum_{p \neq q} u_p u_q + 3 \sum v_p^3 + 45 v_1 v_2 v_3.$$

Инвариант $I_5 = C_5$. Представим инвариант Флатто-Винер шестой степени в виде $I_6 = aI_2^3 + bC_6$. Запишем дифференциальные уравнения $I_2(\partial)I_6 = 0, I_5(\partial)I_6 = 0$, где $I_2(\partial), I_5(\partial)$ – дифференциальные операторы, получаемые заменой переменных x_i на $\frac{\partial}{\partial x_i}$ в многочленах I_2, I_5 . Они дают число $a = -\frac{3}{2}b$. Следовательно, инвариант I_6 имеет вид (2).

Пусть $I_5^0 = \sum_{p=1}^3 (y_p^2 - y_{p+3}^2)$.

Имеет место

Теорема 1. В пространстве $R^6(y_i), i = \overline{1,6}$, особое подмногообразие, определяемое базисным инвариантом I_5 , состоит из направляющих векторов вещественных прямых, лежащих на конусе второго порядка $I_5^0 = 0$ индекса три с точечной вершиной.

Действительно, преобразование пространства $R^6(u_p, v_p)$ в пространство $R^6(y_i), i = \overline{1,6}$, определяемое формулам $u_1 + v_2 = \sqrt{2}y_1, u_2 + v_3 = \sqrt{2}y_2, u_3 + v_1 = \sqrt{2}y_3, u_1 + v_3 = \sqrt{2}y_4, u_2 + v_1 = \sqrt{2}y_5, u_3 + v_2 = \sqrt{2}y_6$, форму I_5 приводит к каноническому виду I_5^0 .

Уравнение $I_5^0 = 0$ в пространстве $R^6(y_i)$ задает квадратичный конус индекса три с точечной вершиной [4], который и выделяет искомое подмногообразие.

Обозначим через M_3 кубическую поверхность в $R^6(u_p, v_p)$ с уравнением $I_6 = 0$.

Лемма 2. M_3 является рациональной поверхностью с одной двойной точкой.

Доказательство. Найдем особые точки поверхности M_3 . Для этого рассмотрим уравнения

$$\frac{\partial I_6}{\partial u_p} = 0, \frac{\partial I_6}{\partial v_p} = 0, p = 1, 2, 3. \text{ Они дают систему}$$

$$-u_1 + 5u_2 + 5u_3 = 0, 5u_1 - u_2 + 5u_3 = 0, 5u_1 + 5u_2 - u_3 = 0, v_1^2 - v_2^2 - v_3^2 - 2v_1v_2 - 2v_1v_3 + 8v_2v_3 = 0, -v_1^2 + v_2^2 - v_3^2 - 2v_1v_2 + 8v_1v_3 - 2v_2v_3 = 0, -v_1^2 - v_2^2 + v_3^2 + 8v_1v_2 -$$

$2v_1v_3 - 2v_2v_3 = 0$. Она имеет единственное нулевое решение, поверхность M_3 содержит только одну особую точку (в начале координат).

Запишем уравнения прямых, проходящих через двойную точку поверхности M_3 в виде $u_p = v_3 t_p, p = 1, 2, 3; v_1 = v_3 t_4, v_2 = v_3 t_5$. Найдем точки их пересечения с M_3 . Они определяются уравнением

$$v_3^2(3v_3(t_4^3 + t_5^3 + 1) - 9v_3(t_4^2 t_5 + t_4 t_5^2 + t_4^2 + t_5^2 + t_4 + t_5) + 72v_3 t_4 t_5) - 2 \sum_p u_p^2 + 20 \sum_{p \neq q} t_p t_q = 0. \quad (3)$$

При $v_3 = 0$ уравнение (3) дает $u_p = v_p = 0, p = 1, 2, 3$. Прямая, проходящая через двойную точку поверхности M_3 , пересекает ее еще в одной точке. Согласно (3), координаты этой точки

$$u_p = A t_p, p = 1, 2, 3; v_1 = A t_4, v_2 = A t_5, \quad (4)$$

где
$$A = \frac{2 \sum_p t_p^2 - 20 \sum_{p \neq q} t_p t_q}{3(t_4^3 + t_5^3 + 1) - 9(t_4^2 t_5 + t_4 t_5^2 + t_4^2 + t_5^2 + t_4 + t_5) + 72 t_4 t_5}.$$

Следовательно, поверхность M_3 является рациональной см. [5]. Лемма доказана.

Заметим, что при доказательстве леммы получена параметризация поверхности M_3 , которая определяется уравнениями (4).

Изучим подробнее строение поверхности M_3 .

Рассмотрим сечение M_3 2 - плоскостью с уравнениями $u_3 = c, v_p = t_p, p = 1, 2, 3$. Имеем кривую, определяемую уравнением

$$2(u_1^2 + u_2^2) - 20u_1 u_2 - 20c(u_1 + u_2) - 20c^2 - 3 \sum_p t_p^3 + 9 \sum_{p \neq q} t_p^2 t_q - 72t_1 t_2 t_3 = 0. \quad (5)$$

Лемма 3. Кривая (5) задает конику гиперболического типа.

Действительно, дискриминант квадратичной формы $2(u_1^2 + u_2^2) - 20u_1 u_2$ отрицательный.

Значит, кривая (5) гиперболического типа. Основной определитель левой части уравнения (5) равен нулю, если $9c^2 = \sum_{i \neq j} t_i^3 - 3 \sum_{i \neq j} t_i^2 t_j + 24t_1 t_2 t_3$, и тогда кривая распадается на две прямые.

В сечении M_3 2-плоскостью, заданной уравнениями $u_k = c_k, v_k = t_k, k = 2, 3$, получаем кубику

$$3v_1^3 - 9v_1^2(t_2 + t_3) - 2u_1^2 - 9(t_2^2 + t_3^2 - 8t_2 t_3) + 20(c_2 + c_3)u_1 + 3(t_2^3 + t_3^3) - 9(t_2^2 t_3 + t_2 t_3^2) - 2(c_2^2 + c_3^2) + 20c_2 c_3 = 0 \quad (6)$$

Лемма 4. Кривая (6) неприводима.

В самом деле, уравнение (6) представим в виде

$(a_1 v_1 + a_2 u_1 + a_3)(b_1 v_1^2 + b_2 v_1 u_1 + b_3 u_1^2 + b_4 v_1 + b_5 u_1 + b_6) = 0$. Коэффициенты a_p, b_i найдем из системы уравнений $a_1 b_1 = 0, a_1 b_2 + a_2 b_1 = 0, a_1 b_3 + a_2 b_2 = 0, a_2 b_3 = 0,$

$$a_1 b_4 + a_3 b_1 = -9(t_2 + t_3), a_1 b_5 + a_2 b_4 + a_3 b_2 = 0, a_2 b_5 + a_3 b_3 = -2, a_1 b_6 + a_3 b_4 = -9(t_2^2 + t_3^2 - 8t_2 t_3), a_2 b_6 + a_3 b_5 = 20(c_2 + c_3), a_3 b_6 = 3(t_2^3 + t_3^3) - 9(t_2^2 t_3 + t_2 t_3^2) - 2(c_2^2 + c_3^2) + 20c_2 c_3. \text{ Из первых шести уравнений получаем } a_2 = 0, b_1 = \frac{3}{a_1}, b_2 = b_3 = b_5 = 0.$$

Подставив эти значения в седьмое уравнение, получим противоречие. Итак, кривая (6) неприводима.

Лемма 5. Кривая (6) является расходящейся параболой, причем может быть кривой любого типа (согласно классификации Ньютона).

Доказательство. Выясним тип кривой (6). Найдем ее асимптоты. Запишем уравнение асимптот в виде $v_1 = k u_1 + b$. Для определения k и b подставим u_1 в уравнение (6) и приравняем к нулю коэффициенты при старших степенях u_1 . Получим систему $k^3 = 0, 18k^2 b + 9k^2(t_2 + t_3) - 2 = 0$, которая противоречива. Следовательно, кривая (6) не имеет асимптот. Кривые этого типа называются расходящимися параболой [6].

Найдем особые точки кривой (6). Рассмотрим систему уравнений

$$\frac{\partial F(u_1, v_1)}{\partial u_1} = 0, \frac{\partial F(u_1, v_1)}{\partial v_1} = 0, \text{ где } F(u_1, v_1) = 0 \text{ - уравнение данной кривой. Получим следующую}$$

систему: $v_1^2 - 2v_1(t_2 + t_3) - t_2^2 - t_3^2 + 8t_2 t_3 = 0, u_1 - 5(c_2 + c_3) = 0$. Дискриминант первого уравнения $2D_1$, где $D_1 = t_2^2 + t_3^2 - 3t_2 t_3$. Если $D_1 < 0$, то особых точек нет. Если $D_1 \geq 0$, то $v_1 = t_2 + t_3 \pm \sqrt{2D_1}, u_1 = 5(c_2 + c_3)$. Подставив u_1 и v_1 в уравнение $F(u_1, v_1) = 0$, получаем условие, при котором точка (u_1, v_1) будет особой:

$$2(t_2^3 + t_3^3) - 6(t_2^2 t_3 + t_2 t_3^2) \pm \sqrt{(2t_2^2 + 2t_3^2 - 6t_2 t_3)^3 - 8(c_2^2 + c_3^2) - 20c_2 c_3} = 0.$$

Найдем значение $H = \left(\frac{\partial^2 F}{\partial u_1 \partial v_1} \right)^2 - \frac{\partial^2 F}{\partial u_1^2} \frac{\partial^2 F}{\partial v_1^2}$ в особой точке. Так как $\frac{\partial^2 F}{\partial u_1^2} = -4,$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial u_1 \partial v_1} = 0, \frac{\partial^2 F}{\partial v_1^2} = 72(v_1 - t_2 - t_3), \text{ то для точки с координатами } u_1 = 5(c_2 + c_3),$$

$v_1 = t_2 + t_3 + \sqrt{2D_1}$ имеем $H = 72 \sqrt{2D_1}$. При $D > 0$ функция $H > 0$, точка (u_1, v_1) узловая (см., например, [7]). Для $u_1 = 5(c_2 + c_3), v_1 = t_2 + t_3 - \sqrt{2D_1}$ функция $H = -72 \sqrt{2D_1}$. При $D_1 > 0$ имеем $H < 0$, и точка (u_1, v_1) изолированная. Если $D_1 = 0$, то $H = 0$, точка $u_1 = 5(c_2 + c_3), v_1 = t_2 + t_3$ будет точкой возврата.

С помощью аффинного преобразования $(u_1, v_1) \mapsto (\frac{1}{\sqrt{2}}y + 5(c_2 + c_3), x + t_2 + t_3)$ уравнение (6)

приведем к виду $y^2 = 3x^3 - 18x(t_2^2 + t_3^2 - 3t_2t_3) - 12(t_2^3 + t_3^3 - 3(t_2^2t_3 + t_2t_3^2)) - 4(c_2^2 + c_3^2) - 10c_2c_3$.

Основные формы кривых этой группы определяются видом корней вспомогательного уравнения

$$x^3 - 6x(t_2^2 + t_3^2 - 3t_2t_3) - 4(t_2^3 + t_3^3 - 3(t_2^2t_3 + t_2t_3^2)) - 4(c_2^2 + c_3^2) - 10c_2c_3 = 0. [6]$$

Итак, кривая (6) является расходящейся параболой, причем возможны следующие случаи:

- 1) если $-(t_2^2 + t_3^2 - 3t_2t_3)^3 + (t_2^3 + t_3^3 - 3(t_2^2t_3 + t_2t_3^2)) - 4(c_2^2 + c_3^2) - 10c_2c_3 > 0$, то кривая представляет собой бесконечную ветвь параболического типа; 2) если $-(t_2^2 + t_3^2 - 3t_2t_3)^3 + (t_2^3 + t_3^3 - 3(t_2^2t_3 + t_2t_3^2)) - 4(c_2^2 + c_3^2) - 10c_2c_3 < 0$, то кривая состоит из параболической ветви и овала; 3) если $t_2^2 + t_3^2 - 3t_2t_3 = 0$ и $t_2^3 + t_3^3 - 3(t_2^2t_3 + t_2t_3^2) - 4(c_2^2 + c_3^2) - 10c_2c_3 = 0$, то кривая представляет собой параболическую ветвь, имеющую точку возврата; 4) если $t_2^2 + t_3^2 - 3t_2t_3 > 0$ и $2(t_2^3 + t_3^3) - 6(t_2^2t_3 + t_2t_3^2) + \sqrt{(2t_2^2 + 2t_3^2 - 6t_2t_3)^3 - 8(c_2^2 + c_3^2) - 20c_2c_3} = 0$, то кривая представляет собой параболическую ветвь с узловой точкой; 5) если $t_2^2 + t_3^2 - 3t_2t_3 > 0$ и $2(t_2^3 + t_3^3) - 6(t_2^2t_3 + t_2t_3^2) - \sqrt{(2t_2^2 + 2t_3^2 - 6t_2t_3)^3 - 8(c_2^2 + c_3^2) - 20c_2c_3} = 0$, то кривая состоит из параболической ветви и изолированной точки. Лемма доказана.

Теперь пересечем поверхность M_3 2- плоскостями, определяемыми уравнениями $u_p = c_p, p = 1, 2, 3; v_3 = t$. Получим кубик

$$3(v_1^2 + v_2^2) - 9(v_1^2v_2 + v_1v_2^2) - 9t(v_1^2 + v_2^2 - 8v_1v_2) - 9t^2(v_1 + v_2) + 3t^3 - 2\sum_{p < q} c_p^2 + 20\sum_{p < q} c_p c_q = 0. (7)$$

Лемма 6. Кривая (7) может распадаться на прямую и конику гиперболического типа.

Доказательство. Представим уравнение (7) в виде $(a_1v_1 + a_2v_2 + a_3)(b_1v_1^2 + b_2v_1v_2 + b_3v_2^2 + b_4v_1 + b_5v_2 + b_6) = 0$. Для нахождения a_p, b_i имеем систему уравнений $a_1b_1 = 3, a_1b_2 + a_2b_1 = -9, a_1b_3 + a_2b_2 = -9, a_2b_3 = 3, a_1b_4 + a_3b_1 = -9t, a_1b_5 + a_2b_4 + a_3b_2 = 72t, a_2b_5 + a_3b_3 = -9t, a_1b_6 + a_3b_4 = -9t^2, a_2b_6 + a_3b_5 = -9t^2, a_3b_6 = 3t^3 - 2\sum_{p < q} c_p^2 + 20\sum_{p < q} c_p c_q$. Из уравнения $a_1b_1 = 3$ находим $a_1 \neq 0$. Можно положить $a_1 = 1$; тогда

$$a_2 = 1, a_3 = -5t, b_1 = 3, b_2 = -12, b_3 = 3, b_4 = 6t, b_5 = 6t, b_6 = 21t^2, \text{ если } t^3 = \frac{\sum_{p < q} c_p^2 - 10\sum_{p < q} c_p c_q}{54}.$$

При этом (7) можно записать так: $(v_1 + v_2 - 5t)(3v_1^2 - 12v_1v_2 + 3v_2^2 + 6tv_1 + 6tv_2 + 21t^2) = 0$.

Уравнение $3v_1^2 - 12v_1v_2 + 3v_2^3 + 6tv_1 + 6tv_2 + 21t^2 = 0$ задает при $t \neq 0$ гиперболу. Действительно, инварианты левой части уравнения такие: $\delta = -27, \Delta = -729t^2$. Если $t = 0$, то указанное уравнение задает две пересекающиеся прямые. Лемма доказана.

Лемма 7. Кривая (7) является раскинутой гиперболой, причем состоит либо из трех гиперболических ветвей, либо представляет собой две гиперболические ветви и одну прямолинейную ветвь, либо – три гиперболические ветви, одна из которых имеет узловую точку.

Доказательство. Для определения типа этой кривой рассмотрим уравнение $v_1^3 + v_2^3 - 3v_1^2v_2 - 3v_1v_2^2 = 0$ относительно $\frac{v_2}{v_1}$. Это уравнение имеет корни $-1, 2 \pm \sqrt{3}$. Это означает, что кривая (7) относится к типу раскинутых гипербол [6].

Найдем особые точки кривой (7). Из уравнений $\frac{\partial F(v_1, v_2)}{\partial v_1} = 0, \frac{\partial F(v_1, v_2)}{\partial v_2} = 0$, где $F(v_1, v_2)$ – левая часть (7), получим $v_1^2 - v_2^2 - 2v_1v_2 - -2tv_1 + 8tv_2 - t^2 = 0, v_1^2 - v_2^2 + 2v_1v_2 - -8tv_1 + 2tv_2 + t^2 = 0$. Решение этой системы $v_1 = v_2 = \frac{t}{2}(3 \pm \sqrt{7})$. Подставив найденное значение в уравнение (7), получим условие, при котором точка (v_1, v_2) будет особой :

$$t^3 = \frac{19 \mp 7\sqrt{7}}{27} \left(\sum c_p^2 - 10 \sum_{p < q} c_p c_q \right)$$

Найдем значение $H = \left(\frac{\partial^2 F}{\partial v_1 \partial v_2} \right)^2 - \frac{\partial^2 F}{\partial v_1^2} \frac{\partial^2 F}{\partial v_2^2}$ в указанных особых точках. Функция

$H = 324t^2(7 \mp 2\sqrt{7})$. При $t \neq 0$ имеем $H > 0$, точка $v_1 = v_2 = \frac{t}{2}(3 \pm \sqrt{7})$ узловая. Если $t = 0$, то

$\sum c_p^2 - 10 \sum_{p < q} c_p c_q = 0$. Из леммы 6 получаем, что в этом случае кривая (7) распадается на три прямые.

С помощью аффинного преобразования $(v_1, v_2) \mapsto (-x + \frac{1}{6}y + \frac{5}{2}t, -x - \frac{1}{6}y + \frac{5}{2}t)$ приведем уравнение (7) к виду $xy^2 = 12x^3 - 36tx^2 - 27t^2x + 108t^3 - 2 \sum c_p^2 + 20 \sum_{p < q} c_p c_q$. Основные формы

кривых этой группы определяются видом корней вспомогательного уравнения

$$12x^4 - 36tx^3 - 27t^2x^2 + (108t^3 - 2 \sum c_p^2 + 20 \sum_{p < q} c_p c_q)x = 0.$$

Итак, кривая (7) является расходящейся гиперболой, причем: 1) если $-343t^6 + \left(19t^3 + \frac{1}{3}(-2\sum c_p^2 + \sum_{p<q} c_p c_q)\right)^2 > 0$, то кривая состоит из трех гиперболических ветвей; 2) если

$-343t^6 + \left(19t^3 + \frac{1}{3}(-2\sum c_p^2 + \sum_{p<q} c_p c_q)\right)^2 < 0$, то кривая представляет собой две гиперболические ветви и одну прямолинейную;

3) если $t \neq 0$ и $t^3 = \frac{19 \mp 7\sqrt{7}}{27} \left(\sum c_p^2 - 10\sum_{p<q} c_p c_q\right)$, то кривая состоит из трех гиперболических ветвей, одна из которых имеет узловую точку. Лемма доказана.

Таким образом, имеет место

Теорема 2. Особое подмногообразие, определяемое инвариантом I_6 , в пространстве R^6 состоит из вещественных точек, лежащих на рациональной кубической поверхности M_3 с одной двойной точкой. Поверхность M_3 устроена так: 2- плоскости $u_3 = c, v_p = t_p, p = 1,2,3$, пересекают M_3 по коникам гиперболического типа; в 2-плоскостях $u_k = c_k, v_k = t_k, k = 2,3$, могут находиться расходящиеся параболы всех типов, а 2- плоскости $u_p = c_p, v_3 = t$ пересекают M_3 либо по раскнутым гиперболам трех видов, либо по кривой, распадающейся на прямую и конику гиперболического типа.

Литература.

1. Flatto L. Invariants of finite reflection groups //Enseign. math. - 1978 - V. 24, - N3-4, - P. 234-292.
2. Игнатенко В.Ф. Некоторые вопросы геометрической теории инвариантов групп, порожденных ортогональными и косыми отражениями //Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР. Пробл. геометрии – 1984. - Т.16. - С.195-229.
3. Игнатенко В.Ф. Геометрия алгебраических поверхностей с симметриями //Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР. Пробл. геометрии. - 1980. - Т. 11. - С. 203-240.
4. Розенфельд Б.А. Многомерные пространства. - М.: Наука, 1966. - 648с.
5. Шафаревич И.Р. Основы алгебраической геометрии. - М.: Наука, 1972. -568 с.
6. Савелов А.А. Плоские кривые. - М.: Физматгиз, 1960. - 296 с.
7. Борисенко О.А. Диференціальна геометрія і топологія. – Х.: Основа, 1995. – 304 с.

АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ТРЕХМЕРНОЙ ЗАДАЧЕ КИРША

Королев К. А., аспирант

Локальное возмущение одноосного напряженного состояния поперечным круговым отверстием исследовано Киршем [1] в двумерной постановке. В трехмерной постановке она изучалась в работах Гринченко В. Т. и Улитко А. Ф. [2,3], Космодамианского А. С. и Шалдырвана В. А. [4].

Трехмерная краевая задача об одноосном растяжении слоя с поперечным круговым цилиндрическим отверстием имеет точное аналитическое решение в частном случае нулевого коэффициента Пуассона ν . Оно совпадает с решением плоской задачи Кирша при $\nu = 0$. Поле смещений в общем случае ($\nu \neq 0$) представляется суммой решения задачи Кирша для обобщенного плоского напряженного состояния и дополнительных смещений пропорциональных коэффициенту Пуассона.

$$\begin{aligned} \frac{4G}{\sigma} \frac{u}{\rho_0} &= \frac{1-\nu}{1+\nu} r + \frac{1}{r} + \left(r + \frac{4}{r} (1-\nu) - \frac{1}{r^3} + \nu f_u \right) \cos(2\theta), \\ \frac{4G}{\sigma} \frac{v}{\rho_0} &= \left(-r - \frac{2}{r} (1-2\nu) - \frac{1}{r^3} + \nu f_v \right) \sin(2\theta), \\ \frac{4G}{\sigma} \frac{w}{\rho_0} &= -\frac{2\nu}{1+\nu} z + \nu f_w \cos(2\theta). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь u, v, w — составляющие вектора смещения в цилиндрических координатах (r, θ, z) ; ρ_0 — радиус отверстия; G — модуль сдвига; σ — растягивающее напряжение.

Граничные условия на цилиндрической поверхности:

$$g_{rr}|_{r=1} = 0, \quad g_{r\theta}|_{r=1} = 0, \quad g_{rz}|_{r=1} = 0 \quad (2)$$

Граничные условия на лицевых плоскостях:

$$g_{zz}|_{z=\pm h} = \frac{4}{r^2}, \quad g_{\theta z}|_{z=\pm h} = 0, \quad g_{rz}|_{z=\pm h} = 0 \quad (3)$$

Согласно работе [3], дополнительные смещения f_u, f_v, f_w представляются в виде:

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{h}{4} \int_0^\infty x(\lambda) \left[z \sinh(\lambda z) + \left(\frac{1-2\nu}{\lambda} - h \coth(\lambda h) \right) \cosh(\lambda z) \right] \frac{\partial}{\partial r} N(\lambda, r) \frac{d\lambda}{\lambda \sinh(\lambda h)} + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \left\{ \left[\left(r + \frac{4}{\alpha_n^2 r} \right) K_2(\alpha_n r) - \left(2 \frac{1-\nu}{\alpha_n} + \frac{4 + \alpha_n^2}{\alpha_n} t_n^2 \right) K_2'(\alpha_n r) \right] \frac{P_n}{2\alpha_n K_2'(\alpha_n)} + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \left[t_n K_2'(\alpha_n r) - \frac{2}{\alpha_n r} K_2(\alpha_n r) \right] \frac{Q_n}{\alpha_n^3 K_2(\alpha_n)} \left\} \cos(\alpha_n z) + \nu P_0 \frac{1-\nu}{r} \right. \\
 f_v = & - \frac{h}{2r} \int_0^\infty x(\lambda) \left[z \sinh(\lambda z) + \left(\frac{1-2\nu}{\lambda} - h \coth(\lambda h) \right) \cosh(\lambda z) \right] N(\lambda, r) \frac{d\lambda}{\lambda \sinh(\lambda h)} + \\
 & + \sum_{n=1}^\infty (-1)^n \left\{ \left[\left(2 \frac{1-\nu}{\alpha_n} + \frac{4+\alpha_n^2}{\alpha_n} t_n^2 \right) \frac{1}{r} K_2(\alpha_n r) - K_2'(\alpha_n r) \right] \frac{P_n}{\alpha_n^2 K_2'(\alpha_n)} + \right. \\
 & + \left. \left[K_2'(\alpha_n r) - \frac{2t_n}{\alpha_n r} K_2(\alpha_n r) \right] \frac{Q_n}{\alpha_n^3 K_2(\alpha_n)} \right\} \cos(\alpha_n z) - \nu P_0 \frac{1-2\nu}{2r} \\
 f_w = & \frac{h}{4} \int_0^\infty x(\lambda) \left[z \cosh(\lambda z) - \left(2 \frac{1-\nu}{\lambda} + h \coth(\lambda h) \right) \sinh(\lambda z) \right] N(\lambda, r) \frac{d\lambda}{\sinh(\lambda h)} + \\
 & + \sum_{n=1}^\infty (-1)^n \left\{ \left[\left(2 \frac{\nu-1}{\alpha_n} + \frac{4+\alpha_n^2}{\alpha_n} t_n \right) K_2(\alpha_n r) - r K_2'(\alpha_n r) \right] \frac{P_n}{2\alpha_n K_2'(\alpha_n)} - \right. \\
 & \left. - t_n K_2(\alpha_n r) \frac{Q_n}{\alpha_n^3 K_2(\alpha_n)} \right\} \sin(\alpha_n z)
 \end{aligned} \tag{4}$$

где $x(\lambda)$ — неизвестная плотность; P_n, Q_n — произвольные постоянные; $\alpha_n = n\pi/h$;

$$N(\lambda, r) = \frac{2}{\pi\lambda} \frac{J_2(\lambda r) Y_2'(\lambda) - Y_2(\lambda r) J_2'(\lambda)}{\left[Y_2'(\lambda) \right]^2 + \left[J_2'(\lambda) \right]^2}, \tag{5}$$

$t_n = \alpha_n^{-1} K_2(\alpha_n)/K_2'(\alpha_n)$; $K_2(\lambda), J_2(\lambda), Y_2(\lambda)$ - цилиндрические функции.

По методу, описанному в работах [2,3] для определения функции $x(\lambda)$ и постоянных P_n, Q_n из граничных условий получена бесконечная система линейных интегральных уравнений:

$$a_1(\alpha_n) P_n + b_1(\alpha_n) Q_n - \alpha_n^2 \int_0^\infty x(\lambda) \frac{N(\lambda, 1)}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} \lambda d\lambda = 0, \quad (n \in \mathbb{N})$$

$$P_0 + 2 \int_0^\infty x(\lambda) N(\lambda, 1) \frac{d\lambda}{\lambda^3} = 0 \tag{6}$$

$$a_1(\alpha_n) P_n + b_1(\alpha_n) Q_n + 2\alpha_n^2 \int_0^\infty x(\lambda) \frac{N(\lambda, 1)}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} \frac{d\lambda}{\lambda} - 2\nu \int_0^\infty x(\lambda) \frac{N(\lambda, 1)}{\alpha_n^2 + \lambda^2} \frac{d\lambda}{\lambda} = 0, \quad (n \in \mathbb{N})$$

$$x(\lambda) \left[\operatorname{cth}(\lambda h) + \frac{\lambda h}{\operatorname{sh}^2(\lambda h)} \right] = \frac{4}{h} \sum_{n=1}^\infty \left(\frac{\lambda^3 P_n}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} + \frac{\lambda Q_n}{\alpha_n^2 (\alpha_n^2 + \lambda^2)} \right) - 8 \frac{\nu^2 P_0 + 4}{\lambda h} \tag{7}$$

$$\text{Здесь } a_1(\alpha_n) = \frac{1}{2} - 3 \frac{1-\nu}{\alpha_n^2} - \frac{\alpha_n^2 + 4}{2} t_n^2, \quad b_1(\alpha_n) = \frac{t_n - 1}{\alpha_n^2} - \frac{3}{\alpha_n^4}$$

$$a_2(\alpha_n) = \frac{1}{\alpha_n^2} \left[\beta - 2\nu - 2(1-\nu)t_n - (\alpha_n^2 + 4)t_n^2 \right] \quad b_2(\alpha_n) = \frac{1}{\alpha_n^4} \left[\frac{1}{2} \alpha_n^2 + 2 + 2t_n - \frac{1}{t_n} \right]$$

Система уравнений (6),(7) представляет собой бесконечную систему интегральных уравнений.

В работах [2,3] доказаны предельные свойства неизвестных:

$$\exists \lim_{\lambda \rightarrow \infty} x(\lambda) = P; \quad \exists \lim_{n \rightarrow \infty} P_n = P \neq 0 \quad (8)$$

Поскольку предельное значение функции $x(\lambda)$ с допусаемой погрешностью достигается начиная с некоторого значения $\lambda = T$, то можно упростить вычисление несобственных интегралов в

$$(6). \text{ Например, } \int_0^{\infty} \frac{N(\lambda,1)}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} x(\lambda) \lambda d\lambda = \int_0^T \frac{N(\lambda,1)}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} (x(\lambda) - P) \lambda d\lambda + P \int_0^{\infty} \frac{N(\lambda,1)}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} \lambda d\lambda. \quad (9)$$

Оставшийся несобственный интеграл можно вычислить аналитически. Аналогично, в выражении для неизвестной функции $x(\lambda)$ (7), все бесконечные суммы приводятся к конечным, и система (6), (7) преобразуется к виду:

$$a_1(\alpha_n)P_n + b_1(\alpha_n)Q_n - \alpha_n^2 \int_0^T (x(\lambda) - P) \frac{N(\lambda,1)}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} \lambda d\lambda + \left(\frac{4 + \alpha_n^2}{2} t_n^2 - \frac{1}{2} \right) P = 0, \quad (n \in \mathbb{N})$$

$$P_0 + 2 \int_0^T x(\lambda) N(\lambda,1) \frac{d\lambda}{\lambda^3} + \frac{1}{4} P = 0 \quad (10)$$

$$a_1(\alpha_n)P_n + b_1(\alpha_n)Q_n + \left(2t_n \frac{1-\nu}{\alpha_n^2} + \frac{4 + \alpha_n^2}{\alpha_n^2} t_n^2 - \frac{\nu}{\alpha_n^2} \right) P +$$

$$+ 2\alpha_n^2 \int_0^T x(\lambda) \frac{N(\lambda,1)}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} \frac{d\lambda}{\lambda} - 2\nu \int_0^T x(\lambda) \frac{N(\lambda,1)}{\alpha_n^2 + \lambda^2} \frac{d\lambda}{\lambda} = 0$$

$$x(\lambda) \left[cth(\lambda h) + \frac{\lambda h}{sh^2(\lambda h)} \right] = \frac{4\lambda^3}{h} \sum_{n=1}^{K-1} \frac{P_n - P}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} + \frac{4\lambda}{h} \sum_{n=1}^{N-1} \frac{Q_n - Q}{\alpha_n^2 (\alpha_n^2 + \lambda^2)} +$$

$$+ \left[cth(\lambda h) + \frac{\lambda h}{sh^2(\lambda h)} - \frac{2}{\lambda h} \right] P - \frac{2}{\lambda^2} \left[cth(\lambda h) + \frac{\lambda h}{3} - \frac{1}{\lambda h} \right] Q - \frac{8}{\lambda h} (4 + \nu^2 P_0) \quad (11)$$

Полученная система может решаться на ЭВМ методом последовательных приближений. На каждом шаге метода необходимо численно вычислять значения $4 \cdot N$ интегралов на интервале $[0, T]$ Дополнительными преобразованиями интегральных выражений можно увеличить точность и скорость вычислений. Для этого приближенно заменим множитель $\left[cth(\lambda h) + \frac{\lambda h}{sh^2(\lambda h)} \right]$ в уравнении

(7) на единицу, начиная с $\lambda = t_0$.

При этом интеграл
$$\int_{t_0}^T \frac{N(\lambda,1)}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} (x(\lambda) - P) \lambda d\lambda$$

можно вычислить аналитически и остается необходимость численного интегрирования одного интеграла:

$$\int_0^{t_0} \frac{N(\lambda,1)}{(\alpha_n^2 + \lambda^2)^2} (x(\lambda) - P) \lambda d\lambda.$$

Аналогично преобразуются все интегралы в системе (10).

При вычислении функций Бесселя используется метод, основанный на разложении их по многочленам Чебышева [5]. В отличие от разложения по степеням переменной, такой подход обеспечивает высокую точность при небольшом количестве слагаемых и хранимых констант.

Для вычисления функций Бесселя, представленных разложением по полиномам Чебышева используется схема Кленшо [5].

Из (1), (4) получены выражения компонент поля смещений на верхней лицевой плоскости ($z=h$). Посредством выделения особенностей на основании предельных равенств (8) эти выражения приведены к следующему виду:

$$\begin{aligned} \left. \frac{4G u^1}{\sigma H} \right|_{z=h} &= \frac{1}{h} \left(\frac{1-\nu}{1+\nu} r + \frac{1}{r} \right) + \frac{1}{h} \left\{ r + (1-\nu) \frac{4+\nu^2 P_0}{r} - \frac{1}{r^3} + \right. \\ &+ \nu \sum_{n=1}^{N-1} \left[\left(r + \frac{4}{\alpha_n^2 r} \right) K_2(\alpha_n r) - \left(2 \frac{1-\nu}{\alpha_n} + \frac{4+\alpha_n^2 t_n^2}{\alpha_n} \right) K_2'(\alpha_n r) \right] \frac{P_n - P}{2\alpha_n K_2'(\alpha_n)} + \\ &+ \nu \sum_{m=1}^{\infty} \left[t_m K_2'(\alpha_m r) - \frac{2}{\alpha_m r} K_2(\alpha_m r) \right] \frac{Q_m}{\alpha_m^3 K_2(\alpha_m)} - \nu h^2 \frac{1-\nu}{6r^3} P + \\ &+ \frac{h}{4} \int_0^T (x(\lambda) - P) \left[(1-2\nu) \coth(\lambda h) - \frac{\lambda h}{\sinh^2(\lambda h)} \right] \frac{\partial}{\partial r} N(\lambda, r) \frac{d\lambda}{\lambda^2} \Bigg\} \cos(2\theta) \\ \left. \frac{4G v^1}{\sigma H} \right|_{z=h} &= \frac{1}{h} \left\{ -r - (1-2\nu) \frac{4+\nu^2 P_0}{2r} - \frac{1}{r^3} + \nu P \left(\frac{\nu}{8r} - h^2 \frac{1-\nu}{6r^3} \right) + \right. \\ &+ \nu \sum_{n=1}^{N-1} \left[\left(2 \frac{1-\nu}{\alpha_n} + \frac{4+\alpha_n^2 t_n^2}{\alpha_n} \right) \frac{1}{r} K_2(\alpha_n r) - K_2'(\alpha_n r) \right] \frac{P_n - P}{\alpha_n^2 K_2'(\alpha_n)} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{vh}{2r} \int_0^{\tau} (x(\lambda) - P) \left[(1 - 2v) \coth(\lambda h) - \frac{\lambda h}{\sinh^2(\lambda h)} \right] N(\lambda, r) \frac{d\lambda}{\lambda \sinh(\lambda h)} + \\
 & + v \sum_{n=1}^{\infty} \left[K_2'(\alpha_n r) - \frac{2t_n}{\alpha_n r} K_2(\alpha_n r) \right] \frac{Q_n}{\alpha_n^3 K_2(\alpha_n)} \Bigg\} \sin(2\theta) \\
 & \frac{4G}{\sigma} \frac{w^1}{H} \Bigg|_{z=h} = v(1 - v^2) \left(\int_0^{\tau} (P - x(\lambda)) N(\lambda, r) \frac{d\lambda}{\lambda} - \frac{2}{2r^2} P \right) \cos(2\theta)
 \end{aligned}$$

Здесь все бесконечные интегралы и суммы сведены к конечным, за исключением рядов с Q_n . Для улучшения сходимости подвергнем эти ряды дополнительным преобразованиям.

Чтобы оценить порядок сходимости оставшихся здесь бесконечных рядов, воспользуемся асимптотическими формулами [6] для функций Макдональда при больших значениях аргумента:

$$K_2(x) = e^{-x} \sqrt{\frac{\pi}{2x}} \left(1 + \frac{15}{8x} + O(x^{-2}) \right), \quad K_2'(x) = -e^{-x} \sqrt{\frac{\pi}{2x}} \left(1 + \frac{19}{8x} + O(x^{-2}) \right).$$

Из этих формул следует, что при больших значениях n все члены бесконечных рядов убывают как n^{-4} , кроме первой половины бесконечного ряда в выражении для v^1 , которая убывает, как n^{-3} . Для обеспечения 5 точных десятичных цифр в суммах рядов, общий член которых убывает как n^{-4} , достаточно ограничиться их первыми 20 членами. Часть ряда с членами порядка n^{-3} представим в виде:

$$\sum_{n=1}^{\infty} K_2'(\alpha_n r) \frac{Q_n}{\alpha_n^3 K_2(\alpha_n)} = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{K_2'(\alpha_n r)}{K_2(\alpha_n)} + \frac{e^{-\alpha_n(r-1)}}{\sqrt{r}} \right) \frac{Q_n}{\alpha_n^3} - \frac{1}{\sqrt{r}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_n(r-1)}}{\alpha_n^3} Q_n.$$

В первом из рядов справа порядок убывания членов n^{-4} , и можно ограничиться 20 первыми членами. Последний справа ряд подвергнем еще одному преобразованию.

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_n(r-1)}}{\alpha_n^3} Q_n = \sum_{n=1}^{K-1} \frac{e^{-\alpha_n(r-1)}}{\alpha_n^3} (Q_n - Q) + Q \frac{h^3}{\pi^3} F_3 \left(\frac{\pi}{h} (r-1) \right),$$

где
$$F_3(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-nx}}{n^3}, \quad \left(x = (r-1) \frac{\pi}{h} \right)$$

Если $x \geq 1/4$, функцию $F_3(x)$ можно вычислить с точностью до 5 десятичных цифр, ограничиваясь первыми 20 членами ряда. Не меньшую точность вычислений обеспечим и на интервале $[0, 1/4]$, если переразложим $F_3(x)$ по полиномам Чебышева [7]. Получаем представление:

$$F_3(x) = \sum_{n=0}^{N_1} (-1)^n b_n T_n(8x-1), \quad x \in [0, 1/4]$$

Коэффициенты b_n представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

n	b_n	n	b_n
0	0.1033240864E1	10	0.9949796379E-6
1	0.1590864775	11	0.6172740028E-6
2	0.8792956562E-2	12	0.4026444445E-6
3	0.7414108695E-3	13	0.2753672309E-6
4	0.130106306E-3	14	0.1977236043E-6
5	0.3720659E-4	15	0.1499395458E-6
6	0.1395561911E-4	16	0.1213076125E-6
7	0.6205764356E-5	17	0.106031318E-6
8	0.310638542E-5	18	0.1012301111E-6
9	0.1698246022E-5		

Изучим напряженное состояние одноосно растягиваемого слоя в зависимости от значений относительной полутолщины отверстия $h = H/\rho_0$ и коэффициента Пуассона ν .

Наибольший интерес в рассматриваемой задаче представляет исследование величины и характера распределения по толщине напряжений $\sigma_{\theta\theta}$ при $\theta = 0$ на поверхности отверстия. Данные для расчетных случаев $h = \{1/4, 1/2, 1, 2, 4\}$ приведены в Таблице 2. Они хорошо согласуются с результатами, полученными В.Т. Гринченко [3].

Таблица 2

H	z/h										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1/4	3.0259	3.0253	3.0235	3.0205	3.0162	3.0105	3.0034	2.9947	2.9842	2.9717	2.9591
1/2	3.0643	3.0632	3.0596	3.0533	3.0442	3.0317	3.0151	2.9935	2.9655	2.9293	2.88
1	3.0997	3.0987	3.0954	3.0896	3.0801	3.0657	3.0440	3.0114	2.9620	2.8859	2.762
2	3.0824	3.0824	3.0825	3.0823	3.081	3.077	3.0674	3.0463	3.0007	2.9012	2.66
4	3.0391	3.0396	3.0411	3.0437	3.0472	3.0514	3.0554	3.056	3.0423	2.9717	2.62

В случае фиксированной относительной полутолщины отверстия $h=1/4$, и значений коэффициента Пуассона $\nu = \{1/4, 1/3, 1/2\}$, компонента $\sigma_{\theta\theta}$ принимала следующие значения:

Таблица 3

v	z/h										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1/4	3.0997	3.0987	3.0954	3.0896	3.0801	3.0657	3.044	3.0114	2.962	2.8859	2.762
1/3	3.1546	3.153	3.1481	3.1391	3.1248	3.1031	3.0708	3.023	2.9515	2.8429	2.670
1/2	3.2988	3.2957	3.2862	3.2691	3.2422	3.202	3.1432	3.0577	2.933	2.7486	2.464

На рис. 1-6 представлено поведение компонент $\{u, v, w\}$ вектора смещения на верхней лицевой поверхности $z=h$ в зависимости от расстояния $r = \rho/\rho_0$ до границы отверстия. При этом полагалось, что угол $\theta = 0$ для компонент $\{u, w\}$ и $\theta = \pi/4$ для компоненты v . Из рисунков 1-6 видно, что по сравнению с решением двумерной задачи Кирша возмущение поля смещений имеет

локальный характер и возрастает по модулю с уменьшением толщины плиты. Подобным же образом зависят компоненты вектора смещения и от значения коэффициента Пуассона ν . Возмущение компонент поля смещений $\{u, v\}$ возрастает (рис.4-5), а компоненты w - убывает (рис.6) с уменьшением значения коэффициента Пуассона.

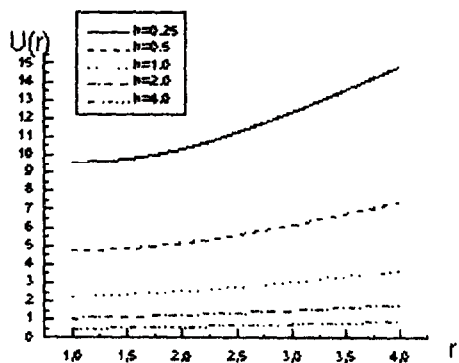


Рис. 1.

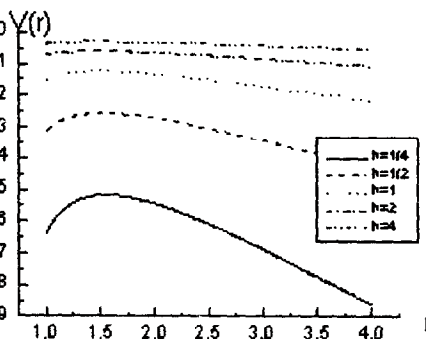


Рис. 2.

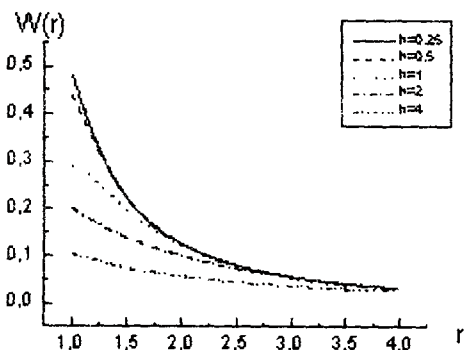


Рис. 3.

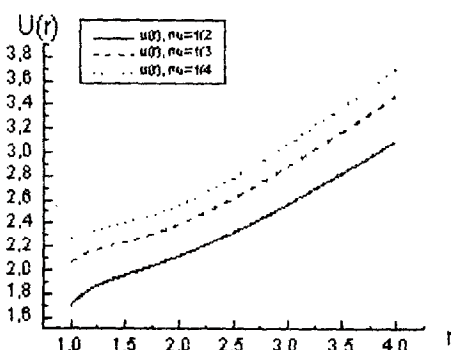


Рис. 4.

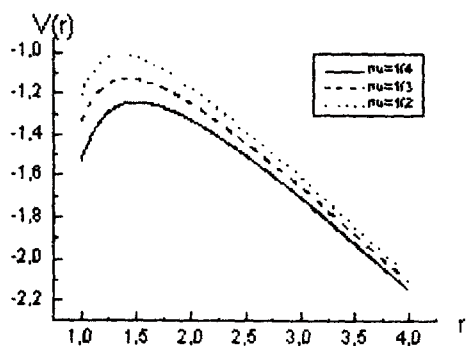


Рис. 5.

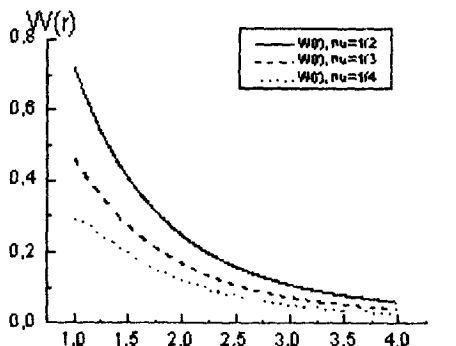


Рис. 6.

Результаты проведенного исследования могут быть использованы при оценке остаточных напряжений в окрестности сварных швов методом сверления отверстий [8, с.287].

Литература.

1. Kirsch G., Die Theorie der Elastizität und die Bedürfnisse der Festigkeitslehre. -Z.VDI, 1898.
2. Гринченко В.Т., Улитко А.Ф., Точное решение задачи Кирша. Прикл. механика, 1970, 6, вып.5, с.10-17
3. Гринченко В.Т., Равновесие и установившиеся колебания упругих тел конечных размеров. Киев: Наукова думка, 1978. 264с.
4. Космодамианский А.С., Шалдырван В.А., Толстые многосвязные пластины. Киев: Наукова думка, 1978. 240с.
5. Люк Ю., Специальные математические функции и их аппроксимации. М: Мир, 1980. 608с.
6. Градштейн И.С., Рыжик И.М., Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М., , Физматгиз, 1962., 1100 с.
7. Ланцош К., Практические методы прикладного анализа. М: Физматгиз, 1961. 524с.
8. Экспериментальная механика: Т.2 / Под ред. Кабаяси А. М: Мир, 1990. 552с.

ВОЛНОВЫЕ ОПЕРАТОРЫ ОДНОГО КЛАССА НЕСАМОСОПРЯЖЕННЫХ ОПЕРАТОРОВ

Москалева Ю. П., ассистент

В различных областях физики часто возникает необходимость решения задач теории рассеяния. Основным результатом настоящей статьи является описание волновых операторов одного класса несамосопряженных операторов, а именно — диссипативных, вообще говоря, неограниченных операторов класса K^r без невещественного спектра и существенной особенности в бесконечности.

Замкнутый оператор A со всюду плотной в H областью определения $D(A)$ называется K^r -оператором, если $A|L$ — эрмитов оператор с индексом дефекта (r, r) и $\rho(A) \neq \emptyset$. При этом область эрмитовости определяется следующим образом

$$L = \{f \in D(A) | (Af, g) = (f, Ag), \forall g \in D(A)\}.$$

Характеристической матрицей-функцией диссипативного K^r -оператора называется матрица-функция $W_A(\lambda)$, удовлетворяющая равенству

$$W_A(-i)W_A(\lambda) = I - i(\lambda - i) \left\| ((A + iI)(A - \lambda I)^{-1} g_k, g_\alpha) \right\|,$$

где $W_A(-i)$ — неотрицательная матрица, а $\{g_\alpha\}_{\alpha=1}^r$ — α -базис. В свою очередь, система векторов $\{g_\alpha\}_{\alpha=1}^r$ называется α -базисом оператора A , если для вспомогательного оператора

$$B = iR_{-i} - iR_{-i}^* - 2R_{-i}R_{-i}^*$$

имеет место представление

$$Bf = \sum_{k, \alpha=1}^r (f, g_k) g_\alpha.$$

В случае, когда диссипативный K^r -оператор является оператором без невещественного спектра и существенной особенности в бесконечности, его характеристическая матрица-функция $W_A(\lambda)$ имеет следующее мультипликативное представление

$$W_A(\lambda) = U \times \int_0^I \exp \left[-i \frac{1 + \lambda \alpha(t)}{\alpha(t) - \lambda} p^2(t) dt \right] \times U^*,$$

где U — унитарная матрица; $p(t)$ — эрмитова матрица, такая что $\text{Sp } p^2(t) \equiv 1$.

Почти для всех $\sigma \in [0, I]$, при условии суммируемости матрицы-функции

$$B^2(t) = \frac{\alpha^2(t) + 1}{\alpha'(t)} p^2(t)$$

ушествуют предельные значения характеристической матрицы-функции

$$W^{\pm}(\sigma) = s\text{-}\lim_{\tau \rightarrow +0} W(\lambda), \quad \lambda = \sigma \pm i\tau,$$

и имеют место формулы

$$W^{\pm}(\sigma) = s\text{-}\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_0^{\gamma(\sigma-\varepsilon)} \exp\left(-i \frac{1+\sigma\alpha(t)}{\alpha(t)-\sigma} p^2(t) dt\right) \times \\ \times \exp\left(\pm \pi B^2(\gamma(\sigma))\right) \times \int_{\gamma(\sigma+\varepsilon)}^l \exp\left(-i \frac{1+\lambda\alpha(t)}{\alpha(t)-\lambda} p^2(t) dt\right).$$

Рассмотрим треугольную модель диссипативного K^r -оператора без незначительного спектра и существенной особенности в бесконечности [1].

$$A^r f = \alpha(x) f(x) + i \int_0^x f(t) \sigma(t) dt \sigma^*(x), \quad f \in L_r^2(0, l),$$

где $\sigma(x) = (\alpha(x) + i) p(x) w(x)$, $w(x) = \int_0^x \exp(-i\alpha(t) p^2(t) dt)$.

Преобразование Кэли $T^r = I - 2i R_{-i}(A^r)$ является неунитарным определенным на всем пространстве ограниченным оператором.

Определим для неунитарного ограниченно обратимого оператора T характеристическую матрицу-функцию $w_T(\mu)$ следующим равенством:

$$w_T(0) w_T(\mu) = I - \left\| ((I - \mu T)^{-1} \gamma_k, \gamma_\alpha) \right\|, \text{ где } w_T(0) \text{ — неотрицательная матрица, } \{\gamma_\alpha\}_{\alpha=1}^r \text{ —}$$

система канальных векторов оператора T .

Система векторов $\{\gamma_\alpha\}_{\alpha=1}^r$ называется канальной для оператора T , если имеет место равенство

$$(I - T^* T) f = \sum_{k, \alpha=1}^r (f, \gamma_k) \gamma_\alpha.$$

Матричное равенство

$$I - i(\lambda - i) \left\| ((A + iI)(A - \lambda I)^{-1} g_k, g_\alpha) \right\| = I - 2 \left\| ((I - \mu T)^{-1} g_k, g_\alpha) \right\|,$$

где $\mu = \frac{\lambda + i}{\lambda - i}$ и равенство

$$\begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \mathbf{K} \\ \gamma_r \end{pmatrix} = \sqrt{2} w_T^r(0) \begin{pmatrix} T^{-1} g_1 \\ T^{-1} g_2 \\ \mathbf{K} \\ T^{-1} g_r \end{pmatrix},$$

устанавливающее связь между α -базисом $\{g_\alpha\}_{\alpha=1}^{\Gamma}$ оператора A и системой канальных векторов $\{y_\alpha\}_{\alpha=1}^{\Gamma}$ оператора T , позволяют получить равенство

$$w_T(\mu) = W_A(\lambda).$$

В работе [2] определяется класс операторов E_1 , класс неунитарных ограниченно обратимых операторов, подобных некоторому унитарному оператору с абсолютно непрерывным спектром, для которых существуют вместе с обратными операторы

$$W_{\pm}(T^{*-1}, T) = s\text{-}\lim_{t \rightarrow \pm\infty} T^{*'} T^t.$$

Оператор T преобразования Кэли треугольной модели диссипативного оператора класса K' без невещественного спектра и существенной особенности в бесконечности подобен оператору $U = (Q - i)/(Q + i)$, где оператор Q — это оператор умножения на $\alpha(\sigma)$ [3]. Это позволяет говорить о существовании пределов

$$W_{\pm} = s\text{-}\lim_{t \rightarrow \pm\infty} (I + 2iR_{-t}^*)'(I - 2iR_{-t})',$$

которые выписываются в терминах предельных значений матрицы-функции $w_T\left(\frac{\lambda + i}{\lambda - i}\right)$, что с учетом равенства характеристических функций $w_T(\mu)$ и $W_A(\lambda)$ означает, что волновые операторы

$$s\text{-}\lim_{t \rightarrow \pm\infty} (I + 2iR_{-t}^*)'(I - 2iR_{-t})'$$

можно выписать с учетом приведенных выше предельных значений характеристической матрицы-функции оператора класса K'

$$W_{\pm} = K^{1/2} V_{\pm} K^{1/2}, \quad Kf = f(x)L(x) + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{F(t)F(x)}{x-t} dt, \quad f \in L^2_r(-\infty, +\infty),$$

$$V_{\pm}(x) = L(x) m \frac{1}{2} F^2(x), \quad F(x) = (R(x) - R^{-1}(x))^{1/2},$$

$$L(x) = I + \frac{1}{2} F(x)(R(x) - I)(R(x) + I)^{-1} F(x).$$

$R^{\pm 1}(x)$ — положительные компоненты полярного представления $W^{\pm}(\sigma)$ — предельных значений характеристической матрицы-функции оператора класса K' . Формулы для $R^{\pm 1}$ в терминах мультипликативного представления имеют вид

$$R^{\pm 1}(x) = \left[W^{\pm}(x) W^{\pm}(x)^* \right]^{1/2} = s\text{-}\lim_{\varepsilon \rightarrow +0} \left[\int_0^{\gamma(x-\varepsilon)} \exp\left(-i \frac{1+x\alpha(t)}{\alpha(t)-x} p^2(t) dt\right) \right] \times \\ \times \exp\left(\pm \pi B^r(\gamma(x))\right) \times \left[\int_0^{\gamma(x-\varepsilon)} \exp\left(-i \frac{1+x\alpha(t)}{\alpha(t)-x} p^2(t) dt\right) \right]^{-1}.$$

Литература.

1. А. В. Кужель О приведении неограниченных самосопряженных операторов треугольному виду. // Докл. АН СССР. — Т. 119, № 5. — 1958 г. — С. 868-871.
2. А. Л. Сахнович Операторы, подобные унитарным, с абсолютно непрерывным спектром.// Функц. анализ и его приложения. — Т. 2, вып. 1. — 1968 г. — С. 52-63.
3. Ю. П. Москалева К вопросу о подобии несамосопряженных диссипативных операторов Труды Крымской осенней математической школы. Выпуск 4. — 1995 г. — С. 42-43.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ КРУЧЕНИИ СТЕРЖНЯ УГОЛКОВОГО СЕЧЕНИЯ

Папков С. О., аспирант

Рассматривается кручение стержня с сечением в виде равнобокого уголка (в ПДСК xOy : $\{0 \leq x \leq b, 0 \leq y \leq d\} \cup \{0 \leq x \leq d, 0 \leq y \leq b\}$; $d < b$). Решение данной задачи сводится [1] к решению следующей бесконечной системы линейных алгебраических уравнений:

$$x_k = \frac{k}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{x_n \Delta_n}{k^2 + n^2} + \beta_k, \quad k=1,2,3,\dots \quad (1).$$

Здесь, $\gamma = b/d$; $\Delta_n = \frac{2 \operatorname{sh} \pi n \operatorname{sh} \pi n (\gamma - 1)}{\operatorname{sh} \pi n \gamma}$;

$$\beta_k = \frac{2}{\pi^2} \cdot \frac{1}{k} - \frac{4 \operatorname{th} \frac{\pi k}{2}}{\pi^3 k^2} - \frac{16k}{\pi^4} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\operatorname{sh} \pi n}{n^2 (n^2 + k^2) \operatorname{sh} \pi n \gamma} - \frac{4}{\pi^3 k^2} \cdot \frac{1 + (-1)^{k+1}}{\operatorname{sh} \pi k}$$

Согласно [1], бесконечная система (1) имеет единственное ограниченное решение, которое оценивается следующим образом :

$$\frac{16}{\pi^3} \left[\frac{\pi}{8k} - \frac{1}{4k^2} + \frac{1}{2k^2(1 + e^{\pi k})} - \frac{k}{(1 + k^2)} \cdot \frac{\operatorname{sh} \pi}{\pi \operatorname{sh} \pi \gamma} \right] \leq x_k \leq 0.08856 - \frac{0.972}{\operatorname{sh} \pi \gamma}, \quad (k \geq 4). \quad (2).$$

При кручении стержня данного профиля касательные напряжения во внутренней угловой точке (d,d) стремятся к бесконечности [2] как $c_0 r^{-1/3}$, при $r \rightarrow 0$ ($r = ((x-d)^2 + (y-d)^2)^{1/2}$). Чтобы найти коэффициент c_0 , рассмотрим касательные напряжения τ_{xz} в области сечения $\{d \leq x \leq b, 0 \leq y \leq d\}$, в которой они задаются формулой:

$$\frac{\tau_{xz}}{G \Theta d \pi} = \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} x_k \cdot \cos \frac{k \pi y}{d} \cdot \frac{\operatorname{sh} k \pi \cdot \operatorname{sh} k \pi (\gamma - \frac{x}{d})}{\operatorname{sh} k \pi \gamma} + \frac{8}{\pi^3} \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\cos \frac{k \pi y}{d}}{k^2} \cdot \left(1 - \frac{\operatorname{sh} k \pi \frac{x}{d}}{\operatorname{sh} k \pi \gamma}\right), \quad (3).$$

При $x=d$ первый ряд в (3) сходится как ряд Фурье с общим членом порядка $O(x_k)$, поэтому здесь не удастся получить верхнюю оценку для касательных напряжений τ_{xz} , используя правую часть оценки (2). В связи с этим возникает вопрос об асимптотическом поведении решения системы (1).

С помощью замены переменных $x_k = y_k k^{-2/3}$ приведем бесконечную систему (1) к виду

$$y_k = \frac{k^{5/3}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Delta_n y_n n^{-2/3}}{n^2 + k^2} + k^{2/3} \beta_k, \quad (k=1,2,3,\dots) \quad (4)$$

Бесконечная система (6) остается регулярной ($\Delta_n \leq 1$):

$$\frac{k^{\frac{5}{3}}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Delta_n \cdot n^{-\frac{2}{3}}}{n^2 + k^2} < \frac{k^{\frac{5}{3}}}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{x^{-\frac{2}{3}} dx}{x^2 + k^2} \equiv 1$$

но не является вполне регулярной, то есть не существует такого $h > 0$, что $\rho_k \geq h$ ($k=1,2,3,\dots$). Здесь

$$\rho_k = 1 - \frac{k^{\frac{5}{3}}}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\Delta_n n^{-\frac{2}{3}}}{n^2 + k^2}$$

Применяя формулу суммирования Эйлера-Маклорена [5], получаем, что $\rho_k = A(\gamma)k^{-1/3} + O(k^{-4/3})$. Следовательно $\rho_k \rightarrow 0$ при $k \rightarrow \infty$. Функция $A=A(\gamma)$ изображена на рис. 1.

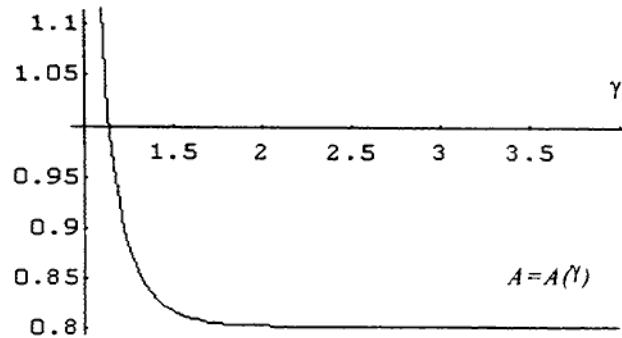


рис. 1.

Решение регулярной бесконечной системы (4) стремится к ненулевой константе при возрастании номера k . Доказать это, применяя результаты статьи [4], не удастся. Поэтому предлагается теорема, обобщающая достаточный признак [4] существования ненулевого предела главного решения неоднородной регулярной бесконечной системы

$$z_k = \sum_{n=1}^{\infty} c_{k,n} z_n + b_k, \quad (k=1,2,3,\dots), \quad (5)$$

с неотрицательными коэффициентами.

Теорема. Чтобы существовал положительный предел главного решения системы (5), кроме условия существования решения [3] ($\exists B > 0: \forall k \in \mathbb{N} \quad b_k \leq B \rho_k$ ($\rho_k = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} c_{k,n} > 0$)), достаточно выполнения двух дополнительных условий:

a) $\exists L \geq l > 0: \forall k, n \in \mathbb{N} (k < n) \quad l \xi_n \rho_k \leq c_{k,n} \leq L \xi_n \rho_k$, здесь $\xi_n > 0$, ($n=1,2,3,\dots$) и $\lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^N \xi_n = \infty$;

b) главное решение $\{z_k\}$ бесконечной системы является единственным ограниченным решением.

Здесь в оценках коэффициентов бесконечной системы появилась последовательность $\{\xi_n\}$.

Доказательство теоремы получается по схеме, предложенной в [4].

При $\gamma=1$ бесконечная система (1) вырождается, имея тривиальное решение $x_k \equiv b_k$, поэтому данная точка может быть исключена из рассмотрения. Для $\gamma > 1$ последовательность $\{\rho_k\}$ убывает как $O(k^{-1/3})$ с ростом k . Для дальнейших оценок используем, что при $\gamma \geq 1.01: 0.76 \leq \rho_k k^{1/3} \leq 3.6$ ($k=1,2,3,\dots$).

В бесконечной системе (4) последовательность свободных членов $\{b_k k^{2/3}\}$ оценивается сверху следующим образом: $b_k k^{2/3} \leq 2/\pi^2 k^{-1/3}$, ($k=1,2,3,\dots$), откуда следует, что $b_k k^{2/3}/\rho_k \leq 0.27$ (при $\gamma \geq 1.01$, $k=1,2,3,\dots$). Таким образом, бесконечная система (4) удовлетворяет условию существования решения при $\gamma > 1$. При $n < k$ для коэффициентов бесконечной системы (4) (при $\gamma \geq 1.01$) справедливы оценки:

$$0.02 \cdot \rho_k \cdot \xi_n \leq \frac{k^{\frac{5}{3}} \cdot \Delta_n n^{-\frac{2}{3}}}{\pi \cdot n^2 + k^2} \leq \rho_k \cdot \xi_n \cdot 0.42, \quad (\xi_n \equiv n^{-2/3}).$$

Таким образом условие а) теоремы для системы (4) выполнено. Единственность ограниченного решения (4) следует из теоремы, установленной Бондаренко П.С. [6]. Все условия теоремы

применительно к бесконечной системе (4) выполнены. Следовательно существует $\lim_{k \rightarrow \infty} y_k = a_0 > 0$.

Факт существования отличного от нуля предела неизвестных в бесконечной системе (4) позволяет построить численный алгоритм нахождения первых N неизвестных и предельного значения a_0 . В основе алгоритма лежит следующее свойство лимитант (лимитантами для системы (5) названы [3])

отношения $\forall k > p \quad V_k^{(p)} = b_k^{(p)} / \rho_k^{(p)} = (b_k + \sum_{n=1}^p c_{k,n} z_n) / (\rho_k + \sum_{n=1}^p c_{k,n})$: если $H^{(p)} \leq V_k \leq H^{(p)}$, то $h^{(p)} \leq z_k \leq H^{(p)}$

при $k > p$. Заменяя на $(i+1)$ -ом шаге алгоритма в системе (4) все неизвестные с номерами большими некоторого N на их нижнюю (верхнюю) оценку на i -ом шаге h^i (H^i) получаем мажорантную снизу (сверху) систему для (4):

$$y_k^{(i+1)} = \frac{k^{-\frac{5}{3}} \sum_{n=1}^N \frac{\Delta_n y_n^{(i+1)} \cdot k^{-\frac{2}{3}}}{n^2 + k^2} + h^{(i)} \sum_{n=N+1}^{\infty} \frac{k^{-\frac{5}{3}} \Delta_n \cdot n^{-\frac{2}{3}}}{\pi \cdot n^2 + k^2} + k^{\frac{2}{3}} \beta_k, \quad y_k^{(i+1)} = \frac{k^{-\frac{5}{3}} \sum_{n=1}^N \frac{\Delta_n y_n^{(i+1)} \cdot k^{-\frac{2}{3}}}{n^2 + k^2} + H^{(i)} \sum_{n=N+1}^{\infty} \frac{k^{-\frac{5}{3}} \Delta_n \cdot n^{-\frac{2}{3}}}{\pi \cdot n^2 + k^2} + k^{\frac{2}{3}} \beta_k, \quad (6)$$

При $\gamma \geq 1.01$ оценки для неизвестных с номерами большими N на $(i+1)$ -ом шаге алгоритма имеют вид:

$$\left\{ \begin{matrix} H^{(i+1)} \\ h^{(i+1)} \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} \sup \\ \inf \end{matrix} \right\}_{k > N} \frac{k^{\frac{5}{3}} \sum_{n=1}^N \frac{\Delta_n \cdot n^{-\frac{2}{3}}}{n^2 + k^2} \cdot \left\{ \begin{matrix} y_n^{(i+1)} \\ y_n^{(i+1)} \end{matrix} \right\} + k^{\frac{2}{3}} \beta_k}{k^{\frac{5}{3}} \sum_{n=1}^N \frac{\Delta_n \cdot n^{-\frac{2}{3}}}{n^2 + k^2} + \rho_k}, \quad (7)$$

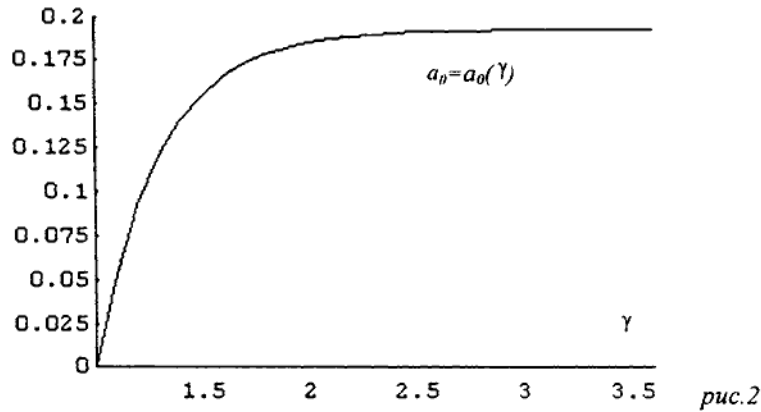
$$H^0 = 0.27; h^0 = 0; i = 1, 2, 3, \dots$$

В формулах (6,7) остаток ряда, и ρ_k подсчитывались с помощью формулы суммирования Эйлера-Маклорена [5].

Найденные на каждом i -ом шаге итерации значения $H^{(i)}$ и $h^{(i)}$ дают, соответственно, верхнюю и нижнюю оценки для a_0 , а решения мажорантных систем в (6) верхнюю и нижнюю оценки для первых N неизвестных. Из того, что бесконечная система (4) удовлетворяет условиям теоремы

следует сходимость $H^{(i)} \rightarrow a_0, h^{(i)} \rightarrow a_0$ при $i \rightarrow \infty$, и сходимость решений мажорантных систем в (6) к $y_k (k=1,2,3,\dots, N)$ при $i \rightarrow \infty$.

На рис.2. приведена зависимость a_0 от геометрического параметра γ .



Оказывается, что при $\gamma \rightarrow \infty : a_0(\gamma) \rightarrow a_{lim} = 0.1931$. Предельное значение a_{lim} является предельным значением неизвестных в системе (4), при $\gamma \rightarrow \infty$. Полученные значения y_k и a_0 позволяют найти всю последовательность неизвестных в бесконечной системе (1):

$$x_k = \begin{cases} y_k \cdot k^{-2/3}, & k \leq \\ a_0 \cdot k^{-2/3}, & k > \end{cases}$$

В таблице1 приведены значения y_k и a_0 при различных значениях γ .

Таблица 1.

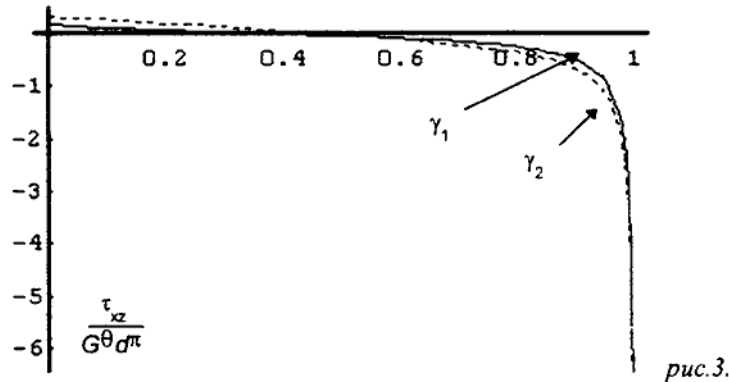
γ	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_{10}	a_0
1.2	0.02672	0.07111	0.07903	0.08301	0.08540	0.09008	0.0925
2	0.08450	0.15230	0.16661	0.17298	0.17646	0.18251	0.1853
3.6	0.08937	0.15909	0.17389	0.18043	0.18398	0.19011	0.1929
∞	0.08940	0.15914	0.17394	0.18048	0.18403	0.19016	0.1931

При $x=d$ первый ряд в выражении (3) для xz сходится как ряд Фурье с общим членом порядка $O(k^{-2/3})$. Для улучшения его сходимости применим метод Крылова, используя, что при больших $k : x_k \sim a_0 k^{-2/3}$.

$$\begin{aligned} \left. \frac{\tau_{xz}}{G \Theta d \pi} \right|_{x=d} &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{2 k^{2/3}} \cdot \cos \frac{k \pi y}{d} \cdot \{y_k \Delta_k - a_0\} - \frac{a_0}{2} \cdot S(y) + \\ &+ \frac{8}{\pi^3} \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\cos \frac{k \pi y}{d}}{k^2} \cdot \left(1 - \frac{shk \pi}{shk \pi y}\right) \end{aligned} \quad (8),$$

здесь $y \in [0, d]$, $S(y) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k \cos \pi k \frac{y}{d}}{k^{2/3}} = \operatorname{Re}(Li_{2/3}(e^{iy\pi/d}))$, ($Li_{2/3}$ — обобщенный полилогорифм).

На рис.3. приведены графики $\tau_{xz}(d,y)/G\theta d\pi$ при $\gamma_1=1.2$ и $\gamma_2=3.6$.



Из свойств функции $Li_{2/3}$ следует, что при $y \rightarrow d$:

$$S(y) = 1,584078 \cdot (1-y/d)^{-1/3} + O(1), \quad (9)$$

то есть особенность в поведении касательных напряжений при подходе к внутренней угловой точке сечения заключена в поведении функции $S(y)$. Используя (9), получаем из (10), что

$$c_0 = -1,584078 \cdot \pi \theta G d^{4/3} a_0 / 2.$$

Учтем также, что при $\gamma \geq 4$: $a_0 \approx 0.1931$, тогда при $\gamma \geq 4$: $c_0 \approx -0.153 \pi \theta G d^{4/3}$ — то есть при $\gamma \geq 4$ c_0 от b не зависит.

В заключение отметим, что аналогичный подход может быть применен и к другим граничным задачам теории упругости. При этом, особенности напряженного состояния могут быть исследованы при помощи асимптотики решения бесконечной системы, соответствующей рассматриваемой задаче.

Литература.

1. Абрамян Б.Л., Арутюнян Н. Х. Кручение упругих тел. – М: Физматгиз, 1963, 683 с.
2. Партон В. З., Перлин П. И. Математические методы теории упругости. – М: Наука, 1981, 688 с.
3. Коялович Б.М. Исследование о бесконечных системах линейных алгебраических уравнений. // Изв. Физ.-мат. ин-та им. В.А. Стеклова, 1930, 3, с.41-167.
4. Чехов В.Н., Папков С.О. О достаточных условиях существования ненулевого предела для решения бесконечной системы линейных алгебраических уравнений // Ученые записки Симферопольского государственного университета, 1997, №4 (43), – С. 3-9.
5. Джеффрис Г., Свирлс Б. Методы математической физики т2. – М: Мир, 1970, – 352 с.
6. Бондаренко П.С. К вопросу о единственности для бесконечных систем линейных уравнений. – М: Мат. сборник, 1951, 29, №2. – С. 403-418.

О ЗАДАЧАХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Переход А. И., аспирант

Вводится и исследуется новый класс задач многокритериального принятия решений при неполной информации (MCDMII), дается классификация и краткое описание задач этого класса. Подробно рассматривается задача MCDMII с булевыми переменными. Предложены модели, методы и алгоритмы, основанные на теории распознавания образов и предназначенные для применения в интеллектуальных системах.

1. Введение

Задачи принятия решений (DM) возникают во многих сферах человеческой деятельности и независимо исследовались в различных научных областях. Современная теория принятия решений представляет собой совокупность различных подходов, моделей и методов [1,2].

В настоящей статье рассматриваются задачи многокритериального принятия решений при неполной информации (MCDMII). Задачи MCDMII наиболее близки многим реальным задачам. Действительно, любая достаточно сложная практическая задача DM многокритериальна, и точное описание всех компонент модели принятия решений, как правило, невозможно [3].

Научное направление, которое занимается разработкой математических методов принятия решений при многих (противоречивых) критериях, известно как MCDM [4,5,6,7]. Однако применение традиционных методов многокритериальной оптимизации недостаточно для решения задач MCDMII. В то же время модели принятия решений при неполной информации (DMII), основанные на теории распознавания образов [3] и других подходах, не учитывают существования многих критериев.

Для решения задач MCDMII автор предлагает использовать методы искусственного интеллекта (ИИ) и распознавания образов (РО) в сочетании с известными подходами к решению задач MCDM и элементами теории приближенных множеств (*rough sets*) [8]. В рамках указанного подхода предлагаются некоторые новые методы и алгоритмы решения задач MCDMII.

2. MCDMII как научное направление

MCDMII имеет собственную область исследования и требует разработки новых моделей, методов и алгоритмов. Основа MCDMII – теория MCDM, дополненная методами ИИ и РО.

2.1 Задачи MCDM

Используемые в задачах MCDM модели описывают множество допустимых решений (альтернатив), которые оцениваются по многим (противоречивым) критериям. Критерии – это функции на множестве альтернатив, которые отражают различия по предпочтениям. Эти различия

определяются лицом, принимающим решения (ЛПР). Таким образом, модели MCDM должны отражать субъективное восприятие человеком окружающей его действительности [1].

В задачах MCDM, как правило, нет полной информации, позволяющей найти необходимый для выбора "лучшей" альтернативы компромисс. В ряде случаев отсутствуют статистические данные, позволяющие установить отношения между критериями, и информация для оценки последствий выбора той или иной альтернативы [1,6].

Задача MCDM решается в два этапа: (а) построение "объективной" модели и (b) выбор "лучшей" альтернативы. Результатом первого этапа является аппроксимация множества эффективных решений (множества Парето). Множеству Парето принадлежат альтернативы, не доминируемые другими альтернативами по каждому из критериев. Исключение непаретовских решений в общем случае не решает задачу MCDM полностью. Только в немногих случаях для решения задачи достаточно аппроксимировать паретовское множество. Результатом второго этапа является "субъективный" выбор ЛПР лучшей альтернативы из паретовского множества.

Таким образом, задачи MCDM отличаются от других математических задач отсутствием единственного "объективного" решения [6].

2.2 Методы ИИ и РО

Укажем методы ИИ и РО, применимые к MCDMII, то есть решающие задачу извлечения дополнительной информации. К ним относятся индуктивные методы ИИ: машинное обучение и индуктивный вывод решающих правил, позволяющие извлекать логические закономерности из опыта [9]. Задача РО может быть сформулирована как принятие решения о принадлежности объекта некоторому классу. Наиболее простой вид задачи РО – дихотомия, в которой рассматриваются два класса объектов. Классы состоят из объектов с общими свойствами, объект задается двоичным набором признаков. Число признаков выбирается минимальным, с ростом числа признаков растет сложность соответствующих алгоритмов РО [10,11].

В [9] рассмотрены пять основных концепций машинного обучения, каждую из которых отличает способ представления знаний. Выделим две концепции, представляющие наибольший интерес для MCDMII.

Нейронные сети: знания представляются в виде многоуровневой сети, вершины которой соединены взвешенными ребрами. Точность классификации может быть улучшена за счет изменения весов [9,12]. Подход, основанный на нейронных сетях, широко используется в MCDM [12,13,14].

Индуктивный вывод: знания представляются в виде решающих деревьев. Информация о классах объектов хранится в концевых вершинах (листьях) дерева. Большинство методов основано

на рекурсивном разбиении данных на непересекающиеся множества, каждое из которых описывается конъюнкцией логических выражений (условий).

2.3 Классификация задач МСДМII

Основой для классификации задач МСДМII являются следующие характеристики: тип неполноты информации, вид пространства решений, число ЛПР и неопределенность (изменяемость во времени) среды, в которой принимаются решения.

Как отмечалось выше, многокритериальность сама по себе подразумевает неполноту информации. Кроме того, во многих задачах отсутствует информация о критериях или множестве допустимых решений. В [3,15,16] рассматриваются соответствующие подходы к решению задач дискретной оптимизации при неполной информации, предложены соответствующие обучающие алгоритмы. Алгоритмы обучения, основанные на нейронных сетях, эффективны для непрерывного пространства решений. Для дискретного пространства подходящими являются решающие деревья. Неполнота информации имеет место в задачах переговоров (*negotiation problems*) [17], для решения которых используются методы теории игр, и в задачах принятия решений в динамически изменяющейся среде [18].

Классификация задач МСДМII приводится на рис. 1.

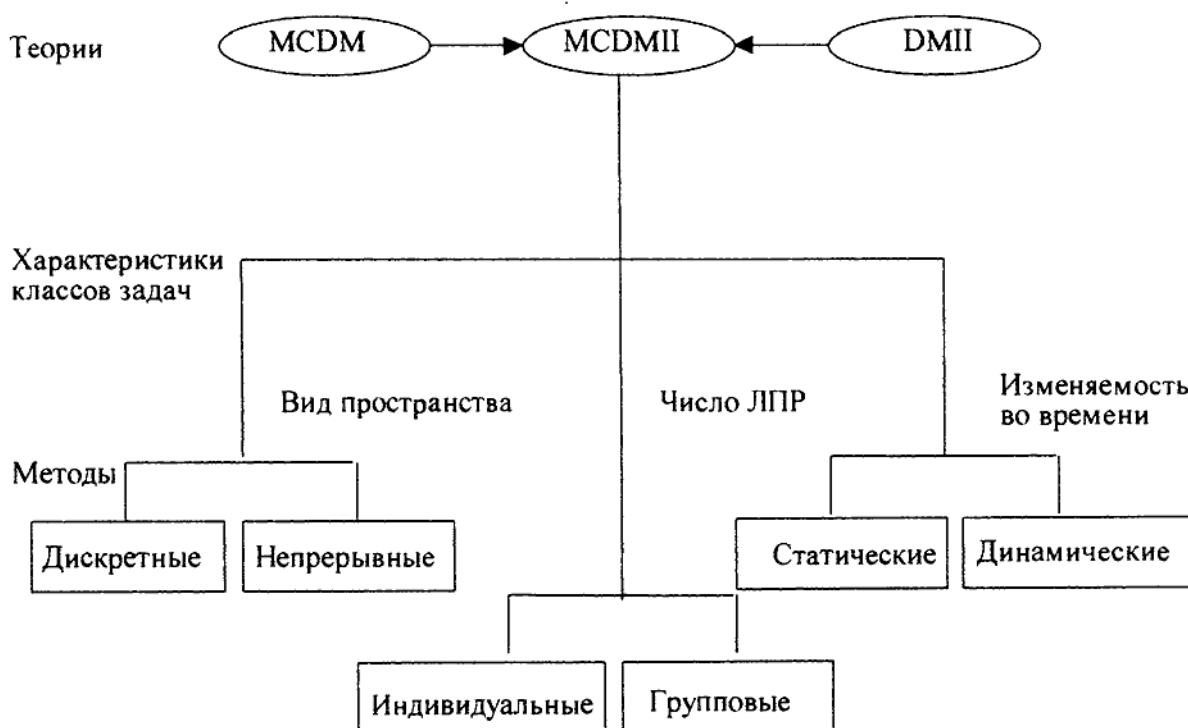


Рис. 1 Классификация задач МСДМII

3. Задача MCDMII с булевыми переменными

Рассмотрим задачу

$$\begin{cases} \text{extr } f_j(\tilde{x}), j = \overline{1, r}, \\ \tilde{x} \in \Omega \subset B^n, \end{cases} \quad (1)$$

где Ω – множество допустимых решений, $B^n = \{0, 1\}^n$ – множество вершин единичного n -мерного куба, критерии есть псевдобоулевы функции $\{f_j : B^n \rightarrow R, j = \overline{1, r}\}$. Принятие решения понимается как выбор некоторого элемента $\tilde{x}^* = (x_1, \dots, x_n) \in B^n$, $x_i \in \{0, 1\}, i = \overline{1, n}$, из Ω в условиях неполноты информации о f_j и Ω . Задачу (1) будем называть задачей MCDMII с булевыми переменными.

3.1 Сужение области неопределенности

Решение задач MCDMII требует привлечения и разработки методов сужения области неопределенности, обусловленной неполнотой исходной информации. Для восстановления функций и множеств задачи (1) будем использовать методы РО [15,19,20], позволяющие извлечь дополнительную информацию из экспертных оценок. Предполагается, что выбор и оценка решений осуществляется экспертами, которые сравнивают по предпочтениям всевозможные пары альтернатив $\tilde{x}, \tilde{y} \in \Omega$. Экспертные оценки, то есть знания о предпочтениях, используются далее для синтеза модели принятия решений, аппроксимирующей (1).

3.2 Представление знаний о предпочтениях. Бикритериальные задачи

Пусть информация о критериях $f_j, j = \overline{1, r}$ в (1) частично задана множеством $\tilde{\rho}$ бинарных отношений (БО), $\tilde{\rho} = \{\rho_1, \dots, \rho_r\}$. Будем говорить, что решение \tilde{x} “лучше” (“не хуже”) решения \tilde{y} по критерию j , если пара $\tilde{x}, \tilde{y} \in \Omega$ принадлежит БО $\rho_j : \tilde{x} \overset{j}{>} \tilde{y} (\tilde{x} \overset{j}{\geq} \tilde{y})$. Информацию о предпочтениях будем задавать в виде полного ориентированного мультиграфа (МГ). Вершины МГ обозначают решения $\tilde{x} \in \Omega$, а ребра, ориентированные от менее предпочтительного решения к более предпочтительному, задают БО между всеми парами решений [21,22].

Таким образом, выбор “лучшего” решения в задаче (1) сводится к набору бикритериальных задач

$$\begin{cases} \text{extr } f_i(\tilde{x}), \\ \text{extr } f_j(\tilde{x}), \\ 1 \leq i < j \leq r, \\ \tilde{x} \in \Omega \subset B^n. \end{cases} \quad (2)$$

Число бикритериальных задач (2), порождаемых задачей (1), равно C_r^2 [23].

Представим МГ для (2) в виде булевой квадратной матрицы: $a_{pq} = \begin{cases} 1, & \text{если } q > p, \\ 0, & \text{если } p \geq q, \end{cases}$

верхний треугольник матрицы содержит информацию о критерии i , нижний – о критерии j .

3.3 Распознавание подмножеств

Будем рассматривать распознавание подмножества некоторого конечного множества как задачу дихотомии в РО. Применим для решения задачи дихотомии модели обучения, позволяющие извлекать знания из эмпирических данных [9, 21, 24]. Пусть $A \subset C, C = A \cup \bar{A}, (\bar{A} = C \setminus A)$. Если C задано точно и известны элементы одного из покрывающих C подмножеств, то элементы другого могут быть однозначно определены [25, 26]. Пусть разбиение $C = A \cup \bar{A}$ представлено неполной информацией $I_0(A, \bar{A})$ в виде булевой обучающей таблицы $T, T = A_1 \cup A_2$:

$$\begin{aligned}(\tilde{a} \in A_1) &\Rightarrow (\tilde{a} \in A), \\(\tilde{a} \in A_2) &\Rightarrow (\tilde{a} \in \bar{A}).\end{aligned}$$

Таблица T непротиворечива: $A_1 \cap A_2 = \emptyset$.

Пусть элемент $\tilde{x} \in C$ определен некоторым описанием $I(\tilde{x})$ (набором значений характеристик). Задача распознавания подмножества заключается в вычислении предиката $\tilde{x} \in A, (\tilde{x} \in \bar{A})$ по $I_0(A, \bar{A})$ и $I(\tilde{x})$ [15, 16].

3.3.1 Бинарные решающие деревья

Для решения задачи распознавания будем использовать алгоритмы обучения, основанные на построении бинарных решающих деревьев (БРД). Указанные алгоритмы позволяют получить описания классов (подмножеств) в виде логических формул.

Будем рассматривать элементы $\tilde{x} = (x_1, \dots, x_n)$ множества B^n в задаче (1) как двоичные наборы признаков. Тогда $\{x_i: Y \rightarrow \{0,1\}\}, i = \overline{1, n}$ – множество значений признаков предикатов, где Y – множество состояний, описывающее некоторую предметную область.

БРД – это бинарное дерево, обладающее следующими свойствами:

- внутренние вершины помечены признаковыми предикатами;
- исходящие ребра помечены значениями предиката;
- концевые вершины (листья) помечены метками классов;
- ни в одной ветви нет вершин с одинаковыми признаками.

В задаче распознавания подмножества БРД реализует отображение $BDT_{SET}(C): C \rightarrow \{A, \bar{A}\}$. Это отображение представляет собой систему двух функций двузначной логики. Используя БРД, можно синтезировать любую функцию двузначной логики. Обратное, любое БРД можно задать в виде дизъюнктивной нормальной формы (ДНФ) [3].

3.3.2 Распознавание множества допустимых решений

Пусть $T \subset B^n$ есть непротиворечивая таблица обучения. T состоит из элементов множества $\mathfrak{R} = \{\tilde{x}^*\}$ выбранных экспертами альтернатив.

$$\begin{aligned}\mathfrak{R} &= \mathfrak{R}_0 \cup \mathfrak{R}_1, \\ \mathfrak{R}_0 \cap \mathfrak{R}_1 &= \emptyset, \\ (\tilde{x} \in \mathfrak{R}_0) &\Rightarrow (\tilde{x} \in \Omega), \\ (\tilde{x} \in \mathfrak{R}_1) &\Rightarrow (\tilde{x} \notin \Omega).\end{aligned}$$

В [3,16] описан рекурсивный алгоритм построения *допустимого* разбиения B^n на интервалы N_1, \dots, N_μ . Допустимым считается такое разбиение, что каждый интервал содержит наборы только одного класса из T и $\bigcup_{q=1}^{\mu} N_q = B^n$. Показано, что интервалам N_1, \dots, N_μ допустимого разбиения

соответствуют конъюнкции $k_1, \dots, k_\mu: \bigvee_{q=1}^{\mu} k_q = 1$, а все разбиение может быть задано *допустимым* БРД, каждая ветвь которого задает k_i (μ - число листьев этого БРД). Используя допустимое БРД, можно получить приближенное логическое описание $\hat{\psi}(\tilde{x})$ множества Ω в виде ДНФ и, следовательно, вычислить значение основного предиката " $\tilde{x} \in P$ " для любого элемента из B^n .

В [3] также показано, что представление подмножеств B^n в виде БРД не единственно и зависит от числа $\mu+1$ его внутренних вершин. Введено понятие кратчайшего (по числу μ) БРД, обуславливающего выбор решающего правила среди кратчайших БРД.

3.3.3 Распознавание множества Парето

Многие многокритериальные задачи сводятся к аппроксимации множества Парето P , $P \subset \Omega$ [5,6,7]. В условиях неполноты исходной информации аппроксимация P может быть сведена к задаче распознавания P по БО предпочтения по всем критериям и таблице обучения T :

$$\begin{aligned}T &= W_0 \cup W_1: W_0 \cap W_1 = \emptyset, \\ (\tilde{x} \in W_0) &\Rightarrow (\tilde{x} \in P), \\ (\tilde{x} \in W_1) &\Rightarrow (\tilde{x} \notin P).\end{aligned}$$

Предлагаемый ниже метод распознавания множества Парето основан на рассмотрении множеств Парето P_{ij} бикритериальных задач (2).

Рассмотрим некоторые важные свойства паретовских множеств [22].

Лемма 1. Если существует непустое пересечение паретовского множества P задачи (1) с паретовскими множествами P_{ij} некоторых бикритериальных задач (2) и решение $\tilde{x} \in P$, то оно принадлежит также и множеству Парето хотя бы одной из задач (2):

$$(P \cap P_{ij} \neq \emptyset) \wedge (\tilde{x} \in P) \Rightarrow (\exists i \neq j: \tilde{x} \in P_{ij}).$$

Доказательство. Пусть данное утверждение неверно. Тогда $\exists \tilde{x}' : \exists k \in \{i, j\} : \tilde{x}'^k > \tilde{x}^k$, что противоречит неулучшаемости точки $\tilde{x} \in P$.

Лемма 2. *Непустое пересечение множеств парето-оптимальных решений бикритериальных задач (2), при всех возможных комбинациях i и j , образует подмножество множества парето-оптимальных решений многокритериальной задачи (1): $\bigcap_{\{(i,j)\}} P_{ij} \subseteq P$.*

Доказательство. Пусть $\tilde{x} \in \bigcap_{\{(i,j)\}} P_{ij} \subseteq P$. Тогда, если предположить, что $\tilde{x} \notin P$, то \tilde{x} можно улучшить хотя бы по одному критерию. Согласно лемме 1,

$$(\tilde{x} \notin P) \Rightarrow \forall i \neq j, \tilde{x} \notin P_{ij},$$

$$\tilde{x} \in \bigcup_{\{(i,j)\}} \bar{P}_{ij} \Leftrightarrow \tilde{x} \in \overline{\bigcap_{\{(i,j)\}} P_{ij}},$$

что противоречит условию. Таким образом, если $\tilde{x} \in \bigcap_{\{(i,j)\}} P_{ij}$, то \tilde{x} ни по одному критерию

улучшить невозможно.

Из лемм 1, 2 вытекает следующая

Теорема. *Пересечение паретовских множеств всех бикритериальных задач (2), которые можно выделить из задачи (1), образует подмножество паретовского множества задачи (1), которое, в свою очередь, является подмножеством объединения паретовских множеств бикритериальных задач (2): $\bigcap_{\{(i,j)\}} P_{ij} \subseteq P \subseteq \bigcup_{\{(i,j)\}} P_{ij}$.*

Таким образом, аппроксимация паретовских множеств P_{ij} для всех возможных задач (2) позволяет определить верхнюю и нижнюю границы множества Парето:

$$P_{\text{inf}} \subseteq P \subseteq P_{\text{sup}}, P_{\text{inf}} = \bigcap_{\{(i,j)\}} P_{ij}, P_{\text{sup}} = \bigcup_{\{(i,j)\}} P_{ij}.$$

В [22] приведен алгоритм аппроксимации множества Парето для задачи (2), основанный на анализе МГ и представляющей его матрицы.

Вообще говоря, P_{sup} может содержать непаретовские точки, $\tilde{x} \in P_{\text{sup}}, \tilde{x} \notin P$. В [21] показано, что алгоритмы обучения, основанные на синтезе БРД, позволяют получить логическое описание множества Парето, проверить неулучшаемость решений $\tilde{x} \in P_{\text{sup}}$ и (если необходимо) удалить непаретовские точки.

3.3.4 Интерактивный алгоритм аппроксимации множества Парето

Предлагается следующий алгоритм аппроксимации паретовского множества:

1. Сформировать обучающее множество $W = \{W_0 \cup W_1\}$, где W_0 содержит только непаретовские, W_1 – только паретовские точки (экспертные оценки).
2. Синтезировать БРД, реализующее отображение $BDT_{SET}(\Omega): \Omega \rightarrow \{P, \bar{P}\}$ (P – паретовское множество).
3. Построить приближенное решающее правило $\hat{\phi}(\tilde{x}) = \tilde{x} \in P$ в виде ДНФ.
4. Построить P_{sup} . Для всех $\tilde{x} \in P_{sup}$ вычислить предикат " $\tilde{x} \in P$ ".
5. Представить решающее правило выбора паретовских решений в виде $F(\tilde{x}) = \hat{\phi}(\tilde{x}) \& \hat{\psi}(\tilde{x})$, где $\hat{\phi}(\tilde{x}) = \tilde{x} \in P$; $\hat{\psi}(\tilde{x}) = \tilde{x} \in \Omega$.

Схема алгоритма показана на рис. 2.

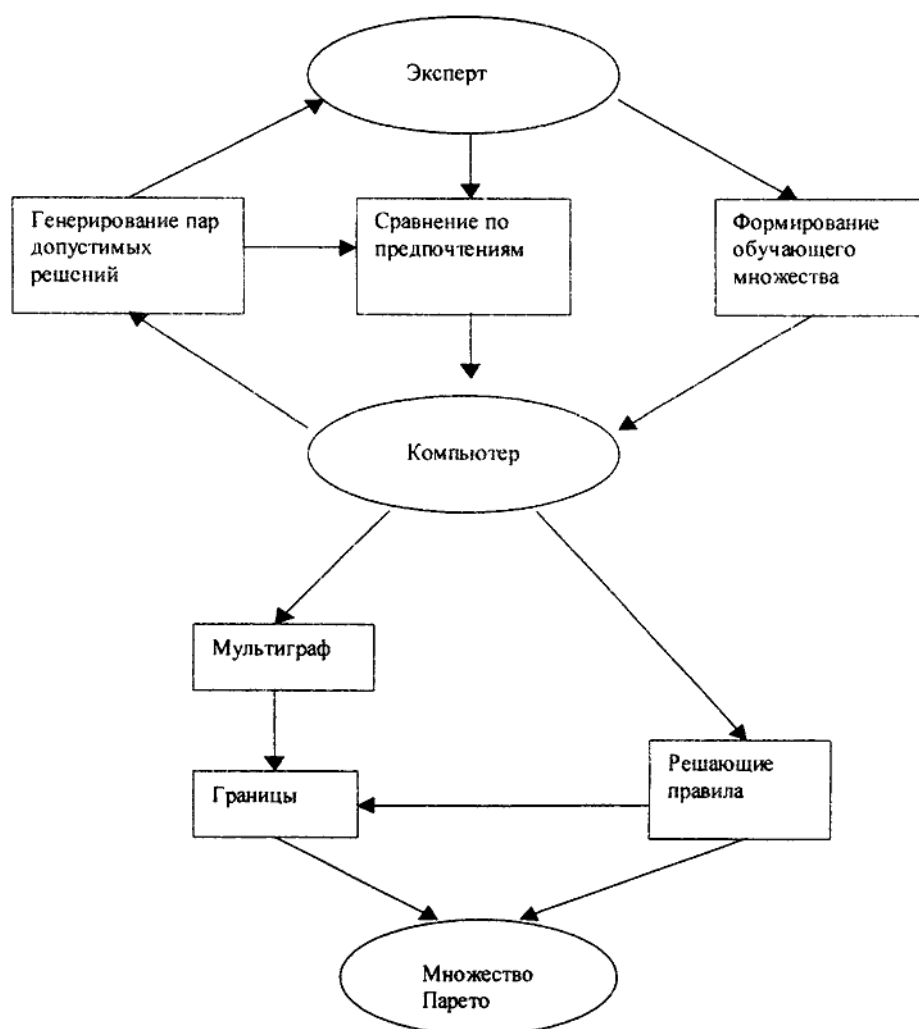


Рис. 2 Схема интерактивного алгоритма аппроксимации паретовского множества.

Автор выражает свою признательность доценту И. А. Переходу за полезные замечания.

Литература.

1. Ларичев О., Мошкович Е. Качественные методы принятия решений. – Москва: Наука, 1996. – 208 с.
2. Юдин Д. Вычислительные методы теории принятия решений. – Москва: Наука, 1989. – 320 с.
3. Донской В., Башта А. Дискретные модели принятия решений при неполной информации. Симферополь: Таврия, 1992. – 165 с.
4. Keeney, R., Raiffa, H. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. – New York, etc. : John Wiley & Sons, Inc., 1976. – 569 p.
5. Steuer, R. Multiple Criteria Optimization. – New York, etc.: John Wiley & Sons, Inc., 1986. – 546 p.
6. Ларичев О. Объективные модели и субъективные решения. – Москва: Наука, 1987. – 142 с.
7. Подиновский В., Ногин В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – Москва: Наука, 1982. – 254 с.
8. Pawlak, Z., Grzymala-Busse, J., Slowinski, R., Ziarko, W. Rough Sets. // CACM. – 1995.–№38(11). – P. 89-95.
9. Langley, P., Simon, H. Applications of Machine Learning and Rule Induction. // CACM. –1995.– №38(11). – P. 55-64.
10. Tou, J., Gonzales, R. Pattern Recognition Principles. – Massachusetts, etc.: Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1974. – 377 p.
11. Орлов В. Граф-схемы алгоритмов распознавания. – Москва: Наука, 1982. – 117 с.
12. Sun M., Stam, A., Steuer, R. Solving Multiple Objective Programming Problems Using Feed-forward Artificial Neural Networks: the Interactive FFAN Procedure.// Man. Sci. – 1996.– №42(6).–P. 835-849.
13. Ignizio, J., Back, W. An alternative Neural-network Architecture and Training Algorithm. // Journal of Artificial Neural Network .– 1994 №1(2) – P. 262-282.
14. Ignizio, J., Back, W. Knowledge Programming Meets Linear Programming II. // PC AI.– Jan-Feb. 1993.– P. 45-49.
15. Донской В. Слабоопределенные задачи линейного булева программирования с частично заданным множеством допустимых решений. // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1988.– № 28(9) .– С. 1379-1388.
16. Донской В. Алгоритмы обучения, основанные на построении решающих деревьев. // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1982.– №22(4).– С. 963-974.
17. Ehtamo, H. et al. Generating Pareto Solutions in Two-party Negotiations by Adjusting Artificial Constraints. // Man Sci. (unpublished research).

18. Nakayama, H., Machine Learning as a DSS and Multi-Objective Problems. // Proceedings of the International Conference on Methods and Applications of Multicriteria Decision Making, Mons, Belgium: 1997.– P. 131-134.
19. Donskoy, V., Perekhod, A. On the Multicriteria Optimization Problem With Incomplete Information About Criteria. // Abstracts of the International Conference on Multiobjective Programming. Malaga, Spain, May 16-18 1996.– P. 52-53.
20. Donskoy, V., Perekhod, A. On Pseudo-Boolean Optimization Problem With Incomplete Information. // Advances in Multiple Objective and Goal Programming. Proceedings of the Second International Conference on Multiobjective and Goal Programming. Torremolinos, Spain, May 16-18, 1996.: Rafael Caballero et al.(ed). Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems.– № 455.– Berlin: Springer-Verlag, 1997.– P. 197-200.
21. Perekhod, A. Set Recognition in the MCDM Problems. // Proceedings of the International Conference on Methods and Applications of Multicriteria Decision Making, Mons, Belgium: 1997.– P. 366-369.
22. Переход А. Алгоритм аппроксимации множеств парето-оптимальных решений на мультиграфах. // Программы, системы, модели. Выпуск 2. Симферополь.–1996.– С. 18-26.
23. Гамкрелидзе Л., Остроух Е. Метод решения дискретных задач многокритериальной оптимизации. // Известия АН СССР. Серия техническая кибернетика. – 1989. - № 3. - С. 150-155.
24. Переход А. Многокритериальные модели принятия решений при неполной информации для интеллектуальных систем. // Тезисы Международной конференции по интеллектуальной обработке информации. Алушта. Крым. 3-7 июня 1996. – С. 27-28.
25. Закревский А. Логика распознавания. Минск: Наука. 1988. – 119 с.
26. Закревский А. Выявление импликативных зависимостей в булевом пространстве признаков и распознавание образов. // Кибернетика №1. – 1982. С. 1-6.

К ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕЛЕСНЫХ КОРРЕЛЯТОВ ХАРАКТЕРА ЛИЧНОСТИ

Старовойтов А. В., аспирант кафедры психологии

Основные понятия представленные в данной статье – первичное значение, локальный моторный акт, семантическое тело, социальное предъявление субъекта – предложены нами. Два понятия – двигательный паттерн, поведенческий паттерн – получили авторскую интерпретацию.

Подходя к анализу проблемы характера, мы в своем изложении будем опираться на то понимание термина "характер", которое сформировалось в отечественной психологии. Характер, как указывают А.Г. Ковалев, Н.Д. Левитов, В.Н. Мясичев и др., есть совокупность уникальных и специфических интрапсихологических особенностей человека в их целостном единстве с внешними личностными проявлениями. Первые в качестве составляющих элементов включают в себя эмоционально-волевой компонент, выступающий в качестве регулятора поведенческой активности субъекта, и систему отношений, являющихся содержательной стороной формы внешнего выражения личности, включающего любые виды поведенческой и телесной активности, обусловленные интрапсихическим содержанием личности [1, 2].

Говоря о динамической стороне характера, мы выделим в качестве ее составляющих лишь особенности функционирования вегетативной и соматической нервной системы. Подвергая анализу функционирование этих подразделов ЦНС, можно сказать, что лишь деятельность соматической нервной системы обеспечивает сознательное регулирование соответствующих телесных процессов, что позволяет субъекту в значительной степени рефлексировать телесные проявления. В свою очередь, бессознательной основой телесного функционирования можно считать вегетативную нервную систему. Ее деятельность, в меньшей степени доступная рефлексии и сознательной регуляции, обеспечивает стабильность протекания внутренних процессов в организме, а так же особенности соматических реакций на внешнее воздействие.

Одной из сфер объединения и взаимодействия содержательной и динамической составляющих характера является *телесность* человека. Детерминируемая с одной стороны психическими особенностями, а с другой – физиологическими и конституциональными, она является сферой трансляции активности между психологическим и соматическим уровнями организации личности. В анализе проблемы телесности вопросы, касающиеся вегетативной нервной системы, имеют особое значение, т.к. она выступает материальным субстратом имманентного человеку бессознательного. Исходя из чего можно утверждать, что бессознательное имманентно человеку, если оно телесно.

Особенности телесности, как и многие другие особенности личности, закладываются в раннем детстве. В младенческом возрасте всякая активность ребенка бессознательна. Проявляясь в основном

как биологическое существо, ребенок чужд тех социальных норм и правил, которые присущи его социальному окружению. Своей активностью он инициирует определенные поведенческие реакции взрослых, взаимодействующих с ним. Фиксируя в психике субъективные эмоциональные состояния, вызвавшие те или иные реакции взрослых и вызванные, в свою очередь, ими, ребенок, бессознательно соотносит эти эмоциональные состояния и выстраивает структуру значений, которые являются первичной надстройкой над сферой бессознательного Я. Таким образом, первичное значение соотносимо с особенностями ответной реакции на витальную активность ребенка, интериоризированой им в целостности с его субъективным эмоциональным состоянием. Формирование первичных значений регулируется известным из фрейдизма принципом удовольствия. В связи с этим негативные, осуждающие внешние реакции обуславливают структуру действий, призванных в дальнейшем обеспечивать избегание или нейтрализацию подобных реакций. Данные действия не имеют смысловой основы, но по сути они выполняют функцию защиты от деструктивных воздействий или обеспечивают соответствие внешним требованиям. Положительные внешние реакции и принятие допускают естественное включение ребенка во взаимодействие. При этом формируется адекватный и конструктивный эмоциональный фон поведения.

Сферой проявления первичных значений являются *локальные моторные акты* (ЛМА). Постепенно вычлняясь из хаоса движений младенца, они, слабо оформленные первоначально, усложняются по мере повышения координированности движений. Регулятором ЛМА является субъективное эмоциональное состояние. ЛМА стабильны, исходя из чего, можно говорить об обуславливающих их эмоциональных паттернах, которые, по сути, и являются первичными значениями.

Первичные значения слабо рефлексированы и в дальнейшем проявляются в кинетическом рисунке действий – как целенаправленных и мотивированных, так и двигательных автоматизмов и стереотипий. По мере развития второй сигнальной системы первичные значения "обрастают" смыслами. Процесс насыщения пространства психической реальности смыслами осуществляется на основе механизмов социализации ребенка, где непосредственными источниками смыслов, опосредующими любые источники, являются те взрослые, которые опекают ребенка.

Процесс выстраивания смысловых структур осуществляется в соответствии с принципом реальности. Выстраивание субъективной системы смыслов ребенка непосредственно связано с аналогичной системой его родителей, смыслы которых объективируются в процессе надления ими ребенка. Структура взаимосвязанных смыслов определяет отношение субъекта к различным феноменам субъективной и объективной реальности. На основе этого можно говорить об обуславливающем влиянии данной структуры на характерологические проявления субъекта.

Отличие вышеописанного процесса от процесса формирования первичных значений в том, что

здесь родители реагируют на целенаправленную и структурированную активность ребенка, наделяя ее, а так же эмоциональный компонент действия, смыслом. Ребенок ощущает желание и чувствует, как необходимо действовать, чтобы достичь желаемого, но он не соотносит причину действия, цель и последствия его. Усилия родителей в выстраивании «смыслового тела» личности ребенка как раз и направлены на создание системы связей между последними. Систему внутренних взаимосвязанных смыслов мы называем *семантическим телом* личности. Ее черты как индивидуально-специфические образования являются основой социального предъявления субъекта и взаимосвязаны с семантической структурой действий, посредством которых субъект выражает свое отношение к той или иной ситуации.

Представляется важным более подробно разобрать вопросы, касающиеся характера и его связи с семантическим телом личности. В рамках социальных предъявлений волевые качества субъекта проявляются в особенностях его включения в социальное взаимодействие и в динамике межличностных отношений. Система субъективных смыслов (семантическое тело), побуждающая субъекта реагировать в рамках социального взаимодействия определенным образом, непосредственно связана с эмоциональным компонентом, который, будучи динамической составляющей характера, обуславливает силу и устойчивость аффективной реакции. Социальное предъявление, являясь внешним проявлением характера, связано с отношением к объекту предъявления и с более глубоким слоем личности - рефлексией себя как субъекта предъявления. На уровне саморефлексии проявляется внутреннее семантическое тело, входящее в сферу сознания системой отношений к себе и самовосприятия. Таким образом, семантическое тело обуславливает социальное предъявление субъекта, которое связано с особенностями самосубъектных и субъект-субъектных отношений, волевой компонент, в свою очередь, регулирует особенности эмоциональной вовлеченности в ситуацию предъявления.

Процесс патологизации телесности детерминирован фрустрирующими ситуациями, связанными с негативными оценками и отношением к естественной активности ребенка, системой запретов, которые формируют «на поверхности» семантического тела зоны негативной семантики. Здесь можно провести параллель с процессом формирования того или иного типа характера, как он понимается в психоаналитической традиции [3, 4]. Становление характера обусловлено фиксацией либидо в области органов, посредством которых происходит удовлетворение первичных потребностей, но действия, связанные с этими органами, вызывают социальное осуждение, что является фрустрирующим фактором. Формирование негативных семантических структур, взаимосвязанных органами катексиса либидинозной энергии, препятствует ее высвобождению, детерминирует образование мышечных блоков и определяет формирование того или иного типа характера. Наделение этих зон негативной семантикой, является психотравмирующим фактором, снижающи

ощущение самоидентичности и инициирующим процесс вытеснения. Зоны негативной семантики требуют замещения, которое не достигается вытеснением. Вытеснение лишь "опустошает" такую зону, но ее скрытый, внутренний смысл не реализуется. Более полноценное замещение, или, иными словами, заполнение пустот, вызванных вытеснением, происходит в процессе поведенческой активности, соответствующий образом структурированной, в том числе и в виде стереотипий, привычных манипуляций и манерного поведения.

В патологических случаях замещение происходит в виде психогенных соматических симптомов или мышечных спазмов. Система мышечных гиперкинезов, именуемая иначе мышечными блоками, выполняет двоякую функцию: с одной стороны, она призвана предотвратить "разрастание" зон негативной семантики, ограничивая их, и оградить психику человека от негативных переживаний; и вторая функция – система мышечных напряжений, условно говоря, заполняет те пустоты, сущность которых не может быть выражена в адекватных формах поведения.

Процесс замещения в поведенческой сфере является, говоря языком структурного психоанализа, актом конституирования субъекта. При этом поведенческая модель в целом формируется в соответствии со структурой субъективных смыслов и значений, где смысловой компонент действия, относящийся к внутреннему телу, является означаемым, а означающим – сформированный им (означаемым) поведенческий паттерн. Телесная динамика, проявляясь в виде поведенческих паттернов, имеет в своей основе структурированную систему смыслов. Но, так как эта система формируется на основе первичных значений, то и целостный поведенческий паттерн как двигательный акт, имеет в своей основе локальные зоны двигательной активности. Таким образом, в той же мере, в какой семантическое тело определяет набор поведенческих паттернов, первичные значения определяют особенности ЛМА, детерминируя в своей совокупности процесс телесного конституирования субъекта.

Как указывалось выше, активность младенца первоначально полностью биологична и инстинктивна. Но в ходе взаимодействия с социальным окружением в его действия привносятся значения, благодаря которым действия начинают соотноситься с внутренними побуждениями и структурируются так, чтобы удовлетворять последние. При этом таким образом формируемые ЛМА, слабо взаимосвязаны друг с другом и первоначально тяготеют к органам удовлетворения первичных потребностей. ЛМА в совокупности с привносимыми в них смыслами, структурируясь постепенно в целостные двигательные паттерны, перерастают в поведенческие паттерны. При этом мы сознательно не отождествляем понятие "двигательный паттерн" и "поведенческий", предполагая, что один вытекает из другого. Под *двигательным паттерном* мы понимаем совокупность ЛМА, направленных на реализацию внутренних побуждений и потребностей. *Поведенческий паттерн* обусловлен структурой внутренних смыслов, которые накладываются на двигательный паттерн, и связан с

социальным предъявлением субъекта. В ходе процесса придания смыслов двигательным паттернам происходит структурирование смыслов и формируется *внутреннее семантическое тело*.

Проблема соотношения характера и телесности человека определяет область вопросов, касающихся коррекции неадекватного телесного функционирования и акцентуированных черт характера. Психотерапевтический процесс в парадигме телесно-ориентированной психотерапии структурирован как анализ кинематического рисунка социального предъявления в совокупности с теми смыслами, которые человек придает реакциям других людей на себя. Процесс анализа должен сочетаться с действиями, посредством которых происходит реструктурирование фиксированных схем мышечных гиперкинезов и деструктивных по природе поведенческих паттернов [5].

Специфика телесной психотерапии заключается в том, что первостепенное значение здесь придается объективированному в действии личностному смыслу. В процессе патологизации поведенческой активности в кинематическом рисунке действия можно наблюдать отчуждение субъектом своего тела, попытку скрыть те или иные телесные проявления. Крайними формами этого процесса будут такие феномены, как телесные галлюцинации, сенестопатии, конверсионные расстройства, являющиеся следствиями диссоциации тела и личностного Я.

Мышечные напряжения как вариант (способ) объективации зон негативной семантики обусловлены некогда пережитым эмоциональным стрессом, который зафиксировался на поверхности семантического тела в совокупности с вызвавшим его внешним воздействием в форме определенной смысловой структуры. На уровне физического тела эмоциональный стресс фиксирован в форме мышечного спазма – варианта неадекватного личностного реагирования. В ходе психотерапии усилия терапевта направляются на актуализацию зафиксированных в виде мышечного спазма переживаний. При этом восстанавливаемый в памяти образ травматического жизненного события получает новую интерпретацию и осмысление. Переживания, в свою очередь, получают возможность отреагирования посредством интенсификации мышечного напряжения или любого иного (директивного) телесного воздействия. В результате этого происходит истощение нейрохимической основы гиперкинезов, преодоление границ, сдерживающих неотреагированное эмоциональное содержание, и разрыв условно-рефлекторных временных связей.

Работа с телом выполняет двоякую роль в процессе психотерапии. Непосредственная задача такой работы – это снятие ограничений в социальном предъявлении и реагировании со стороны функциональных систем. Дополнительная роль заключается в том, что работа с телом является определенным ритуалом, фиксирующим процесс изменения, в сфере личностных смыслов. В основе такой дополнительной роли лежит суггестивное речевое воздействие, трансформирующее представления субъекта о своем теле.

Анализ семантического тела позволяет выявить сферы негативной семантики, влияющие на:

поведенческую активность человека, а возникающие в ходе эмоционального вовлечения в инициируемую терапевтом ситуацию переживания воскрешают в памяти травматическую ситуацию, в дальнейшем вытесненную и замещенную. Соотнесение негативных смысловых образований и представлений с кинематическим рисунком действия позволяет определить структуру защитных реакций человека, способы реагирования в социальной среде и особенности структурирования им своего жизненного пути.

Таким образом, особенности конституирования субъекта в двигательной активности позволяют сделать вывод о его характерологических особенностях. Анализ означающего, в роли которого, помимо вербальной продукции, выступают также поведенческие паттерны с включенными в них индивидуально-своеобразными особенностями кинематики, позволяет судить о структуре внутреннего семантического тела, обуславливающего особенности характера человека.

Литература.

1. Ковалев А.Г. , Мясичев В.Н. Психологические особенности человека, Т. 1. Характер. – Изд-во Ленинградского Университета, 1957.
2. Левитов Н.Д. Психология характера . – М. : "Просвещение", 1969.
3. Блюм Г. Психоаналитические теории личности. – М.: «К.С.П.», 1996.
4. З.Фрейд. Психоанализ и учение о характерах // «Психоаналитические этюды», Минск: «Беларусь», 1991. – С. 151-178.
5. Райх В. Функция оргазма . – СПб . – М. : "Университетская книга", 1997.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО РИТМИЧЕСКОЙ ГИМНАСТИКЕ (РГ) В СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКОГО САМОСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Кляшторная В. В., соискатель кафедры гимнастики и биомеханики

Современный человек, особенно в городе, ведет малоподвижный образ жизни. На работу его везут автобусы, троллейбусы, метро. Машины заменили физический труд на производстве. На протяжении всего рабочего дня человек сидит за письменным столом, за пультом управления. Улучшились условия быта людей. Городским жителям не нужно пилить, колоть дрова, копать огород, носить ведра с водой. Цивилизация все больше и больше освобождает человека от физического труда. А что в результате? Оказывается, что инфаркт “помолодел”, увеличился процент заболеваний сердечно-сосудистой системы, психических расстройств среди людей не только пожилого, среднего, но и молодого возраста.

“Что делать? Может быть заняться бегом? В самом деле, чего проще, а польза вне всяких сомнений. Но тут оказывается, что поблизости от дома нет стадиона, парка. А что, если дождь, холод... К тому же не всем нравится бегать. Некоторые люди, в особенности женщины, плохо переносят монотонную физическую нагрузку. А тут еще лишний вес - неловко выходить в тренировочном костюме, и что скажут соседи“ [1].

Может быть, просто включить магнитофон и потанцевать, попрыгать, покружиться, помахать руками, ногами? И это тоже хорошо. У вас непременно пройдет усталость, улучшится настроение. Но куда полезнее, если вы не хаотично будете двигаться, выполняя случайные, пусть и доставляющие вам удовольствие движения, а соблюдая определенную последовательность и дозировку, делая упражнения, которые позволяют вам эффективно воздействовать на организм, улучшить фигуру, повысить работоспособность, снять усталость после рабочего дня. Вот тут ритмическая гимнастика поможет вам. Всевозможные наклоны, выпады, махи ногами, скачки, подскоки, беговые движения, элементы современных танцев предлагает ритмическая гимнастика или, как ее часто называют, аэробика. Что кроется за этим названием? Да и вообще, что это - мод или все-таки определенная система? Пожалуй и то, и другое.

Красивая одежда (купальник, лосины, гетры, повязка на голову) - это тоже немаловажный фактор, доставляющий удовольствие. Но это и удобство: гетры сохраняют тепло в мышцах ног, повязка на лбу предохраняет глаза от капелек пота, стекающих со лба. Красивая одежда обязывает красиво двигаться. А упражнения ритмической гимнастики в самом деле необычайны и красивы в форме. В них и современные линии, и свобода движений, раскрепощенность, гармония с музыкальным сопровождением. Но, пожалуй, главное - они функциональны. Упражнения

ритмической гимнастики позволяют “проработать” все группы мышц. Лучшие специалисты мира, обобщив опыт различных гимнастических школ, изучив достижения в области современных танцев, движений мюзик-холла, сконструировали упражнения, активно воздействующие на мышцы рук, плечевого пояса, туловища, ног. Занятия физическими упражнениями приводят к изменениям в соотношении жировой и мышечной тканей. Наблюдается снижение или предупреждение увеличения жировой ткани при одновременном увеличении мышечной массы.

Современная ритмическая гимнастика обогатилась и знаниями в области развития физических качеств, а также физиологии мышечной деятельности, которые разработали ученые в спорте. “Сила, выносливость, гибкость, плюс красота” - вот формула современной ритмической гимнастики [2,3].

Все сказанное о ритмической гимнастике обосновано определяет ее как одно из эффективных оздоровительных средств в системе физического самосовершенствования. Именно в этой области современного спорта может применить свои знания, силу и желание работать любая молодая девушка, имеющая хоть какое-то отношение к спорту. Необходимо только закончить курсы преподавателя аэробики, получить свидетельство об их окончании, и можно смело открывать свое дело. За время обучения приобретаются знания, умения и навыки преподавания, основательно изучаются все особенности стандартных программ, и составляются собственные комплексы. Преподавать аэробику - это услуга, широко доступная с точки зрения физического труда и желания довести до пользователя нужность этой услуги, а также экономичная с точки зрения затраченных средств как для представителя услуги, так и для пользователя. Выбор именно такой предпринимательской деятельности обоснован еще и тем, что на сегодняшний день здоровый образ жизни становится привлекательным для людей, в нашей стране он развивается исключительно на коммерческой основе и оплачивается занимающимися, но самое главное - он становится моден. А мода, как известно, огромная движущая сила. Женщины же, в особенности, стараются быть модными, в их сознании - это значит быть привлекательными. А быть привлекательной - это желание каждой женщины. Особенно, если физическая красота сочетается с психологическим здоровьем и здоровым образом жизни. Итак, будем рассчитывать на женщин, их склонность следовать моде, желание и возможность платить за то, чтобы быть красивой.

Убедившись выше в оздоровительной эффективности ритмической гимнастики, рассмотрим наиболее простые экономические аспекты организации занятий ею, то есть перейдем непосредственно к реализации цели настоящего сообщения.

Улучшение физического и психологического здоровья в сочетании с любимым делом, приносящим пусть небольшой, но стабильный доход - самый лучший вариант на пути начинающего предпринимателя [4]. При этом уместно подчеркнуть, что рассматриваемый вид

предпринимательской деятельности объективно реализует условия разрешения задач, не только социальных:

пропаганды здорового образа жизни;

улучшения физического и психологического здоровья занимающихся женщин и девушек;

объективного, постоянного физического самосовершенствования в процессе подготовки и проведения занятий (то есть в процессе выполнения своей работы);

проведения на базе сформированных групп педагогических, психологических и медико-биологических исследований оздоровительной эффективности занятий,

но и экономических:

получения небольшого, но стабильного дохода;

получения прибыли;

накопления опыта предпринимательской деятельности;

накопления первоначального капитала с целью дальнейшего продвижения в сфере бизнеса.

Для реализации проекта можно пойти несколькими путями:

создать спортивно - педагогическое предприятие (клуб, центр, курсы...)

с коллективной либо частной формой собственности;

действовать как частный предприниматель.

Выберем самый дешевый и короткий путь к поставленной цели. Следовательно необходимо зарегистрироваться как частный предприниматель. Чтобы пройти регистрацию необходимо документы:

паспорт;

идентификационный код;

3 фотографии 3.5 см х 4.5 см;

платежный документ, подтверждающий единоразовую оплату госпошлины в сумме 42 грн. 24 коп.

Регистрация происходит в исполкоме, где выдается свидетельство о том, что Вы являетесь частным предпринимателем. Стоимость патента на осуществление деятельности по предоставлению услуг устанавливается органами местного самоуправления, в зависимости от вида услуг [5]. Основанием для приобретения патента является заявка, содержащая следующие реквизиты:

наименование субъекта предпринимательской деятельности;

вид предпринимательской деятельности, осуществление которой требует приобретения патента;

наименование документа о полной или частичной уплате стоимости патента.

Дальнейшая оплата стоимости патента на осуществление предпринимательской деятельности по предоставлению услуг производится ежемесячно до 15 числа месяца, предшествующего

отчетному. В случае, если субъект предпринимательской деятельности имеет структурные подразделения, торговый патент на осуществление по предоставлению услуг приобретает отдельно для каждого структурного подразделения [5]. Налог на прибыль субъекта предпринимательской деятельности или структурного подразделения, подлежащий уплате в бюджет, уменьшается на стоимость приобретенных торговых патентов. В налоговой администрации, в которой Вы будете отчитываться, присваивается код и выдается журнал расходов и доходов частного предпринимателя, зарегистрированный в налоговой инспекции, прошитый, пронумерованный и скрепленный печатью налоговой администрации.

Следующим этапом будет выбор помещения. Для занятий ритмической гимнастикой, для небольших групп, подойдет любое приспособленное помещение. Важно еще и то, что не требуется никакого специального технического обеспечения, кроме магнитофона, зеркал, легкого покрытия на пол. В основном это спортивные залы средних школ, училищ, спортивных школ, различных клубов. Аренда такого зала на 6 -8 часов в неделю выгодна и арендодателю и арендатору. Особенно, если предоставить арендодателю льготные условия занятий для работников его учреждения. С директором заключается договор аренды спортивного зала, в котором указываются условия аренды, стоимость аренды, количество часов аренды зала и раздевалки. При выборе месторасположения спортивного зала необходимо тщательно взвесить все за и против. Желательно найти большой жилой район, где конкуренция отсутствует или предельно минимальная. От этого выиграете и Вы, так как сможете доступно и качественно донести до пользователя нужность Вашей услуги, а также быстро завоевать рынок потребителей Вашей услуги. Выиграют и Ваши непосредственные клиенты, так как у них появится возможность не очень далеко от дома посещать занятия РГ, экономить время и деньги на проезд.

Итак, основной вид Вашей предпринимательской деятельности - преподавание комплексов РГ, рассчитанный именно на женщин. Теперь необходимо правильно и красиво преподнести эту информацию до непосредственных пользовательниц. Это можно сделать с помощью красивых рекламных объявлений, развешанных по всему району. Обратит их внимание на то, что Ваши занятия предусматривают разделение занимающихся на три основные группы, в зависимости от возраста, уровня нагрузки, комплекции:

группа А - молодые девушки;

группа Б - женщины;

группа В - полные женщины и девушки.

Для каждой группы составляется и прорабатывается отдельный комплекс упражнений, помогающих:

уменьшить объем жировых клеток;

- исправить походку;
- улучшить форму бедер;
- уменьшить окружность талии;
- воспитать выносливость;
- укрепить мышцы груди.

Данный проект рассчитан на двух преподавателей, ведущих три основные группы. В каждой группе не менее 15 человек. Занятия будут проводиться 2 раза в неделю, в удобное вечернее время, для каждой группы отдельно (табл. 1).

Примерная планируемая заработная за вычетом налогов составляет 171 грн. 45 коп. (табл. 2, 3) за одного работника. Таким образом, один преподаватель помимо своего основного заработка в течение дня, может заработать 171 грн. 45 коп. за 12 часов работы в месяц.

Чтобы определить стоимость месячного занятия для одного человека рассчитаем постоянные ежемесячные затраты (табл. 4).

Они составляют 600 гривень, следовательно стоимость месячного занятия составляет:

Таблица 1

Примерное расписание занятий

Первый преподаватель		Второй преподаватель	
Понедельник		Понедельник	
Четверг	18.00 - 19.00 группа А	Четверг	19.00 - 20.00 группа Б
Вторник	19.00 - 20.00 группа В	Вторник	19.00 - 20.00 группа В

Таблица 2

Планируемая ЗП и расчет удержания налогов из ЗП

ЗП и налоги	Размер, %	Из расчета 1-го работника, грн.	Из расчета 2-х работников, грн.
Основная ЗП	100	200	400
Удержание налогов: в бюджет	рассчитывается по шкале ставок	25.55	51.10
подходный налог с граждан		1.00	2.00
фонд соц. защиты (пособие по безработице)		2.00	4.00
пенсионный фонд	1.0		
Итого удержано		28.55	57.10
Итого выдано		171.45	342.90

Таблица 3

Шкала ставок подоходного налога с доходов граждан

Месячный совокупный налогооблагаемый доход	Ставка и размеры налога
до 17 гривень (с дохода в размере одного необлагаемого минимума)	не облагается
18 гривень - 85 гривень (от 1 до 5 необлагаемых минимумов)	0 % от суммы дохода, превышающего размер одного необлагаемого минимума
86 гривень - 170 гривень (от 5 до 10 необлагаемых минимумов)	6 гривень 80 коп. + 15 % с суммы, превышающей 85 гривень
171 гривня - 1020 гривень (от 10 до 60 необлагаемых минимумов)	19 гривень 55 коп. + 20 % с суммы, превышающей 170 гривень
1021 гривня - 1700 гривень (от 60 до 100 необлагаемых минимумов)	189 гривень 55 коп. + 30 % с суммы, превышающей 1020 гривень
1701 гривня (свыше 100 необлагаемых минимумов)	393 гривни 55 коп. + 40 % с суммы, превышающей 1700 гривень

Таблица 4

Постоянные ежемесячные затраты

Вид затрат	Расчет затрат		
Аренда помещения	100 кв.м.	х	24 ч/ мес. = 100 грн.
Заработная плата	200 грн	х	2 препод. = 400 грн.
Стоимость патента	50 грн.	х	2 препод. = 100 грн.
Итого:			600 грн.

600 грн.: (3 группы х 15 чел.) = 13.30 грн.

На сегодняшний день, в среднем по городу стоимость месячного занятия за одного человека колеблется от 20 до 25 гривень. Если наше занятие будет стоить 20 гривень в месяц, то

20 грн. х 3 группы х 15 чел. = 900 грн.

Отсюда чистый доход в месяц составляет:

900 - 600 = 300 грн.

Налог на прибыль в нашем случае не платится, так как налог уменьшается на стоимость торговых патентов [5], в нашем случае два патента стоят 100 грн., а налог на прибыль составляет:

300 х 30 % = 90 грн.

Кроме постоянных затрат, для реализации проекта необходимы первоначальные единоразовые вложения (табл. 5).

Первоначальные затраты

N	Статья затрат	Сумма затрат, грн.
1	госпошлина за регистрацию частного предпринимателя	42.24
2	разработка стандартного рекламного объявления, лист формата А4	10.00
3	покупка магнитофона	200.00
4	клей ПВА	2.00
5	покупка аудиокассет с музыкой	10.00
6	затраты на типографию 200экз. х 0.05 грн.	10.00
7	пачка листов формата А4	5.00
8	ИТОГО	279.24

Следовательно чистая прибыль первого месяца предпринимательской деятельности достаточна для покрытия единоразовых организационных расходов, что и определяет срок окупаемости проекта. Если сравнивать организацию предпринимательской деятельности по ритмической гимнастике с другими видами спорта, то в силу необходимости существенных затрат на оборудование для занятий, однозначно можно сказать о том, что ритмическая гимнастика является наиболее экономически минимизированной.

Вышеизложенные организационные и экономические аспекты позитивно апробированы при организации и работе на базе Клуба симферопольского пивзавода секции ритмической гимнастики под руководством Садовской Ю.Я. [3].

Литература.

1. Лисицкая Т. С. Ритмическая гимнастика. - М.: ФиС, 1995.
2. Садовская Ю.Я. Оздоровительная эффективность занятий РГ. ж. "Педагогика и психология". Киев, "Наукова думка", 1998г. (в печати).
3. Садовская Ю.Я. Оздоровительная эффективность занятий РГ в системе физического самосовершенствования (настоящие Ученые записки).
4. Закон Украины "Про предпринимательство" от 26.02.91г. N785 - 12
5. Закон Украины "О патентовании некоторых видов предпринимательской деятельности" от 23.03.96г. N98/96-ВР.
6. Письмо ГНИ Украины "Об изменениях в шкале ставок подоходного налога с доходов граждан" от 12.09.96 г. N17-214.

ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАНЯТИЙ РИТМИЧЕСКОЙ ГИМНАСТИКОЙ (РГ) В СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКОГО САМОСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Садовская Ю. Я., аспирантка

РГ В СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКОГО САМОСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Преодоление социально-экономического кризиса и развитие гражданского общества в Украине невозможны без улучшения генофонда нации, реальная угроза которому (как следствий социальных и экологических катастроф) очевидна из (сегодня уже доступной) статистики физического и духовного здоровья дошкольников, школьников, призывников и студентов.

Концепция здоровья "Всемирной организации здравоохранения" (ВОЗ):

"Здоровье - это состояние наибольшего физического, душевного и социального благополучия..." на первое место ставит физическое здоровье человека.

Просто и мудро.

Ибо физическое здоровье - это первооснова реализации индивидуума во всех системообразующих жизненных аспектах: личной жизни (брак - семья, отцовство - материнство, материальное благополучие, образование), в Мирном (в широком смысле - работа, творчество, искусство, спорт, политическая деятельность, социальная активность и пр.) и Ратном труде.

Итак, человек должен быть очень крепок и здоров. Медицина не делает крепким. В сегодняшних условиях она не обеспечивает и лечения многочисленных болезней, так что ей не до здоровых людей. Валеология - наука о здоровье, о здоровом образе жизни - пока на начальной стадии организационного становления и практической значимости.

Но и профилактическая медицина, и валеология полагают универсальными средствами укрепления человека, профилактики болезней и укрепления здоровья занятия физическими упражнениями, т.е. физкультуру.

К сожалению, **ОБЩЕСТВЕННОЕ СОЗНАНИЕ** у нас далеко от необходимого для **ЗДОРОВЬЯ НАЦИИ** понимания значимости физкультуры.

Наш Великий современник киевлянин Николай Михайлович Амосов физкультурой победил свои болезни и подвижнически в течений долгих лет пропагандировал в СМИ и в лекциях (по всей стране) основы оздоровительной физкультуры. Разочаровался и перестал, поскольку разуверился в эффективности энтузиазма единиц (пусть десятков) сформировать убеждение нации в том, что здоровье каждого во многом в собственных руках.

Многочисленные публикации людей, физкультурой победивших свои болезни, серии интереснейших специальных исследований не оставляют сомнений в том, что сознание человека во многом определяет его здоровье. Однако сознание, т.е. умение пользоваться знаниями, для

физической культуры (в ряду многих наук о человеке) имеет наибольшее значение. И судить о физической культуре человека следует не только и не столько по уровню физкультурной образованности, но по уровню освоенности умений, навыков и их использованию в своей жизни.

Какие возможности и условия есть в нашем социуме сегодня для освоения культуры физической?

Ответ на этот вопрос просматривается при рассмотрении сегодняшних реалий структуры и существа национального спорта (в широком смысле, как и во всем мире, понимаемом в диапазоне от соревновательных реализаций до оздоровительно-развлекательных и воспитательных реализаций) [1-6], который по приоритетам организационных форм должен рассматриваться в трех аспектах:

СПОРТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ (в дошкольных учреждениях, школах всех ступеней, в ВУЗах). Этот спорт финансируется государством, профсоюзами и другими социальными системами. Он обязательный и бесплатный (только в государственных учебных заведениях) для занимающихся;

СПОРТ МАССОВЫЙ (оздоровительно-развлекательный), сегодня уже развиваемый исключительно на коммерческой основе и оплачиваемый занимающимися (!);

СПОРТ ВЫСШИХ ДОСТИЖЕНИЙ (профессиональный и олимпийский), развиваемый государством и коммерческими структурами. Этот спорт - спорт звезд, обеспеченных материально и защищенных социально. Количественно он незначим в масштабе социума, однако, в силу объективных причин (зрелищность, традиционный институт болельщиков, накал соревновательной борьбы, честолюбие и патриотизм спортсменов, и, наконец, при всех режимах жесткое курирование правящих структур - как престижным показателем уровня развития социума), всегда опережает уровни образовательного и массового спорта.

Резюмируем: массовый спорт в Украине, уже - и на необозримый период, как и во всем мире **ОБРЕЧЕН** развиваться и функционировать на **КОММЕРЧЕСКОЙ ОСНОВЕ**.

Трагично, но для подавляющей части украинского социума, перешагнувшей недолгий период образовательного бесплатного спорта, доступность его становится непреодолимой материальной проблемой, и, объективно, **РЕАЛЬНОЙ УГРОЗОЙ ГЕНОФОНДУ НАЦИИ**.

Решить эту сложную проблему может только **КОНЦЕПЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО САМОСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**, предполагающая обеспечение в период образовательного спорт индивидуума **УБЕЖДЕНИЯМИ, ЗНАНИЯМИ, УМЕНИЯМИ И НАВЫКАМИ**, необходимыми, достаточными для физического самосовершенствования, то есть оздоровления каждым самого себя течении всей жизни.

КФС предполагает превращение занимающихся (на десятилетия - от выхода из временной ниш образовательного спорта и до завершения жизненного пути) из **ОБЪЕКТОВ** в **СУБЪЕКТИВНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ** деятельности.

Это значит, что каждый завершивший образование должен быть **УБЕЖДЕН** в необходимости и уметь **САМОСТОЯТЕЛЬНО** (на максимально возможном уровне обеспечения соответствия изменяющемуся возрасту, физическим концепциям, здоровью) организовать свои занятия, т.е. свое **ФИЗИЧЕСКОЕ САМОСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ** до глубокой старости. Иными словами, каждый должен стать себе и тренером, и в какой то мере "врачом", и реабилитатором, и психологом. А возможно ли это в принципе ? И возможно, и должно !

Одним из самых доступных и экономичных средств физического самосовершенствования на сегодняшний день является РГ.

РГ И ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ

В процессе регулярных занятий РГ исследовалась познавательная сфера занимающихся, мотивационная, эмоциональная и система основных профессионально важных качеств у спортсменов разной профессиональной квалификации.

Исследовалось две группы: 40 девушек, занимающихся РГ не более одного года, и 10 девушек, занимающихся РГ более трех лет.

Из познавательной сферы исследовалась динамика свойств внимания и памяти по методам корректурного теста Б. Бурдона и краевого эффекта Эббингаузена.

Из мотивационной сферы исследовалось мотивация достижения по тесту - опроснику А. Мехрабиана; для исследования типа общей эмоциональной направленности (ОЭН) использовалась методика Б. И. Додонова; для исследования ПВК использовались темпинг-тест, метод двухстепенного тройного деления и метод исключения зрительного анализатора; эмоциональная сфера исследовалась с помощью методики САН.

Полученные данные свидетельствуют, что в начальный период занятий РГ у занимающихся доминирует мотив избегания неудач. В период уверенного освоения программ и хорошей физической подготовленности доминирует мотив достижения успеха. Также у начинающих доминируют два типа ОЭН - коммуникативный и практический ; у опытных коммуникативный и гедонистический. Обнаружены положительные и достоверные сдвиги распределения внимания (на 5-6 %), объема кратковременной памяти (на 7-8 %) (рис. 1), оценки эмоционального состояния (на 11%).

Выявлена достоверная взаимосвязь между успешностью выполнения и такими ПВК, как лабильность по процессу возбуждения, сила нервной системы, зрительно-двигательная координация, двигательная память (табл. 1, 5, 6, 7).

Не обнаружены достоверные связи между успешностью выполнения и лабильностью по процессу торможения, общей лабильностью и эмоциональной устойчивостью (табл 2, 3, 4).

Методом экспертных оценок индивидуальной результативности занимающихся были сформированы две полярные по успешности обучения группы. Исследованы закономерность связей между параметрами НС и успешностью занятий РГ. (Методом К. Пирсона).

Таблица 1

Зависимость между успешностью и лабильностью по процессу возбуждения

$i \backslash j$	Высокая успешность	Низкая успешность	Сумма
Высокая лабильность по процессу	9 6,24	4 6,76	13
Низкая лабильность по процессу	3 5,76	9 6,24	12
Сумма	12	13	25

Справа в нижнем углу указаны теоретические частоты.

$$\chi^2_{\text{набл.}} = 2 \times \frac{(9 - 6,24)^2}{6,24} + \frac{(3 - 5,76)^2}{5,76} + \frac{(4 - 6,76)^2}{6,76} = 4,888$$

$$\chi^2_{\text{кр.}} (0,05 ; 1) = 3,84 < \chi^2_{\text{набл.}} = 4,89$$

Таблица 2

Зависимость между успешностью и лабильностью по процессу торможения

$i \backslash j$	Высокая успешность	Низкая успешность	Сумма
Высокая лабильность по процессу	8 5,76	4 6,64	13
Низкая лабильность по процессу	4 6,24	9 6,76	12
Сумма	12	13	25

$$\chi^2_{\text{набл.}} = \frac{(8 - 5,76)^2}{5,76} + 2 \times \frac{(4 - 6,64)^2}{6,64} + \frac{(9 - 6,76)^2}{6,76} = 3,21$$

$$\chi^2_{\text{кр.}} (0,05 ; 1) = 3,84 > \chi^2_{\text{набл.}} = 3,21$$

Таблица 3

Зависимость между успешностью и общей лабильностью НС

j \ i	Высокая успешность		Низкая успешность		Сумма П _j
Высокая общая лабильность	4	5,76	8	6,24	12
Низкая общая лабильность	8	6,24	5	6,76	13
Сумма	12		13		25

$$X_{\text{набл.}} = \frac{(4-5,76)^2}{5,76} + \frac{(8-6,24)^2}{6,24} + \frac{(5-6,76)^2}{6,76} = 1,987$$

$$X_{\text{кр.}} (0,90 ; 1) = 2,71 > X_{\text{набл.}} = 1,98$$

Таблица 4

Зависимость между успешностью и силой НС

j \ i	Высокая успешность		Низкая успешность		Сумма П _j
Высокая сила НС	3	6,24	10	6,76	13
Низкая сила НС	9	5,76	3	6,24	12
Сумма	12		13		25

$$X_{\text{набл.}} = 2x \frac{(3-6,24)^2}{6,24} + \frac{(9-5,76)^2}{5,76} + \frac{(10-6,76)^2}{6,76} = 6,738$$

$$X_{\text{кр.}} (0,99 ; 1) = 6,64 < X_{\text{набл.}} = 6,738$$

Таблица 5

Зависимость между успешностью и устойчивостью НС

j \ i	Высокая успешность		Низкая успешность		Сумма П _j
Высокая устойчивость	6	5,28	5	5,72	11
Низкая устойчивость	6	6,72	8	7,28	14
Сумма	12		13		25

$$X_{\text{набл.}} = \frac{(6-5,28)}{5,28} + \frac{(6-6,72)}{6,72} + \frac{(5-5,72)}{5,72} + \frac{(8-7,28)}{7,28} = 0,336$$

$$X_{\text{кр.}} (0,50 ; 1) = 0,45 > X_{\text{набл.}} = 0,336$$

Таблица 6

Зависимость между успешностью и зрительно-двигательной координацией

j \ i	Высокая успешность		Низкая успешность		Сумма П _j
Высокая координация	9	6,24	4	6,76	13
Низкая координация	3	5,76	9	6,24	12
Сумма	12		13		25

$$X_{\text{набл.}} = \frac{(9-6,24)}{6,24} + \frac{(3-5,76)}{5,76} + \frac{(4-6,76)}{6,76} + \frac{(9-6,24)}{6,24} = 4,889$$

$$X_{\text{кр.}} (0,05 ; 1) = 3,84 < X_{\text{набл.}} = 4,89$$

Таблица 7

Зависимость между успешностью и двигательной памятью

j \ i	Высокая успешность		Низкая успешность		Сумма П _j
Высокая двигательная память	8	6,24	4	6,76	12
Низкая двигательная память	4	5,76	9	6,24	13
Сумма	12		13		25

$$\chi^2_{\text{набл.}} = \frac{(8-6,24)^2}{6,24} + \frac{(4-5,76)^2}{5,76} + \frac{(4-6,76)^2}{6,76} + \frac{(9-6,24)^2}{6,24} = 2,791$$

$$\chi^2_{\text{кр.}}(0,90; 1) = 2,71 < \chi^2_{\text{набл.}} = 2,79$$

Анализ экспериментальных данных и их статистической обработки, констатировавшей неравенство $\chi^2_{\text{кр.}} \neq \chi^2_{\text{набл.}}$, свидетельствуют о достоверном наличии прямой связи между успешностью выполнения и лабильностью по процессу возбуждения (табл. 1). Такая же зависимость существует между успешностью и силой нервной системы (табл. 5), успешностью и зрительно-двигательной координацией (табл. 6), успешностью и двигательной памятью (табл. 7).

Не обнаружена связь между успешностью и лабильностью по процессу торможения (табл. 2), успешностью и общей лабильностью (табл. 3), успешностью и эмоциональной устойчивостью (табл. 4).

Изложенное свидетельствует о том, что РГ улучшает эмоциональное состояние занимающихся, обуславливает трансформацию мотивации в сторону оздоровительно-эстетических ценностей, улучшает познавательную сферу занимающихся, что достоверно свидетельствует об улучшении психологического здоровья занимающихся.

РГ И ФИЗИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ

Для медико-биологической оценки оздоровительной эффективности занятий РГ использовались: анамнез, антропометрия, метод индексов, пневматометрия и велоэргометрия.

В группе обследуемых около 50 % женщин практически никогда не занимались физической культурой, только 25 % к моменту начала занятий РГ регулярно занималось индивидуальной гимнастикой в разных формах. В соответствии с полученными сведениями физическая подготовленность 80 % обследуемых женщин оценивалось как низкая, 20 % ниже средней.

Исследовалось две группы девушек:

первая группа 40 человек, занимающихся РГ не более одного года;

вторая группа 10 человек, занимающихся РГ более трех лет.

Инструментальным методом исследования подвергались лица не имеющие серьезных травм и перенесенные сердечно-сосудистые заболевания, без жалоб на боли в области сердца и основные “факторы риска” ишемической болезни сердца.

Возраст, характер двигательного режима в быту и в труде, физическая подготовленность обследуемых и другие данные, полученные в ходе анализа (методом анкетирования), учитывались при составлении начальных программ занятий РГ.

Исходные (до занятий РГ) морфофункциональные показатели по данным антропометрии пневмотахометрии свидетельствуют о низком уровне физического развития обследуемых. Так индекс Кетле (J_k), существенно выше, а жизненный индекс ($J_{ж}$) ниже нормы, показатель процентного отношения к фактической жизненной емкости легких (ЖЕЛ) к должной (ДЖЕЛ) составил 96,9 %, что свидетельствует об избытке массы тела и низких потенциальных функциональных возможностях аппарата внешнего дыхания.

Низкие значения показателей становой и кистевой динамометрии характеризуют слабое развитие мускулатуры - так, показатель процентного отношения мышечной массы к массе тела составил 41 %, что ниже нормы для женщин.

Экскурия грудной клетки при выдохе значительно меньше экскурсии на вдохе и составляет 20 %, в то время, как у физически крепких людей экскурсия при вдохе и при выдохе почти одинакова, что свидетельствует о слабой выдыхательной способности грудной клетки и низкой ее подвижности.

Значение $M_{вд}$ равное 3,01 л/с находится в пределах низкой границы для женщин и составляет 3/4 от $M_{вд}$ (в данной возрастной группе $M_{вд}$ должно быть равно $M_{вд}$), что, по видимому отражает недостаточность бронхиальной проводимости при вдохе, обусловленную или низкой эластичностью легочной ткани, или слабым развитием межреберных мышц, обеспечивающих форсированный вдох.

Шестимесячные занятия РГ привели к выраженным достоверным ($p < 0,05$) положительным сдвигам в физическом развитии и функциональном состоянии занимающихся. В результате снижения массы тела (на 7,5 %) и повышения ЖЕЛ (на 4,5 %), J_k снизился на 7,6 %, $J_{ж}$ увеличился на 13 %, ЖЕЛ/ДЖЕЛ $\times 100$ увеличилось на 8,8 %.

Динамика этих показателей, а также повышение Δ общ (на 2,9 %), в первую очередь за счет возрастания подвижности грудной клетки при выдохе (на 4,3 %), повышение $M_{вд}$ на 4,7 % и $M_{ст}$ на 11 %, повышение показателя отношения мышечной силы к массе тела на 7,7 % и становой силы на 7,2 % отражают позитивное морфофункциональное изменение в опорно-двигательном аппарате аппарата внешнего дыхания в результате воздействия психофизических нагрузок регулярных шестимесячных занятий РГ (подробное рассмотрение эмоционального воздействия будет выполнено ниже).

Повышение бронхиальной проводимости при вдохе в большей степени, чем при выдохе, а так же преимущественное развитие выдыхательной способности грудной клетки, снижают выявленное у обследуемых до начала регулярных занятий РГ некоторое дисгармоничное развитие респираторной системы, и способствует усилению легочной вентиляции при мышечной работе, лучшему оттоку крови от легких к сердцу и лучшему кровообращению в брюшной полости.

Перечисленные морфофункциональные изменения респираторной системы и опорно-двигательного аппарата лежат в основе долговременной адаптации организма занимающихся к психофизическим нагрузкам при занятиях РГ.

До систематических занятий РГ фоновый уровень ЧСС, АД у обследуемых оказался в пределах нормы. Физическая работоспособность составила $569 \pm 10,6$ кгм/мин или $8,07 \pm 0,2$ кгм/мин х кг и $323,3 \pm 6,1$ кгм/мин х м² в перерасчете на 1 кг веса и 1 м² поверхности тела.

Физическая работоспособность равная $49,1 \pm 1,0$ % ДМПК свидетельствует о низких функциональных возможностях обследуемых.

Соответственно низкой физической работоспособности наблюдается и низкое значение МПК, которое составило $2,21 \pm 0,05$ л/мин или в перерасчете на 1 кг веса $31,3 \pm 0,77$ мл/мин х кг. МПК равное $78,1 \pm 1,7$ % ДМПК, которое для данной возрастной группы равно 2,8 л/мин, характеризует низкие функциональные возможности кардио-респираторной системы.

При определении толерантности организма к физическим нагрузкам пороговая нагрузка составила $535,7 \pm 12,0$ кгм/мин, пульсовой предел толерантности (ППТ) - $97,4 \pm 1,6$ %. Значение ППТ близкое к 100 % свидетельствует о достаточной толерантности к физическим нагрузкам.

Тип реакции (по динамике АД и ЧСС) нормотонический, что также свидетельствует об адекватности физических нагрузок функциональным возможностям организма обследуемых. После проведения пробы уровень ДАД на пятой минуте восстановления практически не отличается от исходного, а уровень САД в пределах нормы для состояния покоя, однако, достоверно ($P < 0,001$) выше исходного. Пульсовой долг (ПД) составил 18,2 уд/мин.

После шестимесячных занятий РГ наблюдается достоверное повышение физической работоспособности, толерантности и адаптации к нагрузкам, ускорение процессов восстановления.

Так физическая работоспособность повысилась на 11 %, а в перерасчете на 1 кг веса и 1 м² поверхности тела на 20 % и 14 % и составила соответственно $632,0 \pm 10,0$ кгм/мин, $9,69 \pm 0,19$ кгм/мин х кг, $369,6 \pm 5,8$ кгм/мин х м². А ее уровень относительно ДМПК повысился на $14,7 \pm 1,1$ % и составил $56,3 \pm 1,1$ %. Соответственно, на 13,4 % повысилось в перерасчете на 1 кг веса МПК, которое составило $35,5 \pm 0,7$ мл/мин х кг. Существенное повышение физической работоспособности и МПК достигшее $85,9 \pm 1,7$ % от ДМПК свидетельствует о повышении функциональных возможностей кардио-респираторной системы.

Пороговая нагрузка при неизменном ($P > 0,05$) ППТ повысилась на 12 % и составила $600 \pm 5,1$ кгм/мин. Еще более значительно ее уровень повысился относительно ДМПК - 15,5 %.

Повышение физической работоспособности и толерантности к нагрузкам сопровождалось снижением уровня энерготрат на 14-15 %. Энергетический уровень нагрузки PWC_{170} и пороговой нагрузки после шестимесячных занятий РГ составил $41,6 \pm 1,2$ % и $44,2 \pm 1,1$ % против $49,1 \pm 1,2$ % и $51,6 \pm 1,2$ % до занятий РГ.

Наряду с повышением экономичности при выполнении физических упражнений наблюдается существенное ускорение процессов восстановления.

Пульсовой долг (ПД) на пятой минуте восстановления после пробы PWC_{170} снизился на 27,5 % и составил $13,2 \pm 0,8$ уд/мин. Также наблюдается достоверное ($P < 0,001$) снижение САД (на пятой минуте восстановления), которое после шестимесячных занятий РГ практически не отличалось от ($P > 0,05$) уровня САД в покое.

Анализ динамики функционального состояния, толерантности и процессов восстановления, также повышение уровня пороговой нагрузки до 54 % от ДМПК и ЧСС на пороге толерантности до 162 уд/мин, которая достигла должных значений для данной возрастной группы, позволило рекомендовать после шестимесячных занятий РГ повысить физические нагрузки соответственно повышению этих показателей.

Изложенное свидетельствует о том, что РГ улучшает физическую работоспособность, адаптацию к нагрузкам, ускоряет процессы, восстановления, способствует снижению массы тела, повышает функциональные возможности кардио-респираторной системы, то есть достоверно свидетельствует об улучшении физического здоровья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные результаты выполненных исследований свидетельствуют об улучшении функционирования и параметров психологической и физической сферы занимающихся: памяти, внимания, эмоций, мотиваций, кардио-респираторной системы, толерантности, физической работоспособности, то есть улучшаются как психологические, так и физиологические компоненты здоровья. РГ - является доступным и эффективным оздоровительным средством системы физической самосовершенствования социума.

Литература.

1. Лейкин М. Г., Баранов В. В. Социологические аспекты концепции физической самосовершенствования. Труды международной конференции «Преподаватель и студент СГУ, 1997 г., с. 110-115

2. Лейкин М. Г. Управление программным обеспечением физического воспитания в образовательных учреждениях в контексте концепции физического самосовершенствования (в книге «Аналитическая деятельность руководителей - условие оптимального управления школы»). АПН - СГУ, Симферополь, 1997 г., с. 72-74.
3. Лейкин М. Г. Программа «Охрана здоровья нации», СГУ, 1998 г. 16 с..
4. Садовская Ю.Я. Динамика познавательных и эмоциональных процессов при занятиях ритмической гимнастикой. Тезисы международной конференции: Минск, 1995 г., Т.2, 80 с.
5. Баранов В.В., Лейкин М.Г., Садовская Ю.Я., Цыгановская Н.Г. Педагогический самоконтроль в системе физического самосовершенствования .Кировоград, 1995г., с.82-83.
6. Садовская Ю.Я. Оздоровительная эффективность занятий РГ. ж. «Педагогика и психология». Киев, «Наукова думка», 1998 г. (в печати).

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИОННОГО ПРОЦЕССИНГА АЛЬБУМИНА В СЫВОРОТКЕ КРОВИ У СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ КАРАТЭ-ДО

Сорокина А. Г., кандидат биологических наук, доцент

Сакун Л. К., старший преподаватель

Альбумин сыворотки крови (ЧСА) представляет собой удобную модель для изучения молекулярных основ лиганд-белковых взаимодействий в связи с достаточно простым способом выделения и большим содержанием в кровотоке. Структурные параметры транспортного комплекса альбумина существенно варьируют при различных перестройках обмена веществ у человека. Нарушение гибкости [24, 25], конформационной пластичности молекул белка [3, 6, 41] влияет на функциональные и физико-химические свойства при комплексовании [31, 41, 46, 51]. Динамика альбуминового процессинга играет исключительно важную роль в адаптационных реакциях организма [38, 47, 53]. Альбумин-зависимый транспорт метаболитов [43, 55], эндотоксинов [25, 58] и различных субстратов энергообеспечения [19, 42] рассматривался ранее как модель адаптации организма к физическим нагрузкам [54]. Изменение условий функционирования сывороточного альбумина обеспечивает раннюю защиту клеток от "апоптоза" или срыва приспособительных механизмов и "зашлаковывания" кровяного русла. В спорте физические напряжения рассматриваются как своеобразное "пограничное" состояние человека, определение которого через молекулярные экспоненты альбуминового пула может обеспечить профилактику заболеваний и реабилитацию [3, 7, 9, 12, 43]. Известны протекторные свойства альбуминовой рецепторной [58] системы при транспорте лекарственных веществ [23], конкурирующих за сайты связывания с билирубином, холестерином, жирными кислотами, углеводами и другими субстратами обмена веществ [5, 16, 32, 33, 40, 52, 54, 57] в тканях. Степень "разрыхления" и доступность гидрофобных областей альбумина для лигандов [41] различного химического строения, "меток" и "зондов" [3], стабилизирует или изменяет пространственную укладку, что может быть связано и с тиолдисульфидным обменом [1, 31, 49 и другие]. Широко известно воздействие на ЧСА ксенобиотиков [26], множественных форм цитохрома Р-450 [29], аминокислотных остатков триптофана [18], гликозилирования [13, 46]. Нами предпринята попытка учесть экспрессированность генома [36], влияние на ЧСА редко комплексирующихся эндолигандов [43] и их конкуренцию за площадки связывания. В кровотоке, ассоциации по слабому типу взаимодействий с полярными группировками белка могут удерживать сывороточный альбумин от денатурации [3, 41]. Альбумин, выполняя основную роль в очистке

кровотока от экзо- и эндотоксинов, функционально незаменим [57]. Например, при высвобождении из адипозной ткани (жировой клетчатки) незэстерифицированных жирных кислот (НЭЖК) известно тотальное связывание альбумином в связи с токсичностью их для миокарда. Альбуминовый транспорт взаимосвязан со способностью тканей или отдельных клеток избирательно утилизировать катионы и анионы различной химической природы [4, 44, 56]. Сродство белковых молекул или "транспортного комплекса" к жирным кислотам [41] динамично; при патологии, радиоактивно меченные альбумин и олеат во внесосудистом транспорте считаются взаимонезависимыми [60]. В организме человека, при адаптации к физическим нагрузкам соревновательного характера, сывороточный альбумин играет решающую роль как составное звено метаболической цепи липидного обмена [3, 43]. По электрофоретической подвижности в разных средах (на бумаге, в агар-агаре, в полиакриламидном геле и проч.) конкурирующими выступают низкоконцентрированные, чаще патологические, преальбуминовые фракции [17, 34], не выявляющиеся при многократной очистке – "разгонке" препаратов белка [2, 61].

Наиболее интересными, на наш взгляд, представляются исследования радиационной устойчивости альбумина, что особенно актуально в последнее время [22, 30]. В спортивной практике известна детерминированность альбуминовой компоненты липидного обмена позволяет выявлять особенности процессов утомления [37, 39, 48, 50, 55]. При перенапряжениях и/или чрезмерных нагрузках у мастеров спорта обнаруживается перенос сывороточным альбумином фосфолипидов [50]. Исследований, проведенных в этом направлении, к настоящему времени оказалось недостаточно для однозначных выводов в практической биохимии спорта [31, 46].

Целью данной работы являлось изучение функциональных свойств и особенностей связывания сывороточного альбумина с отдельными низкомолекулярными модуляторами комплекса при физических напряжениях у каратэистов.

Материалы и методы исследования

Выделение сывороточного альбумина проводилось стандартным методом препаративного электрофореза в полиакриламидном геле (ПААГ), трис-глициновом буфере с pH-8,3 [11, 28], при напряжении 140 В, силе тока 48 мА в течение 18 часов, когда обеспечивается достаточная очистка ЧСА от эстераз и других белков сыворотки крови. Анализ иммуно-химической идентичности выделенных образцов альбумина проводился по Манчини [2, 62] на агаре "Difco"(USA) при суточной экспозиции в насыщенных водными парами кристаллизаторах на предметных стеклах. Наружный диаметр преципитационных агаровых дисков составлял 12 мм, внутренний – 2 мм, толщина – 3 мм. Размер кольца преципитации измеряли с использованием линейной шкалы. Гомогенность выделенных образцов альбумина оценивали аналитическим электрофорезом на

пластинках ПААГ, с последующим прокрашиванием кумасси-синим [15, 43].

Уточнение химической природы липидной составляющей альбуминовой транспортной переменной проводили хромато-масс-спектрометрически на приборе "Fennigan-3200F" с автоматической обработкой данных на интерпретаторе-приставке [43]. Флуорометрические исследования "мест" связывания для Зонда-31 в альбумине выполняли на приборе "Зонд" [3, 14]. Продукты пероксидации полиненасыщенных (ПНЖК) и незастерифицированных жирных кислот, связываемых альбумином, определяли известным методом Плацер 3. при длинах волн 232 и 273 нм на спектрофотометре СФ-46 и липидов на КФК-3 при $\lambda=546$ нм [8]. Наличие гексоз оценивали методом Винцлера [21]. Содержание свободного фосфора [Фн], ассоциированного с ЧСА – репрезентативной методикой с малахитовым зеленым и детергентом Бридж-35 [27]. Контроль качества соответствовал требованиям [59]. Кровь брали из локтевой вены до и после нагрузки у 8 каратэистов (возраст 20-25 лет, у 3 – квалификация 1 Дан). Контрольную по возрасту и полу группу составили 40 доноров, не занимающихся спортом. Статистическую обработку проводили по Кокунину [20] и с использованием критерия Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

В наших исследованиях обнаружены особенности комплексования метаболитов сывороточным альбумином в специфических условиях учебного процесса каратэистов. В таблице представлены показатели, полученные после изучения выделенной электрофоретической фракции альбумина сыворотки крови студентов, выполнявших физическое упражнение согласно плана-графика учебного процесса.

Таблица 1

Связывание низкомолекулярных веществ сывороточным альбумином у каратэистов до и после физической нагрузки

Исследуемые показатели	Продукты * ПОЛ	Общие липиды	Фн	гексозы	Зонд-31
ед.измерения	усл.ед./100 мг	г/100 мг	ммоль/моль	мг/100 мг	г/л
доноры, ** нетренированные n = 40	0,4 ± 0,04	2,3 ± 0,2	0,9 ± 0,02	2,9 ± 0,4	20 – 52
	p < 0,05			p < 0,05	
каратэисты n = 8 до нагрузки	0,2 ± 0,06	3,0 ± 0,2	1,1 ± 0,05	2,0 ± 0,1	29,4 ± 1,6
после нагрузки	0,15 ± 0,03	3,3 ± 0,2	1,2 ± 0,04	2,1 ± 0,2	28,5 ± 2,0
Отклонения от средней арифметической в квалификации 1 Дан *** (до и после нагрузки)					
I	0,03 – 0,02	2,8 – 3,6	1,01 – 0,99	1,7 – 1,5	25,3 – 40,5
II	0,04 – 0,03	2,0 – 2,9	0,98 – 0,99	1,9 – 1,5	25,3 – 35,1
III	0,02 – 0,01	3,7 – 4,3	0,99 – 0,99	2,2 – 1,7	28,7 – 31,8

* Продукты ПОЛ – первичные продукты пероксидации липидов;

** p – приводится не везде, что обусловлено спецификой каратэ-до;

*** величины представлены без m.

Как показано в таблице, при сравнительно незначительном повышении количества общих липидов в альбуминовом пуле у тренированных студентов, содержание перекисных продуктов достоверно ниже и составляет в среднем $0,2 \pm 0,06$ усл.ед./100 мг ЧСА, после нагрузки $0,15 \pm 0,03$. При индивидуальном анализе у высокотренированных – обнаружено выраженное ($p < 0,01$) уменьшение продуктов первичной перекисидации липидов в сывороточном альбумине. Этот факт соотносится с известным в литературе [42] и трактовался ранее как характерный для восстановительного периода у мастеров спорта (велоспорт-шоссе). В исследованиях при цереброваскулярной патологии отмечено, например, что дисбаланс в липидном профиле и степень перекисного окисления этих липидов являются сравнительно взаимонезависимыми [35]. При толерантных физических напряжениях уменьшение связывания первичных продуктов перекисидации альбумином, при достоверно повышенном их количестве в сыворотке крови [39, 42] авторы рассматривают как адаптационный феномен, требующий изучения. Таким образом, благоприятную направленность учебного процесса в каратэ-до возможно рассматривать при оценке продуктов параметаболических реакций [10], комплексируемых альбумином по-разному [53, 54]. Возможно, при сбалансированности энергетической перестройки обменных процессов в тренированном организме, основой для различной приспособительной реакции альбумина в процессах комплексования является какой-либо ингибирующий фактор [15, 45]. Как видно из таблицы, транспорт альбумином Фн в тренированном организме сопоставим с лицами, не занимающимися спортом, динамика показателя, в предложенном плане нагрузочном режиме, не выявлена.

Незначительная углеводная составляющая транспортного альбуминового пула у каратэистов видимо определяет тканевую специфичность альбумина и свидетельствует о динамике функционирования разных, по времени синтеза, молекул белка. У высококвалифицированных каратэистов снижение гексоз достоверно ($p < 0,05$), например, 1,9 мг/100 мг, а у лиц, не занимающихся спортом – 2,9 мг/100 мг ЧСА. Гликозилирование сывороточного альбумина, как известно, впервые выявлено при патологии и может трактоваться с учетом скрытого патологического процесса [5, 13, 16, 42]. При сопоставлении с динамикой общих липидов, реципрокные взаимоотношения показателей сохраняются и сопоставимы с известными [16, 46, 55]. Таким образом, скорость обновления молекул ЧСА в печени в момент нагрузки лимитируется с одной стороны – напряженностью энергетических каскадов при анаэробно-аэробном пороге и периодом естественного полураспада белка. А с другой стороны – "запросом" организма к пластической устойчивости альбумина для "очистки" клеток от недоокисленных токсинов, провоцирующих преждевременное "утомление" в тканях.

В нашем эксперименте обнаружена минорная преальбуминовая фракция, которая отразила наличие почечной патологии у одного из обследованных. При патологии [63] альбуминурия свидетельствует о нарушении проницаемости сосудистой стенки, и минорные фракции ЧСА могут обеспечивать нужды элиминации клеточных органелл. Ранее при изучении белков сыворотки крови у спортсменов обнаруживались преждевременно "постаревшие" или патологические дефрагментированные фрагменты альбумина [17, 47]. В настоящее время при анализе всех биохимических показателей, полученных в результате экспериментальных наблюдений [39], не вызывает сомнений наличие преальбуминовой фракции и соответствие других величин – нормальным для лиц, нетренированных в спорте. Повторные обследования способны выявлять направленность процесса и скорректировать индивидуальный нагрузочный режим.

In vitro нами проведено исследование комплексования сывороточным альбумином флуоресцентной метки Зонд-31. Из данных таблицы следует, что до занятия сродство в альбумине соответствовало 29,4 г/л, после нагрузки практически не изменялось, однако это меньше возможного для нетренированных – 52 г/л. После нагрузки только в квалификации I Дан у каратэистов альбумином сорбировано 40,5 г/л Зонда-31. Подробный анализ имеющихся сведений о прогностической и диагностической ценности описанного и отраженного в таблице результата не прояснил его значимости в нашем эксперименте.

Дальнейшее изучение особенностей комплексования сывороточным альбумином наиболее важных энергетических и пластических компонентов обмена веществ при специфических физических нагрузках каратэ-до может существенно расширить имеющиеся представления в биохимии спорта.

Литература.

1. Ажицкий Г. Ю. Изучение изменений сывороточного альбумина в эксперименте /Автореф. дис. канд. мед. наук.-Симферополь, КМИ.-1971.-29 с.
2. Ажицкий Г. Ю., Багдасарьян С. Н. О возможности выделения мономерного иммунохимически чистого сывороточного альбумина //Лаб. дело, 1975. -2.-с.712-714.
3. Альбумин сыворотки крови в клинической медицине /Под ред. Ю. А. Грызунова, Г. Е. Добрецова.-М.:ИРИУС, 1994.-226 С.
4. Аникеева С. П., Штенберг Ю. М. Обмен незэстерифицированных жирных кислот при физических нагрузках у человека //Вопросы мед. химии, 1981.-4.-с.435-444.
5. Багдасарьян С. Н. Изучение углеводных и липидных компонентов в электрофоретической фракции альбумина сыворотки крови при патологии /В кн. Патология систем кровообращения. -Симферополь.:КМИ, 1978.-77.-с.9-10.

6. Багдасарьян С. Н., Троицкий Г. В., Вершинин А. Я. Количественный метод оценки конформационных изменений альбумина сыворотки крови //Укр.биохим.журн.,1979. -51. -4.-с.439-442.
7. Брюзгина Т. С., Амосова Е. Н., Афонина Г. Б., Мостбауэр Г. В., Рева С. Н. Газохроматографический анализ жирных кислот липопротеидов при инфаркте миокарда //Клиническая и лабораторная диагностика, 1997.-12.-с.14-15.
8. Гаврилов В. Б., Мишкорудная М. И. Спектрофотометрическое определение гидроперекисей в плазме крови //Лаб.дело,1983.-3.-с.34-35.
9. Гаевская Н. А., Покрасен Н. М. Транспорт липидов сывороточным альбумином в норме и при заболеваниях гепатопанкреатодуоденальной зоны //Укр.биохим.журн.,1980.-52.-6. - с.689-695.
10. Голубев А. Г. Изнанка метаболизма //Биохимия, 1996.-61.-II.-с.2018-2039.
11. Гордеев Ю. Н. Препаративный электрофорез в геле агары //Лаб.дело, 1970.-4.-с.248-251.
12. Гупалова Т. В., Орлова С. Н., Палагнюк И. Г., Волчек Н. А., Кузьмина М. С., Тотолян А. А. Определение микроальбуминурии с применением рекомбинантного альбуминового рецептора //Клиническая лабораторная диагностика, 1997.-2.-с.14.
13. Данилова Л. А. Гликозилированные белки при сахарном диабете у детей //Клиническая лабораторная диагностика,1997.-6.-с.27.
14. Денисова О. В. Использование анализатора "Зонд" в клинической лабораторной диагностике //Клиническая лабораторная диагностика, 1997.-6.-с.28.
15. Досон Р., Эллиот Д., Эллиот У., Джонс К. Справочник биохимика.М.: Мир,1991.-544 С.
16. Ефименко А. М., Толкачева Т. Н., Багдасарьян С. Н., Таранец А. Г. Физико-химические изменения альбумина сыворотки крови у штангистов под влиянием силовых нагрузок //Теория и практика ФК,1979.-7.-с.26-27.
17. Ефименко А. М., Толкачева Н. Э., Остоловский Е. М., Станевич А. В. Белки сыворотки крови при спортивной тренировке //Укр. биохим. журн.,1978.-50.-6.-с.723-726.
18. Ивкова М. Н., Веденкина Н. С., Бурштейн Э. А. Флюоресценция триптофановых остатков сывороточных альбуминов //Молекулярная биология,1971.-5.-2.-с.214-224.
19. Ильин Р. Б., Толкачева Н. В., Сорокина А. Г. Функциональная адаптация сывороточного альбумина при связывании метаболитов энергообеспечения у велосипедистов /В кн.Ш Всесоюзный съезд по ЛФК и СМ.-Ростов-на-Дону,1987.-с.146.
20. Кокунин В. А. Статистическая обработка данных при малом числе опытов //Укр.биохим.журн.,1975.-47.-6.-с.776.

21. Колб В. Г., Камышников В. С. Клиническая биохимия. Минск, 1976. -с.152-154.
22. Купцов А. Х., Львова Г. В., Соболева Н. П., Трофимов В. И., Чхеидзе И. И. Радиационная устойчивость препаратов альбумина //Хим.фармакологический журн.,1985.-19.-I.-с.90-94.
23. Ландау М. А. Молекулярная природа отдельных физиологических процессов -М.: Наука,1985.-260 С.
24. Луйк А. И. Расчет параметров комплексообразования химических соединений с сывороточным альбумином по степени завершенности конформационного перехода белковой молекулы //Фармакология и токсикология,1982.-45.-2.-с.122-126.
25. Луйк А. И., Лукьянчук В. Д. Сывороточный альбумин и биотранспорт ядов. -М.: Медицина,1984.-222 С.
26. Луйк А. И., Лукьянчук В. Д., Лебедь О. И. с соавт. Средство к сывороточному альбумину как показатель биологической активности ксенобиотиков //Докл. АН СССР,1983.-268.-2.-с.488-491.
27. Магеровский Ю. В., Брагинец Е. Г. Влияние некоторых детергентов при определении неорганического фосфора: сравнительная характеристика двух методов //Клиническая лабораторная диагностика, 1996.-3.-с.17-19.
28. Маурер Г. Диск-электрофорез. -М.:Медицина,1971.-с.68-82.
29. Мишин В. М., Ляхович В. В. Множественные формы цитохрома Р-450. -Новосибирск: Наука,1985.-181 С.
30. Никитина В. В., Сорокоумов В. А., Остроумова М. Н., Жучихина А. А., Ковалева И. Г., Мнускина М. М. Изменение показателей липидного обмена и системы ПОЛ под влиянием магнитных полей различной интенсивности у неврологических больных //Клиническая лабораторная диагностика, 1997.-6.-с.39.
31. Попичев М. И. Структурная характеристика сывороточного альбумина у высококвалифицированных спортсменов /В сб. Актуальные проблемы совершенствования программы по физической культуре: организация и методика учебного процесса, физкультурно-оздоровительной и спортивной работы. -Симферополь: СГУ,1997.-с.48-52.
32. Попичев М. И., Толкачева Н. В., Кулакова С. Н., Артемьева Е. Ж. Полиненасыщенные жирные кислоты плазмы крови и мембран эритроцитов у высококвалифицированных волейболистов //Физиология человека, 1997.-23.-4.-с.113-116.
33. Попичев М. И., Толкачева Н. В., Кулакова С. Н., Коношенко С. Б. Липидный состав крови и мембран эритроцитов у волейболистов в условиях интенсивной физической нагрузки //Укр.биохим.журн.,1997.-69.-4.-с.83-87.

34. Прокофьев В. Н., Синичкин А. А. Изучение структурной гетерогенности преальбумина мозга //Биохимия,1977.-42.-10.-с.1878-1880.
35. Реброва О. Ю. Математическая оценка степени изменений уровня липидов и интенсивности ПОЛ при цереброваскулярной патологии //Клиническая лабораторная диагностика, 1995.-5.-с.39-41.
36. Рекославская Н. И., Кузнецова Е. В., Высоцкая Е. Ф., Саляев Р. К. Триптофансинтетаза из *AGROBACTERIUM TUMEFACIENS*; Штамм 8628: Выделение и свойства //Биохимия, 1997.-62.-4.-с.513-516.
37. Родина И. С., Сорокина А. Г., Семин В. И. Разработка критериев оценки эффективности занятий /В сб. Организация и методика учебного процесса, физкультурно-оздоровительной и спортивной работы. Йошкар-Ола, 1994.-с.40-41.
38. Руденко С. В., Нипот Е. Е. Модуляция мелиттин-индуцированного гемолиза эритроцитов //Биохимия, 1996.-61.-12.-с.2116-2124.
39. Сакур Л. К., Сорокина А. Г. Оценка биохимических переменных у студентов, занимающихся по методике каратэ-до //Вестник проблем биологии и медицины УАННП, Полтава-Харьков, 1997.-32.-с.60-65.
40. Солодухина Г. П., Кобыло Я. В. Связывающая функция сывороточного альбумина при острых кишечных заболеваниях стафилококковой этиологии /В сб. Новое в диагностике и лечении сальмонеллеза, стафилококковой инфекции и вирусного гепатита. -Тернополь, 1981.-97 С.
41. Соркина Д. А. Структурные аспекты транспортной функции сывороточного альбумина //Вопр.мед.химии,1988.-2.-с.8-16.
42. Сорокина А. Г. Оценка основных метаболитов энергообеспечения связываемых сывороточным альбумином у спортсменов. /Автореф. дисс. канд. биол. наук. Симферополь: Таврида, 1989.-22 С.
43. Сорокина А. Г. Оценка основных метаболитов энергообеспечения, связываемых сывороточным альбумином у спортсменов. /Дисс. канд. биол. наук. Москва, 1989.-126 С.
44. Сорокина А. Г., Семин В. И. К вопросу оценки состояния здоровья студентов университета /В сб. II Межуниверситетская научно-методическая конференция. Казань, 1992.-ч.2.-с.9-10.
45. Степуро И. И., Гайко Т. П., Солодунов А. А. Теоретические и практические аспекты изучения питания человека. -М.,1980.-с.202-203.
46. Толкачева Н. В. Альбумин-зависимый транспорт липидов при различных состояниях

- организма /Дисс. докт. биол. наук. -Симферополь, 1991.-269 С.
47. Толкачева Н. В. Изучение альбумина сыворотки крови при воспалении //Укр. биохим. журн, 1974.-46.-4.-с.441-446.
48. Толкачева Н. В., Ажицкий Г. Ю. Физико-химические свойства сывороточного альбумина штангистов под влиянием тренировочных нагрузок /В сб. Труды КМИ. -Симферополь, 1978.-77.-с.89-91.
49. Толкачева Н. В., Ефименко А. М., Багдасарьян С. Н., Ширяев В. В., Редько Б. П. Структурные и функциональные особенности альбумина сыворотки крови при физических нагрузках /В кн. IV Всесоюзный биохим. съезде -Ленинград, 1979.-ч.3.-с.163.
50. Толкачева Н. В., Левачев М. М., Кобозев Г. В., Сафронова Л. Г., Сорокина А. Г. Изучение липидных лигандов в сывороточном альбумине спортсменов методом тонкослойной хроматографии //Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1989.-6.-с.85-88.
51. Толкачева Н. В., Левачев М. М., Кулакова С. Н., Мазурец А. Ф., Николенко О. В. Особенности структуры и жирнокислотного состава сывороточного альбумина при экспериментальном миокардите //Вопр.мед.химии, 1992.-38.-3.-с.26-28.
52. Толкачева Н. В., Левачев М. М., Медведев Ф. А., Лупинович В. Л., Сорокина А. Г. Особенности связывания сывороточным альбумином жирных кислот и продуктов их перекисного окисления при интенсивной мышечной работе //Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1989.-4.-с.55-59.
53. Толкачева Н. В., Левачев М. М., Медведев Ф. А., Кулакова С. Н., Мазурец А. Ф., Борисенко В. Г. Транспорт жирных кислот и продуктов их перекисного окисления сывороточным альбумином при ишемическом и некоронарогенном повреждении сердечной мышцы //Вопросы мед. химии, 1989.-2.-с.89-92.
54. Толкачева Н. В., Николенко О. В., Левачев М. М., Лупинович В. Л. Сывороточный альбумин как модель биохимической адаптации организма к физическим нагрузкам /В кн. Космическая диагностика и оценка функциональных возможностей организма и механизмы адаптации к напряженной мышечной деятельности высококвалифицированных спортсменов. -М.: Медицина, 1990.-с.254-255.
55. Толкачева Н. В., Соркина Д. А., Сорокина А. Г., Вербицкий О. Н. Связывание метаболитов с сывороточным альбумином при мышечной работе различной интенсивности //МРЖ,1985.-XVIII,10.-1317.
56. Трояновская М. Л., Волкова Е. В., Аникеева С. П. Проблемы липидного метаболизма при физических нагрузках /Биохимические критерии развития физических качеств.

М.:ВНИИФК, 1986.-с.67-80.

57. Чегер С.И. Транспортная функция альбумина. -Бухарест: АН СРР,1975.-178 С.
58. Шимановский Н. Л. Сывороточный альбумин – транспортная рецепторная система для физиологически активных веществ (Обзор). //Фармакология и токсикология, 1984.-2.-с.93-100.
59. Штерн П., Кратохвила И., Фридеску Б. Экономика контроля качества в клинических лабораториях //Клиническая лабораторная диагностика, 1997.-7.-с.48-49.
60. Extravascular transport of free fatty acids and albumin in normal and diabetic dogs /Judd R. Sarr M., Miles J. //Diabetes. -1992.-41. suppl №1.-с.186.
61. Intereference with Clinical Laboratory Analyses. /M. H. Kroll, R. J. Elin. //Clin. Chem., 1994.-40.-11. -p.1996-2005.
62. Immunochemical quantification of antigens by single radial immunodiffusion. /Mancini G., Carbonara A. O., Heremas J. F. //Immunochemistry. -1965.-v.5.-p.235-239.
63. Initiation and progression of diabetic nephropathy /Parving H. H. //The New Engl. J. of Med, 1996. -335.-22.-p.1682.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ

Алексеев А. Н., аспирант

В последнее время широкий интерес вызывает использование оптических вихрей, как носителей информации в оптических волоконных линиях связи и волоконно-оптических датчиках физических величин. Высокая чувствительность датчиков, использующих эффекты зависимости параметров распространения оптических вихрей в волокнах от внешних воздействий, дают возможность создавать датчики положения и датчики перемещения высокой точности, а тот факт что оптические вихри являются собственными модами оптических волокон дает возможность создания помехозащищенных линий связи с низким коэффициентом потерь. Но возбуждение вихрей в волокне сопряжено с рядом трудностей, как, например возбуждение в волокне только требуемых мод. Если поле на торце волокна представляет собой суперпозицию оптических вихрей с различными весовыми коэффициентами, то возбудится весь спектр мод, присутствующих во вводимом излучении, что приведет к нежелательным процессам взаимодействия различных мод в волокне. Для того, чтобы возбуждать только требуемые модовые состояния в волокне, необходимо проверять степень неоднородности топологических и поляризационных характеристик поля, которым производится возбуждение волокна. Нами предложен метод определения степени неоднородности пучков, содержащих оптические вихри.

Параметром, по которому можно судить об однородности топологического состава поля оптического вихря, может служить "степень топологичности" оптического вихря. Физический смысл этот параметр имеет следующий: поле в поперечном сечении пучка, несущего оптический вихрь одного заряда, имеет четко выраженный минимум интенсивности, локализованный в центральной части пучка. Более того, по форме и геометрическим размерам области нулевой интенсивности поля можно судить о топологическом заряде оптического вихря (Рис.1а). Если зона нулевой интенсивности поля имеет центрально-симметричную структуру, то можно говорить об однородности топологического состава исследуемого излучения. Если распределение интенсивности поля в поперечном сечении пучка представляет собой суперпозицию полей двух или более оптических вихрей, то мы не получим центрально-симметричной зоны нулевой интенсивности поля излучения. Другими словами, для "чистого" оптического вихря, зона нулевой интенсивности поля или вид круглого черного пятна и его размеры тем больше, чем больше величина топологического заряда.

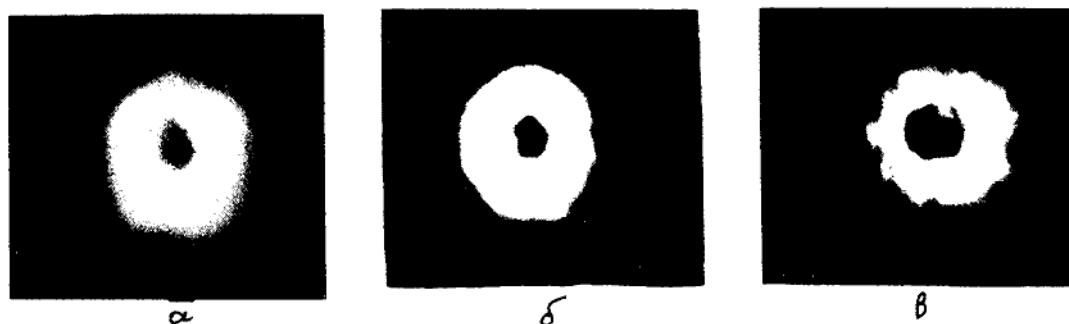


Рис. 1 Оптический вихрь с различными топологическими зарядами: а) $|l|=1$, б) $|l|=2$, в) оптический вихрь с топологическим зарядом $|l|=1$ минимум интенсивности имеет вид эллипса.

Если же вихрь не "чистый", то форма пятна становится эллиптической и эллиптичность тем больше, чем большее число оптических вихрей несет в себе исследуемый пучок.

То есть, исследуя геометрию области нулевой интенсивности пучка, можно сделать вывод об однородности топологического состава исследуемого пучка. Прямое измерение геометрических размеров зоны нуля затруднено по причине дифрагирования пучка на шкале измерителя.

Поставлена задача усовершенствовать способ анализа топологического состава оптического вихря, который позволяет получить количественную информацию о степени однородности топологического состава оптического вихря. Идея заключалась в том, что можно вместо измерения геометрических размеров произвести измерение интенсивности пучка по двум взаимно перпендикулярным направлениям и по формулам известной для степени поляризации пучка [1] определить степень эллиптичности, так как математический аппарат для описания степени поляризации и степени однородности топологического состава идентичен.

$$P = \frac{J_{\max} - J_{\min}}{J_{\max} + J_{\min}}$$

где J_{\min} - минимальная интенсивность света, регистрируемая фотоприемником,

J_{\max} - максимальная интенсивность света.

Прибор представляет собой систему цилиндрическая линза - щелевая диафрагма с фотоприемником. Вся система может вращаться вокруг продольной оси и имеет лимб для определения угловой координаты. Лазерное излучение, предварительно направляют на фазовый транспарант, пропускают через систему цилиндрическая линза - щелевая диафрагма с фотоприемником и фиксируют максимальные и минимальные значения фототока, определяя элон степени однородности оптического излучения. Затем исследуемые излучения пропускают через

систему линза - диафрагма и повторно измеряют значение фототока и по приведенной формуле определяют степень однородности исследуемого пучка. Сравнивая величины степени однородности, анализируют топологический состав оптического вихря. Эксперимент состоял из двух этапов первый - калибровка и тестирование прибора, второй - измерение однородности оптических вихрей, генерируемых различными способами, и производился следующим образом : Излучение гелий-неонового лазера ЛГН-207 (Рис.2а) с длиной волны $\lambda = 0.63$ мкм направлялся на фазовый транспарант 2, вносящий разность фаз $\pi/2$ в поле излучения лазера 1 и производящий трансформацию гауссового пучка в пучок Лаггера-Гаусса.

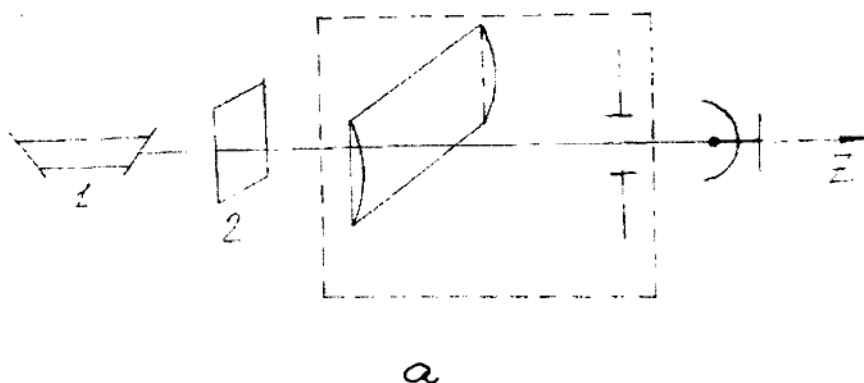


Рис.2 а) Схема экспериментальной установки: 1- He-Ne лазер, 2- транспарант, система: 3- цилиндрическая линза, 4- щелевая диафрагма, 5- фотодетектор.

Трансформированный гауссов пучок представлен на рис.2б. Затем излучение направлялось на прибор для дальнейшей юстировки и калибровки прибора. Как видно из рис.2б излучение имеет четкую область нулевой интенсивности в центре пучка, что дает нам возможность принять это излучение за эталон и приписать ему степень неоднородности топологического состава 1. Юстировка прибора заключалась в том, что в торце цилиндрической линзы 3 ставилась щелевая диафрагма 4 таким образом, чтобы при повороте системы цилиндрическая линза-диафрагма-фотоприемник вокруг продольной оси, значения фототока для пучка Лаггерра-Гаусса пробегало значение от 0 до максимума. Выполнение этого условия достигалось путем изменения ширины щели и установления оси диафрагмы перпендикулярно главной геометрической оси цилиндрической линзы. Затем в экспериментальную установку (Рис.1а) по очереди вместо транспаранта 2 вносились устройства, генерируемые оптические вихри в свободном пространстве диэлектрическим клином (бипризмой Фринеля), астигматичным модовым конвертором [2,стр.126, 3,стр.60], транспарантом, представляющим собой компьютерно-синтезированной голограмму [4,стр.423]. Исследуемый пучок,

несущий оптический вихрь (рис. 2 в, г), вводится в цилиндрическую линзу 3 и претерпевал схлопывание вдоль главной оптической оси линзы. Диафрагма 4 выделяет исследуемый участок деформированного излучения и фотодетектор 5 регистрирует значение фототока данного участка оптического вихря. Вращая систему, линза-диафрагма-фотодетектор производят измерения максимального и минимального значения фототока и по приведенной выше формуле рассчитывают степень однородности топологического состава оптического вихря.

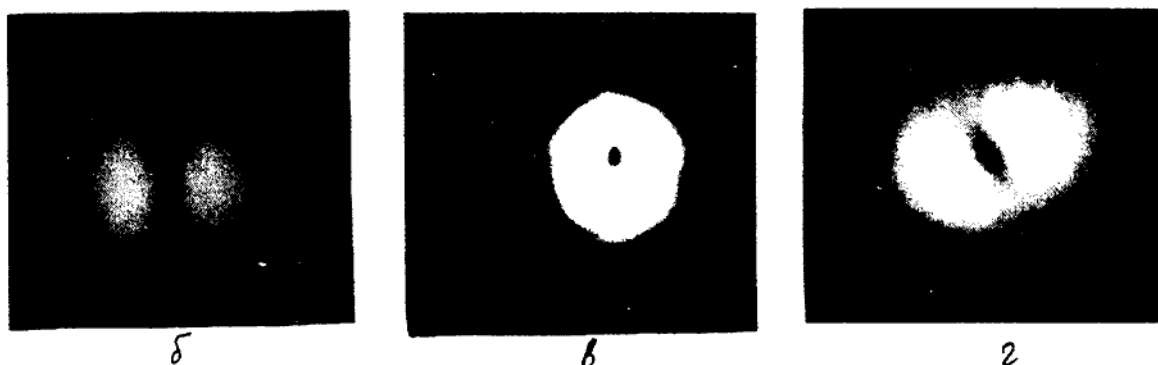


Рис. 2 б) трансформированный гауссов пучок, в. г) исследуемые оптические вихри.

Наименьшей степенью неоднородности обладают вихри, полученные при помощи компьютерно-синтезированной голограммы, наименьшей степенью неоднородности обладают вихри, полученные при помощи диэлектрического клина.

Предложенный способ позволяет получить количественную информацию о степени однородности топологического состава оптического вихря.

Литература.

1. Вольф, Борн Основы оптики- М.: Наука. 1973 -
2. M.W. Beijersbergen, L. Allen, H.E.L.O.van der veen and J.P. Woerdman Astigmatik laser mode converters and transfer of orbital angle momentum // Opt. Comm. -1993, V. 96 pp 123-132.
3. - E. Abramochkin, N. Losevsky, V. Volostnikov Generation of spirel type laser beams // Opt.Comm.- 141 (1997), pp.59-64

2D- И 3D- ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ СЕНСОРЫ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

*Бержанский В. Н., доктор физико-математических наук, профессор,
Лагунов И. М., Веренкиотова Ю. И., студентка*

Создание удобных и надежных устройств ввода информации и управления компьютерными системами – актуальная задача современной компьютерной техники. В настоящее время для этого используются различного типа клавиатуры, манипуляторы, голосовые и видеосистемы. Подавляющее большинство манипуляторов содержат механическую и механооптическую систему получения информации, они появились исторически и уже не отвечают требованиям пользователей. В данной статье рассматривается возможность применения двух- (2D) и трехкомпонентных (3D) гальваномагнитных сенсоров (в дальнейшем – магнитный сенсор) в системах ввода информации в компьютер на примерах отдельных манипуляторов из разработанных авторами за последнее время.

Основным преимуществом магнитных сенсоров является возможность некоторых из них реагировать на направление вектора магнитной индукции, определяя таким образом свое положение в пространстве. Нами испытаны магнитные сенсоры на основе эффекта Холла [1], магнитных аморфных микропроводов и лент. Их чувствительность достигает $10^{-3} \dots 10^{-4}$ Гс, что позволяет использовать геомагнитное или специально созданное поле в качестве внешнего силового поля. Холловские сенсоры обладают большими возможностями для интеграции, поэтому они были применены в предлагаемых устройствах ввода информации.

Манипулятор типа мышь на 2D-магнитном сенсоре

Выпускаемые промышленностью манипуляторы типа мышь имеют механооптическую систему снятия информации о его перемещении [2]. Мы предлагаем получать информацию о перемещении манипулятора, применив магнитный коврик (magnetic pad) с оптимальным для конкретных целей градиентом магнитного поля и мышь с 2D-магнитным сенсором, который может измерять направление вектора индукции магнитного поля, создаваемого magnetic pad. Назовем такой манипулятор двухмерной магнитной мышью (2D-magnetic mouse).

Необходимый для устойчивой работы манипулятора диапазон магнитной индукции выбирается из следующих соображений: нижний предел должен быть выше значения индукции магнитного поля Земли, верхний предел определяется экономической целесообразностью и соответствующими санитарно-гигиеническими нормами. Технологически верхний предел может быть определен по величине максимального модуля вектора индукции магнитного поля magnetic pad, после выбора градиента поля, необходимого, например, для позиционирования курсора по всему диапазону плоскости дисплея (при заданной разрешающей способности).

Нами разработано множество пространственных конфигураций магнитного поля magnetic pad. Один из вариантов, представленный на рис. 1, был выбран на основе следующих требований: 1) при перемещении манипулятора из одного крайнего положения в другое компоненты вектора магнитной индукции изменяются максимально в выбранном диапазоне; 2) измеряемые компоненты не должны иметь переход через 0 и приближаться к нему, так как тогда определяющим будет являться магнитное поле Земли и потребуется предварительная коррекция манипулятора перед работой.

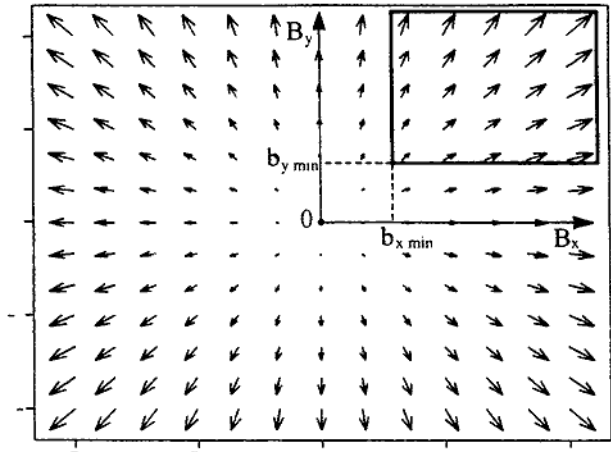


Рис. 1.
Конфигурация вектора магнитной индукции magnetic pad.

Из вышеизложенного следует, что можно, например, взять область радиального магнитного поля, удаленную от двух выбранных перпендикулярных радиальных направлений на величину несколько большую магнитного поля Земли. На рис.1 приведена радиальная конфигурация магнитного поля и выделен участок поля выбранный для magnetic pad. Смещение $(b_{x\min}, b_{y\min})$, выводит рабочий участок магнитного поля коврика выше геомагнитного.

В конструкции 2D-magnetic mouse (1, рис. 2) находится 2D-магнитный сенсор, ориентированный в плоскости magnetic pad (2, рис. 2), и электронные компоненты получения аналоговой информации с сенсора, ее цифрового преобразования и передачи по используемому интерфейсу.

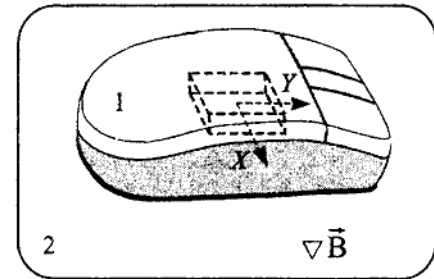


Рис. 2.
Манипулятор 2D-magnetic mouse.

В конструкцию также включается необходимое число кнопок для поступления информации от пользователя и первичной коррекции положения манипулятора (при необходимости).

Пространственный манипулятор на 3D-магнитном сенсоре

Пространственный манипулятор на 3D-магнитном сенсоре, названный нами 3D-magnetic mouse, представляет собой объект произвольной формы, который пользователь свободно держит в руке и манипулирует им, изменяя его положение относительно геомагнитного или специально созданного магнитного поля (рис 3). Для удобства дальнейших пояснений на рис.3 выбрано направление на центр дисплея. Основу такого манипулятора составляет 3-х компонентный сенсор магнитного поля,

позволяющий определять пространственную ориентацию манипулятора относительно вектора магнитной индукции поля.

Свяжем с манипулятором трехмерную прямоугольную декартову систему координат. Вращение относительно оси Z на угол в

диапазоне $20...40^\circ$ дает нам движение типа «вверх, вниз, влево, вправо». Угол вращения может находиться в диапазоне от 0 до $\pm \alpha_{max}$, где α_{max} в каждом конкретном приложении может иметь свой смысл.

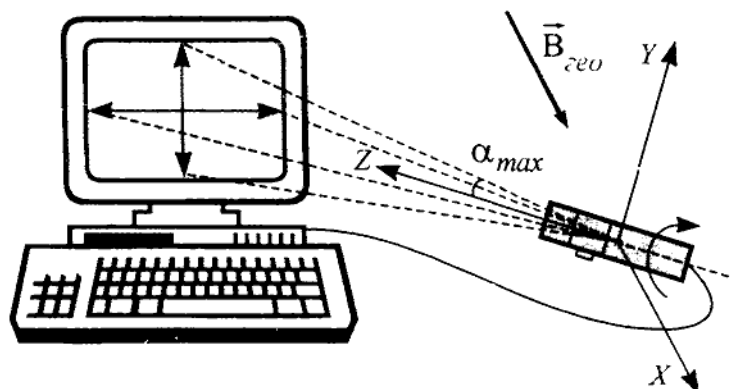


Рис. 3.
Манипулятор 3D-magnetic mouse.

Например, при перемещении курсора по рабочей плоскости экрана (рис. 3) α_{max} – это крайнее положение курсора на экране (для простоты рассматриваем случай квадратного экрана), которое определяется выбранным режимом дисплея и шагом перемещения курсора. Угол α_{max} удобно выбирать в диапазоне $10...90^\circ$ самому пользователю (если это доступно программно). Значение α_{max} может доходить и до 360° , однако это неудобно при кабельном соединении манипулятора с компьютером. Помимо отклонения от оси Z возможно использовать еще одну степень свободы – кручение вдоль оси Z .

На манипуляторе расположены кнопки ввода информации от пользователя (2 кнопки) и установки первоначального положения (1 кнопка). Возможно размещение дополнительных кнопок в зависимости от конкретного назначения манипулятора.

При использовании данного манипулятора в магнитном поле Земли и необходимости прецизионного ввода информации требуется применение второго 3D-магнитного сенсора, находящегося вне манипулятора и отслеживающего геомагнитную обстановку программным путем, учитывая ее изменение.

Применение 3D-magnetic mouse с неограниченными углами вращения имеет большую перспективу при создании панорамного и объемного ориентирования, где использование известных манипуляторов или невозможно, или существенно затруднено. Возможно совместное использование 3D-magnetic mouse с инфракрасным портом компьютера.

В настоящий момент данный манипулятор (по нашим сведениям) не имеет аналогов. Манипулятор 3D-magnetic mouse прошел первые испытания на кафедре экспериментальной физики

Симферопольского госуниверситета в марте 1997 года и показал свою работоспособность. Разработка такого манипулятора – первый шаг к созданию систем виртуальной реальности (см. ниже) на 3D - магнитных сенсорах.

Манипулятор типа трекбол на 3D-магнитном сенсоре

Манипулятор трекбол традиционно имеет механооптическую систему съема информации и ему присущи все недостатки манипуляторов такого типа [2]. Применяв 3D-магнитный сенсор и постоянный магнит, получаем magnetic trackball.

Небольшой постоянный магнит (1, рис. 4) закрепляется внутри шара на некотором расстоянии от его центра. Характерные размеры магнита – порядка размера шара, смещение магнита относительно центра шара необходимо для однозначного соответствия положения шара с информацией, поступающей от 3D-магнитного сенсора (2, рис. 4), который расположен в корпусе манипулятора недалеко от шара. В данном трекболе известно не только изменение положения шара, но и абсолютное его положение в пространстве манипулятора, что невозможно в механооптическом аналоге, но может потребоваться в отдельных прикладных программах. В манипуляторе такой конструкции сохраняется механическая система крепления шара, но нет переноса информации об изменении его позиционирования через трение механических частей. Например, проскальзывание шара по удерживающим валикам (или другого типа крепежам) уже не будет сказываться на работоспособности манипулятора. Также устранена оптическая часть съема информации о движении шара.

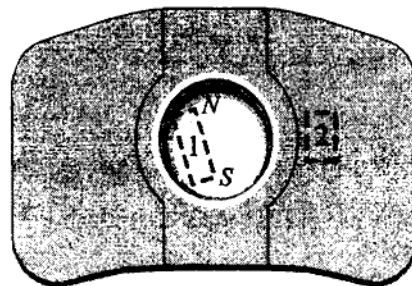


Рис. 4.
Манипулятор magnetic trackball.

Системы виртуальной реальности на базе 3D-магнитных сенсоров

Для систем виртуальной реальности важно знать положение отдельных частей объекта, например, тела пользователя и окружающих его предметов. Применяемые оптические системы очень громоздки при большом числе степеней свободы [3]. Гравитационные системы инерционны для работы в реальном времени.

Укрепив 3D-магнитные сенсоры на отдельных частях тела человека или объекта (рис. 5), мы получим информацию о их пространственной ориентации во внешнем магнитном поле зная величину трех проекций вектора магнитной индукции. Магнитные сенсоры позволяют работать в системах реального времени, так как они практически безинерционны.

Современные 3D-магнитные сенсоры достаточно компактны (характерный размер около 8 мм), чтобы можно было получать информацию закрепив их на отдельных частях тела и предметах, и достаточно чувствительны, чтобы использовать геомагнитное поле в качестве внешнего силового

поля. Такое силовое поле может быть также создано искусственно малогабаритным постоянным магнитом. Эксперименты показали точность позиционирования не хуже десятой доли градуса угла поворота, хотя для многих применений такая точность избыточна.

Для отслеживания возможных вариаций геомагнитного поля, которые в данных системах могут вносить погрешность, необходимо использовать дополнительный стационарный 3D-магнитный сенсор (SMS) для введения поправок к информации с динамических 3D сенсоров.

В начальный момент времени потребуется одновременное первичное снятие значений со всех сенсоров при заранее известном позиционировании частей тела пользователя и окружающих предметов, но затем информация, поступающая от 3D-магнитных сенсоров даст нам картину движения в реальном времени. Число сенсоров равно числу степеней свободы всей системы в целом. При помещении объекта в специально созданное внешнее стационарное магнитное поле превышающее значение геомагнитного, дополнительный сенсор не требуется.

В компьютерную систему информация с 3D-магнитных сенсоров может передаваться инфракрасным, радиочастотным, кабельным или другим способом.

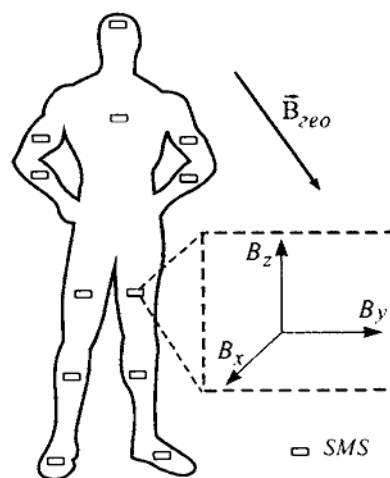


Рис. 5.
Применение 3D-магнитных сенсоров в системах виртуальной реальности.

Литература.

1. Кучис Е.В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. - М.: Радио и связь, 1990. - 264 с.
2. Борзенко А.Е. IBM PC: устройство, ремонт, модернизация. - 2-е изд., - М.: ТОО «Компьютер Пресс», 1996. - 344 с.
3. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ. /Под ред. У.Томпкинса, Дж.Уэбстера. - М.: Мир, 1992. - 592 с.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КЛИНЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ

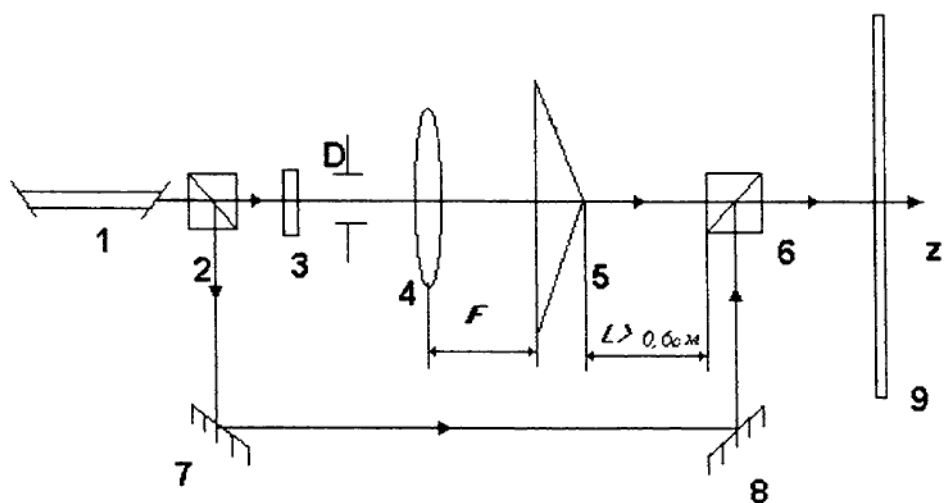
Бородавка О. С., аспирант

В настоящее время большой интерес вызывает распространение вихрей в оптических волокнах и в свободном пространстве. Ранее известные способы формирования оптических вихрей с помощью компьютерно-синтезированной голограммы [1], линзовых систем [2], перестраиваемых открытых оптических резонаторов [3] и другие способы формирования оптических вихрей не позволяют проводить быстрый анализ исследуемого излучения.

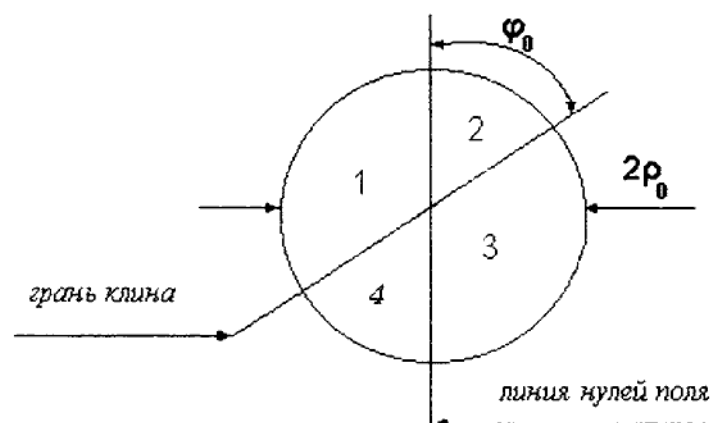
Нами предложен способ для экспресс-анализа топологического состава излучения выходящего из волокна, а также для формирования оптических вихрей в свободном пространстве с интенсивностью преобразования равной 90 %. Способ также может быть использован для создания анализирующих устройств к датчикам, построенных на оптических волокнах и использующих зависимость характеристик распространения оптических вихрей от внешних деформаций, кручения и изгиба волокон и в создании оптических помехозащищенных линиях связи.

Излучение от He-Ne лазера 1, с длиной волны $\lambda = 0.63$ мкм, направлялось в интерферометр Маха-Цендера (Рис. 1а). В предметном плече интерферометра помещался фазовый транспарант 3, обеспечивающий сдвиг фазы на $\pi/2$, и переводящий пучок Гаусса (ТЕМ₀₀) в пучок Лагерра-Гаусса (ТЕМ₁₀). Сформированный пучок Лагерра-Гаусса (Рис. 2а), распространяющийся вдоль оси Z, проходит через систему длиннофокусная линза 4 и оптический клин (бипризма Френеля) 5.

Пучок сжимается так, что на входной плоскости клина 5 с углом $\alpha = 1,8$ град, установленного в фокусе линзы 4, его диаметр составляет $2\rho_0$. Грань клина ориентируется относительно оси дислокации пучка Лагерра-Гаусса под углом $\varphi_0 = 45$ град, находится в зоне перетяжки с радиусом $\rho_0 = 5$ мкм и делит площадь пучка на четыре взаимно-симметричных участка (Рис. 1б). Площади этих участков задаются углом φ_0 . Вследствие дифракционных свойств пучка и направляющих свойств клина в дальней зоне дифракции на расстоянии $L = 10$ см (много больше длины Рэлея $L_p = 0,6$ см) формируется оптический вихрь (Рис. 2б). По виду интерференционной картины (Рис. 2в) определяется топологический заряд полученного оптического вихря ($|l| = 1$). Если гауссов пучок (ТЕМ₀₀), прошедший через транспарант 3, переводится в моду ТЕМ₁₁ (Рис. 2г), то, пройдя систему линза 4-оптический клин 5, он преобразуется в пучок Эрмита-Гаусса, вид которого представлен на рис. 2д. Результат интерференции преобразованного пучка с гауссовым приведен на рис. 2г.



а



б

Рис.1 а) схема экспериментальной установки: 1- He-Ne лазер; 2,6 - делительные кубики; 3- транспарант; 4 - линза; 5 - диэлектрический клин; 7,8 - зеркала; 9 - экран.
б) ориентация грани клина относительно оси дислокации

По виду интерференционной картины (Рис.2в) определяется топологический заряд полученного оптического вихря ($|l| = 1$).

Динамика образования оптического вихря представлена последовательностью фотографий на рис.3. На расстоянии, равном длине Рэлея $L_p = 0,6$ см имеет место поворот оси дислокации пучка Лагерра-Гаусса на 45 град. Полное формирование вихря происходит на расстоянии, значительно превышающем длину Рэлея.

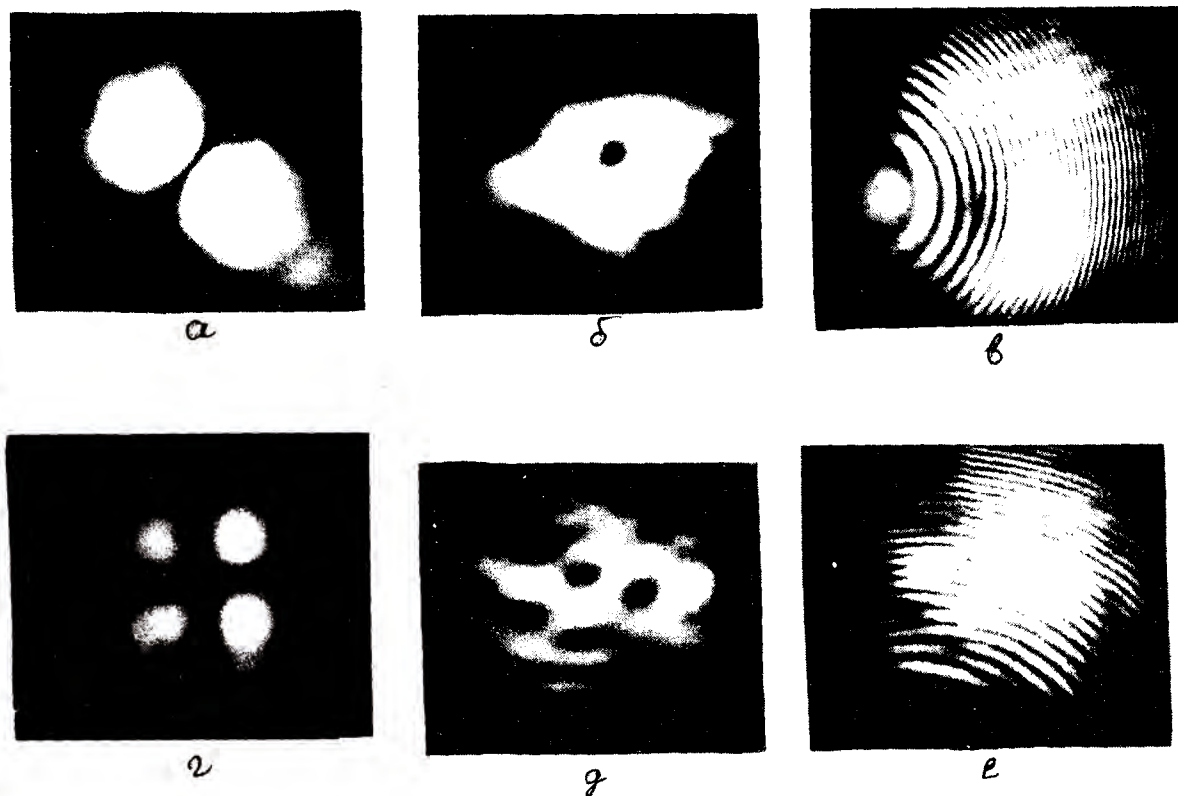


Рис.2. а) Пучок Лагерра-Гаусса (мода TEM_{10}); б) оптический вихрь с топологическим зарядом $||l|=1$; в) интерференционная картина полученная в результате сложения пучка Гаусса с оптическим вихрем; г) мода TEM_{11} ; д) пучок Эрмита-Гаусса трансформированный из моды TEM_{11} ; е) интерференционная картина, полученная в результате наложения "чистого гаусса" и моды TEM_{11} .

Процесс преобразования пучков Лагерра-Гаусса в пучки Эрмита-Гаусса обратим и однозначен, поэтому, пользуясь таблицей конверсии пучков Лагерра-Гаусса в пучки Эрмита-Гаусса [4, с. 129], можно определить характеристики исследуемого излучения. По типу интерференционной картины (Рис. 2в,е) можно судить о топологических характеристиках оптического вихря, сформированного оптическим клином. Однако изложенный выше способ анализа топологического состава оптического вихря по интерференционной картине не является оптимальным вследствие недостаточной помехозащищенности.

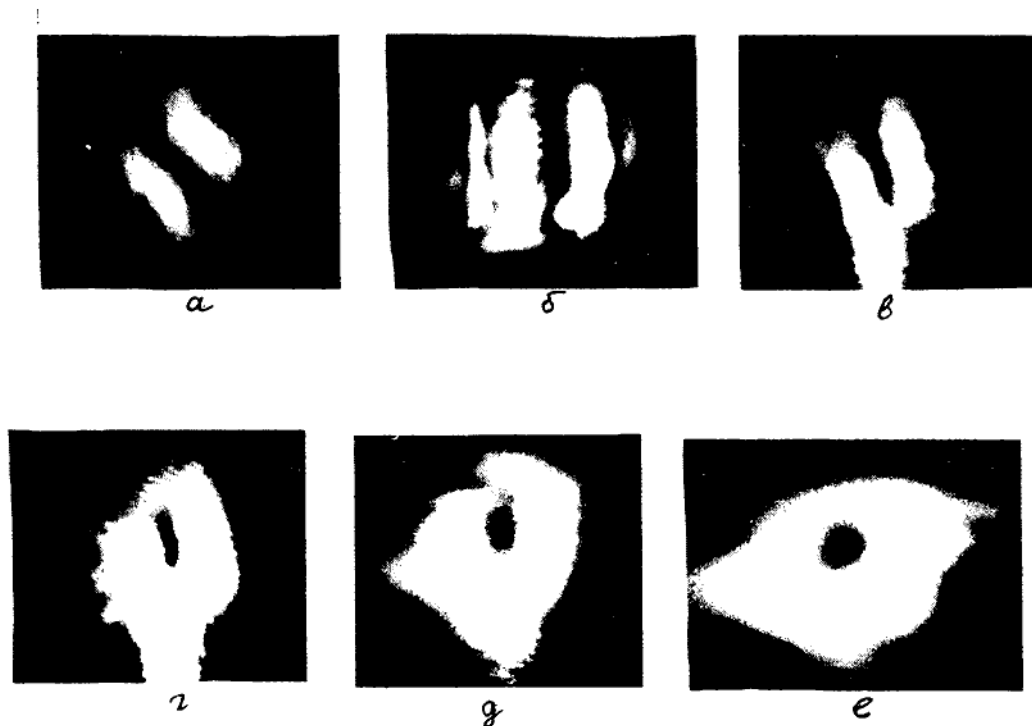


Рис.3. Динамика образования оптического вихря на расстоянии L от клина: а) $L_1=0,2\text{см}$; б) $L=L_0=0,6\text{см}$; в) $L_2=2,5\text{см}$; г) $L_3=3,1\text{см}$; д) $L_4=5,7\text{см}$; е) $L_0=10\text{см}$.

Экспресс-метод анализа оптического вихря с помощью системы длиннофокусная линза-диэлектрический клин (бипризма Френеля) позволяет определять величину и знак топологического заряда оптического вихря без использования интерференционной картины. Согласно предлагаемому способу в экспериментальной схеме (Рис.1а) производится замена фазового транспаранта Z на транспарант, представляющий собою компьютерно-синтезированную голограмму, на которой гауссов пучок испытывает дифракцию. Исследуемый дифракционный порядок с топологическим зарядом l (Рис.4а) $|l|=1$, Рис.4г $|l|=2$) выделяется с помощью диафрагмы D . Проходя через систему линза-оптический клин этот порядок в дальней зоне трансформируется в пучок Лагерра-Гаусса. В дальней зоне дифракции на экране 9 формируется характерная, ранее затабулированная картина распределения нулей напряженности поля светового пучка. Число зон с нулевой интенсивностью в поле на экране 9 однозначно отражает топологический характер анализируемого поля. Если анализируемый вихрь имеет заряд $|l|=1$, то на экране формируется дифракционная картина, содержащая один выраженный ноль интенсивности (Рис. 4б). Иными словами, описанный экспресс-метод позволяет определить величину заряда оптического вихря. По ориентации оси дислокации пучка Лагерра-Гаусса определяют знак топологического заряда данного оптического вихря. Если угол наклона оси дислокации относительно направляющей оси $\beta = +45$ град, то $l > 0$, если $\beta = -45$ град, то $l < 0$.

Предложенный способ анализа величины и знака топологического заряда оптического вихря обеспечивает качественное увеличение помехозащищенности анализируемого пучка и невосприимчивость топологических характеристик к радиационным параметрам источника излучения, в связи с чем он наиболее перспективен в применении к задачам ввода излучения в волокна и анализа оптических вихрей на их выходе.

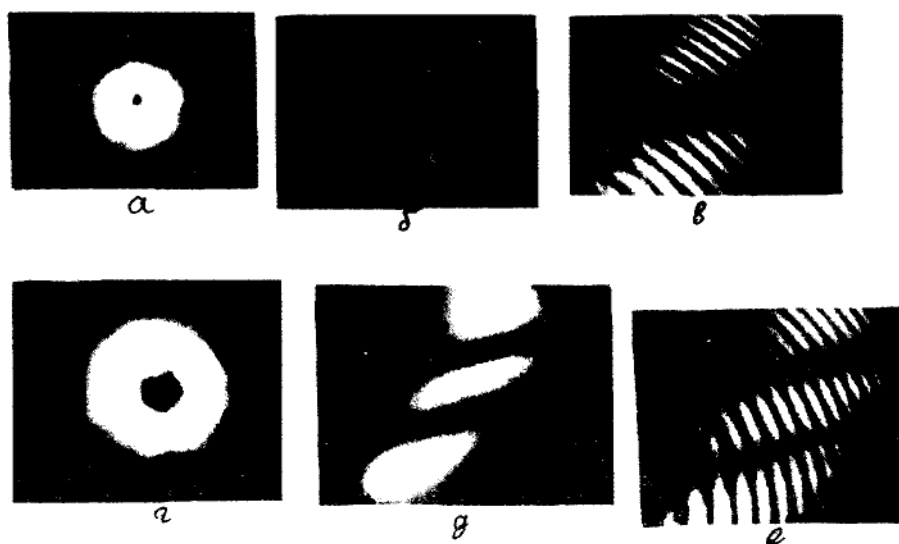


Рис.4. Экспресс-анализ оптического вихря: а) оптический вихрь с зарядом $l = -1$; б) оптический вихрь с зарядом $l = -1$, трансформированный в пучок Лагерра-Гаусса; в) интерференционная картина; г) оптический вихрь с топологическим зарядом $l = +2$; д) оптический вихрь с топологическим зарядом $l = +2$ трансформированный в пучок Лагерра-Гаусса; е) интерференционная картина;

Литература.

1. Basistiy J.V., Bazhenov I.V., Soskin M.S., Vasnetsov M.V. Optics of light beams with screw dislocations// Opt. Comm.- 1993, V.103, pp.422-428.
2. M.W. Beijersbergen, I. Allen, H.E.L.O. van der veen and J.P. Woerdman Astigmatic laser mode converters and transfer of orbital angle momentum// Opt. Comm. - 1993,V.96, pp.123-132.
3. E. Abramochkin, N. Losevsky, V. Volostnikov Generation of spiral - type laser beams// Opt. Comm. - 141(1997), pp. 59-64.
4. E. Abramochkin and V. Volostnikov Beam transformation and nontransformed beams// Opt. Comm.- 1991, V.83, N 1,2, pp.123-135.

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЗА ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ.

СПИН-ОРБИТАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

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

Жилайтис В. З., аспирант

1. Введение

Распространение оптического вихря вдоль маломодового оптического волокна сопровождается прецессией вектора Пойнтинга электромагнитного поля вокруг оси волокна. Эта прецессия является результатом неголономной связи между электромагнитными аналогами орбитального и спинового угловых моментов поля направляемого вихря. Мерой такой неголономной связи является топологическая фаза, которая принимает форму поляризационной поправки $\delta\beta$ к постоянной распространения $\tilde{\beta}$ оптических вихрей волокна [1]. В таком представлении поляризационная поправка $\delta\beta$ характеризует величину расщепления “невозмущенного уровня” постоянной распространения $\tilde{\beta}$. Процесс, вызывающий расщепление уровня $\tilde{\beta}$, можно связать (по аналогии с моделью атома вещества) со спин-орбитальным взаимодействием в поле оптического вихря. Тогда одному расщепленному подуровню будет соответствовать постоянная распространения $\beta_{CV} = \tilde{\beta}_{CV} + \delta\beta_{CV}$ для CV вихря, а другим подуровням – постоянные распространения β_{TE} и $\beta_{TM} - TE$ и TM собственных мод, соответственно (при $l = 1$).

Целью данной работы явилось построение оператора спин-орбитального взаимодействия для поля оптических CV вихрей, TE и TM мод. Изучение этой проблемы проводилось в рамках формального подхода квантовой механики, на основе теории возмущений.

2. Классификация оптических вихрей.

Собственными модами круглого локально-изотропного оптического волокна являются направляемые циркулярно поляризованные вихри $CV_{\sigma l, m}^{k\sigma}$, характеризуемые азимутальным l , радиальным m , циркулярным σ индексами и индексом спин-орбитальной связи k :

1) устойчивый, топологически однородный вихрь:

$$CV_{\sigma l, m}^{\sigma} = HE_{l+1, m}^{even} + i\sigma HE_{l+1, m}^{odd} \quad (k = +1, l \geq 1, \sigma = \pm 1, \beta_1 = \tilde{\beta} + \delta\beta_1)$$

2) устойчивый, топологически неоднородный вихрь:

$$CV_{\sigma l, m}^{-\sigma} = EH_{l-1, m}^{even} + i\sigma EH_{l-1, m}^{odd} \quad (k = -1, l > 1, \sigma = \pm 1, \beta_2 = \tilde{\beta} + \delta\beta_2)$$

где HE и EH – гибридные собственные моды волокна в линейно-поляризованном базисе;

3) неустойчивый, топологически неоднородный вихрь:

$IV_{\sigma,m}^{-\sigma} = TM_{0m} + i\sigma TE_{0m}$ ($\kappa = -1, l = 1, \sigma = \pm 1$), для которого TM и TE симметричные моды имеют различные постоянные распространения β . $\delta\beta_i$ – поляризационные поправки к постоянной распространения [2]. В дальнейшем будем полагать, что радиальный индекс $m = 1$.

Можно показать, что компоненты вектора плотности потока энергии \mathbf{P} для направляемых вихрей имеют вид:

$$P_r = 0, \quad P_\phi = -\kappa\sigma K F_l(R) G_l^{-\kappa}(R), \quad P_z = K \frac{V}{\sqrt{2\Delta}} F_l^2(R), \quad (1)$$

где $F_l(R)$ – амплитудная функция поля (в случае параболического волокна $F_l(R) = R^l \exp(-VR^2/2)$),

$$G_l^{-\kappa} = \frac{dF_l}{dR} - \kappa \frac{l}{R} F_l, \quad K = E_0^2 n_{co} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \frac{\sqrt{2\Delta}}{V}, \quad V - \text{волноводный параметр, } \Delta - \text{высота профиля}$$

показателя преломления, $R = r/\rho$ – радиальная координата, нормированная на радиус сердцевины волокна ρ , n_{co} – показатель преломления сердцевины волокна.

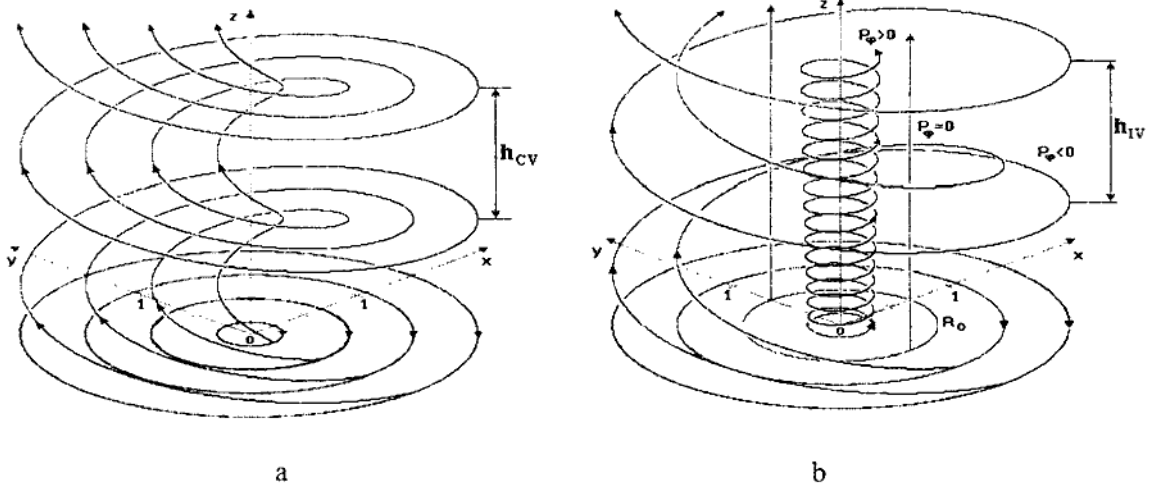


Рис. 1. а. Линии потока энергии устойчивого, топологически однородного CV вихря ($\kappa = +1, l = 1$); б. Линии потока энергии неустойчивого, топологически неоднородного IV вихря ($\kappa = -1, l = 1$).

Распространение собственных вихрей через оптическое волокно не связано с изменением каких-либо явных параметров волны, тем не менее, наличие P_ϕ компоненты энергетического потока вызывает прецессию вектора Пойнтинга вокруг оси z . Поток энергии можно характеризовать с помощью “силовых” линий. “Силовые” линии вектора Пойнтинга (рис. 1) (1) для однородных и неоднородных вихрей имеют вид спиральных траекторий. Поток энергии $CV_{\sigma l}^\sigma$ вихрей содержит топологически однородное поле винтовых линий (рис. 1, а). Для $CV_{\sigma l}^{-\sigma}$ вихрей поле вектора

Пойнтинга содержит два типа спиральных траекторий, различающихся шагом и направлением закручивания (рис. 1, b), и разделенных системой прямых линий.

3. Оператор спин-орбитального взаимодействия.

В работе [1] мы связали топологическую фазу со спин-орбитальным взаимодействием в оптическом вихре, основываясь на соответствии полученных нами результатов с результатами других работ [2]. Воспользуемся формальным соответствием волнового уравнения света в неоднородной среде с уравнением Шредингера и выясним какому оператору физической величины соответствует наблюдаемое значение поляризационной поправки $\delta\beta$.

Запишем векторное волновое уравнение для света в неоднородной среде [2]:

$$\left(\nabla_{\perp}^2 + n^2(r)k^2 - \beta^2\right)\mathbf{e}_{\perp} = -\nabla_{\perp} \left(\mathbf{e}_{\perp} \nabla_{\perp} \ln n^2(r)\right), \quad (2)$$

где индекс \perp указывает на поперечные компоненты векторов, β – постоянная распространения собственных мод в оптическом волокне с градиентным профилем показателя преломления $n^2(r) = n_{co}^2(1 - 2\Delta f(r))$. Если показатели преломления сердцевины n_{co} и оболочки n_{cl} близки по величине, т. е. параметр Δ мал, то уравнение (2) в первом приближении теории возмущений можно переписать в виде [2]:

$$\left(\nabla_{\perp}^2 + n^2(r)k^2 - \tilde{\beta}^2\right)\tilde{\mathbf{e}}_{\perp} = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) не учитывает поляризационные свойства поля, и поэтому называется скалярным волновым уравнением. Векторные свойства полей учитываются трансформацией скалярной амплитуды поля $\tilde{\mathbf{e}} \rightarrow \mathbf{e}$ и постоянной распространения $\tilde{\beta} \rightarrow \beta$, так что $\beta = \tilde{\beta} + \delta\beta$, где $\delta\beta$ – поляризационная поправка. Найдем выражение для $\delta\beta$. Можно показать, что для всех собственных полей оптического волокна:

$$\delta\beta = 2\Delta A \int_S \tilde{e}_i^* \partial_i f \partial_k \tilde{e}_k dS, \quad (4)$$

где введено сокращение $\frac{\partial}{\partial q} \equiv \partial_q$. Подынтегральное выражение в (4) представим как:

$$\tilde{e}_i^* \partial_i f \partial_k \tilde{e}_k = (\tilde{e}_x^*, \tilde{e}_y^*) \begin{pmatrix} \partial_x f \partial_x & \partial_x f \partial_y \\ \partial_y f \partial_x & \partial_y f \partial_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{e}_x \\ \tilde{e}_y \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Матричный дифференциальный оператор \hat{V} в выражении (5) разложим по матрицам Паули:

$\hat{V} = \hat{\sigma}_0 \hat{V}_0 + \hat{\sigma}_1 \hat{V}_1 + \hat{\sigma}_2 \hat{V}_2 + \hat{\sigma}_3 \hat{V}_3$, где

$$\hat{V}_0 = \frac{1}{2} \partial_r f \partial_r; \quad \hat{V}_3 = \frac{i}{2r} \partial_r f \partial_{\varphi};$$

$$\hat{V}_1 = \frac{1}{2} \partial_r f \left(\cos 2\varphi \partial_r - \frac{1}{r} \sin 2\varphi \partial_\varphi \right); \quad \hat{V}_2 = \frac{1}{2} \partial_r f \left(\sin 2\varphi \partial_r + \frac{1}{r} \cos 2\varphi \partial_\varphi \right). \quad (6)$$

При переходе в цилиндрическую систему координат, мы ограничились случаем осесимметричного волокна ($\partial_\varphi f = 0$). Удобно представить оператор \hat{V} в виде:

$$\hat{V} = \frac{1}{2\rho^2} \frac{\partial f}{\partial r} (\hat{D} + \hat{T}\hat{D}), \quad \text{где } \hat{D} = \hat{\sigma}_0 \frac{\partial}{\partial R} + \frac{i}{R} \hat{\sigma}_3 \frac{\partial}{\partial \varphi},$$

$$\hat{T} = \hat{\sigma}_1 \cos 2\varphi + \hat{\sigma}_2 \sin 2\varphi = \begin{pmatrix} \cos 2\varphi & \sin 2\varphi \\ \sin 2\varphi & -\cos 2\varphi \end{pmatrix}_L = \begin{pmatrix} 0 & e^{-i2\varphi} \\ e^{i2\varphi} & 0 \end{pmatrix}_C. \quad (7)$$

Индекс L указывает на представление матричных операторов в линейно-поляризованном базисе, а индекс C – на циркулярно поляризованный базис.

В таблице 1 приведены результаты действия операторов \hat{D} и $\hat{T}\hat{D}$ на поля собственных мод волокна. Из таблицы видно, что действие этих операторов на циркулярно поляризованные CV вихри существенно отличается от их действия на линейно-поляризованные азимутально симметричные поля TE и TM мод. Оператор \hat{D} осуществляет преобразование радиального распределения поля: $F_l(R) \Rightarrow G_l^*(R)$. Матрицу \hat{T} можно представить в виде произведения матрицы Паули $\hat{\sigma}_1$ и оператора вращения на угол 2φ :

$$\hat{T} = \hat{\sigma}_1 \hat{R}(2\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos 2\varphi & \sin 2\varphi \\ -\sin 2\varphi & \cos 2\varphi \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Оператор вращения \hat{R} преобразует величину топологического заряда $l \Rightarrow l + 2k$. Матрица $\hat{\sigma}_1$ преобразует направление циркуляции на противоположное $\sigma^+ \Leftrightarrow \sigma^-$. Действие оператора $\hat{T}\hat{D}$ на поля \tilde{e} для CV вихрей преобразует их в ортогональные модовые состояния. Поэтому вклад в поляризационную поправку $\delta\beta$ дает только оператор \hat{D} , который не изменяет состояние поляризации поля, и не преобразует фазу поля. Иначе сказывается действие операторов \hat{D} и $\hat{T}\hat{D}$ на поля TE и TM мод. Здесь вклад в изменение поля вносят обе части оператора \hat{V} .

Преобразование полей и их постоянных распространения.

	$\kappa = +1 \quad l \geq 1$ $\kappa = -1 \quad l > 1$	$\sigma = \pm 1$	$\kappa = -1 \quad l = 1$	$\kappa = -1 \quad l = 1$
	$\underline{CV_{\sigma l}^{\kappa\sigma}}$		TM	TE
$ \tilde{\mathbf{e}}\rangle$	e_x	$\frac{1}{\sqrt{2}} F_l e^{i\sigma l\varphi}$	$F_l \cos\varphi$	$F_l \sin\varphi$
	e_y	$\frac{i\kappa\sigma}{\sqrt{2}} F_l e^{i\sigma l\varphi}$	$F_l \sin\varphi$	$-F_l \cos\varphi$
$\hat{\mathbf{D}} \tilde{\mathbf{e}}\rangle$	e_x	$\frac{1}{\sqrt{2}} G_l^{-\kappa} e^{i\sigma l\varphi}$	$G_l^+ \cos\varphi$	$G_l^+ \sin\varphi$
	e_y	$\frac{i\kappa\sigma}{\sqrt{2}} G_l^{-\kappa} e^{i\sigma l\varphi}$	$G_l^+ \sin\varphi$	$-G_l^+ \cos\varphi$
$\hat{\mathbf{T}}\hat{\mathbf{D}} \tilde{\mathbf{e}}\rangle$	e_x	$\frac{1}{\sqrt{2}} G_l^{-\kappa} e^{i\sigma(l+2\kappa)\varphi}$	$G_l^+ \cos\varphi$	$-G_l^+ \sin\varphi$
	e_y	$\frac{-i\kappa\sigma}{\sqrt{2}} G_l^{-\kappa} e^{i\sigma(l+2\kappa)\varphi}$	$G_l^+ \sin\varphi$	$G_l^+ \cos\varphi$
$a\langle\tilde{\mathbf{e}} \frac{\partial f}{\partial R}\hat{\mathbf{D}} \tilde{\mathbf{e}}\rangle$	$I_l^{-\kappa}$		I_l^+	I_l^+
$a\langle\tilde{\mathbf{e}} \frac{\partial f}{\partial R}\hat{\mathbf{T}}\hat{\mathbf{D}} \tilde{\mathbf{e}}\rangle$	0		I_l^+	$-I_l^+$
$\delta\beta$	$I_l^{-\kappa}$		$2I_l^+$	0
$\delta\beta (f = R^2)$	$-\kappa(l+\kappa)\frac{(\sqrt{2\Delta})^3}{2\rho V}$		0	0

В таблице использованы обозначения:

$$a = \frac{(\sqrt{2\Delta})^3}{4\rho V} \frac{1}{\langle\tilde{\mathbf{e}}|\tilde{\mathbf{e}}\rangle}, \quad \delta\beta = \frac{(\sqrt{2\Delta})^3}{4\rho V} \frac{\langle\tilde{\mathbf{e}}|\frac{\partial f}{\partial R}(\hat{\mathbf{D}} + \hat{\mathbf{T}}\hat{\mathbf{D}})\tilde{\mathbf{e}}\rangle}{\langle\tilde{\mathbf{e}}|\tilde{\mathbf{e}}\rangle}, \quad I_l^{-\kappa} = \frac{(\sqrt{2\Delta})^3}{4\rho V} \frac{\int_0^\infty \frac{\partial f}{\partial R} F_l G_l^{-\kappa} R dR}{\int_0^\infty F_l^2 R dR}.$$

Литература.

1. Воляр А. В., Жилайтис В. З., Фадеева Т. А., Шведов В. Г. Топологическая фаза оптических вихрей в маломодового волокна // Письма в ЖТФ. 1998. (принято к печати).
2. Снайдер А., Лав Дж. Теория оптических волноводов. – М.: Радио и Связь, 1987. – 656 с.

ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ

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

Фадеева Т. А., кандидат физико-математических наук, Шведов В. Г., аспирант

1. Введение

Способность локально изотропной слоистой среды вызывать двулучепреломление в поле оптической волны известна довольно давно как двулучепреломление формы [1]. Рытов и Владимирский при анализе процессов распространения поляризованных световых лучей через локально изотропную неоднородную среду заметили, что световая волна подвергается циркулярному двулучепреломлению. Для волн с плоской лучевой траекторией циркулярного двулучепреломления не возникает, в то время, как волны, распространяющиеся по винтовым траекториям, приобретают различные фазовые скорости для правой и левой циркулярных поляризаций. Дальнейшие исследования показали, что физическая природа различного отклика локально-изотропной неоднородной среды на правую и левую циркулярные поляризации волны связана с топологической фазой поля [2]. Авторы работы [3] пришли к заключению, что величина циркулярного двулучепреломления неоднородной среды составляет $\delta n_c \sim \lambda/a$, а линейного двулучепреломления $\delta n_l \sim (\lambda/a)^2$ (λ – длина волны, a – характерный размер неоднородности).

Целью данной статьи явилось теоретическое и экспериментальное исследование, как отдельного, так и совместного проявления циркулярного и линейного двулучепреломления оптических вихрей в маломодовых волокнах.

2.1. Циркулярное двулучепреломление. Эффект Рытова и оптический эффект Магнуса

Рассмотрим распространение в маломодовом оптическом волокне суперпозиции однородных и неоднородных CV вихрей:

$$LV_{\sigma l}^x = CV_{\sigma l}^{+\sigma} + CV_{\sigma l}^{-\sigma}, \quad CP_{\sigma l}^{\sigma} = CV_{+\sigma l}^{\sigma} + CV_{-\sigma l}^{\sigma}, \quad (1)$$

где для первого в сумме CV вихря $\kappa = +1$, а для второго – $\kappa = -1$, кроме того, для неоднородных CV вихрей должно выполняться требование $l \neq 1$. Используя выражения для CV вихрей, запишем электрическое поле линейно поляризованного $LV_{\sigma l}^x$ вихря в виде

$$\mathbf{e}_t(LV_{\sigma l}^x) = (\hat{x} \cos \delta \beta_{21} z + \sigma \hat{y} \sin \delta \beta_{21} z) F_l(R) \exp\{i\sigma/\varphi\} \exp\{\tilde{\beta}' z\} \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что электрический вектор линейной поляризации в процессе распространения LV вихря по волокну испытывает поворот на угол:

$$\psi = \sigma \delta \beta_{21} z = \frac{2\pi}{\lambda} \delta n_l z, \quad (3)$$

которое характеризуется величиной эффективного двулучепреломления

$$\delta n_T = \frac{c^2 \Delta}{n_{co} \rho^2 \omega^2} \sigma l. \quad (4)$$

Выражение (4) описывает волноводный аналог эффекта Рытова-Владимирского. В случае маломодового волокна поворот электрического вектора характеризуется параллельным переносом вектора состояния вдоль линий потока энергии.

В волокне можно возбудить циркулярно поляризованную CP_{lm}^σ волну (1) с вырожденной краевой дислокацией. Вид поперечного электрического поля запишем в виде:

$$\mathbf{e}_t(CP_{lm}^{\sigma, \text{even}}) = \{\hat{x} + i\sigma \hat{y}\} \cos(\sigma l\varphi - \delta\beta_{21}z) F_l(R) \exp(i\tilde{\beta}'z) \quad (5)$$

Из (5) следует, что при распространении вдоль параболического волокна наблюдается вращение оси вырожденной краевой дислокации вихревой суперпозиции на угол:

$$\chi = -\sigma \delta\beta_{21}z = -\frac{2\pi}{\lambda} \delta n_T z. \quad (6)$$

Направление вращения дислокации противоположно направлению вращения линейной поляризации в первом явлении. Такое вращение краевой дислокации является волноводным проявлением оптического эффекта Магнуса.

Это явление эквивалентно циркулярному двулучепреломлению среды. Однако оно, во-первых, наблюдается в локально изотропной среде, во-вторых, показатель преломления δn_T зависит от топологического заряда. Поэтому величину δn_T можно характеризовать как топологическое двулучепреломление.

2.2. Линейное двулучепреломление. Объединенный эффект Рытова-Магнуса

Пользуясь методом, рассмотренным в разделе 2.1, можно показать, что силовые линии азимутальной и радиальной компонент вектора Пойнтинга \mathbf{P} для CP_{11}^+ поля в таком волокне при распространении деформируются. Изменение формы силовых линий CP_{11}^+ моды связано с осцилляционными изменениями поля IV вихря, в котором возникают биения между полями парциальных $|+1; -1\rangle$ и $|-1; +1\rangle$ вихрей. В результате этих биений в CP_{11}^+ поле попеременно складываются либо противоположные топологические заряды и формируется однородно циркулярно поляризованное поле с вырожденной краевой дислокацией $|0; +1\rangle$, либо линейно поляризованное поле с чисто винтовой дислокацией $|+1; 0\rangle$. В сечениях $z = 2n\Lambda_{IV}/4$ ($n=0,1,2,\dots$) угол поворота оси вырожденной краевой дислокации χ описывается выражением (6) и характеризует волноводный

оптический эффект Магнуса. В сечениях $z = (2n+1)\Lambda_{IV}/4$ угол поворота ψ вектора линейной поляризации LV вихря описывается выражением (3) и описывает эффект Рытова-Владимирского.

На промежуточных длинах волокна эффект Рытова и оптический эффект Магнуса наблюдаются одновременно. В дальнейшем будем характеризовать это явление как объединенный оптический эффект Магнуса.

Можно показать, что поляризационная поправка $\delta\beta_i^\sigma$ для CV вихрей, TE и TM мод задается выражением:

$$\delta\beta = \delta\tilde{\beta} + \frac{\sqrt{2\Delta}}{8\tilde{\beta}} \int_{S_x} \left(\mathbf{e}^{(1)} \nabla f \nabla \tilde{\mathbf{e}}^* + \mathbf{e}^{(1)*} \nabla f \nabla \tilde{\mathbf{e}} \right) dS / \int_{S_x} \tilde{\mathbf{e}}^2 dS, \quad (7)$$

где $\tilde{\mathbf{e}}$ – электрическое поле в скалярном приближении, $(*)$ – комплексное сопряжение, $\delta\beta^{(1)} = \langle \tilde{\mathbf{e}} | \hat{V} | \tilde{\mathbf{e}} \rangle$.

Величину поправочного поля $\mathbf{e}^{(1)}$ определяют из системы уравнений:

$$\left[\partial_R^2 + \frac{1}{R} \partial_R - \frac{1}{R^2} + \tilde{U}^2 - V^2 f + \frac{1}{R^2} \partial_\phi^2 \right] e_r^{(1)} - \frac{2}{R^2} \partial_\phi e_\phi^{(1)} = 2\partial_R f \partial_R \tilde{e}_r + 2\partial_R^2 f \tilde{e}_r + \frac{4\rho V}{(\sqrt{2\Delta})^3} \delta\beta \tilde{e}_r,$$

$$\left[\partial_R^2 + \frac{1}{R} \partial_R - \frac{1}{R^2} + \tilde{U}^2 - V^2 f + \frac{1}{R^2} \partial_\phi^2 \right] e_\phi^{(1)} + \frac{2}{R^2} \partial_\phi e_r^{(1)} = \frac{2}{R} \partial_R f \partial_\phi \tilde{e}_r + \frac{4\rho V}{(\sqrt{2\Delta})^3} \delta\beta \tilde{e}_\phi \quad (8)$$

Для TE мод всегда выполняется условие $\delta\beta = 0$, но для TM мод $\delta\beta \neq 0$.

В волокне с параболическим профилем показателя преломления $f=R^2$ расчет на основании выражений (7) показал, что величина поляризационной поправки $\delta\beta_{TM} \sim (\lambda/\rho)^{5/2}$. Поэтому скорости распространения TM и TE мод оказываются различными. Такое различие постоянных распространения и является основным механизмом линейного двулучепреломления оптических волокон, величина которого $\delta n_T \sim (\lambda/\rho)^3$. Так для параболического волокна с $\rho=3.5\text{мкм}$, $V=3.6$, $\Delta \sim 10^{-3}$ $\delta\beta \sim 10^{-1} \text{м}^{-1}$ и IV вихрь разрушается на длине $\Lambda=67 \text{ м}$.

Основной вклад дает $\delta\tilde{\beta}$, которая не изменяет спиральности σ , но различна для однородных и неоднородных CV вихрей. Поэтому в вихри в состояниях $\{|+l,+1\rangle; |-l,-1\rangle\}$ и $\{|+l,-1\rangle; |-l,+1\rangle\}$ имеет различные фазовые набег на одинаковой длине волокна z . Это явление идентично циркулярному двулучепреломлению, которое в данном случае носит более общий характер (характеризуется не только поляризацией, но и топологическим зарядом), чем классический аналог в оптике кристаллов.

3. Эксперимент

Экспериментально изучалось вращение направления линейной поляризации ψ и оси вырожденной краевой дислокации χ в различных сечениях волокна при возбуждении его циркулярно

поляризованной CP_{11}^+ модой (или LV_{-1} вихрем). Выбиралось маломодовое оптическое волокно со ступенчатым профилем показателя преломления.

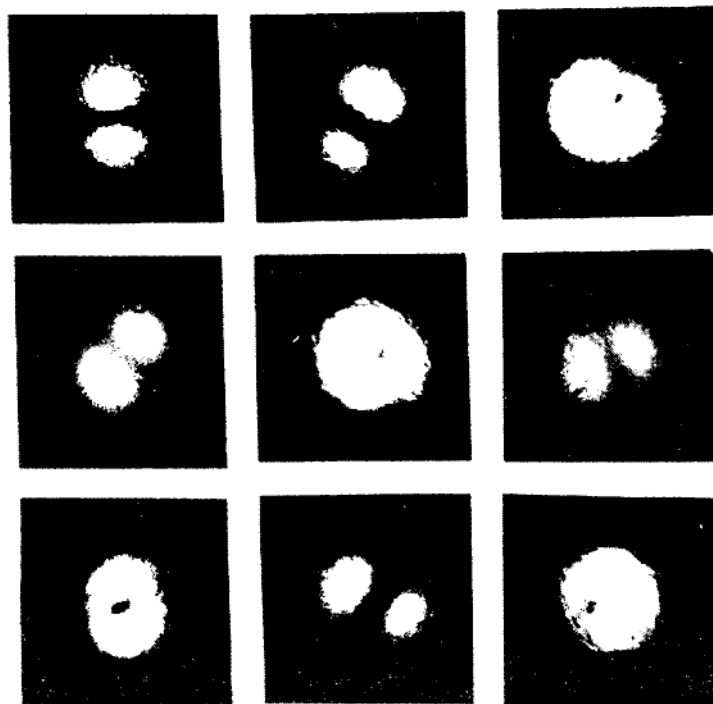


Рис.1 Поле излучения на различных длинах маломодового волокна.

Допустимая величина индуцированного линейного двулучепреломления $\delta n \sim 10^{-6}$. Длина волокна изменялась посредством обламывания отрезков длиной приблизительно 1 см. Излучение с выходного торца волокна выводилось посредством $20\times$ микрообъектива и проецировалось на экран. Измерялась величина и знак углов поворота линейной поляризации ψ и оси вырожденной краевой дислокации χ . На рис.1 приведена последовательность фотографий ближнего поля излучения с торца волокна.

При возбуждении волокна LV вихрем с $\sigma l = +1$, в поле излучения также регистрировались чисто винтовые дислокации исключительно с $\sigma l = +1$. Аналогично, при возбуждении волокна правоциркулярно поляризованной CP_{11} модой с $\sigma = -1$ в поле излучения могли регистрироваться винтовые дислокации только с $\sigma l = +1$. И наоборот, при возбуждении волокна LV вихрем с $\sigma l = -1$ (или CP модой с $\sigma = -1$) могли регистрироваться винтовые дислокации только с $\sigma l = -1$.

Как и предполагалось теоретически, в пределах ошибки эксперимента величина угла ψ линейной поляризации и угла χ поворота оси краевой дислокации линейно зависят от длины z , но имеют противоположные знаки (см выражения (3) и (6)). Эксперимент дает величину топологического

двулучепреломления, равную $\delta n_T = (2.3 \pm 0.08) 10^{-6}$ (теоретическая величина двулучепреломления $\delta n = 3 \cdot 10^{-6}$, полученная из выражений (4), (5) и (7)).

4. Заключение

Спин-орбитальное взаимодействие избирательно действует на поля CV вихрей, вызывая циркулярное двулучепреломление δn_C . В полях TE и TM мод возникает линейное двулучепреломление δn_L . В градиентных волокнах порядки циркулярного двулучепреломления $\delta n_C \sim (\lambda/\rho)$, а линейного $\delta n_L \sim (\lambda/\rho)^3$, где ρ – радиус волокна. Если в кристаллах для характеристики двулучепреломления достаточно задать базис поляризации волны, то в локально изотропной среде оптических волокон, помимо базиса поляризации, необходимо задавать топологический заряд. В волокнах циркулярное и линейное двулучепреломления могут действовать одновременно и объединяются общим названием – топологическое двулучепреломление. На эксперименте топологическое двулучепреломление проявляется как объединенный эффект Рытова-Магнуса. Результатом действия линейного двулучепреломления в волокнах также является структурная неустойчивость IV вихря.

Литература.

1. Вольф М., Борн Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
2. Воляр А.В., Жилайтис В.З., Фадеева Т.А., Шведов В.Г. Топологическая фаза оптических вихрей в маломодовых волокнах // Письма в ЖТФ. 1998. (принято к печати).
3. Liberman V.S., Zel'dovich B.Ya. Birefringence by a smoothly inhomogeneous locally isotropic medium // Phys. Rev. E. 1994. V.49. No.3. P.2389–2396.

**СПЕКТРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН В КУБИЧЕСКОМ
ФЕРРОМАГНЕТИКЕ С БОЛЬШОЙ ОДНОИОННОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ**

*Кожемяко О. В. – аспирант, Эйнгорн Б. Л., студент 5 курса,
Фридман Ю. А., к.ф.-м. н., доцент кафедры теоретической физики*

Введение.

Учёт магнитоупругого (МУ) взаимодействия в области ориентационного фазового перехода (ОФП) приводит к интересным динамическим эффектам [1]. Традиционная схема исследования МУ связи, качественно хорошо описывает динамику системы, но существенно ограничена областью низких температур и малыми значениями констант одноионной анизотропии (ОА). В последнее время, большой интерес вызывает исследование систем с большой ОА, константа которой сравнима и даже превосходит константу обменного взаимодействия. Этот интерес обусловлен тем, что в таких системах реализуются чисто квантовые эффекты [2]. Поэтому представляет интерес исследовать спектры связанных МУ волн сильно анизотропного кубического ферромагнетика с точным учётом ОА.

Решение одноионной задачи и гамильтониан трансформаций.

Рассмотрим гейзенберговский ферромагнетик с одноионной кубической анизотропией, описываемый гамильтонианом:

$$\begin{aligned} \hat{H} = & -H \sum_n S_n^z - \frac{1}{2} \sum_{n, n'} J(n - n') \vec{S}_n \vec{S}_{n'} - \frac{K_1}{2} \sum_n \left\{ (S_n^x)^2 + (S_n^y)^2 + (S_n^z)^2 \right\} \\ & + \frac{K_2}{6} \sum_n \left\{ (S_n^x)^2 (S_n^y)^2 (S_n^z)^2 + (S_n^x)^2 (S_n^z)^2 (S_n^y)^2 + (S_n^y)^2 (S_n^x)^2 (S_n^z)^2 + \right. \\ & \left. + (S_n^y)^2 (S_n^z)^2 (S_n^x)^2 + (S_n^z)^2 (S_n^x)^2 (S_n^y)^2 + (S_n^z)^2 (S_n^y)^2 (S_n^x)^2 \right\} + \\ & + B_1 \sum_n \left\{ (S_n^x)^2 U_{xx} + (S_n^y)^2 U_{yy} + (S_n^z)^2 U_{zz} \right\} \\ & + B_2 \sum_n \left\{ (S_n^x S_n^y + S_n^y S_n^x) U_{xy} + (S_n^x S_n^z + S_n^z S_n^x) U_{xz} + (S_n^z S_n^y + S_n^y S_n^z) U_{yz} \right\} + \\ & + \int dr \left\{ \frac{C_{11}}{2} (U_{xx}^2 + U_{yy}^2 + U_{zz}^2) + 2C_{44} (U_{xy}^2 + U_{yz}^2 + U_{xz}^2) + \right. \\ & \left. + C_{12} (U_{xx} U_{yy} + U_{xx} U_{zz} + U_{yy} U_{zz}) \right\}, \end{aligned} \tag{2.1}$$

где H – внешнее магнитное поле, направленное вдоль оси OZ ($H // OZ$); S_n^α – спиновый оператор в узле n ($\alpha = x, y, z$); $J(n - n')$ – обменное взаимодействие; K_1, K_2 – константы ОА; B_1, B_2 – константы МУ взаимодействия; $U_{ij}(n)$ – компоненты тензора деформаций; C_{ij} – упругие модули.

Предположим, что спин магнитного иона равен 2 ($S=2$), $H // OZ // \langle S_n^z \rangle$ т.е. мы находимся в ферромагнитной фазе. Дальнейшие вычисления будем проводить используя технику операторов

Хаббарда [5]. Решая с одноузельным гамильтонианом одноионную задачу, получим собственные функции гамильтониана \tilde{H} и энергетические уровни магнитного иона с учётом МУ взаимодействия:

$$\begin{aligned} \psi_n(2) &= \cos \theta |2\rangle + \sin \theta |-2\rangle; & \tilde{E}_2 &= -\frac{21}{2} K_1 - \sqrt{4\bar{H}^2 + K^2} + B_1 (U_{xx}^{(o)} + U_{yy}^{(o)} + 4U_{zz}^{(o)}) \\ \psi_n(1) &= |1\rangle; & \tilde{E}_1 &= 4K_2 - 9K_1 - \bar{H} + \frac{\hbar_1}{2} (5U_{xx}^{(o)} + 5U_{yy}^{(o)} + 2U_{zz}^{(o)}) \\ \psi_n(0) &= |0\rangle; & \tilde{E}_0 &= -4K_2 - 12K_1 + 3B_1 (U_{xx}^{(o)} + U_{yy}^{(o)}) \\ \psi_n(-1) &= |-1\rangle; & \tilde{E}_{-1} &= 4K_2 - 9K_1 + \bar{H} + \frac{\hbar_1}{2} (5U_{xx}^{(o)} + 5U_{yy}^{(o)} + 2U_{zz}^{(o)}) \\ \psi_n(-2) &= \cos \theta |-2\rangle + \sin \theta |2\rangle; & \tilde{E}_{-2} &= -\frac{21}{2} K_1 + \sqrt{4\bar{H}^2 + K^2} + B_1 (U_{xx}^{(o)} + U_{yy}^{(o)} + 4U_{zz}^{(o)}) \end{aligned} \quad (2.2) \quad (2.3)$$

где $K \equiv \frac{3}{2} K_1 + 4K_2$ - эффективная константа ОА; $\bar{H} = J_o \langle S_n^z \rangle + H$; $\cos^2 \theta = 1/2 + \bar{H} / \sqrt{4\bar{H}^2 + K^2}$; $U_{ij}^{(o)}$ - спонтанные деформации, отвечающие магнитоэстроикционным явлениям.

На базисе собственных функций $\psi_n(M)$ одноузельного гамильтониана построим операторы Хаббарда $X_n^{M'M}$. Используя связь спиновых операторов с операторами Хаббарда, получим:

$$\begin{aligned} S^+ &= 2\cos\theta (X^{21} + X^{-12}) + 2\sin\theta (X^{-12} - X^{-21}) + \sqrt{6} (X^{10} + X^{0-1}) \\ S^z &= 2\cos\theta (X^{22} - X^{-22}) - 2\sin\theta (X^{2-2} + X^{-22}) + (X^{11} - X^{-11}) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Это представление позволяет сравнительно просто вычислить $\langle S_n^z \rangle$, поскольку задача сводится к вычислению средних от операторов Хаббарда. В области $4J_o < K$, средняя намагниченность с точностью до $1/K^3$ равна: $\langle S_n^z \rangle = 4 \frac{H}{K} + 16 \frac{H J_o}{K^2} - 8 \frac{H^3}{K^3} + 64 \frac{H J_o^2}{K^2}$. (2.5)

Из (2.5) видно, что для $H < K$ средняя намагниченность сильно анизотропного ферромагнетика ($K \gg J_o$) меньше максимально возможной ($\langle S_n^z \rangle_{\max} = 2$)

Спонтанные деформации определим, минимизируя свободную энергию. При условии $T \ll T_c$ они имеют вид: $U_{xx}^{(o)} = U_{yy}^{(o)} = \frac{B_1(C_{11} - 4C_{12})}{2C_{12}^2 - C_{11}(C_{11} + C_{12})}$; $U_{zz}^{(o)} = \frac{2B_1(2C_{11} + C_{12})}{2C_{12}^2 - C_{11}(C_{11} + C_{12})}$ (2.6)

Представим компоненты тензора упругих деформаций в виде: $U_{ij} = U_{ij}^{(o)} + U_{ij}^{(1)}$ (2.7)

Квантуя динамическую часть тензора U_{ij} , для гамильтониана, описывающего процессы трансформации магнона в фонон и обратно получим: $\hat{H}_{tr} = \sum_n \left(\sum_M P_M H_n^M + \sum_\alpha P_\alpha X_n^\alpha \right)$ (2.8) где

$$P_{M(\alpha)} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k,\lambda} (b_{k,\lambda} + b_{-k,\lambda}^+) J_n^{M(\alpha)}(k, \lambda), \alpha - \text{корневой вектор; } N - \text{число узлов в решётке; } b_{k,\lambda} (b_{-k,\lambda}^+) - \text{операторы рождения (уничтожения) фононов с поляризацией } \lambda (\lambda = l, \tau, t); k - \text{волновой вектор;}$$

$T_n^{M(\alpha)}(k, \lambda)$ - амплитуды трансформаций, имеющие громоздкий вид, поэтому мы их здесь не приводим.

Дисперсионное уравнение связанных МУ волн.

Хорошо известно, что полюса функции Грина определяют спектры элементарных возбуждений системы. Поэтому для определения спектров связанных МУ волн определим функцию Грина следующим образом:

$$G^{\alpha\alpha'}(n, \tau, n', \tau') = -\langle \hat{T} \tilde{X}_n^\alpha(\tau) \tilde{X}_{n'}^{\alpha'}(\tau') \rangle, \quad (3.1) \text{ где}$$

\hat{T} - оператор Вика, $\tilde{X}_n^\alpha(\tau)$ - оператор Хаббарда в гейзенберговском представлении.

В (3.1) усреднение ведётся с полным гамильтонианом $\hat{H} = \hat{H}_{int} + \hat{H}_{tr}$,

$$\text{где } \hat{H}_{int} = -\frac{1}{2} \sum_{n, n'} \frac{J(n-n')}{2} \left((S_n^+ S_{n'}^- + S_n^- S_{n'}^+) + 2(S_n^z - \langle S \rangle)(S_{n'}^z - \langle S \rangle) \right)$$

Связь операторов Хаббарда со спиновыми операторами в общем случае имеет вид:

$$S^+ = \sum_M \Gamma_\perp(M) H^M + \sum_\alpha \gamma_\perp(\alpha) X^\alpha; S^- = (S^+)^{\dagger}; S^z = \sum_M \Gamma_\parallel(M) H^M + \sum_\alpha \gamma_\parallel(\alpha) X^\alpha. \quad (3.2)$$

Дальнейшие вычисления будем проводить в приближении среднего поля, поэтому нам достаточно учесть «поперечную» часть гамильтониана \hat{H}_{int} , которая в терминах операторов Хаббарда может быть представлена следующим образом:

$$\hat{H}_{int}^{\perp} = -\frac{1}{2} \sum_{n, n'} \frac{J(n-n')}{2} A_i^{-\alpha} B_i^{\beta} X_n^{\alpha} X_n^{\beta}. \quad (3.3) \text{ где } A \text{ и}$$

B имеют следующий вид:

$$A_1 = 2 \begin{pmatrix} \gamma_{\parallel}(-\infty) \\ o \end{pmatrix}; A_2 = \begin{pmatrix} \gamma_{\perp}^*(\infty) \\ o \end{pmatrix}; A_3 = \begin{pmatrix} \gamma_{\perp}(-\infty) \\ o \end{pmatrix}; B_1 = \begin{pmatrix} \gamma_{\parallel}(\beta) \\ o \end{pmatrix}; B_2 = \begin{pmatrix} \gamma_{\perp}(\beta) \\ o \end{pmatrix}; B_3 = \begin{pmatrix} \gamma_{\perp}^*(-\beta) \\ o \end{pmatrix}. \quad (3.4)$$

Аналитически, уравнение типа Ларкина для полной функции Грина исследуемой системы, можно представить так:

$$G^{\alpha\alpha'}(k, \omega_n) = \Sigma^{\alpha\alpha'}(k, \omega_n) - \frac{1}{2} \Sigma^{\alpha\alpha_1}(k, \omega_n) J(k) A_i^{\alpha_1} B_i^{\alpha_2} G^{\alpha_2\alpha'}(k, \omega_n) + \Sigma^{\alpha\alpha_1}(k, \omega_n) T^{-\alpha_1}(k, \lambda) D_\lambda(k, \omega_n) T^{\alpha_2}(-k, \lambda) G^{-\alpha_2\alpha'}(k, \omega_n). \quad (3.5)$$

где $\Sigma^{\alpha\alpha'}(k, \omega_n)$ - неприводимая по Ларкину часть; $D_\lambda(k, \omega_n)$ - функция Грина невзаимодействующего фонона с λ -поляризацией, имеет следующий вид: $D_\lambda(k, \omega_n) = \frac{2\omega_\lambda(k)}{\omega_n^2 - \omega_\lambda^2(k)}$

(3.6)

Дисперсионное уравнение, описывающее спектральную зависимость связанных МУ волн, имеет следующий вид: $\det \left\| \delta_{ij} + \frac{1}{2} J(k) A_{ji} + \frac{1}{2} J(k) d_{jk} E_i \frac{D_\lambda(k, \omega_n)}{1 - Q_{\lambda\lambda} D_\lambda(k, \omega_n)} \right\| = 0$ (3.7) где

введены следующие обозначения: $A_{ji} = B_j^\alpha G_o^\alpha b(\alpha) A_i^\alpha$; G_o^α - нулевая функция Грина.

Заметим, что полученное дисперсионное уравнение справедливо при произвольных температурах (вплоть до T_c) и произвольных значениях констант ОА.

Решение дисперсионного уравнения.

Рассмотрим решение уравнения (3.7) для случая $T \ll T_c$ и $K \gg J_o$. Предположим, что волновой вектор направлен вдоль оси OZ ($\vec{k} \parallel OZ$). В такой геометрии отличными от нуля компонентами вектора поляризации являются e_x^x, e_x^y, e_x^z .

Рассмотрим решение уравнения (3.7) для случая l – поляризованной МУ волны.

Анализ дисперсионного уравнения показывает, что для спектр высокочастотной магнетонной ветви, имеет следующий вид:

$$E(k) = 2K \left(1 + 2 \frac{\bar{H}^2}{K^2} \right) \left(1 - \frac{J(k)}{K} \left(1 - 2 \frac{\bar{H}^2}{K^2} \right) + 2 \frac{J(k)\bar{H}}{K^2} \left(1 - 2 \frac{\bar{H}^2}{K^2} \right) \right), \quad (4.1) \text{ а}$$

$$\text{спектр продольно поляризованных фононов имеет вид: } \omega_n^2 = \omega_l^2 \quad (4.2)$$

Из (4.2) видно, что l – поляризованные фононы не взаимодействуют с магнитной подсистемой.

Разрешая уравнение (3.7) относительно спектров квазимагнетонной ветви и спектров квазифононной ветви, получим соответственно:

$$E_{k,\omega}(k) = \left[\left(\xi k^2 \right) \frac{4\bar{H}^2}{K^2} - 2 \left(\xi k^2 \right) \frac{4\bar{H}^2}{K^2} + 4\bar{H}^4 \left(\frac{1}{K^2} + \frac{2J_o + 9a_o}{K^3} \right) - \right. \\ \left. - \bar{H}^2 \left(1 - 36 \frac{b_o}{K} + 36 \frac{J_o a_o}{K^2} + \frac{4}{K} (2J_o + 9a_o) \right) + 9(b_o - a_o)(9b_o - 2J_o) + \tilde{\Delta} \right]^2 - \bar{H} - 2J_o \frac{\bar{H}}{K} \left(1 - 2 \frac{\bar{H}^2}{K^2} \right) \quad (4.3)$$

$$\omega_{k,\phi}^2 = \omega_l^2 \frac{\xi k^2 + 4\bar{H}^4 \left(\frac{1}{K^2} + \frac{2J_o + 9a_o}{K^3} \right) - \bar{H}^2 \left(1 - 36 \frac{b_o}{K} + 36 \frac{J_o a_o}{K^2} + \frac{4}{K} (2J_o + 9a_o) \right) + 9(b_o - a_o)(9b_o - 2J_o)}{\xi k^2 + 4\bar{H}^4 \left(\frac{1}{K^2} + \frac{2J_o + 9a_o}{K^3} \right) - \bar{H}^2 \left(1 - 36 \frac{b_o}{K} + 36 \frac{J_o a_o}{K^2} + \frac{4}{K} (2J_o + 9a_o) \right) + 9(b_o - a_o)(9b_o - 2J_o) + \Delta}, \quad (4.4) \text{ где}$$

величины $\xi, \tilde{\Delta}, \Delta, a_o$ и b_o определяются следующими выражениями:

$\xi \equiv \frac{1}{2} J_o R^2$, R -радиус взаимодействия,

$$\Delta = \frac{9}{2} a_o \left(1 - \frac{J_o}{2} \frac{1 + 2 \frac{\bar{H}^2}{K^2}}{\bar{H}^4 - \frac{\bar{H}^2}{K} - \frac{9}{4} b_o} \right) > 0, \quad a_o = \frac{B_2^2}{C_{44}}, \quad b_o = \frac{B_1^2}{C_{11} - C_{12}} \quad (4.5)$$

Исследуем плотность свободной энергии системы f . Разложим f в ряд по степеням параметра порядка $\langle S_n^z \rangle$:

$$f = a_0 + a_1 \langle S_n^z \rangle + a_2 \langle S_n^z \rangle^2 + a_3 \langle S_n^z \rangle^3 + a_4 \langle S_n^z \rangle^4 + \dots \quad (4.6)$$

где коэффициенты a_i зависят от материальных констант и имеют весьма громоздкий вид, поэтому мы их здесь не приводим.

Мы видим, что вид f отличен от стандартного выражения Ландау-Лифшица наличием слагаемых с нечетными степенями $\langle S_n^z \rangle$. Такой вид свободной энергии характерен для ФП 1-го рода, при этом система имеет два характерных поля: поле устойчивости системы H_A и поле перехода H_O . Они имеют следующий вид:

$$H_A = \frac{K}{2} \left(1 - 18 \frac{(b_o - a_o)(9b_o - 2J_o)}{K^2} \right) \quad (4.7) \quad H_O = 3 \sqrt{(b_o - a_o)(9b_o - 2J_o)} \left(1 + 18 \frac{b_o - a_o}{K} - 4 \frac{J_o}{K} - 18 \frac{J_o a_o}{K^2} \right) \quad (4.8)$$

Из (4.5), (4.6) видно, что в длинноволновом пределе ($\xi k^2 \ll \Delta$) при $H = H_A$ спектр квазифононов размягчается $\omega_n^2 = \omega_i^2 \frac{\xi k^2}{\Delta}$, а в спектре квазимагнонов появляется МУ щель: $E(k) = \sqrt{\Delta}$.

Заключение.

Влияние МУ взаимодействия на динамику исследуемой системы является определяющим в окрестности ОФП.

В точке ОФП мягкой модой является уже не магنونная ветвь возбуждений, а квазифононная. В спектре квазимагнонов появляется МУ щель.

Необходимо отметить, что в отличие от систем со слабой анизотропией, в исследуемой системе с сильной анизотропией ОФП являются не ФП 2-го рода, а ФП 1-го рода.

Литература.

1. Туров Е.А., Шавров В.Г., УФН, 140, 3, 429 (1983).
2. Вальков В.В., Валькова Т.А. ТМФ 59, 3, 453 (1984).
3. Локтев В.М., Островский В.С. УФЖ, 23, 10, 1.
4. Зайцев Р.О. ЖЭТФ, 63, 1, 207 (1975).
5. Мицай Ю.Н., Фридман Ю.А. ТМФ, 81, 2, 263 (1989).

СТАТИЧЕСКОЕ ГАРМОНИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В МАГНИТОАНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ

Михерский Р. М., аспирант,

Дубинко С. В., кандидат физико-математических наук, доцент

Возможность наблюдения поведения магнитоанизотропной среды под действием пространственно-неоднородных магнитных полей с помощью эффекта Фарадея обусловило широкое применение эпитаксиальных пленок феррит-гранатов (ЭПФГ) в качестве магнитооптических преобразователей. В настоящее время наиболее часто используются преобразователи на основе ЭПФГ с перпендикулярной анизотропией. Динамический диапазон отображаемого этими пленками сигнала составляет порядка 35 дБ. Пространственное разрешение от 2 до 40 мкм. Как правило, данные ЭПФГ обладают собственной доменной структурой (ДС) типа лабиринтной. В случае приведения в контакт ЭПФГ с магнитным носителем, ДС пленки перестраивается, воспроизводя пространственно-неоднородное поле сигнала, записанное на этот носитель.

В данной работе ставилась задача рассчитать диапазон пространственных периодов отображаемых ЭПФГ с перпендикулярной анизотропией в системе пленка – носитель с гармоническим пространственным распределением намагниченности при произвольно заданных параметрах этой системы.

Рассмотрим структуру, состоящую из ЭПФГ толщиной h и магнитного носителя с толщиной рабочего слоя h_t (намагниченностью M_t), разделенных воздушным зазором толщиной h_v . Изучим случай, когда вектор M_t , зависящий от x как $M_t(x) = z \cdot M_{t0} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot x / d_t)$, параллелен оси z . Согласно [1], энергия этой структуры определяется выражением:

$$W = \frac{4 \cdot \pi \cdot M_0^2}{h + h_v + h_t} \cdot \left(2 \cdot \lambda \cdot \frac{h}{d} + h \cdot \frac{\mu^2}{2} + \frac{2 \cdot d}{\pi^3} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \cdot (1 - \exp(-2 \cdot \pi \cdot h \cdot n / d)) \right) \times \\ \times \sin^2(\pi \cdot n \cdot (1 + \mu) / 2) - \frac{v \cdot d_t}{\pi^3 \cdot m} \cdot (1 - \exp(-2 \cdot \pi \cdot h / d_t)) \cdot (1 - \exp(-2 \cdot \pi \cdot h_t / d_t)) \times \\ \times \cos(2 \cdot \pi \cdot x_0 / d_t) \cdot \sin(\pi \cdot m \cdot (1 + \mu) / 2) \cdot \Delta_{d,md}, \quad (1)$$

$$\text{где } v = \frac{\pi \cdot M_{t0}}{4 \cdot M_0} \cdot \exp\left(-\frac{2 \cdot \pi \cdot h_v}{d_t}\right), \mu = \frac{d_+ - d_-}{d}, \lambda = \frac{\sigma}{4 \cdot \pi \cdot M_0^2}, m = 1, 3, 5, \dots$$

$\Delta_{i,k}$ – символ Кронекера; d_+ – ширина домена с намагниченностью совпадающей по направлению с внешним полем; d_- – ширина домена, магнитный момент, которого направлен против внешнего поля; x_0 – расстояние от центра домена d_+ до ближайшей точки, в которой значение поля,

параллельного намагниченности домена d_+ , максимально; d – период доменов; d_l – период сигнала, записанного на магнитный носитель; M_0 – намагниченность насыщения; σ – плотность энергии доменных стенок; λ – характеристическая длина.

Данное взаимодействие характеризуется той особенностью, что период d может либо равняться периоду собственной доменной структуры d_0 , либо быть кратным величине d_l (т.е. $d = m \cdot d_l$, где m – целое нечетное число). Чтобы определить, какой из этих случаев реализуется, необходимо минимизировать выражение (1) по переменным μ , x_0 , d . Так как величина d дискретна, минимизация по этой переменной сводится к сравнению энергий $W(d = m \cdot d_l)$ между собой и с энергией $W(d = d_0)$.

Эта задача была решена аналитически [1] для двух предельных случаев: $\pi \cdot \lambda > h$ и $\pi \cdot \lambda \ll h$. В настоящей работе численными методами ищется решение данной задачи при произвольных начальных параметрах ЭПФГ. Для определения искомого диапазона визуализируемых частот проведено численное моделирование магнитостатических взаимодействий в системе ЭПФГ-магнитный носитель. Расчеты проводились следующим образом: фиксировалось значение пяти параметров из шести ($M_0 = 20000$ А/м; $M_{l0} = 40000$ А/м; $\sigma = 0,21$ мДж / м²; $h = 3$ мкм; $h_l = 3$ мкм; $h_v = 0,5$ мкм), а оставшийся параметр изменялся. На рис. 1 представлена зависимость нижней d_{\min} и верхней d_{\max} границы диапазона визуализируемых периодов сигнала, а также периода собственной доменной структуры от плотности энергии доменной границы. Из этого рисунка видно, что увеличение энергии доменной границы приводит к увеличению как верхней, так и нижней границ этого диапазона, равно как и к его расширению. При этом величина d_0 также увеличивается. На рис. 2 показана зависимость d_{\min} , d_{\max} и d_0 от намагниченности насыщения ЭПФГ. Как видно из этого рисунка, рост намагниченности пленки ведет к уменьшению границ и сужению диапазона отображаемых периодов. Период d_0 в этом случае уменьшается. На рис. 3 приведена зависимость d_{\min} , d_{\max} и d_0 от толщины ЭПФГ. Как показано на этом графике, при изменении толщины пленки от 4 до 11 мкм величина d_{\max} меняется очень мало, в пределах от 30 мкм, при толщине пленки 4 и 11 мкм, до 28,5 мкм при $h = 6,5$ мкм. Начиная с 3,5 мкм, уменьшение толщины пленки приводит к резкому возрастанию d_{\max} . В то же время, уменьшение h до 0,8 мкм вызывает понижение, а от 0,8

до 0,4 мкм увеличение d_{\min} . На рис. 4 изображена зависимость d_{\min} и d_{\max} от толщины воздушного зазора между магнитным носителем и ЭПФГ. Рост воздушного зазора вызывает увеличение d_{\min} , уменьшение d_{\max} и, соответственно, сужение диапазона отображаемых периодов. Наиболее резко это сужение заметно при величине h_v порядка 3 мкм. На рис. 5 представлена зависимость d_{\min} и d_{\max} от толщины рабочего слоя магнитного носителя h_t . Как видно из этого рисунка, d_{\min} практически не зависит от толщины рабочего слоя носителя. В то же время, d_{\max} увеличивается с ростом h_t по линейному закону. На рис. 6 приведена зависимость d_{\min} и d_{\max} от M_{t0} . Рост M_{t0} приводит к уменьшению d_{\min} , увеличению d_{\max} , а значит и к расширению диапазона отображаемых периодов сигнала.

На основании приведенных зависимостей можно сделать вывод, что отношение d_{\max}/d_0 больше (иногда на порядок), чем отношение d_0/d_{\min} . Это означает, что ЭПФГ предпочтительно отображают более широкий диапазон сигналов, период которых превышает период собственной ДС, и меньший диапазон тех сигналов, период которых меньше периода собственной ДС.

Результаты этих расчетов могут быть использованы с целью оптимизации параметров ЭПФГ при разработке магнитооптических преобразователей для визуализации широкополосных сигналограмм.

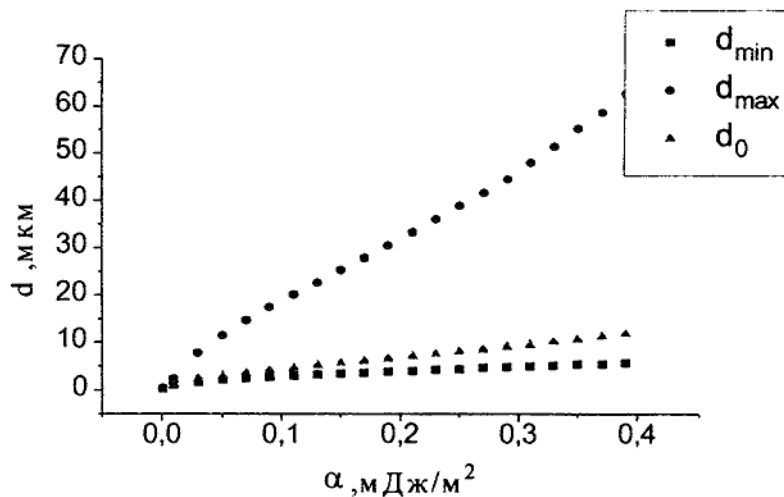


Рис. 1. Зависимость d_{\min} , d_{\max} и d_0 от плотности энергии доменной границы

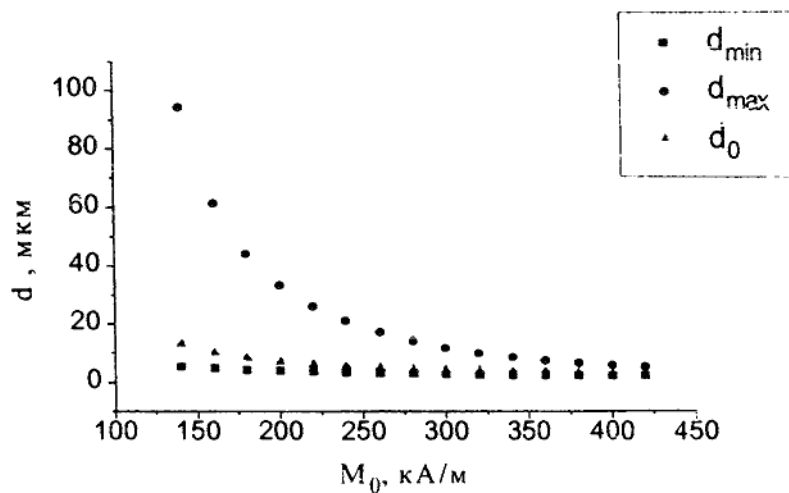


Рис. 2. Зависимость d_{\min} , d_{\max} и d_0 от намагниченности насыщения ЭПФГ

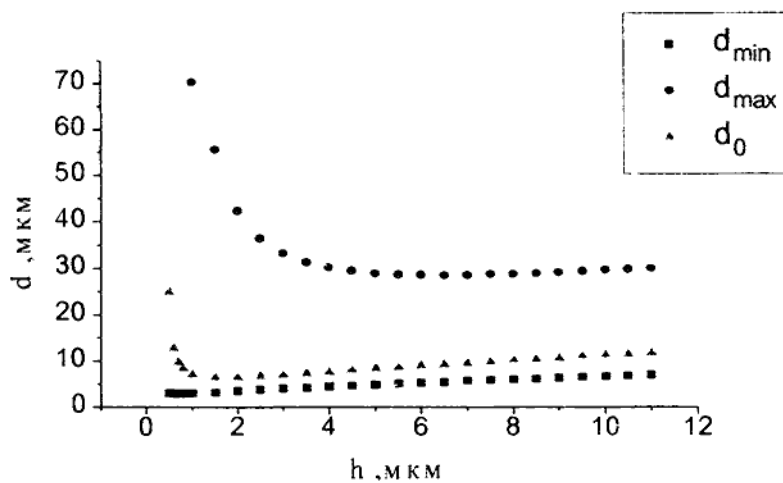


Рис. 3. Зависимость d_{\min} , d_{\max} и d_0 от толщины ЭПФГ

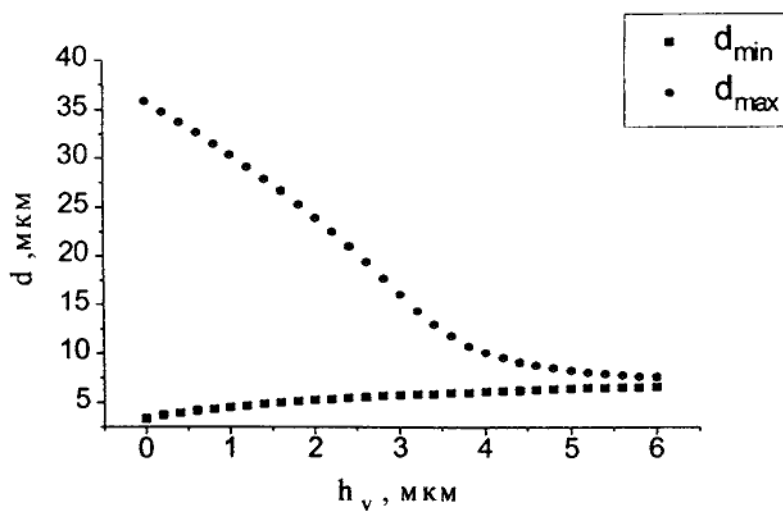


Рис. 4. Зависимость d_{\min} и d_{\max} от толщины воздушного зазора между магнитным носителем и ЭПФГ

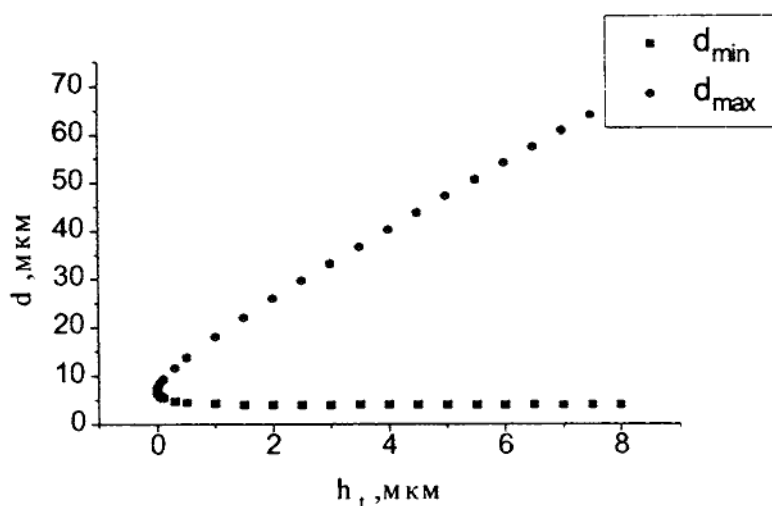


Рис.5. Зависимость d_{\min} и d_{\max} от толщины рабочего слоя магнитного носителя h_t ,

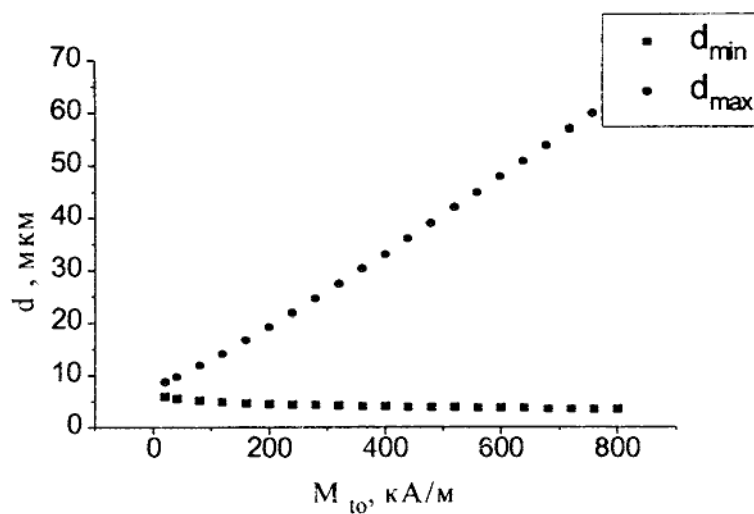


Рис. 6. Зависимость d_{\min} и d_{\max} от M_{t0}

Литература.

1. Герус С. В., Лисовский Ф. В., Мансветова Е. Г. Доменная структура одноосных магнитных пленок в магнитных полях с пространственной периодичностью.- Микроэлектроника. - 1981. - Т. 10, вып. 6. - С. 506-515.

ДВУХЗЕРКАЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР АТМОСФЕРНОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ

Паненко Д. В., аспирант

Ряд характеристик турбулентности может быть получен интерферометрическими методами по измерению степени когерентности света звезд, прошедшего через атмосферу. В последнее время для этой цели стали использоваться интерферометры с зеркалом Ллойда [1].

С целью совершенствования техники измерений был разработан новый, двухзеркальный вариант интерферометра [2]. Он имеет большую чувствительность и более широкие функциональные возможности. Оптическая схема и расчет интерференционной картины были даны в [3]. Настоящая работа посвящена расчету элементов двухзеркального интерферометра.

Оптическая схема двухзеркального интерферометра показана на рис. 1. Объектив 1 плоскую

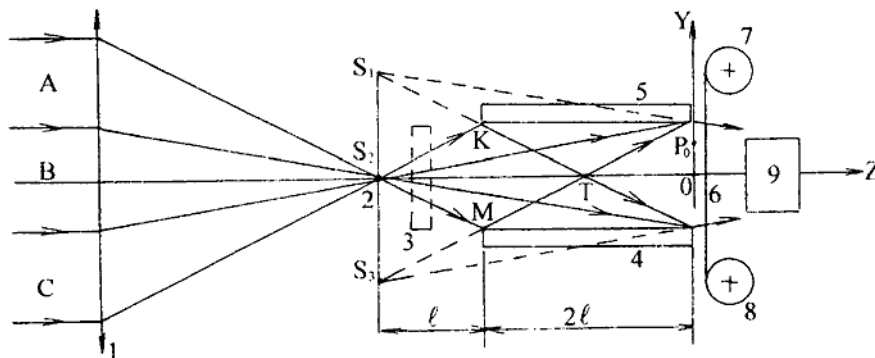


Рис.1. Оптическая схема двухзеркального интерферометра атмосферной когерентности.

волну, идущую от звезды, собирает в действительном фокусе 2, 3 – интерференционный фильтр, предназначенный для монохроматизации света. Зеркала 4 и 5 расположены симметрично оптической оси S_2O (ось Z), параллельны одно другому и повернуты отражающими поверхностями к оптической оси. Расстояние между фокусом 2 и входной плоскостью KM , перпендикулярной оси Z , равно l должно быть согласовано с относительным отверстием объектива. Оптическая схема рис. удовлетворяет этим требованиям. Световой конус, ограниченный лучами, S_2K и S_2M входит промежутком между зеркалами 4 и 5. Расстояние $KM=S_1S_2=S_2S_3=d$, есть расстояние между зеркалами. Длина зеркал равна $2l$. Если конус лучей будет более расходящимся и l будет меньше половины длины зеркал, то будут возникать переотражения, искажающие вид интерференционной картины

выходной плоскости 6. Выходная плоскость содержит оси OX , OY и перпендикулярна оси Z . За счет отражения света от зеркал образуются мнимые источники S_1 и S_3 . Действительный источник S_2 является частью действительного фокуса 2, создает лучи, падающие на выходную плоскость без отражений. В точку выходной плоскости, например, т. P_0 оси Y , свет падает от трех источников, что приводит к появлению в выходной плоскости интерференционной картины. В выходной плоскости можно расположить фотопленку 7, 8, цифровой фотоаппарат или пользоваться микроскопом 9.

Топология выходной плоскости, соответствующая оптической схеме рис. 1, показана на рис. 2.

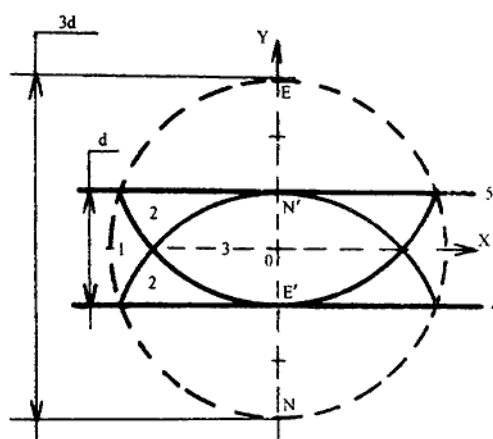


Рис.2 Топология выходной плоскости интерферометра.

Круг, ограниченный штриховой окружностью, представляет собой сечение светового конуса выходной плоскостью при отсутствии зеркал. Прямые линии 4 и 5 показывают выходные торцы зеркал. Зеркала из-за отражений меняют вид светового конуса в выходной плоскости. Верхний сегмент с вершиной E отображен на рис.2 зеркально симметричным относительно верхнего зеркала 5 сегментом с нижней точкой E' . Нижний сегмент с точкой N отображен зеркально симметричным относительно нижнего зеркала 4 сегментом с вершиной N' . Световое поле в выходной плоскости, как это следует из рис.2, можно разделить на участки трех видов: 1 – участки, освещаемые светом одного источника (S_2); 2 – участки, освещаемые светом двух источников (S_1, S_2) и (S_2, S_3); участок 3, на котором интерференция создается светом трех источников (S_1, S_2, S_3). Если увеличивать относительное отверстие объектива за счет уменьшения фокусного расстояния, то участок 3 будет расширяться по горизонтали. Представляется лучшим вариант, соответствующий рисунку 1, поскольку можно наблюдать интерференцию от двух и трех источников и иметь возможность выделять среднюю линию интерференционного поля, совпадающую с осью OX , рис.2. Параксиальный участок 3 по своим горизонтальным размерам вполне достаточен для регистрации интерференционного поля от трех источников.

При расчете выбирается звезда, позволяющая решить поставленную задачу, например: Полярная, α UMi; Вега, α Lyr или другая. Функция спектральной плотности энергетической освещенности E_λ , необходимая для расчета освещенности объектива, может быть взята из спектрофотометрического каталога звезд [4]. Перед расчетом необходимо выбрать фотоприемник: фотопленку, цифровой фотоаппарат, видеокамеру с ПЗС элементом или др. В любом случае необходима интегральная чувствительность S и разрешающая способность R , которые имеются в литературе [5]. В [6] описано получение интерференционных картин высокого контраста коллимированным светом ртутной лампы с выделенной зеленой линией 546,1 нм с шириной около 10 нм. Примем это как практическое обоснование такой величины $\Delta\lambda$ для фильтра интерферометра. При расчетах элементов интерферометра его качество в отношении временной когерентности будем оценивать длиной когерентности $L_{\text{ког.}} = (\lambda_0)^2 / \Delta\lambda$, где λ_0 – средняя длина волны спектрального интервала $\Delta\lambda$. Для получения интерференционной картины с высоким контрастом необходимо чтобы оптическая разность хода ΔL была значительно меньше $L_{\text{ког.}}$. В начале выполняется расчет геометрических размеров элементов интерферометра, поскольку они являются основой для других расчетов. Вертикальный размер выходной плоскости можно бы было выбрать соизмеримым с размерами фоточувствительного окна матричного ПЗС приемника, приняв расстояние между зеркалами равным 4-6 мм. Необходимость удовлетворять условиям временной когерентности заставляет принимать меньшие размеры между зеркалами: $d \sim 1$ мм. Выбрав d , можно по разрешающей способности R фотоприемника рассчитать ℓ . При этом пространственный период полос приравняем $1/R$: $\Delta Y = 1/R = 3\lambda\ell/2d$, откуда $\ell = 2d/3\lambda R$.

Значение ℓ определяет длину зеркала, равную 2ℓ и относительное отверстие A объектива. Из подобия равнобедренных треугольников общей вершиной S_2 имеем $A = d/\ell = D/f$, где D – диаметр, f – фокусное расстояние объектива. Диаметр D рассчитывается по условию достаточности энергетического освещения фотоприемника. Фокусное расстояние f объектива рассчитывается по относительному отверстию A . По определению функция спектральной плотности энергетической освещенности равна

$$E_\lambda = \frac{\Delta E_\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{dE_\lambda}{d\lambda} \quad (1)$$

откуда $dE_\lambda = E_\lambda d\lambda$.

Считая фильтр расположенным перед объективом, учтем его влияние и влияние атмосферы на освещенность объектива. Пусть t_λ – спектральная функция пропускания фильтра, по определению

$t_\lambda = \Phi_{\lambda_{\text{вых}}} / \Phi_{\lambda_{\text{вх}}}$, Φ – поток, откуда $\Phi_{\lambda_{\text{вых}}} = t_\lambda \Phi_{\lambda_{\text{вх}}}$. Следовательно, интегральная энергетическая освещенность на объективе E равна

$$E = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} t_\lambda E_\lambda d\lambda \quad (2),$$

где λ_1 и λ_2 граничные длины волн пропускания интерференционного фильтра. Для учета поглощения атмосферы следует в формуле (4) ввести множитель 0.77, поскольку атмосфера в среднем поглощает 23% светового потока [4]. При необходимости более точного учета следует найти коэффициент прозрачности путем наблюдений. Считая, что зеркал на рис.1 нет найдем освещенность E_1 в выходной плоскости, используя соотношение для оптической мощи объектива,

$$E_1 = \frac{D^2}{(3d)^2} E \quad (3),$$

где $3d$ – диаметр освещенного круга в выходной плоскости при отсутствии зеркал. Следовательно,

На участке 3 выходной плоскости (рис.2) при наличии зеркал освещенность возрастает в три раза из-за отражения света от двух зеркал:

$$E_3 = \frac{D^2}{3d^2} E \quad (4),$$

E_3 – интегральная энергетическая освещенность фотоприемника. Обозначим H экспозицию фотоприемника, $H = E_3 \cdot \tau$, где τ - время экспозиции. Интегральная чувствительность ПЗС фотоприемника S равна: $S = U/H$, где U – выходное напряжение. Подставляя $H = E_3 \cdot \tau$, и, зная E_3 , находим диаметр объектива:

$$D = \sqrt{\frac{3d^2 U}{S \cdot E \cdot \tau}} \quad (5).$$

По D и A находится фокусное расстояние объектива: $f = D/A$.

Были выполнены расчеты на $\lambda = 555$ нм для двух звезд при различных размерах выходной плоскости. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Звезда	D мм	ℓ мм	A	E Дж/м ² с	D м	F М	ΔL мкм	L _{ког.} мкм	$\Delta \lambda$ мкм	λ_0 мкм	ΔY мкм
α UMi	0.5	6	0.083	$4680 \cdot 10^{-14}$	0.29	3.5	14	31	0.01	0.555	10
α UMi	0.6	7.2	0.083	$4680 \cdot 10^{-14}$	0.34	4.0	17	31	0.01	0.555	10
α Луг	1.0	12	0.083	$2744 \cdot 10^{-13}$	0.24	2.9	28	31	0.01	0.555	10

Ряд величин оставались постоянными: разрешающая способность $R=100 \text{ мм}^{-1}$, интегральная чувствительность ПЗС фотоприемника $S=500 \text{ В м}^2/\text{Дж}$, напряжение ПЗС фотоприемника $U=0,08\text{В}$, время экспозиции 30с [1], амплитудное пропускание интерференционного фильтра $t=0,8$.

ВЫВОДЫ:

1. Интерферометр атмосферной когерентности можно построить только на базе телескопа с диаметром объектива не менее $0,5 \text{ м}$. В качестве базовых выбирать яркие звезды, например, $\alpha\text{Луг}$.

2. Для увеличения длины когерентности света ширину полосы интерференционного фильтра целесообразно уменьшать, используя, например, интерференционный фильтр из слоев сульфида цинка и криолита с данными $\lambda=520 \text{ нм}$, $t=0,8$, $\Delta\lambda=3,5 \text{ нм}$.

3. По условиям получения небольшой разности хода использовать интерферометры с небольшим расстоянием между зеркалами.

4. В качестве фотоприемников использовать цифровые фотоаппараты, позволяющие регистрировать интерференционные картины в виде цифровых массивов, удобных для последующей обработки на персональном компьютере.

Автор выражает признательность научному руководителю, профессору Э.И.Терезу за интерес к работе.

Литература.

1.Токовинин А.А., Интерферометр с зеркалом Ллойда для измерения качества изображения // *Астрономический циркуляр*, 1985, № 1366, с.4 – 7.

2. Пат. 2087878 RU, МКИ³ 6G01, J3/26. Интерферометр атмосферной когерентности / Паненко Д.В., (UA).—N5068068; заявлено 04.06.1992; опубл.23.08.97, бюл. №23 от 23.08.97, приоритет 04.06.92 (RU).

3 Panenko D.V., Terez E.I., Atmosphere turbulence investigation with two-mirror interferometer/ *SPIE*,1997, vol.3237,p.18-22.

4. Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н., Сводный фотометрический каталог звезд. Алма-Ата, Наука Каз.ССР, 1978,—197с.

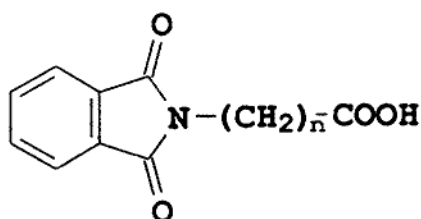
5. Пресс Ф.П., Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1991, 264с.

6. Де Веллис Дж., Рейнольдс Дж., Голография. – М.: Наука, 1970, –247с.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕЙ НЕКОТОРЫХ 3d-МЕТАЛЛОВ С ФТАЛИЛЬНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ АМИНОКИСЛОТ

Аметов И. Э., Певзнер Н. С., кандидат технических наук,
Шульгин В. Ф., доктор химических наук, профессор

Карбоксилаты относятся к одному из наиболее полно изученных типов координационных соединений металлов первого переходного ряда [1]. При их исследовании повышенное внимание обычно уделяют комплексам на основе природных и биологически активных соединений. Особый интерес вызывают разнолигандные комплексы, полученные на основе аминокислот - удобные объекты для изучения межлигандных взаимодействий различного типа [2]. Не менее интересной задачей представляется изучение комплексов N-замещенных аминокислот и их производных, как объектов для изучения влияния внутрелигандных взаимодействий на стереохимию и свойства координационного соединения. Однако до настоящего времени этот круг объектов остается малоизученным; в литературе описаны только комплексы некоторых N-ацилированных аминокислот [3-5]. В настоящей работе приведены результаты исследования солей марганца(II), кобальта(II), никеля(II) и цинка с фталильными производными аминокислоты (глицина) и β-аминопропионовой кислоты (β-аланина):



HL; n = 1, 2

Исследуемые соединения синтезированы реакцией ионного обмена между нитратом соответствующего металла и калиевой солью N-фталимидокарбоновой кислоты, полученной по стандартной методике [6]. Продукты реакции выделены из водного раствора в виде кристаллогидратов $ML_2 \cdot nH_2O$, состав которых подтвержден данными элементного и термического анализа (табл.1).

С целью изучения структурных функций молекул воды, входящей в состав кристаллогидратов, и термической устойчивости безводных солей синтезированные соединения были изучены методами термического анализа (ТГ и ДТА). Полученные данные приведены в табл.2. Термограммы получены на Q-дерибатографе системы Паулик-Паулик-Эрдей в статической воздушной атмосфере. Навеска вещества - 0,100 г, эталон - прокаленный оксид алюминия, держатель образца - платиновый тигель (без крышки).

Состав и данные элементного анализа исследуемых комплексов

Соединение* (№)	Найдено, %			Формула	Вычислено, %		
	M	N	H ₂ O		M	N	H ₂ O
MnL ¹ ₂ ·5H ₂ O (I)	10,09	5,34	16,0	C ₂₀ H ₂₂ MnN ₂ O ₁₃	9,93	5,09	16,3
MnL ² ₂ ·2H ₂ O (II)	11,91	5,39	7,0	C ₂₂ H ₂₀ MnN ₂ O ₁₀	10,42	5,31	6,8
CoL ¹ ₂ ·6H ₂ O (III)	10,27	5,11	18,0	C ₂₀ H ₂₄ CoN ₂ O ₁₄	10,30	4,89	18,8
CoL ² ₂ ·4H ₂ O (IV)	10,95	5,18	13,0	C ₂₂ H ₂₄ CoN ₂ O ₁₂	10,39	4,94	13,2
NiL ¹ ₂ ·6H ₂ O (V)	9,75	5,37	18,0	C ₂₀ H ₂₄ N ₂ NiO ₁₄	10,21	4,87	18,8
NiL ² ₂ ·6H ₂ O (VI)	10,21	5,14	18,0	C ₂₂ H ₂₈ N ₂ NiO ₁₄	9,73	4,64	18,6
ZnL ¹ ₂ ·6H ₂ O (VII)	11,11	4,82	19,0	C ₂₀ H ₂₄ N ₂ O ₁₄ Zn	11,24	4,81	18,60
ZnL ² ₂ ·4H ₂ O (VIII)	11,39	4,83	12,0	C ₂₂ H ₂₄ N ₂ O ₁₂ Zn	11,40	4,88	12,5

*) HL¹ - фталилглицин, HL² - фталил-β-аланин.

Установлено, что процесс потери воды, входящей в состав пентагидрата фталимидоацетата марганца(II), четко разделен на два этапа. Первый связан с отщеплением трех внешнесферных молекул воды, второй вызван выходом из координационной сферы и удалением из образца еще двух молекул воды. Высокая температура дегидратации фталимидопропионата марганца свидетельствует о внутрисферном положении двух молекул воды, входящей в его состав. Потеря воды кристаллогидратами солей кобальта и никеля не разделена на этапы, что не позволяет однозначно определить структурную функцию воды.

Разделение процесса дегидратации на этапы наблюдается при нагревании гексагидрата фталимидоацетата цинка. При этом после потери четырех внешнесферных молекул воды происходит ступенчатое удаление двух молекул воды, координированных металлом, причем вторая молекул удерживается в координационной сфере чрезвычайно прочно и удаляется при 200-240 °С. На кривой ДТА при этом наблюдается незначительный экзоэффект с максимумом при 250 °С, что может быть

вызвано перестройкой кристаллической структуры вещества или изменением способа связывания карбоксилатных лигандов.

Таблица 2.

Данные термического анализа (ТГ и ДТА)

Соединение (№)	Дегидратация			Разложение	
	Интервал температур по ТГ, °С	Минимум на кривой ДТА, °С*	Δm, %	Интервал температур по ТГ, °С	Экстремум на кривой ДТА, °С
$MnL^1_2 \cdot 5H_2O$ (1)	70-100	90(-)	10	190-310	-
	110-170	160(-)	16	310-650	410-650(+)
$MnL^2_2 \cdot 2H_2O$ (2)	95-140	120(-)	7	260-360	305(+)
				360-600	440(+)
$CoL^1_2 \cdot 6H_2O$ (3)	80-180	145(-)	18	320-410	330(-) 440,510(+)
				410-620	610(+)
$CoL^2_2 \cdot 4H_2O$ (4)	50-115	100(-)	12	250-340	290(+)
				340-590	440-590(+)
$NiL^1_2 \cdot 6H_2O$ (5)	80-220	150(-)	18	300-380	300(+),
				430-580	410,510(+), 550(+)
$NiL^2_2 \cdot 6H_2O$ (6)	50-160	130(-)	18	260-390	300,460(+)
				390-650	600(+)
$ZnL^2_2 \cdot 6H_2O$ (7)	50-100	90(-)	12,	350-380	380(-), 500(+)
	110-160	110(-)	16	380-600	
$ZnL^1_2 \cdot 4H_2O$ (8)	40-90	90(-)	8,5	250-350	295(+)
	95-120	115(-)	12,0	350-560	370(+), 505(+)

*)(-) эндотермический эффект, (+) экзотермический эффект

Разделение процессов удаления трех внешнесферных и одной координированной молекулы воды видно также на термогравиметрической кривой фталимидопропионата цинка.

На кривых ТГ всех комплексов более или менее четко проявляется область стабильности безводного вещества, на которой прослеживается незначительное уменьшение массы (1-2%), вызванное удалением остатков воды, основное количество которой отщепилось на предыдущем этапе. Минимальной термической устойчивостью характеризуется фталимидоацетат марганца (температура начала разложения около 190 °С). Остальные комплексы данной кислоты обладают значительно боль-

шей термической стабильностью и начинают разлагаться при достижении температуры порядка 250 - 320°C. Пониженная термическая устойчивость соли марганца может быть вызвана окислением металла кислородом воздуха с последующим окислением лиганда марганцем в одной из высших его степеней окисления. Удлинение органического радикала препятствует данному процессу, поэтому все фталимидопропионаты, включая соль Mn(II) разлагаются при 250-260°C. Разложение веществ сопровождается быстрым уменьшением массы, которому обычно сопутствует экзотермический эффект с максимумом на кривой ДТА при 230-300°C. В ряде случаев процесс разложения идет с плавлением. В этом случае на кривой ДТА проявляется незначительный эндотермический эффект. Дальнейшее повышение температуры сопровождается выгоранием органического остатка и образованием оксида металла. Заканчивается данный процесс при температурах 600-650 °C.

Для определения способа координации карбоксилатных лигандов синтезированные комплексы были изучены методами инфракрасной спектроскопии. ИК-спектры записаны на приборе "Specord-75IR". Использована методика запрессовывания образца в таблетки с бромидом калия.

В ИК-спектрах свободных фталимидокарбоновых кислот наблюдаются полосы, характерные для колебаний соответствующих связей и функциональных групп [7,8]. Наиболее информативными в ИК-спектрах солей являются полосы валентных колебаний депротонированной карбоксильной группы. По их положению и разности частот $\Delta\nu = \nu_{as} - \nu_s$, обычно делают вывод о степени ковалентности связи металла с карбоксилат-анионом и способе связывания лиганда. Для исследуемых комплексов марганца, кобальта и никеля величина данного параметра (табл.3) лежит в диапазоне 160-180 см^{-1} характерном для бидентатных и бидентатно-мостиковых карбоксилат-анионов. Это позволяет предположить для комплексов марганца (1) и (2) характерные для солей данного типа полимерные структуры, включающие бидентатно-мостиковые асимметрично координированные катионами металлов карбоксилатные группы (**a-2-c** по Порай-Кошицу) и две молекулы воды, доводящие координационное число центрального атома до шести [9-10]. Для карбоксилатов кобальта и никеля (3) - (6) наиболее вероятны две мономерные структуры:

1. структура, включающая бидентатно-координированные (**2₁** по Порай-Кошицу) карбоксилат-анионы и две молекулы воды;
2. структура, содержащая монодентатные карбоксилатные лиганды, координированные по **1-c** типу, четыре молекулы воды, достраивающие координационную сферу металла до октаэдрической. Понижение разности частот валентных колебаний карбоксилат-аниона до величины, характерной для бидентатной координации, в данном случае может быть вызвано выравниванием связей углерод-кислород за счет образования прочных водородных связей [11-12].

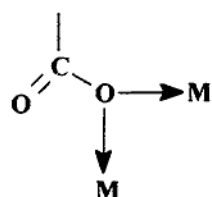
Таблица 3.

Наиболее информативные полосы в ИК-спектрах поглощения (ν_{\max} , см^{-1})

Соединение	$\nu_{\text{as}}(\text{COO}^-)$	$\nu_{\text{s}}(\text{COO}^-)$	$\Delta\nu(\text{COO}^-)$
$\text{MnL}^1_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1600	1420	180
$\text{MnL}^2_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1560	1400	160
$\text{CoL}^1_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1600	1410	190
$\text{CoL}^2_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1590	1420	170
$\text{NiL}^1_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1595	1410	185
$\text{NiL}^2_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1590	1410	180
$\text{ZnL}^1_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1690	1410	280
	1590		180
$\text{ZnL}^2_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1700	1400	300

Октаэдрическая, точнее псевдооктаэдрическая, геометрия координационного полиэдра для комплексов кобальта и никеля подтверждается спектрами диффузного отражения поликристаллических образцов, которые были изучены в диапазоне 400 - 700 нм на спектрофотометре СФ-18. В СДО комплексов кобальта обнаружена широкая полоса поглощения с максимумом в области 19600-19000 см^{-1} , отнесенная к переходу $^4\text{T}_{1g}(\text{F}) \rightarrow ^4\text{T}_{1g}(\text{P})$ гексакоординированного катиона Co^{2+} . В СДО комплексов никеля наблюдается плечо полосы поглощения с максимумом выше 25000 см^{-1} и дублетная полоса поглощения с максимумами в области 15000 и 14000 см^{-1} . Первая полоса отнесена к электронному переходу $^3\text{A}_{2g} \rightarrow ^3\text{T}_{1g}(\text{P})$ гексакоординированного катиона Ni^{2+} , а вторая полоса принадлежит переходу $^2\text{A}_{2g} \rightarrow ^3\text{T}_{1g}(\text{F})$. Расщепление данной полосы в дублет может быть вызвано спин-орбитальным взаимодействием [13-14].

Величина расщепления полос валентных колебаний $\Delta\nu(\text{COO}^-)$ для фталимидопропионата цинка (300 см^{-1}) указывает на монодентатную функцию органического лиганда, которая не согласуется с гидратным составом вещества (наличие только одной координированной молекулы воды). По-видимому, в данном случае реализуется полимерная структура, содержащая оксомостики, образованные за счет координации по крайней мере части карбоксилат-анионов по 2-са типу [1]:



ИК-спектр фталимидацетата цинка наиболее сложен и содержит полосы как монодентатных ($\Delta\nu = 280 \text{ см}^{-1}$), так и бидентатных или бидентатно-мостиковых ($\Delta\nu = 180 \text{ см}^{-1}$) карбоксилат-анионов. По-видимому, в данном случае реализуется одна из сложных полимерных структур, часто встречающаяся в солях цинка с карбоновыми кислотами [13].

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что блокирование аминогруппы α - и β -аминокислот фталимидной защитой выводит ее из процесса координации за счет стерических факторов и делокализации неподеленной электронной пары азота на бензольное кольцо через разрыхляющие молекулярные орбитали карбонильных групп. При этом удлинение углеводородного радикала способствует вытеснению части воды из внутренней и внешней сферы катиона марганца(II), кобальта(II), меди(II) и цинка за счет увеличения гидрофобности органического лиганда. Для солей марганца данный процесс сопровождается также увеличением термической стабильности за счет защиты металла от окисления молекулярным кислородом.

Литература.

1. М.А.Порай-Кошиц. Ж.структ.химии. 1980, Т.21. №3, С.146.
2. Манорик П.А. Разнолигандные биокоординационные соединения металлов в химии, биологии, медицине. Киев: Наукова думка, 1991. -272 с.
3. Dietze F., Engelmann H., Fisher G., Hoyer E. Z.Chem. 1989. Bd.29. № 9. S.332.
4. Sandhu S.S., Aulakh N.S. Indian J.Chem.A. 1989. V.28. № 6. P.496.
5. Sandhu S.S., Singh A.N. J.Indian Chem.Soc. 1989. V.66. № 11. P.743.
6. Гершкович А.А., Кибирев В.К. Химический синтез пептидов. Киев: Наукова думка. 1992. - 360 с.
7. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М.: Мир, 1965. -216 с.
8. Сильверстейн Р., Басслер Г., Моррил Т. Спектрометрическая идентификация органических соединений. М.: Мир, 1977. - 590 с.
9. Чырагов Ф.М., Мусаев Ф.И., Гамбаров Д.Г. и др. Координац.химия. 1987. Т.13. №10. С.1412.
10. Мусаев Ф.И., Караев З.М., Пашаев С.А. и др. Координац. Химия. 1988. Т.14. №6. С.832.
11. Коломников И.Р., Новоторцев В.М., Лысяк Т.В. и др. Координац.химия. 1979. Т.5. №12. С.1759.
12. Конник О.В., Шульгин В.Ф., Нефедов С.Е. и др. Журн. неорган.химии. 1991. Т.36. №3. С.630.
13. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Современная неорганическая химия. 3 часть. М.: Мир, 1969, С.285-300.
14. Ливер Э. Электронная спектроскопия неорганических соединений. Часть 2. М.: Мир. 1987, С.117-161.
15. Smith G., O'Reilly E.J., Kennard C.H.L. et al. Inorg. Chem. 1985. V.24. P.2321.

СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЕ АТОМНЫХ АГРЕГАТОВ

Златогорский М. Л., кандидат физико-математических наук, доцент,

Златогорский С. М., студент

Изучение естественных наук (физики, химии, биологии) на современном уровне немислимо без четких представлений о строении атомов и молекул, без четких представлений об их пространственном расположении в более сложных атомных агрегатах, т.е. без четких представлений о структуре вещества. Существующая практика представления структуры таких объемных образований ориентирована в основном на представление их через изображение на плоскости, поскольку изобразить предмет на плоскости гораздо проще, чем дать его трехмерное изображение. А в результате? В результате многие из нас оказывались в ситуации, когда по изображению на плоскости, например, сложной кристаллической решетки или молекулы чрезвычайно трудно воссоздать ее действительный облик в пространстве. Однако, такие изображения сплошь и рядом встречаются в существующей учебной и научной литературе [1,2]. Поэтому имеется реальная необходимость в совершенствовании методов, позволяющих представить себе трехмерное изображение объекта, исходя из его изображения на плоскости. Этому и посвящена данная работа.

1. Способы наблюдения трехмерного пространства.

Существует несколько способов передачи изображения трехмерного пространства на плоскости, различающиеся как степенью сложности, так и качеством достигнутого результата в передаче объемности изображения.

Наиболее совершенным способом, дающим почти полную иллюзию присутствия реального объекта, является способ голографии, однако, он технически сложен.

Способ получения объемности с использованием двух изображений предмета на плоскости (бумаге), по одному для каждого глаза, так называемых стереопар, по качеству полученного результата приближается к голографическому, но гораздо проще его в техническом исполнении. Однако, традиционное применение этого метода все же требует наличия определенных технических устройств, стереоскопов, что тоже ограничивает область применения этого метода. Тем не менее, при рассматривании стереопар можно обойтись и без стереоскопа, воспользовавшись вместо него естественной стереоскопической способностью нашего органа зрения, глаз, надо лишь научиться соответствующим образом направлять глаза на стереорисунок. При этом результаты в передаче объемности, достигаемые столь простыми средствами, поразительны. Об этом способе стереоскопического зрения писал еще в двадцатых годах известный популяризатор науки Я. И.

Перельман [3, с. 214]. Но для того, чтобы пользоваться этим способом, нужно обладать определенными навыками стереоскопического зрения.

2. Обучение навыкам стереозрения.

Научиться видеть стереоскопически сравнительно нетрудно. Правда, люди, привыкшие работать только одним глазом, этому виду обучения поддаются с большим трудом, другие, преимущественно молодые люди, обучаются этому очень быстро, в четверть часа, после выполнения буквально нескольких упражнений.

Для осваивания азов стереоскопического зрения сделаем и мы несколько упражнений.

Итак, упражнение первое. Расположите вертикально, параллельно друг другу два карандаша или просто два указательных пальца на расстоянии 15—30 см перед глазами. Расстояние между пальцами должно быть 3—5 см. Если теперь вы будете смотреть не на пальцы, а за них, сквозь них, на какой-либо предмет вдаль, то вы увидите четыре изображения пальцев, внутренние из которых наложатся друг на друга, т.е. получится в итоге три изображения. Именно этого и нужно добиваться, причем расстояние от пальцев до глаз должно быть таким, чтобы пальцы были видны достаточно резко. При этом для достижения эффекта наложения можно менять расстояние между пальцами и их расстояние до глаз.

После того, как вы научитесь совмещать внутренние изображения пальцев, переходите к рассматриванию рисунков стереопар (рис. 1—4), вначале простых, и опять старайтесь смотреть за рисунки, сквозь них, вдаль, тогда совмещенные внутренние рисунки дадут стереоизображение объекта. Вы будете видеть три изображения, среднее из которых будет объемным. Для получения хорошего совмещения можно менять положение стереопары. Расстояние между рисунками в стереопаре не должно превышать расстояния между зрачками, а поначалу, пока еще нет устойчивых навыков стереоскопического зрения, оно должно быть в пределах 3—4 см.

Основная трудность при обучении навыку стереоскопического зрения – научиться смотреть за непрозрачный лист бумаги со стереорисунками, когда этот непрозрачный лист находится перед глазами. Чтобы преодолеть этот психологический барьер можно на первых порах использовать стереорисунки, перекопированные на прозрачную подложку, например, на полиэтиленовую пленку.

Еще один способ обучения навыку стереозрения, быстро приводящий к успеху. Нужно расположить стереопару перед глазами, как было описано выше, и закрыть глаза на несколько секунд. Тогда в такой ситуации мышцы глаз расслабятся и глаза будут настроены на взгляд вдаль. Именно эта настройка глаз и нужна для получения стереозффекта. Если теперь открыть глаза, то вы увидите совмещенные или почти совмещенные внутренние изображения, а вместе с этим будете видеть и стереоизображение.

3. Принципы построения рисунков стереопары.

При взгляде на какой-либо объект двумя глазами левый и правый глаза видят неодинаковую картинку, поскольку глаза видят этот объект из двух разных точек, т.е. под разными углами. Проекция трехмерных точек этого объекта (x, y, z) на двумерную плоскость левого рисунка стереопары (X_L, Y_L) можно выразить в общем случае функциональной зависимостью:

$$X_L = F_1(x, y, z, A_{LY}, A_{LZ}) \quad (1)$$

$$Y_L = F_2(x, y, z, A_{LY}, A_{LZ}) \quad (2)$$

где A_{LY} — угол между вертикалью левого стереорисунка и проекцией оси Y объекта на плоскость этого рисунка из точки наблюдения; A_{LZ} — угол между вертикалью левого стереорисунка и проекцией оси Z объекта на плоскость этого рисунка из точки наблюдения.

Для правого (R) рисунка стереопары выражения аналогичны:

$$X_R = F_1(x, y, z, A_{RY}, A_{RZ}) \quad (3)$$

$$Y_R = F_2(x, y, z, A_{RY}, A_{RZ}) \quad (4)$$

где A_{RY} — угол между вертикалью правого стереорисунка и проекцией оси Y объекта на плоскость этого рисунка из точки наблюдения; A_{RZ} — угол между вертикалью правого стереорисунка и проекцией оси Z объекта на плоскость этого рисунка из точки наблюдения. Углы $A_{LY}, A_{LZ}, A_{RY}, A_{RZ}$ определяются расположением объекта наблюдения относительно глаз наблюдателя.

При использовании выражений (1—4) для построения стереопар конкретных объектов нужно учитывать особенности нашего органа зрения, глаз, как стереоскопа. В первую очередь это касается расстояния между рисунками в стереопаре. Здесь имеется в виду расстояние между левым краем левого рисунка и левым краем правого рисунка. Для совмещения внутренних изображений без напряжения глаз это расстояние не должно превышать расстояния между зрачками, т.е. примерно 6—6,5 см. Кроме этого, координаты Y в стереопаре одной и той же точки объекта должны быть одинаковы. Это способствует более легкому совмещению рисунков стереопары. Следует также учитывать искажение размеров объекта в стереоизображении в зависимости от неравенства углов $A_{LY}, A_{LZ}, A_{RY}, A_{RZ}$ в выражениях (1—4), задаваемых при построении стереопары, и тех же самых углов, но которые определяются действительной ориентацией стереопары при её рассматривании. Эти углы определяются координатами точек, в которых располагаются глаза наблюдателя, и если менять расположение глаз относительно стереопары, будут меняться эти углы и можно будет видеть изменение ориентации и размеров стереоизображения. Особенно хорошо проявляется этот эффект при наблюдении таких объектов, как, например, куб. Это дает возможность скорректировать искажения линейных размеров изображения объектов при рассматривании стереопар в стандартных условиях. В качестве такого стандартного условия удобно взять перпендикулярность направления

взгляда на плоскость рисунка. Для получения качественного стереоизображения коррекцию этих искажений делать необходимо. Практически это можно осуществить, если учесть при расчёте координат точек изображения коэффициенты изменения линейных размеров объекта вдоль осей X, Y, Z. Эти коэффициенты определяются по контролю формы куба и используются в расчёте.

При изображении объёмных объектов на плоскости без применения стереометода можно строить изображения этих объектов в различных системах аксонометрических осей. Однако традиционным является применение системы осей, близкой к осям фронтальной диметрической проекции. Примером этому может служить почти любое изображение сложного агрегата атомов в учебной литературе [1, с. 107; 2, с. 391]. Поэтому разумным является выбор таких параметров рисунков стереопар, которые обеспечивали бы «совместимость» рисунков стереопар с изображениями в стиле изображений из литературы. Этому условию соответствует значение углов $A_{LZ} = A_{RZ} = 0$ и A_{LY} и A_{RY} равными примерно нескольким десяткам градусов. В этом случае коэффициенты искажений по осям X и Z равны единице (искажений нет) [4, с. 109], а по оси Y этот коэффициент меньше единицы, что соответствует стереоизображению объекта, растянутому вдоль оси Y. Такое растяжение можно скорректировать, если ввести этот коэффициент в выражения (1—4). Таким образом, каждый из рисунков стереопары будет выполнен в общепринятом стиле изображения объёмных предметов на плоскости и может рассматриваться совершенно независимо, а вместе — это стереопара с присущим ей стерео-объёмным изображением объекта.

Теперь рассмотрим еще один вид искажений стереоизображений, связанных с тем обстоятельством, что на стереоизображении хорошо видна «глубина» предмета, его протяженность вдаль. Это искажения за счет перспективы, когда мы видим, что все параллельные линии на большом расстоянии сходятся в одну точку. Стандартный пример этого явления — сходящиеся вдали рельсы. Такие искажения наиболее заметны на объектах, вытянутых вдоль оси Y. Например, в неисправленном стереоизображении длинного параллелепипеда задняя его грань будет казаться существенно больше передней. Этот вид искажений также корректируется введением соответствующего коэффициента в выражения (1—4).

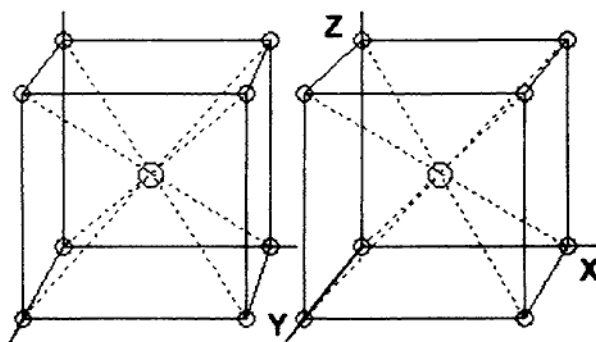


Рис. 1. Структура типа CsCl. Стереопар аналог рис. 69 из [1, с. 107].

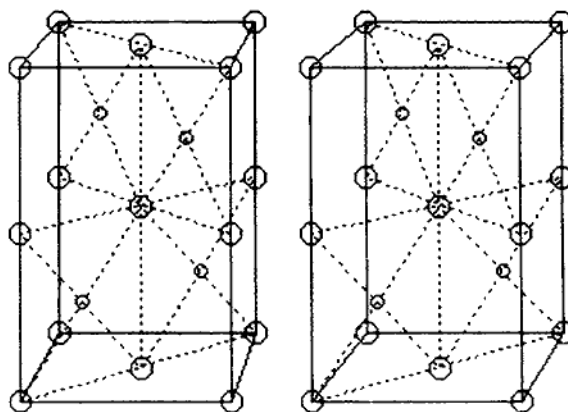


Рис. 2. Структура Pd O, Pt O и Pd S, Pt S. Стереопары рис. 240 из [1, с. 611].

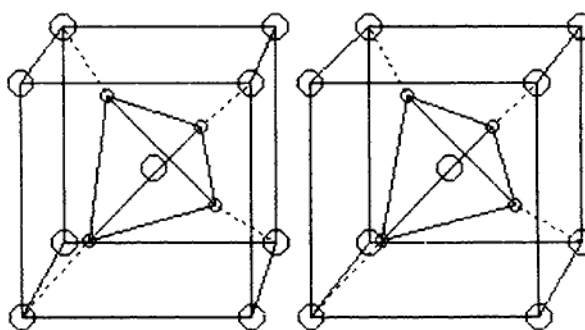


Рис.3. Кристаллическая решетка.

4. Результаты.

Для демонстрации возможностей этого метода наблюдения стереоизображения без применения стереоскопа, а также в целях обучения навыкам стереовидения на рис. 1,2,3,4 приведены стереопары некоторых атомных агрегатов. Эти стереопары были рассчитаны и построены с помощью программы, написанной на языке Turbo Pascal 7.0 с учетом особенностей наших глаз, как стереоскопа. Некоторые из стереопар являются стереоскопическими аналогами изображений из учебной литературы. Это сделано в целях сравнения моно- и стереокартинок. Этот способ применим не только для наблюдения структуры химических объектов, но и во всех других случаях, когда необходимо изобразить сложные объёмные фигуры. Качество стереоизображений определяется разрешающей способностью монитора и принтера, программным обеспечением, а также качеством типографской печати. Кроме этого, описанный способ, в отличие от некоторых других, не имеет ограничений в передаче цвета.

Ложка дегтя. Однако, у этого способа наблюдения стереоизображений есть и недостаток — ограниченная ширина стереорисунка, которая определяется расстоянием между рисунками в стереопаре. В свою очередь, последнее расстояние определяется расстоянием между зрачками глаз наблюдателя, а также напряжением глазных мышц при совмещении изображений, что ограничивает

это расстояние, т.е. ширину рисунка, величиной около 6—7 см. Если же взять это расстояние несколько меньше, то при наблюдении стереоэффекта глазные мышцы будут находиться в расслабленном состоянии, т.е. в режиме отдыха.

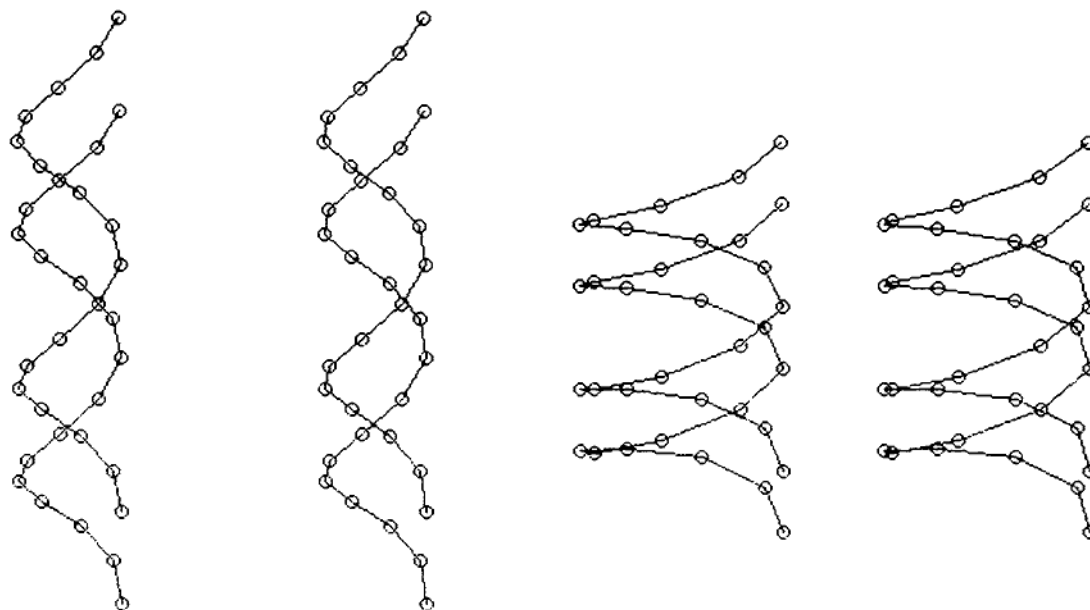


Рис.4. Двойная спираль, основной элемент молекулы ДНК.

Относительно вопроса о движении зрачков глаз при совмещении рисунков и связанном с этим напряжении глазных мышц авторам известны две интересные точки зрения. Желающие могут ознакомиться с ними по литературе [5, с. 182; 6, с. 243].

А можно ли как-то обойти ограничение ширины рисунка при наблюдении стереоизображения: без стереоскопа? Видится три способа решения:

1. Уменьшить масштаб рисунка, если это возможно;
2. Если это допустимо, то изменить ориентацию рисунка так, чтобы наиболее протяженная часть рисунка была бы направлена по вертикали или под углом, обеспечивающим нормальное размещение рисунка, поскольку высота стереорисунка ограничена только лишь вертикальными размерами страницы;
3. И самый действенный способ — использовать стереоскоп. Если он есть. А если его нет? На это уже отдельная тема.

Будем оптимистами! И тем не менее, несмотря на пункт 3 предыдущего абзаца, вследствие исключительной простоты и доступности, этот способ наблюдения стереоизображений может (нет должен !) найти самое широкое применение при издании книг, и в первую очередь учебной литературы по физике, химии, математике и т.д.

Литература.

1. Ахметов Н. С., Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов. - Москва: Высшая школа, 1981. - 679 с.
2. Реми Г., Курс неорганической химии: Том 1, Перевод с немецкого 11 издания. - Москва: Мир, 1972. - 824 с.
3. Перельман Я. И., Занимательная физика: Книга первая. - Издание 15: Москва, Ленинград: Гос. изд. тех.- теор. лит., 1949. - 267 с.
4. Федоренко В. А., Шошин А. И., Справочник по машиностроительному черчению: Издание 6: Москва, Ленинград: Машгиз., 1961. - 264 с.
5. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., Фейнмановские лекции по физике: Вып. 3. - Москва: Мир, 1967. - 238 с.
6. Маковецкий П. В., Смотри в корень!: 4 издание: Москва: Наука, 1979. - 382 с.

АДСОРБЦИЯ ПОТЕНЦИАЛОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ИОНОВ И ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОДНЫХ ЗОЛЕЙ MnO_2

Костык С. В.

1. Введение.

Проблема учета всех каталитически и сорбционно активных фаз при моделировании процессов обуславливающих способность природных водоемов к самоочищению, определяет повышенное внимание к микроколлоидным дисперсиям оксидов переходных металлов [1]. Существенное место при анализе гомогенно- [2] и гетерогенно-каталитической [3] активности марганецсодержащих катализаторов в водных средах при средних значениях pH следует отдавать золям MnO_2 проявляющим многообразие указанных свойств в зависимости от условий получения [4]. Для зольных оксидов поливалентных металлов [5] свойственно довольно узкое распределение частиц по размерам, поэтому каталитические свойства таких дисперсий зависят, в основном, от строения и состава поверхностного слоя частиц, их составляющих. В работе изучены адсорбционные потенциалопределяющих ионов (ПОИ) при химической конденсации частиц MnO_2 и электрокинетические свойства зольных.

2. Экспериментальная часть.

Водные золи MnO_2 получены эквивалентным смешением стандартных разбавленных растворов $KMnO_4$ и H_2O_2 в термостатируемой ячейке. В зависимости от температуры образуются золи с различным распределением частиц по размерам (табл.1) [6]. Средние размеры частиц были оценены кинетическим методом [6].

Таблица 1

Свойства зольных MnO_2 , полученных при различных температурах:

$[KMnO_4]_0 = 1 \cdot 10^{-3}$, $[H_2O_2]_0 = 1,5 \cdot 10^{-3}$, $[MnO_2] = 5 \cdot 10^{-4}$ моль/л. $pH_{исх.} = 8,0$

№ образца	1	2	3	4	5
Температура синтеза, °С	12	25	39	56	72
Средний размер частиц, нм	10	18	32	62	128
Удельная поверхность, м ² /г	120,0	66,7	37,5	19,4	9,38

Условия среды варьировались добавками стандартных растворов KOH и HNO₃ (0,1 н., "чда"). pH растворов измеряли стеклянным электродом на иономере ЭВ-74 с хлорсеребряным электродом сравнения. Адсорбционно-кинетические свойства дисперсной системы по отношению потенциалопределяющим ионам исследовались в фторопластовом сосуде при различных исходных значениях pH медленным потенциометрическим титрованием раствора $KMnO_4$ пероксидом

водорода. Среднее значение точки нулевого заряда (ТНЗ) MnO_2 (рН 3,1) и плотность поверхностного заряда золя (σ) определяли по [7].

Значения электрокинетического потенциала частиц MnO_2 при различных рН вычисляли по результатам электрофоретических измерений на модифицированном приборе Рабиновича и Фодиман [8]. В приборе электрофореза с подвижной границей отсутствовали боковые краны, падение потенциала на среднем участке определялось с помощью впаянных в трубку платиновых электродов высокоомным вольтметром, градиент напряженности поля составил 4 В/см при токе 6 мА. В качестве боковой жидкости использовали соответствующие комбинации растворов KOH и HNO_3 . Наполнение прибора золем вели пипеткой, снабженной краном тонкой регулировки для получения резкой границы "золь-жидкость". Для измерения скорости движения границы использовали отсчетный микроскоп.

3. Результаты и обсуждение.

Особенности структуры тетрагонального MnO_2 предполагают неравнозначность кислородных атомов в его элементарной кристаллической ячейке, а именно – половина кислорода связана короткими связями ($d(\text{Mn-O})=0.143$ нм), а другая длинными ($d(\text{Mn-O})=0.262$ нм), что трактуется как приближение к ковалентному и ионному аналогам и соответственно распределяется по прочности. Этим объясняется нестехиометрия MnO_2 и гидратируемость поверхностного слоя. Согласно [7, 9, 10], в воде слабосвязанный кислород поверхности частично замещается гидроксильными группами, обуславливающими ее заряд и находящимися в равновесии с OH^- среды.

Адсорбция OH^- ионов на коллоидной фазе MnO_2 в ходе ее развития изучалась в указанных условиях (см. табл.2) потенциометрически. Часть высвобождающихся OH^- ионов адсорбируется на MnO_2 . В отсутствие золя рН раствора должно повыситься до 11,93 с учетом разбавления; при внесении каждой очередной порции H_2O_2 рН вначале падало на 0,2-0,3 единицы, затем резко повышалось – почти до расчетного значения (высвобождение порции OH^- ионов), а после максимума медленно снижалось, выходя на постоянное значение (рис.1). В конце реакции рН достигло 11,59, что указывает на удаление части свободных OH^- ионов. Зависимость удельной адсорбции OH^- групп на частицах MnO_2 от рН среды для рН 8-12 в процессе образования золя представлена на рис.2.

При ведении процесса в более щелочных средах, отношение $\text{OH}^-_{\text{адс.}} / \text{MnO}_2$ сразу достигает $0,5 \pm 0,04$ при практически полном сохранении степени окисления марганца 4+ (СФ, λ 336 нм). Полученные данные позволяют судить о структуре частиц и механизмах проникновения в них OH^- ионов. Выведя брутто-формулу частицы как $(\text{MnO}_2)_x(\text{OH}^-)_{0,5x}$, можно видеть, что на две формульные единицы двуокиси приходится одна OH^- группа. Если предположить, что в поверхностном слое сферической частицы MnO_2 радиуса R все длинносвязанные атомы кислорода заместились на OH^- группы, а для компенсации заряда вокруг каждой поверхностной молекулы MnO_2 скоординировалось

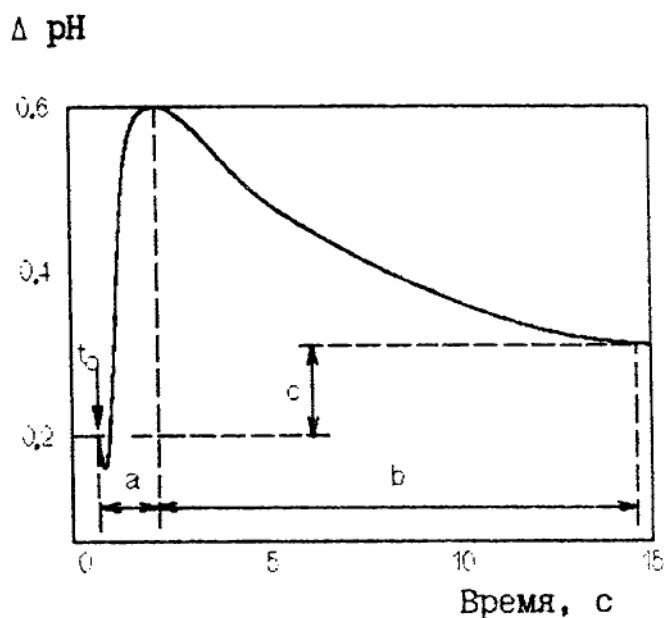


Рис.1. Характерная кривая $\text{pH}(\tau)$, соответствующая добавлению малой порции H_2O_2 к раствору KMnO_4 :

а - redox-реакция; б - сорбционная стадия, с - перепад pH в единичном цикле с учетом адсорбции

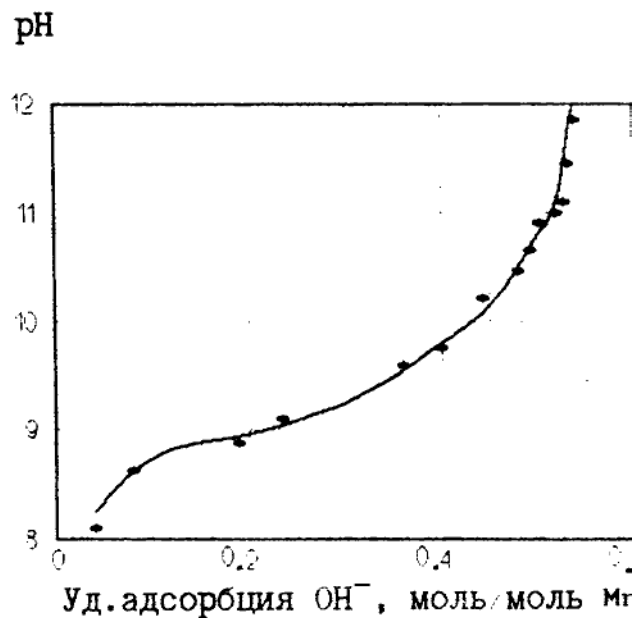


Рис.2. Зависимость удельной адсорбции OH^- -ионов в среде золе MnO_2 от pH среды при 25 С.

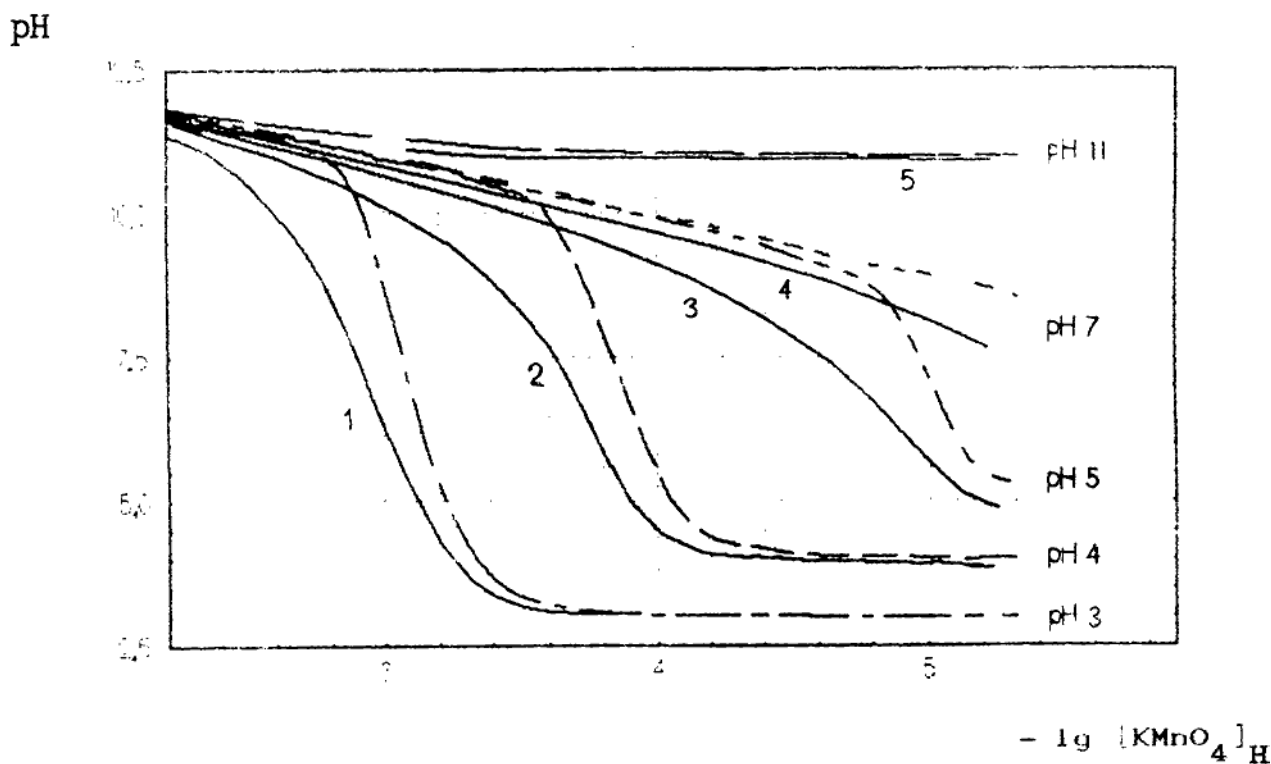


Рис.3. Экспериментальные (сплошные) и расчетные без учета адсорбции (пунктир) кривые $\text{pH} = f([\text{KMnO}_4])$ зависимости конечных равновесных значений pH золей от исходных концентраций растворов KMnO_4 . Кривые 1, 2, 3 и 5 соответствуют значениям pH исходных реагентов 3, 4, 5, 7 и II (

еще по одному OH^- иону, то становится ясно, что частица насыщается гидроксид-ионами не равномерно в глубину, и наряду с модифицированным поверхностным слоем конечной толщины существует ядро частицы радиусом r состава MnO_2 . Исходя из указанных посылок и не учитывая возможности внедрения молекул воды в ядро частицы, нетрудно рассчитать толщину поверхностного слоя: отношение количеств (и объемов) немодифицированных к модифицированным MnO_2 составляет 3:1, то есть $(r/R)^3 = 3/4$, а искомая толщина:

$$\Delta = (R - r) = 0,091 \cdot R. \quad (1)$$

Таблица 2.

Адсорбция OH^- ионов на частицах MnO_2 в области pH 8-12

№ порции H_2O_2	pH _{теор.}	$[\text{OH}^-]_{\text{теор.}}$ моль/л, $\times 10^3$ *	pH _{эсп.}	$[\text{OH}^-]_{\text{эсп.}}$ моль/л, $\times 10^3$	Адсорбция OH^- , моль/л $\times 10^3$	Мольная доля $\text{OH}^-_{\text{адс.}}$, $[\text{OH}^-]_{\text{адс.}} / [\text{MnO}_2]$
исх.	8,00	0,001	–	–	–	–
1	8,40	0,0025	8,38	0,0024	0,0001	0,04
2	8,70	0,005	8,66	0,0046	0,0004	0,08
4	9,30	0,02	9,18	0,015	0,005	0,23
5	9,70	0,05	9,51	0,032	0,018	0,36
9	10,40	0,25	10,15	0,140	0,11	0,44
12	10,79	0,61	10,51	0,320	0,29	0,47
15	11,18	1,52	10,88	0,760	0,76	0,50
19	11,44	2,73	11,11	1,29	1,44	0,52
29	11,76	5,77	11,43	2,69	3,08	0,53
38	11,93	8,51	11,59	3,89	4,62	0,53

* – концентрации OH^- эквивалентны концентрациям образующегося MnO_2 ,

Картина осложняется распределением частиц по размерам и переходными процессами при их росте. Эти факторы однако не вносят существенной ошибки, по причине достаточной узости указанного распределения и явной несоразмерности скоростей роста частицы и адсорбции на ней OH^- ионов. Рассматривая адсорбцию ПОИ на частицах MnO_2 при протекании стехиометрической реакции в более широком диапазоне pH растворов исходных веществ (KMnO_4 и H_2O_2), представим результаты в виде расчетных и экспериментальных кривых (рис.3) $\text{pH} = f(-\lg[\text{KMnO}_4])$ – зависимости конечных равновесных значений pH зольей от исходных концентраций растворов KMnO_4 с известными начальными значениями pH. Данные по адсорбции, полученные с помощью потенциометрического титрования ПОИ в зольях, коррелируют с приведенными и могут быть использованы для расчета σ .

Были проведены измерения ξ -потенциала электрофоретическим методом. Как известно [11], поверхностные OH^- -группы оксида многовалентного металла в водном растворе могут вести себя двояко – либо обратимо диссоциировать по схеме:



где s обозначает твердую фазу, или присоединять потенциалопределяющие ионы:



Применяя в качестве фоновых 1-1-, 2-1- и 1-2-валентных электролитов KNO_3 (до 0,05 М), MgCl_2 и K_2SO_4 (добавки до 10^{-4} М в фоновый электролит), установили, что адсорбция 1-1-валентного электролита не смещает ТНЗ золя (pH_0 не зависит от концентрации электролита до порога коагуляции), что говорит о неспецифической адсорбции однозарядных ионов, носящей преимущественно электростатический характер [11]. Для двухзарядных ионов в золях проявляются закономерности, свидетельствующие о специфичности адсорбции: pH раствора, соответствующее ТНЗ, в исследуемом электролите смещается относительно pH_0 , измеренной в условиях неспецифической адсорбции 1-валентных ионов, и зависит от концентрации электролита в растворе, в присутствии двухзарядных ионов может произойти перезарядка поверхности, например, при добавлении в фоновый электролит MgCl_2 . Это согласуется с [11] – при малых зарядах, когда число продиссоциировавших поверхностных групп MeOH_s мало, два и более заряда иона в силу стерических препятствий не компенсируются противоположными по знаку зарядами поверхности. Поэтому для сохранения электронейтральности в ДЭС втягиваются ионы другого знака из раствора, распределяясь либо в слое Штерна, либо в диффузном, внося неоднозначность в вопрос о природе адсорбционных сил.

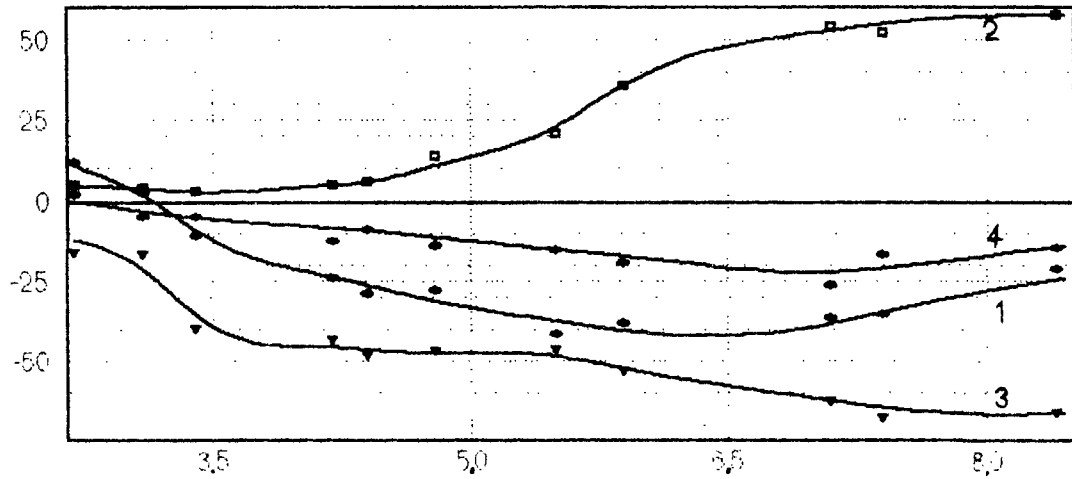
На рис.4 приведены зависимости электрокинетического потенциала дисперсных частиц MnO_2 среднего размера 30 ± 6 нм в растворах различных фоновых электролитов от pH среды. Золь, содержащий после получения КОН, доводился азотной кислотой до pH_0 и концентрации KNO_3 0,001-0,05 М. Аналогично вводили другие электролиты наряду с уже присутствующим нитратом калия. Удаление его путем диализа на коллоидной мембране из системы (в условиях pH_0), с одной стороны, значительно дестабилизирует золь, вызывая структурирование при введении растворов двухвалентных ионов, а с другой – не оказывает решающего влияния на повышение ионной силы раствора и результат электрокинетических измерений.

На практике при повышении напряженности поля скорость электрофореза повышается до некоторого предела насыщения вопреки классической формуле Смолуховского [12] для частиц произвольной формы:

$$U_{ef} = \varepsilon \cdot \xi \cdot E / (4 \cdot \pi \cdot \eta), \quad (4)$$

где E – напряженность электрического поля, ε – диэлектрическая постоянная, η – вязкость, ξ – потенциал границы скольжения. Учет этого явления приводит к необходимости вводить поляризационную поправку. Величины ξ -потенциала частиц рассчитывались в приближении теории поляризации тонкого ДЭС сферической непроводящей частицы [13]. На рис.5 показаны кривые

ξ -потенциал, мВ

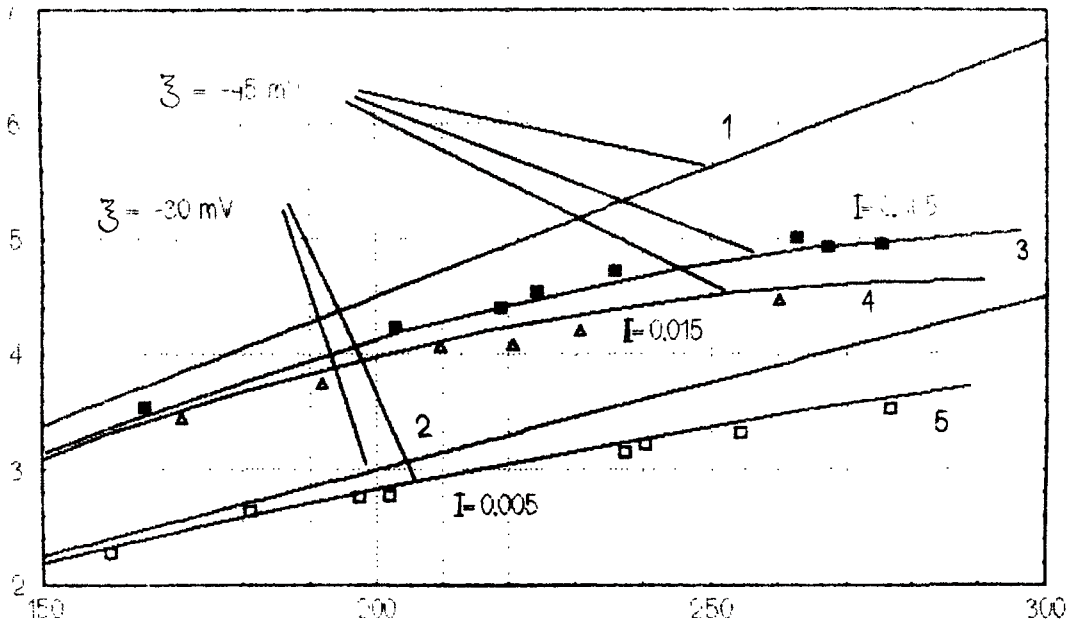


pH

Рис.4. Зависимости ξ -потенциала частиц золей MnO_2 (30 ± 6 нм) от pH при $15^\circ C$ для различных составов фона:

1 - 0.005 М KNO_3 ; 2 - 0.021 М KNO_3 + 0.0001 М $MgCl_2$; 3 - 0.022 М KNO_3 + 0.0005 М K_2SO_4 ; 4 - 0.004 М KNO_3 + 0.0001 М K_2SO_4

U_{ef} , М/С



E, В/м

Рис.5. Расчетные по Смолуховскому (1, 2) и с учетом поляризационной поправки (3-5) кривые зависимости скорости электрофореза золя MnO_2 от напряженности внешнего поля для частиц 30 нм при различных значениях ионной силы в сравнении с экспериментальными точками.

зависимости $U_{ef} = f(E)$, полученные в экспериментах, и расчетные с введенной поправкой в сравнении с прямой, соответствующей формуле (4) для тех же условий. Видно, что поправка приближает расчетные закономерности к опытным.

Электрофорез описывают безразмерной электрофоретической подвижностью:

$$\ddot{u}_{ef} = [6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot e / (\varepsilon \cdot k \cdot T)] \cdot (U_{ef} / E), \quad (5)$$

где e – элементарный заряд, E – напряженность поля, U_{ef} – скорость электрофореза, выражаемая по Генри после обобщения представлений Смолуховского и Хюккеля [13] для сферической частицы как:

$$U_{ef} = [\varepsilon \cdot \xi \cdot E / (6 \cdot \pi \cdot \eta)] \cdot F(\chi \cdot R, K/K'), \quad (6)$$

где R – радиус коллоидной частицы, χ – величина, обратная дебаевскому радиусу экранирования, характеризующему толщину ДЭС частицы в данном электролите – для растворов 1-1-валентных солей:

$$\chi^{-1} = 3,06 \cdot 10^{-10} / C^{0,5}, \quad (7)$$

где C – концентрация, моль/л; $F(\chi \cdot R, K/K')$ – функция, связывающая $\chi \cdot R$ (относительную толщину ДЭС частицы) и K/K' (отношение электрических проводимостей частицы K' и окружающей жидкости). Хотя вопрос о проводимости частиц MnO_2 остался за рамками данной работы, в [13] показаны предельные случаи расхождения функции $F(K/K')$ от $\chi \cdot R$ для непроводящей и проводящей сфер и показано, что ее значение при концентрации фона 0.005 моль/л и частиц средним размером 30 ± 6 нм будут соответственно 1.1 и 0.8, что позволяет при отсутствии данных о проводимости частиц с точностью ок. 10 % применять при расчетах ξ -потенциала формулу Генри при постоянстве $F(K/K')$.

При описании электрофореза с помощью безразмерных параметров \ddot{u}_{ef} и

$$\mathfrak{Z} = e \cdot \xi / (k \cdot T), \quad (8)$$

предложенных в [14], и в приведенных выше условиях формула Генри выглядит так:

$$\ddot{u}_{ef} = \mathfrak{Z} \cdot F(\chi \cdot R), \quad (9)$$

что с учетом влияния тонкого ДЭС на электрофорез сферической частицы [15, 16]:

$$\ddot{u}_{ef} = 1,5 \cdot \mathfrak{Z} - 6 \cdot \frac{\mathfrak{Z} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot m}{z^2}\right) \cdot sh^2\left(\frac{z \cdot \mathfrak{Z}}{4}\right) + \left\{2 \cdot z \cdot \left(\frac{3 \cdot m}{z^2}\right) \cdot sh\left(\frac{z \cdot \mathfrak{Z}}{2}\right) - 3 \cdot m \cdot \mathfrak{Z}\right\} \cdot \ln ch\left(\frac{z \cdot \mathfrak{Z}}{4}\right)}{\chi \cdot R + 8 \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot m}{z^2}\right) \cdot sh^2\left(\frac{z \cdot \mathfrak{Z}}{4}\right) - \left(\frac{24 \cdot m}{z^2}\right) \cdot \ln ch\left(\frac{z \cdot \mathfrak{Z}}{4}\right)}, \quad (10)$$

где упрощенно для 1-1-валентного электролита $m = m^+ = m^- = m^\pm$, при этом

$$m^\pm = [\varepsilon / (6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot D^\pm)] \cdot (k \cdot T / e)^2, \quad (11)$$

где D^\pm – коэффициенты диффузии ионов фона в объеме электролита. Значения ξ -потенциалов находились численным решением уравнения (10) относительно \mathfrak{Z} , с учетом условий эксперимента (рис.4) и уравнений (5) и (7), затем по уравнению (8) велся пересчет на ξ . Величина D^\pm

рассчитывалась по методу Нернста-Хаскелла [17]. Ошибка расчета ξ при этих упрощениях, влияющих лишь на второй член правой части уравнения (10) для не 1-1-валентных электролитов ($z=1$) не превышала 2-4 %.

Из анализа данных вытекает, что значение изоэлектрической точки золя ($pH_{и.э.т.}$ 3,1-3,2) несколько превышает таковое для массивных образцов ($pH_{и.э.т.}$ 2,4-2,8 [11, 18]) MnO_2 , что, видимо, связано с частичной восстановленностью $Mn(IV)$ поверхности, адсорбцией низковалентных ионов, кривизной поверхности, учитываемой (10).

Принимая в качестве ϕ -потенциала частиц MnO_2 потенциал плоскости скольжения, рассчитывали σ . Согласно первому способу, использовали данные потенциометрического титрования ПОИ. Второй способ основан на эмпирической формуле, предложенной Овербеком [14] для сферической частицы при $(\chi \cdot R) > 1$:

$$\sigma = 2 \cdot \text{sh}(\phi_d/2) + [4/(\chi \cdot R)] \cdot \text{th}(\phi_d/4), \quad (12)$$

где $\phi_d = z \cdot e \cdot \phi_d / (k \cdot T)$ – безразмерный параметр, (здесь – ϕ_d – штерновский потенциал).

В табл.3 в сравнении приведены вычисленные значения плотностей поверхностного заряда дисперсной системы в 1-1-валентном фоновом электролите. Из данных видно, что формула (12) дает близкие, но заниженные по сравнению с титрованием значения, поэтому ее применение для данных систем ограничено случаями небольшой ионной силы фонового электролита ($C < 0,01$ М), когда ϕ_d близок к ξ , в рамках теории умеренно тонкого ДЭС.

Таблица 3.

Плотность поверхностного заряда частиц MnO_2 : $[MnO_2] = 0,005$ М;
 $[KNO_3] = 0,005$ М; размер частиц 30 нм; $\chi = 2,31 \cdot 10^8$ м⁻¹, 15°C

pH	3,4	3,8	4,4	5,5	5,9	7,1	8,4
Адсорбция OH^- ионов, $\times 10^5$, моль/м ²	0,23	1,2	1,6	2,4	2,8	4,4	6,9
σ титрование, Кл/м ²	0,22	1,17	1,49	2,27	2,73	4,72	6,71
ξ , мВ	-4	-18	-26	-36	-40	-37	-24
σ Овербек, Кл/м ²	0,21	0,95	1,39	1,98	2,23	2,04	1,29

4. Выводы.

На основании данных по адсорбции ПОИ и электрофоретических измерений получены зависимости ξ -потенциалов зольей MnO_2 от состава фона. Обоснована необходимость введения

поправки при расчете ξ -потенциала зольей, учитывающей поляризацию умеренно тонкого слоя непроводящих сферических частиц.

Литература.

1. Богдановский Г.А. Химическая экология. - М.: Изд-во МГУ, 1994. - 237 с.
2. Сычев А.Я., Исак В.Г. Координационные соединения марганца в катализе. - Кишинев: Штиинца, 1990. - 320 с.
3. Kalungo S.B., Parida K.M., Sant B.R. // *Electrochim. Acta.* - 1981. - V.26, N 8. - P.1157.
4. Костык С.В. Адсорбция и окисление поливинилового спирта в водных золях диоксида марганца: Автореф. ...канд. хим. наук. - 1998. - 16 с.
5. Дяков В.Е., Пурмаль А.П., Травин С.О. // *Хим. физика.* - 1989. - Т.8, N 5. - С.670.
6. Костык С.В., Першина Е.Д., Шадрин Г.Н., Грошенко Н.А. // Симферопольский государственный ун-т. Ученые записки, 1997. - N 4(43). - С.97.
7. Parks G.A., de Bruyn P.L. // *J.Phys. Chem.* - 1962. - V.66, N 6. - P.967.
8. Глазман Ю.М., Кабыш Г.М. // *Коллоид. ж.* - 1969. - Т.31, N 1. - С.27.
9. Роде Е.Я. Кислородные соединения марганца. Искусственные соединения, минералы и руды. - М.: Изд-во АН СССР, 1952. - 339 с.
10. Morgan J.J., Stumm W. // *J.Colloid Sci.* - 1964. - N 8. - P.347.
11. Нечаев Е.А. Хемосорбция органических веществ на оксидах и металлах. - Харьков: Выща школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1989. - 144 с.
12. Григоров О.Н. Электрокинетические явления. - Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. - 199 с.
13. Духин С.С., Дерягин Б.В. Электрофорез. - М.: Наука, 1976. - 332 с.
14. Wiersema P.H., Loeb A.L., Overbeek J.Th.G. // *J.Colloid Interface Sci.* - 1966. - V.22, № 1. - P.78.
15. Семенихин Н.М., Духин С.С. // *Коллоид. ж.* - 1975. - Т.37, № 6. - С.1127.
16. Семенихин Н.М. // *Коллоид. ж.* - Т.38, № 1. - С.74
17. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: Справочник. - Л.: Химия, 1982. - 592 с.
18. Садыков В.А., Цырульников П.Г. // *Кинет. и катализ.* - 1977. - Т.28, № 1. - С.137.

**ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И СРОДСТВА
К КИСЛОРОДУ ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ ГЕМОГЛОБИНА
ДЕЛЬФИНА-АФАЛИНЫ *Tursiops truncatus***

*Осляк Т. В., соискатель кафедры биохимии,
Акопян Н. А., специализант кафедры биохимии,
Коношенко С. В., доктор биологических наук, профессор*

Гемоглобин является одним из компонентов системы молекулярных механизмов адаптации, действие которых направлено на поддержание оптимального уровня жизнедеятельности организма в различных условиях существования. Имеющиеся в литературе данные [2,7,10] свидетельствуют о важном приспособительном значении структурно-функциональной гетерогенности гемоглобинов в регуляции кислородного режима у животных. Несмотря на всю широту проводимых исследований работы по изучению структурных и функциональных свойств гемоглобинов в сравнительном аспекте не дают возможности дать полную оценку изменений различных параметров внутримолекулярной структуры гемоглобина и его функциональной активности в процессе филогенеза.

В связи с этим, целью настоящей работы явилось изучение общего объема гидрофобных полостей, протеолитической устойчивости и сродства к кислороду электрофоретических фракций гемоглобина дельфина-афалины и определение возможной связи соответствующих параметров внутримолекулярной структуры фракций гемоглобина с их функциональной активностью.

Материалом для исследований служил гемоглобин черноморского дельфина-афалины *Tursiops truncatus*. Кровь брали у 11-ти половозрелых особей, адаптированных к условиям содержания в Государственном Океанариуме Украины (г. Севастополь). Гемоглобин выделяли по [13], гемолизируя эритроциты в присутствии дистиллированной воды. Фракционный состав гемоглобина изучали с помощью диск-электрофореза в 7%-ном ПААГ [12]. Фракции гемоглобина выделяли препаративным электрофорезом в блоках 7%-ного ПААГ [1].

Общий объем гидрофобных полостей молекул гемоглобина исследовали методом солюбилизации углеводорода (бензола) с помощью рефрактометрии на ИРФ-23 при длине волны 589 нм [3]. Объем гидрофобных полостей рассчитывали на основании величины связывания бензола молекулами белка (N; моль/моль) [9]. Протеолитическую устойчивость к трипсину определяли по методу Lee-Va-Pin [8]. Сродство фракций гемоглобина к кислороду изучали путем построения кривых кислородной диссоциации [11], определяя показатели полунасыщения гемоглобина кислородом (P₅₀).

Методом диск-электрофореза в 7%-ном ПААГ гемоглобин дельфина-афалины разделяется на

три электрофоретические фракции: две главные (Нв-3 и Нв-2) и одну минорную (Нв-1), соотношение которых составляет 4:5:1, соответственно, а электрофоретическая подвижность к аноду снижается в направлении Нв-1–Нв-2–Нв-3. Изучение общего объема гидрофобных полостей молекул электрофоретических фракций гемоглобина показало, что этот структурный показатель имеет наибольшее значение для Нв-1, а наименьшее – для Нв-2 (табл.1).

Таблица 1

Солюбилизация бензола фракциями гемоглобина дельфина-афалины

Фракции гемоглобина	Степень связывания бензола белком (N, моль/моль)
Нв-1	304 + 3
Нв-2	145 + 2
Нв-3	282 + 2

Увеличение общего объема гидрофобных полостей молекул гемоглобина коррелирует с уменьшением их протеолитической устойчивости, о которой мы судили по величине начальной скорости гидролитического расщепления белка трипсином ($tg\alpha$, где α - угол наклона начального участка кривой гидролиза). Так, оказалось, что минорная фракция Нв-1, характеризующаяся наибольшим объемом гидрофобных полостей, лучше других фракций подвергается гидролитическому воздействию фермента (табл.2).

Таблица 2

Начальная скорость триптического протеолиза ($tg\alpha$) и сродство к кислороду (P_{50}) фракций гемоглобина дельфина-афалины

Фракции гемоглобина	Скорость протеолиза, $tg\alpha$	P_{50} , мм рт.ст.
Нв-1	1,73 + 0,05	28 + 0,9
Нв-2	0,70 + 0,01	22 + 1,1
Нв-3	1,43 + 0,03	26 + 0,8

Основываясь на представлениях о взаимосвязи общего объема гидрофобных полостей белковых молекул с жесткостью их структуры [9], можно предположить, что молекулы гемоглобинов с большим объемом гидрофобных полостей менее плотно упакованы и, возможно, это является одной из главных причин их меньшей протеолитической устойчивости.

Из трех электрофоретических фракций гемоглобина дельфина главная фракция Нв-2 характеризуется наиболее высоким сродством к кислороду. Величина P_{50} данной фракции составляет 26+0,8 мм рт.ст. и находится в пределах значений, характерных для главных фракций гемоглобинов млекопитающих [5,6]. Минорная фракция Нв-1 проявляет наиболее низкое сродство к кислороду.

Наблюдается хорошо выраженная взаимосвязь параметров внутримолекулярной структуры фракций гемоглобина с их сродством к кислороду: фракции с меньшим сродством к кислороду ха-

рактируются большим объемом гидрофобных полостей и меньшей протеолитической устойчивостью.

Эти данные подтверждают результаты предыдущих исследований, полученные при изучении гемоглобинов отдельных представителей позвоночных [4-6], а также позволяют прийти к выводу о возможности коррелирующего влияния "жесткости" структуры белковых молекул на R-T – конформационный переход при дезоксигенации гемоглобина.

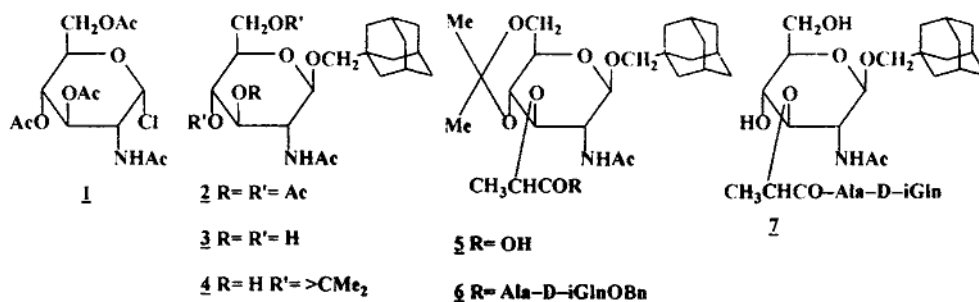
Литература.

1. Ажицкий Г.Ю., Багдасарьян С.Н., Возможность выделения мономерного иммунохимически чистого сывороточного альбумина // Лаб.дело.,1985. - N12.-С.712-714.
2. Дударев В.П., Роль гемоглобина в механизмах адаптации к гипоксии и гипероксии. Киев: Наукова думка, 1979.- 150 с.
3. Измайлова В.Н., Ребиндер П.А., Структурообразование в белковых системах. М: Наука, 1974. - 329 с.
4. Коношенко С.В., Внтримолекулярная подвижность и сродство к кислороду гемоглобинов среднеазиатской черепахи *Testudo horsfieldi* и ужа водяного *Natrix tessellata* // Биополимеры и клетка., 1993. - С.47-50.
5. Коношенко С.В., Байала Иссо , Сравнительная характеристика внутримолекулярной подвижности и сродства к кислороду гемоглобинов в ряду позвоночных // Биополимеры и клетка., 1994. - 10, N2. - С. 72-74.
6. Коношенко С.В., Абдель Рахман, Сравнительная характеристика некоторых физико-химических и структурно-функциональных свойств гемоглобина в ряду позвоночных //Журн. эволюц. биохим. и физиол., 1994. - 30, N5. - С. 683-689.
7. Лукьяненко В.И., Васильев А.С., Лукьяненко В.В., Гетерогенность и полиморфизм гемоглобина рыб. С.-Петербург:Наука, 1991. - 392 с.
8. Мысак В.Я. Физико-химические свойства и химическая структура тропомиозина мышц, облученных гамма лучами. Автореф. дисс. ... к.б.н., Львов, 1969.
9. Остоловский Е.М., Бодянский А.Д., Задорожный Б.А., О внутримолекулярной структуре сывороточного альбумина млекопитающих // Биофизика, 1990. - 35,N5. - С. 762-764.
10. Стародуб Н.Ф., Гетерогенная система гемоглобина. Структурные особенности, физико-химические и функциональные свойства отдельных форм гемоглобина и их роль в биохимической адаптации организма к условиям жизни. // Успехи совр. биологии, 1985. - 99, вып. 3. - С. 385-400.
11. Шорохов Ю.А., Спектрофотометрический метод определения кривой диссоциации оксигемоглобина в кювете десатуратора // Физиол. журн., 1974. - LX, N4. - С. 654-657.
12. Davis B., Disk electrophoresis II. Method and application to human serum proteins // Ann. N.Y.Acad.Sci., 1964. - 121, N 11. - P. 404-406.
13. Drabkin D.A., Simplifide technique for large scale crystallization of haemoglobin in the cristalline // Arch.biochem.,1949. - 21, N5. - P. 242-249.

**СИНТЕЗ β -(АДАМАНТИЛ-1-МЕТИЛ)ГЛИКОЗИДА
N-АЦЕТИЛМУРАМОИЛ-L-АЛАНИЛ-D-ИЗОГЛУТАМИНА**

**Цикалов В. В., Чирва В. Я., доктор химических наук, профессор,
Земляков А. Е., кандидат химических наук, доцент**

Из модификаций N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина (МДП, мурамоилдипептид) гликозиды МДП сочетают экономичность синтеза с высокой биологической активностью. На кафедре органической химии СГУ осуществлен синтез гликозидов мурамоилдипептида с агликонами различной природы, в том числе линейными [1,2] и α -разветвленными [3] алифатическими, алициклическими [4], ароматическими [4] и стероидными [5]. Ряд гликозидов МДП показал адъювантный и иммуностимулирующий эффект превышающий действие мурамоилдипептида [6,7]. В продолжении работ по изучению взаимосвязи между структурой гликозидов мурамоилдипептида и их биологической активностью, а также с целью поиска новых перспективных иммуномодуляторов нами синтезирован β -(адамантил-1-метил)гликозид N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина (**7**). Трициклический агликон в этом соединении обладает максимальной гидрофобностью при минимальных размерах, что несомненно повлияет на способность гликопептида взаимодействовать с биомембранами. Такая особенность адамантильного фрагмента широко используется при создании различных лекарственных препаратов. В гликопептидах подобная конструкция была использована чехословацкими учеными, которые запатентовали адамантиламид N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина [8].



Стартовое соединение – перацетилованный β -(адамантил-1-метил)гликозид N-ацетилглюкозамина **2**, было получено гликозилированием адамантил-1-метанола сполна ацетилованным α -глюкозаминилхлоридом **1** в присутствии иодида ртути(II). В ¹H-ЯМР-спектре гликозида **2** идентифицированы все сигналы протонов углеводного остатка и агликона (см. «Экспериментальную часть»). β -Конфигурация гликозидной связи следует из наличия в спектре дублета аномерного протона с δ 4,48 м.д. и КССВ 8,5 Гц.

Соединение **2** дезацетилировали по Земплону и в полученном триоле **3** действием 2,2-диметоксипропана защитили гидроксильные группы у С-4 и С-6. В изопропилиденовом производном

4 свободный гидроксил обработали гидридом натрия и α -L-бромпропионовой кислотой в диоксане, что привело к 4,6-*O*-изопропилиден-N-ацетил-D-мурамовой кислоте **5**. Конденсацию кислоты **5** с бензиловым эфиром L-аланил-D-изоглутамина проводили N-гидроксисукциновым методом и получили защищенный гликопептид **6**. Введение пептидного фрагмента подтверждается присутствием в ¹H-ЯМР-спектре вещества **6** наряду с сигналами протонов углеводной части молекулы сигналов протонов бензинового эфира (синглет метиленовой группы с δ 5,08 м.д. и мультиплет ароматических протонов с δ 7,36 м.д.), остатка изоглутамина (дублет-дублет-дублетов метинового протона с δ 4,00 м.д., два мультиплета неэквивалентных протонов β -метиленовой группы с δ 1,91 и 2,00 м.д., триплет γ -метиленовой группы с δ 2,35 м.д.) и остатка аланина (дублет метильной группы с δ 1,25 м.д. и дублет-квартетов метинового протона с δ 4,19 м.д.).

Изопропилиденовую защиту в соединении **6** удалили кислотным гидролизом, а бензиловый эфир с остатка изоглутамина – каталитическим гидрогенолизом, что дало целевой β -(адамантил-1-метил)гликозид МДП **7**.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Температуры плавления определяли на приборе ПТП, оптическое вращение при 20-22 °С – на поляриметре Polamat-A. Спектры ПМР получены на приборах Varian Gemini-200 (200 МГц) и Varian VXR-300 (300 МГц) внутренний стандарт – тетраметилсилан. Приведены химические сдвиги (м.д., δ -шкала) и КССВ (*J*, Гц). ТСХ проводили на пластинках Silufol UV-254 (Kavalier) и Kieselgel 60-F₂₅₄ (Merck). Вещества обнаруживали обугливанием при 300 °С (Silufol) и 5% раствором серной кислоты в бутаноле-1 при нагревании до 200-300 °С (Kieselgel). Использовали системы растворителей: хлороформ – этанол, 15:1 (**1**), 5:1 (**2**), бензол – этанол, 10:1 (**3**). Колоночную хроматографию проводили на силикагеле Aldrich 70-230 меш. Данные элементного анализа синтезированных соединений соответствуют расчетным значениям.

Адамантил-1-метанол был получен восстановлением метилового эфира адамантил-1-карбоновой кислоты (Aldrich) LiAlH₄.

(Адамантил-1-метил)-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- β -D-глюкопиранозид (**2**). К раствору 500 мг (1,37 ммоль) 2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид- α -D-глюкопиранозилхлорида [9] в 10 мл сухого дихлорэтана добавили 1,16 экв. иодида ртути(II) и 230 мг (1,37 ммоль) адамантил-1-метанола. Реакционную смесь перемешивали в присутствии молекулярных сит 3А до исчезновения гликозил-донора (контроль ТСХ в системах **1**, **3**). Молекулярные сита и катализатор отфильтровали, фильтрат разбавили хлороформом и промыли водой. Органический слой отделили, осушили безводным Na₂SO₄ и упарили. Остаток очищали колоночной хроматографией (бензол → бензол – этанол, 25:1) и получили 270 мг (41%) гликозида **2**; т. пл. 136-138 °С, $[\alpha]_{546} -30^{\circ}$ (с 0,76; хлороформ). ¹H-ЯМР

(C^2HCl_3 , 200 МГц): 1,43м и 1,61м (CH_2 и CH), 1,89с, 1,96с, 1,97с, 2,03с (12Н, NAc и 3 OAc), 2,90д и 3,45д (2Н, $C'-1-OCH_2$, J_{gem} 9,5), 3,60дд (1Н, $H-5$), 3,86дд (1Н, $H-2$, $J_{2,3}$ 10,5), 4,06дд и 4,21дд (2Н, $H-6a$, $H-6b$, $J_{5,6a}$ 2,5 Гц, $J_{5,6b}$ 4,5, $J_{6a,6b}$ 12), 4,58д (1Н, $H-1$, $J_{1,2}$ 8,5), 5,06дд (1Н, $H-4$, $J_{4,5}$ 9,5), 5,18дд (1Н, $H-3$, $J_{3,4}$ 9,5), 5,45д (1Н, NH , $J_{2,NH}$ 8,5).

(Адамантил-1-метил)-2-ацетиамидо-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид (3). 1,0 г (2,02 ммоль) ацетата **2** растворили в 20 мл сухого метанола и добавили 0,5 мл 0,1 н. раствора метилата натрия в метаноле. Выпавший при стоянии осадок отфильтровали, промыли холодным метанолом. Фильтрат нейтрализовали катионитом КУ-2 (H^+), смолу отфильтровали, растворитель упарили. Общий выход соединения **3** – 0,71 г (95%); т. пл. 149-150 °С, $[\alpha]_{546} -31^0$ (с 1,0; диметилформамид).

(Адамантил-1-метил)-2-ацетиамидо-2-дезоксид-4,6-O-изопропилиден-β-D-глюкопиранозид (4). Суспензию 0,61 г (1,66 ммоль) вещества **3** в 15 мл сухого диоксана нагрели при перемешивании до 50-55 °С и добавили 2 мл 2,2-диметоксипропана и 10 мг TsOH. Через 1 час (контроль ТСХ в системе **2**) реакционную смесь охладил, нейтрализовал пиридином и упарили. Остаток очистили колоночной хроматографией (бензол – этанол, 75:1 → бензол – этанол, 25:1) и получили 416 мг (62%) ацетата **4**; т. пл. 172-174 °С, $[\alpha]_{546} -56^0$ (с 1,0; хлороформ).

(Адамантил-1-метил)-2-ацетиамидо-2-дезоксид-4,6-O-изопропилиден-3-O-(D-1-карбоксиэтил)-β-D-глюкопиранозид (5). К суспензии 415 мг (1,02 ммоль) соединения **4** в 10 мл сухого диоксана при перемешивании порциями добавили 4 экв. гидрида натрия. Реакционную смесь нагрели до 95 °С, выдержали при этой температуре 1 ч и после охлаждения до 65 °С прилили 140 мкл (1,52 ммоль) L-2-бромпропионовой кислоты и выдержали при 65 °С еще 3 ч. После охлаждения избыток гидрида натрия разложили этанолом, смесь концентрировали и вылили в 50 мл холодной воды. Раствор подкислили 2 н. HCl до pH 3-4 и экстрагировали мурамовую кислоту хлороформом (3 x 20 мл). Экстракт высушили безводным Na_2SO_4 и упарили, остаток осадил добавлением эфира и гексана. Выход кислоты **5** составил 470 мг (96%); аморфный порошок, $[\alpha]_{546} -31^0$ (с 1,0; хлороформ).

Бензиловый эфир O-[(адамантил-1-метил)-2-ацетиамидо-2-дезоксид-4,6-O-изопропилиден-β-D-глюкопиранозид-3-ил]-D-лактоил-L-аланил-D-изоглутамин (6). К раствору 470 мг (0,98 ммоль) кислоты **5** в 10 мл сухого диоксана при перемешивании добавили 124 мг (1,08 ммоль) $HOSu$ и 220 мг (1,08 ммоль) DCC. Через 3-5 ч отфильтровали осадок дициклогексилмочевины и промыли его растворителем. К фильтрату прибавили трифторацетат бензилового эфира L-аланил-D-изоглутамин (получен обработкой 400 мг (0,98 ммоль) соответствующего Вос-производного трифторуксусной кислотой с последующим упариванием досуха) и триэтиламин до pH 8. По окончании реакции (контроль ТСХ в системе **2**) реакционную смесь концентрировали и добавили 30 мл эфира. Продукт отфильтровали и колоночной хроматографией (элюент: хлороформ → хлороформ – этанол, 25:1) вы-

делили 510 мг (68%) гликопептида **6**; т. пл. 119-121 °С, $[\alpha]_{546}^{20}$ (с 1,0; хлороформ). ¹Н-ЯМР (DMSO-*d*₆, 300 МГц): 1,20д и 1,25д (6Н, 2 $\underline{\text{CH}_3\text{CH}}$, $J_{\text{гем}}$ 7), 1,32с и 1,46с (6Н, Me₂C), 1,43м и 1,61м (CH₂ и СН), 1,78с (3Н, NAc), 1,91м и 2,00м (2Н, β-CH₂, Glu), 2,35т (2Н, γ-CH₂, Glu), 2,91д и 3,30д (2Н, C-1-OCH₂, $J_{\text{гем}}$ 10), 4,00ддд (1Н, СН, Glu), 4,19дк (1Н, СН, Ala), 4,24к (1Н, $\underline{\text{CHMe}}$), 4,32д (1Н, H-1, $J_{1,2}$ 8), 5,08 с (2Н, COOCH₂Ph), 7,13с и 7,32с (2Н, CONH₂), 7,29д (1Н, NH, GlcNAc), 7,36м (5Н, Ph), 7,91д и 8,15д (2Н, 2 NH).

O-[(Адамантил-1-метил)-2-ацетамидо-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид-3-ил]-D-лактоил-L-аланил-D-изоглутамин (**7**). Алкилиденное производное **6** (280 мг, 0,36 ммоль) растворили при нагревании на кипящей водяной бане в 3 мл 80% уксусной кислоте и выдержали при этой температуре 10 мин (контроль ТСХ в системе **2**). Раствор упарили досуха, остаток соупарили с толуолом и растерли в эфире.

Бензиловый эфир **O**-[(адамантил-1-метил)-2-ацетамидо-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид-3-ил]-D-лактоил-L-аланил-D-изоглутамина (250 мг, 0,34 ммоль) растворили в 5 мл этанола и подвергли каталитическому гидрогенолизу при комнатной температуре над 150 мг Pd/C. Через 2 ч катализатор отфильтровали, промыли 2 мл этанола. Фильтрат упарили и добавлением эфира высадили 190 мг (85%) гликопептида **7**; аморфный порошок.

Литература.

1. Земляков А.Е., Чирва В.Я. // Химия природ. соедин.- 1987.- №5.- С.714-718.
2. Курьянов В.О., Земляков А.Е., Чирва В.Я. // Укр. хим. журн.- 1994.- Т.60.- №12.- С.858-861.
3. Курьянов В.О., Земляков А.Е., Чирва В.Я. // Биоорган. химия.- 1994.- Т.20.- №4.- С.439-447.
4. Земляков А.Е., Курьянов В.О., Цикалов В.В., Аксенова Е.А., Чирва В.Я. // Химия природ. соедин.- 1997.- № 1.- С.79-86.
5. Курьянов В.О., Земляков А.Е., Чирва В.Я. // Биоорган. химия.- 1996.- Т.22.- №4.- С.287-290.
6. Krivorutchenko Yu.L., Andronovskaja I.B., Hinkula J., Krivoshein Yu.S., Ljungdahl-Stähle E., Pertel S.S., Grishkovets V.I., Zemlyakov A.E., Wahren B. // Vaccine.- 1997.-V.15.- №12/13.- P.1479-1486.
7. Kalyuzhin O.V., Zemlyakov A.E., Fuchs B.B. // Int. J. Immunopharmac.- 1996.- V.18.- №11.- P.651-659.
8. Flegel M., Krojidl M., Kolinsky J., Masek K., Seifert J. Авт. Св. 253779 СССР // РЖ Химия.- 1989.- 7 О123П.
9. Хортон Д. // Методы исследования углеводов; Ред. А.Я. Хорлин.- М.: Мир, 1975.- С.221-224.

КАТАЛИЗИРУЕМОЕ КРАУН-ЭФИРАМИ НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В ПЕРАЦЕТАТЕ α -ГЛЮКОЗАМИНИЛХЛОРИДА

Чупахина Т. А., Курьянов В. О., кандидат химических наук

Межфазный катализ (МФК) с использованием в качестве катализаторов четвертичных аммонийных солей широко применяется в синтетической химии углеводов [1]. В тоже время краун-эфиры используются в углеводных синтезах эпизодически. В реакциях нуклеофильного замещения по аномерному центру моносахаридов, относящихся к числу наиболее важных химических превращений углеводов, краун-эфиры использовались несоизмеримо редко по сравнению с возможными синтетическими выгодами. В частности, было показано, что реакция гликозилирования спиртов ацетобромглюкозой по Кенигсу-Кнорру в присутствии дибензо-18-краун-6 протекает в гомогенных условиях чрезвычайно быстро и стереоселективно [2]. Другой вариант гликозилирования представляет собой алкилирование сахаров со свободным полуацетальным гидроксилом системами алкилгалогенид – КОН – краун-эфир [3] или алкилсульфонат – NaH – краун-эфир [4,5]. Из других реакций по гликозидному центру, катализируемых краун-эфирами, следует отметить получение изотиоционата из гликозилбромидов под действием роданида калия [6].

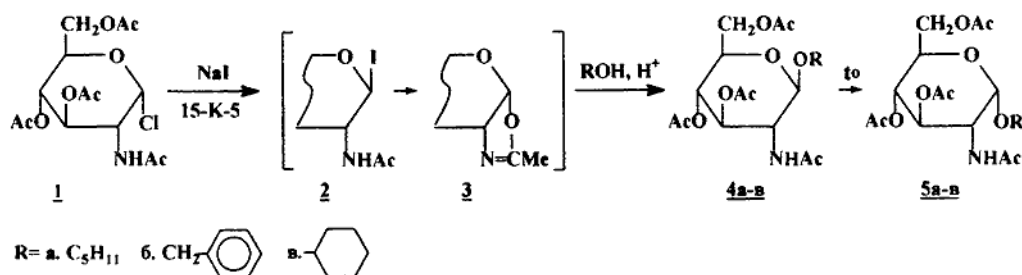
В качестве объекта для изучения реакций нуклеофильного замещения в присутствии краун-эфиров нами был выбран сполна ацетилированный α -глюкозаминилхлорид **1** [7], являющийся самой легкодоступной и широко используемой гликозилгалогенозой в ряду 2-аминосахаров.

Синтез O-гликозидов

Ранее в лаборатории авторов хлорид **1** использовался для синтеза O-гликозидов N-ацетилглюкозамина по Земплону-Гельфериху [8] или в присутствии иодида ртути(II) [9]. Добавление краун-эфира в реакционную смесь, состоящую из гликозил-донора, спирта и HgI₂, в противоположность [2] положительно не повлияло на ход реакции. В тоже время установлено образование гликозидов N-ацетилглюкозамина из хлорида **1** под действием безводного иодида натрия и 15-краун-5. Предпосылкой таких условий проведения реакции послужило предположение, что образующийся *in situ* гликозилиодид **2** должен обладать высокой реакционной способностью [10]. Теоретически с соединением **2** даже в отсутствие акцепторов галогенводородов могут протекать две конкурирующие реакции: образование оксазолина **3**, из-за соучастия ацетамидной группы при C-2, и гликозилирование спирта, приводящее к *cis*-гликозиду **5**.

В эксперименте при взаимодействии гликозил-донора **1** со спиртами при комнатной температуре преобладающей оказалась первая реакция. В реакционной смеси как на начальной стадии процесса, так и практически до его полного завершения по данным ТСХ наблюдалось присутствие оксазолина **3**, который из-за наличия в растворе галогенводородов раскрывался в β -гликозиды **4a-в**. Образование

α -аномера было зафиксировано только для циклогексанола, что связано с процессом аномеризации в кислой среде, а не с протеканием прямого гликозилирования.

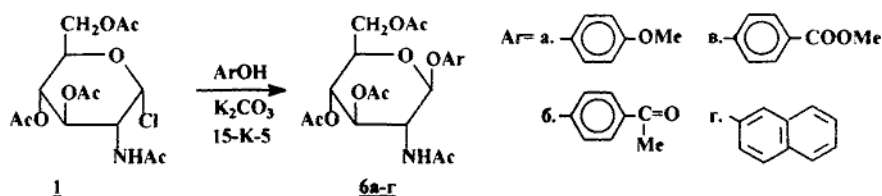


Реакции в кипящем дихлорэтано идут аналогично. Гликозилирование пентанола-1 и бензилового спирта приводит к смеси аномеров **4а,б** и **5а,б**, а получение только α -циклогексилгликозида **5в** связано с легкой аномеризацией его β -аномера.

Строение гликозидов **4а-в** и **5а-в** доказано сравнением с заведомыми образцами.

Синтез *O*-арилгликозидов

Метод МФК при катализе четвертичными аммониевыми солями широко используется для получения арилгликозидов нейтральных [11,12] и аминсахаров [13,14]. Нами было показано, что в присутствии 15-краун-5 гликозилирование фенолов хлоридом **1** в ацетонитриле проходит за 24-48 ч в очень мягких условиях (комнатная температура, основание - твердый карбонат калия). В реакцию вступают фенолы как с электрондонорными, так и электроакцепторными заместителями. При этом образуются только β -арилгликозиды **6а-г**. Их строение подтверждено ^1H -ЯМР-спектрами, в которых наряду с сигналами протонов углеводного остатка присутствуют сигналы ароматических протонов (см. «Экспериментальную часть»). Дублеты аномерных протонов с δ 5,15-5,44 м.д. и КССВ 8-9 Гц свидетельствуют о 1,2-*транс*-конфигурации гликозидного центра.



Простота синтеза, возможность выделения кристаллизацией чистых целевых продуктов с хорошими выходами (53-85%) делает этот метод перспективным для препаративного получения арилгликозидов *N*-ацетилглюкозамина.

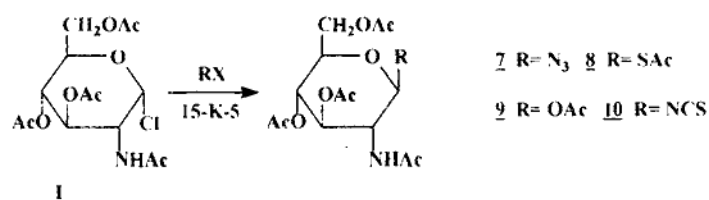
Другие реакции замещения.

Одним из классических подходов к получению гликозиламинов является синтез гликозилазидов с последующим восстановлением. Замещение в гликозилгалогенозах проводили высоко реакционноспособным, но взрывоопасным азидом серебра [15,16], азидом натрия в различных растворителях [16]. В случае *N*-ацетилглюкозамина наилучший выход (80%) был получен при действии азидом ли-

тия в ДМФА [16]. Хорошие результаты дало замещение азидом натрия в присутствии гидросульфата тетрабутиламмония [14].

При проведении реакции хлорида **1** с азидом натрия в присутствии 20 моль % 15-краун-5 соответствующий β -гликозилазид **7** был получен через 2-3 ч с выходами близкими к количественному. Лучшие результаты достигались при использовании в качестве растворителя ацетонитрила или нитрометана. Из ^1H -ЯМР-спектра азида **7** однозначно следует β -конфигурация гликозидного центра (однопротонный дублет с δ 4,78 м.д. и КССВ 9 Гц).

Традиционный путь синтез 1-тио-N-ацетилглюкозамина и его производных заключается в замещении атома галогена по С-1 действием тиоацетата калия в ацетоне, что обеспечивало выходы β -тиоацетата свыше 50% [17]. В частности, этот способ применен для получения 1-тио-N-ацетилмурамовой кислоты и соответственно 1-тио-N-ацетилмурамоил-L-аланил-D-изоглутамина [18]. В нашем эксперименте действием тиоацетата калия совместно с 15-краун-5 на хлорид **1** был синтезирован перацетат 1-тио-N-ацетилглюкозамина **8** с выходом 63%. *Транс*-конфигурация аномерного центра доказывается наличием в его ^1H -ЯМР-спектре сигнала с δ 5,14 м.д. и КССВ 8,5 Гц.



Аналогично соединению **8** при взаимодействии хлорида **1** с ацетатом натрия и краун-эфиром в нитрометане образуется соответствующий β -1-O-ацетат **9**. Подобные β -ацетаты широко используются в синтетической химии углеводов и ранее, в частности, их получали действием ацетата ртути(II) на гликозилхлорид [19]. В ^1H -ЯМР-спектре соединения **9** присутствует дублет аномерного протона с δ 5,70 м.д. и КССВ 8,5 Гц, что подтверждает β -конфигурацию гликозилацетата.

Лучшие способы получения β -глюкозаминилизотиоционата **10** заключаются в обработке хлорида **1** избытком роданида аммония в ацетонитриле [20] или роданида калия в присутствии катализаторов МФК [21]. При этом выход соединения **10** составил 63% и 66% соответственно. Подобные результаты нами были получены при использовании эквивалентного количества роданида калия с 20 моль % 15-краун-5. Присутствие в ^1H -ЯМР-спектре дублета с δ 5,28 м.д. и КССВ 9 Гц свидетельствует о *транс*-конфигурации протона у С-1.

Таким образом использование краун-эфиров в реакциях нуклеофильного замещения по гликозидному центру перацетата α -глюкозаминилхлорида позволило не только упростить известные методики, но и разработать новые подходы к синтезу *O*-алкил- и *O*-арилгликозидов N-ацетилглюкозамина.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Температуры плавления определяли на приборе ПТП, оптическое вращение при 20-22 °С – на поляриметре Polamat-A. ¹H-ЯМР-спектры получены на спектрометре Varian VXR-300 (300 МГц), внутренний стандарт - Me₄Si (растворитель – С²НCl₃). Приведены химические сдвиги (м.д., δ-шкала) и константы спин-спинового взаимодействия (*J*, Гц). ТСХ проводили на пластинках Kieselgel 60-F₂₅₄ (Merck) в системе растворителей: хлороформ – этилацетат – пропанол-2, 25:5:1. Вещества обнаруживали 5% раствором серной кислоты в бутаноле-1 при нагревании до 200-300 °С. Колоночную хроматографию проводили на силикагеле Merck 240-400 меш. Данные элементного анализа синтезированных соединений соответствуют расчетным значениям.

Общая методика синтеза *O*-гликозидов перацетилглюкозамина.

К раствору 500 мг (1,4 ммоль) 2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-α-D-глюкопиранозилхлорида (**1**) в 15 мл дихлорэтана добавили эквимолярное количество спирта, безводного иодида натрия, а также 20 моль % 15-краун-5 и перемешивали при комнатной температуре или при 85-90 °С до полного исчезновения гликозил-донора (24-48 час при комнатной температуре и 30-45 мин в кипящем дихлорэтаноле). Затем реакционную смесь разбавили 25 мл хлороформа, последовательно промыли 5% раствором тиосульфата натрия и водой. Органический слой отделили, сушили безводным сульфатом натрия. Осушитель отфильтровали, растворитель отогнали при пониженном давлении. Целевые продукты выделили кристаллизацией. Выходы гликозидов составили 56-78%. Были получены:

*Пентил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид* (**4a**); т. пл. 149-150 °С, [α]₅₄₆ -35° (с 1,0; хлороформ).

*Бензил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид* (**4б**); т. пл. 168-170 °С, [α]₅₄₆ -63° (с 1,0; хлороформ).

*Циклогексил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозид* (**4в**); т. пл. 178 °С, [α]₅₄₆ -18° (с 0,77; хлороформ).

*Пентил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-α-D-глюкопиранозид* (**5a**); стеклообразный продукт, [α]₅₄₆ +102° (с 1,0; хлороформ).

*Бензил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-α-D-глюкопиранозид* (**5б**); т. пл. 115 °С, [α]₅₄₆ +120° (с 1,0; хлороформ).

*Циклогексил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-α-D-глюкопиранозид* (**5в**); стеклообразный продукт, [α]₅₄₆ +95° (с 1,6; хлороформ).

Общая методика синтеза *O*-арилгликозидов перацетилглюкозамина.

К раствору 300 мг (0,82 ммоль) хлорида **1** в 10 мл ацетонитрила добавили эквимолярное количество фенола, безводного мелкоизмельченного карбоната калия (81 мг), а также 36 мг (20 моль %) 15-краун-5 и перемешивали при комнатной температуре до полного исчезновения гликозил-донора (контроль ТСХ). Затем реакционную смесь разбавили 20 мл хлороформа, профильтровали, растворитель отогнали при пониженном давлении. Арилгликозиды выделили кристаллизацией из изопропилового спирта. Выходы гликозидов составили 53-85%. Были синтезированы:

n-Метоксифенил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-*D*-глюкопиранозид (**6a**); т. пл. 191-192 °С. Лит. данные [13]: т. пл. 195,8-196,4 °С. ¹H-ЯМР: 1,97с, 2,04с, 2,06с, 2,08с (12 Н, NAc и 3 OAc), 3,77с (3Н, OMe), 3,81ддд (1Н, *H*-5), 4,09ддд (1Н, *H*-2, *J*_{2,3} 10), 4,15дд и 4,30дд (2Н, *H*-6a, *H*-6b, *J*_{5,6a} 2,5 Гц, *J*_{5,6b} 5,5, *J*_{6a,6b} 12), 5,14дд (1Н, *H*-4, *J*_{4,5} 10), 5,15д (1Н, *H*-1, *J*_{1,2} 9), 5,40дд (1Н, *H*-3, *J*_{3,4} 10), 5,79д (1Н, NH, *J*_{2,NH} 9), 6,81д и 6,23д (4Н, СН-аром.).

n-Ацетофенил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-*D*-глюкопиранозид (**6b**); т. пл. 213 °С. Лит. данные [22]: т. пл. 219-220 °С. ¹H-ЯМР: 1,95с, 2,07с, 2,08с (6Н) (12 Н, NAc и 3 OAc), 2,53с (3Н, MeCO), 3,94ддд (1Н, *H*-5), 4,15ддд (1Н, *H*-2, *J*_{2,3} 10), 4,17дд и 4,29дд (2Н, *H*-6a, *H*-6b, *J*_{5,6a} 2,5 Гц, *J*_{5,6b} 5,5, *J*_{6a,6b} 12), 5,15дд (1Н, *H*-4, *J*_{4,5} 10), 5,44д (1Н, *H*-1, *J*_{1,2} 8), 5,46дд (1Н, *H*-3, *J*_{3,4} 10), 5,87д (1Н, NH, *J*_{2,NH} 9), 7,03д и 7,91д (4Н, СН-аром.).

n-Метоксикарбонилфенил-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-*D*-глюкопиранозид (**6в**); т. пл. 195 °С ¹H-ЯМР: 1,94с, 2,06с, 2,08с (6Н) (12 Н, NAc и 3 OAc), 3,89с (3Н, COOMe), 3,95ддд (1Н, *H*-5), 4,14ддд (1Н, *H*-2, *J*_{2,3} 10), 4,16дд и 4,28дд (2Н, *H*-6a, *H*-6b, *J*_{5,6a} 2,5 Гц, *J*_{5,6b} 5,5, *J*_{6a,6b} 12), 5,14дд (1Н, *H*-4, *J*_{4,5} 9,5), 5,40д (1Н, *H*-1, *J*_{1,2} 8), 5,42дд (1Н, *H*-3, *J*_{3,4} 10), 5,81д (1Н, NH, *J*_{2,NH} 8,5), 7,01д и 7,97д (4Н, СН-аром.).

(Нафтил-2)-2-ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-*D*-глюкопиранозид (**6г**); т. пл. 217-218 °С. Лит. данные [13]: т. пл. 220,1-220,5 °С. ¹H-ЯМР: 1,95с, 2,06с, 2,08с (6Н) (12 Н, NAc и 3 OAc), 3,94ддд (1Н, *H*-5), 4,20ддд (1Н, *H*-2, *J*_{2,3} 10), 4,19дд и 4,30дд (2Н, *H*-6a, *H*-6b, *J*_{5,6a} 2,5 Гц, *J*_{5,6b} 5,5, *J*_{6a,6b} 12), 5,16дд (1Н, *H*-4, *J*_{4,5} 10), 5,40д (1Н, *H*-1, *J*_{1,2} 8), 5,45дд (1Н, *H*-3, *J*_{3,4} 9), 5,82д (1Н, NH, *J*_{2,NH} 8,5), 7,19дд, 7,33д, 7,38т, 7,46т, и 7,75м (7Н, СН-аром.).

2-Ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-*D*-глюкопиранозилазид (7**).**

Смесь 1,0 г (2,73 ммоль) хлорида **1**, 178 мг (2,73 ммоль) азида натрия и 110 мкл (0,55 ммоль) 15-краун-5 в 15 мл нитрометана перемешивали при комнатной температуре до полного исчезновения гликозил-донора (контроль ТСХ). Затем реакционную смесь упарили, разбавили 50 мл хлороформа, отфильтровали соли, растворитель отогнали при пониженном давлении. Кристаллизацией из эфира и изопропилового спирта получили 1,0 г (98%) азида **7**; т. пл. 168 °С. Лит. данные [16]: т. пл. 170-171 °С. ¹H-ЯМР: 1,99с, 2,04с (6Н), 2,11с (12 Н, NAc и 3 OAc), 3,81ддд (1Н, *H*-5), 3,93ддд (1Н, *H*-2, *J*_{2,3} 10),

4,17дд и 4,28дд (2Н, *H-6a*, *H-6b*, $J_{5,6a}$ 2,5 Гц, $J_{5,6b}$ 5, $J_{6a,6b}$ 12,5), 4,78д (1Н, *H-1*, $J_{1,2}$ 9), 5,11дд (1Н, *H-4*, $J_{4,5}$ 9,5), 5,27дд (1Н, *H-3*, $J_{3,4}$ 10), 5,82д (1Н, NH, $J_{2,NH}$ 9).

2-Ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-1-*S*-ацетил-2-дезоксид-1-тио-β-D-глюкопираноза (8).

Взаимодействием 200 мг (0,55 ммоль) хлорида **1** с 64 мг (0,55 ммоль) тиацетата калия и 24 мг 15-краун-5 (0,11 ммоль) в 5 мл нитрометана по вышеописанной методике с последующей кристаллизацией из эфира синтезировали 140 мг (63%) 1-*S*-ацетата **8**; т. пл. 195-196 °С. Лит. данные [17]: т. пл. 199-200 °С. ¹Н-ЯМР: 1,93с, 2,05с (6Н), 2,09с (12 Н, NAc и 3 OAc), 2,38с (3Н, SAc), 3,82ддд (1Н, *H-5*), 4,10дд и 4,25дд (2Н, *H-6a*, *H-6b*, $J_{5,6a}$ 2,5 Гц, $J_{5,6b}$ 4, $J_{6a,6b}$ 12), 4,36ддд (1Н, *H-2*, $J_{2,3}$ 9,5), 5,13дд (1Н, *H-4*, $J_{4,5}$ 9,5), 5,14д (1Н, *H-1*, $J_{1,2}$ 9), 5,16дд (1Н, *H-3*, $J_{3,4}$ 9,5), 5,82д (1Н, NH, $J_{2,NH}$ 9,5).

2-Ацетамидо-1,3,4,6-тетра-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопираноза (9).

Из 300 мг (0,82 ммоль) хлорида **1**, 66 мг (0,82 ммоль) безводного ацетата натрия и 36 мг (0,16 ммоль) 15-краун-5 в 10 мл нитрометана по методике синтеза соединения **7** получили 185 мг (61%) ацетата **9**; т. пл. 176-177 °С. ¹Н-ЯМР: 1,94с, 2,05с (6Н), 2,12с, 2,16с (15 Н, NAc и 4 OAc), 3,81ддд (1Н, *H-5*), 4,13дд и 4,27дд (2Н, *H-6a*, *H-6b*, $J_{5,6a}$ 2,5 Гц, $J_{5,6b}$ 4,5, $J_{6a,6b}$ 12,5), 4,32ддд (1Н, *H-2*, $J_{2,3}$ 10), 5,16м (2Н, *H-3*, *H-4*, $J_{3,4} = J_{4,5}$ 9,5), 5,65д (1Н, NH, $J_{2,NH}$ 10), 5,70д (1Н, *H-1*, $J_{1,2}$ 8,5).

2-Ацетамидо-3,4,6-три-*O*-ацетил-2-дезоксид-β-D-глюкопиранозилизотиоцианат (10).

Аналогично соединению **7** из 300 мг (0,82 ммоль) хлорида **1**, 84 мг (0,82 ммоль) безводного роданида калия и 36 мг (0,16 ммоль) 15-краун-5 в 5 мл сухого диоксана синтезировали 205 мг (64%) изотиоцианата **10**; т. пл. 157-159 °С. Лит. данные [20]: т. пл. 157-160 °С. ¹Н-ЯМР: 2,02с, 2,03с, 2,06с, 2,11с (12 Н, NAc и 3 OAc), 3,80ддд (1Н, *H-5*), 4,05ддд (1Н, *H-2*, $J_{2,3}$ 9,5), 4,14дд и 4,24дд (2Н, *H-6a*, *H-6b*, $J_{5,6a}$ 2,5 Гц, $J_{5,6b}$ 4,5, $J_{6a,6b}$ 12,5), 5,09дд (1Н, *H-4*, $J_{4,5}$ 9,5), 5,28д (1Н, *H-1*, $J_{1,2}$ 9), 5,34дд (1Н, *H-3*, $J_{3,4}$ 9,5), 6,10д (1Н, NH, $J_{2,NH}$ 8,5).

Литература.

1. Жданов Ю.А., Алексеев Ю.Е. // Журнал ВХО.-1986.-Т.31.-№2.-С.188-195
2. Knöchel A., Rudolph G., Thiem J. // Tetrahedron Lett.-1974.-№6.-P.551-552
3. Bessodes M., Shamsazar J., Antonanis K. // Synthesis.-1988.-№7.-P.560-562
4. Schmidt R.R., Reichvath L.M., Moering U. // Tetrahedron Lett.-1980.-V.21.-№37.-P.3561-3564
5. Lubineau A., Bienayme H., Le Gallic J. // J. Chem. Soc. Chem. Commun.-1989.-№24.-P.1918-1919
6. Климов Е.М., Демченко А.В., Малышева Н.Н. // Докл. АН (Россия).-1993.-Т.331.-№1.-С.53-55
7. Хортон Д. // Методы исследования углеводов; Ред. А.Я. Хорлин.- М.: Мир, 1975.-С.221-224
8. Курьянов В.О., Земляков А.Е., Чирва В.Я. // Укр. хим. журн.-1994.-Т.60.-№ 12.-С.858-861
9. Земляков А.Е., Курьянов В.О., Чирва В.Я. // Химия природ. соедин.-1996.-№3.-С.367-371

10. Kronzer F.Y., Schuech C. // Carbohydr. Res.-1974.-V.34.-№1.-P.71-78
11. Dess D., Klein H.R., Weinberg D.V., Kaufman R.J., Sidhu R.S. // Synthesis (BRD).-1981.-№11.-P.883-885
12. Klein H.R., Weinberg D.V., Kaufman R.J., Sidhu R.S. // Carbohydr. Res.-1985.-V.142.-№2.-P.333-337
13. Roy R., Tropper F. // Synth. Commun.-1990.-V.20.-№14.-P.2097-2102
14. Roy R., Tropper F.D., Romanowska A., Letellier M., Cousinev L., Meunier S.J., Boratynski J. // Glycoconjugate J.-1991.-V.8.-№2.-75-81
15. Bertho A., Revesz A. // Liebegs Ann. Chem.-1953.-B.581.-№3.-S.161-167
16. Paul B., Korytnyk W. // Carbohydr. Res.-1978.-V.67.-№2.-P.457-468
17. Horton D., Wolfrom M.L. // J. Org. Chem.-1962.-V.27.-№5.-P.1794-1800
18. Hasegawa A., Hioki Y., Kiso M., Okumura H., Azuma I. // J. Carbohydr. Chem.-1982-83.-V.1.-№3.-P.317-323
19. Hasegawa A., Ozaki M., Goh Y., Kiso M., Azuma I. // Carbohydr. Res.-1982.-V.100.-P.235-245
20. Абашев Ю.П., Андропова Т.М., Зурабян С.Э., Малькова В.П., Сорокина И.Б., Хорлин А.Я. // Био-орган. химия.-1984.-Т.10.-№1.-С.18-24
21. Camarasa M.J., Fernandez R.P., Garsia-Lopez M.T., De Las Heras F.G., Mendez-Castrillon P.P., Ana S.F. // Synthesis (BRD).-1984.-№6.-P.509-510
22. Leaback D.H., Walker P.G. // J. Chem. Soc.-1957.-№12.-P.4754-4760.

СОДЕРЖАНИЕ

Апостолов Л. Г., Ончуров М. В. НОВЫЕ ТАКСОНЫ В АРАНЕОФАУНЕ КРЫМА.....	3
Киселева Г. А., Лобкова М. Н. К ВОПРОСУ ОБ ОПТИМАЛЬНОСТИ СТРУКТУРНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗООБЕНТОСНЫХ СООБЩЕСТВ ПРОТОЧНЫХ ВОДОЕМОВ.....	7
Котов С. Ф., Иванова С. Н. ОЦЕНКА КОНКУРЕНТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МНОГОЛЕТНЕГО ВИДА НА ОДНОЛЕТНИК В ПОЛЫННО-ПЕТРОСИМОНИЕВЫХ СООБЩЕСТВАХ КРЫМА.....	13
Кучер Е. Н. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КРЫМСКИХ ОРХИДЕЙ ИЗ РОДОВ <i>DACTYLORHIZA NEVSKI</i> И <i>PLATANATHERA RICH.</i> И МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ОПЫЛЕНИЯ.....	18
Мананкова О. П. ВЛИЯНИЕ ГОРМОНАЛЬНОГО ЛЕЙКОПЛАСТЫРЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОКА ЯГОД ВИНОГРАДА СОРТА КИШМИШ ЧЕРНЫЙ.....	25
Мишнев А. В. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГЕННОЙ РЕГУЛЯЦИИ БИОСИНТЕЗА ТЕРПЕНОИДОВ ПРИ СОЗДАНИИ НЕТРАДИЦИОННЫХ ГИБРИДОВ МЯТЫ.....	30
Репецкая А. И. САМОРЕГУЛЯЦИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ <i>SALICORNIA EUROPAEA L.</i>	37
Анашкин О. В., Евстигнеева Е. Г. О МЕТОДЕ УСРЕДНЕНИЯ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ.....	45
Загора Д. А. МАЛЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЧНО ДИССИПАТИВНОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ГИДРОСИСТЕМЫ.....	51
Кобец А. А. ОСОБЫЕ ПОДМНОГООБРАЗИЯ ДЛЯ ГРУПП E_6	56
Королев К. А. АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ТРЕХМЕРНОЙ ЗАДАЧЕ КИРША.....	63
Москалева Ю. П. ВОЛНОВЫЕ ОПЕРАТОРЫ ОДНОГО КЛАССА НЕСАМОСОПРЯЖЕННЫХ ОПЕРАТОРОВ.....	71

Палков С. О.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ КРУЧЕНИИ СТЕРЖНЯ УГОЛКОВОГО СЕЧЕНИЯ.....	75
Переход А. И.	
О ЗАДАЧАХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	80
Старовойтов А. В.	
К ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМЫ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕЛЕСНЫХ КОРРЕЛЯТОВ ХАРАКТЕРА ЛИЧНОСТИ.....	90
Кляшторная В. В.	
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО РИТМИЧЕСКОЙ ГИМНАСТИКЕ (РГ) В СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКОГО САМОСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.....	96
Садовская Ю. Я.	
ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАНЯТИЙ РИТМИЧЕСКОЙ ГИМНАСТИКОЙ (РГ) В СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКОГО САМОСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.....	103
Сорокина А. Г., Сакун Л. К.	
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ АДАПТАЦИОННОГО ПРОЦЕССИНГА АЛЬБУМИНА В СЫВОРОТКЕ КРОВИ У СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ КАРАТЭ-ДО.....	114
Алексеев А. Н.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ.....	124
Бержанский В. Н., Лагунов И. М., Веренкиотова Ю. И.	
2D- И 3D- ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ СЕНСОРЫ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ.....	128
Бородавка О. С.	
ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КЛИНЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ВИХРЯ.....	133
Воляр А. В., Жилайтис В. З.	
ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ФАЗА ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ. СПИН- ОРБИТАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ.....	138
Воляр А. В., Фадеева Т. А., Шведов В. Г.	
ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВИХРЕЙ.....	143
Кожемяко О. В., Эйнгорн Б. Л., Фридман Ю. А.	
СПЕКТРЫ СВЯЗАННЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН В КУБИЧЕСКОМ ФЕРРОМАГНЕТИКЕ С БОЛЬШОЙ ОДНОИОННОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ.....	148

Михерский Р. М., Дубинко С.В.	
СТАТИЧЕСКОЕ ГАРМОНИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В МАГНИТОАНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ	153
Паненко Д. В.	
ДВУХЗЕРКАЛЬНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР АТМОСФЕРНОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ	158
Аметов И. Э., Певзнер Н. С., Шульгин В. Ф.	
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕЙ НЕКОТОРЫХ 3D-МЕТАЛЛОВ С ФТАЛИЛЬНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ АМИНОКИСЛОТ	163
Златогорский М. Л., Златогорский С. М.	
СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЕ АТОМНЫХ АГРЕГАТОВ	169
Костык С. В.	
АДСОРБЦИЯ ПОТЕНЦИАЛОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ИОНОВ И ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВОДНЫХ ЗОЛЕЙ MnO_2	176
Осляк Т. В., Акопян Н. А., Коношенко С. В.	
ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И СРОДСТВА К КИСЛОРОДУ ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКИХ ФРАКЦИЙ ГЕМОГЛОБИНА ДЕЛЬФИНА-АФАЛИНЫ <i>Tursiops truncatus</i>	185
Цикалов В.В., Чирва В.Я., Земляков А.Е.	
СИНТЕЗ β -(АДАМАНТИЛ-1-МЕТИЛ)ГЛИКОЗИДА N- АЦЕТИЛМУРАМОИЛ-L-АЛАНИЛ-D-ИЗОГЛУТАМИНА	188
Чупахина Т. А., Курьянов В. О.	
КАТАЛИЗИРУЕМОЕ КРАУН-ЭФИРАМИ НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ В ПЕРАЦЕТАТЕ α -ГЛЮКОЗАМИНИЛХЛОРИДА	192